نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۲، ص. ۱۲۹۳-۱۲۸۱

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 6, Jan.-Feb. 2014, p. 1281-1293

بهینه‌سازی عملکرد آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل WinSRFRدر شرایط تحکیم بستر کاشت چغندرقند

وحید رضاوردی‌نژاد[1*]- امیر نورجو[2]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۶/۹
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۱۰/۴

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تحکیم بستر جویچه بر عملکرد آبیاری جویچه‌ای، آزمایش مزرعه‌ای تحت کشت چغندرقند در منطقه نقده انجام گردید. برای بدست آوردن داده‌های صحرایی، چهار تیمار تحکیم بستر جویچه شامل تحکیم در یک نوبت غلطک‌زنی (B_1)، دو نوبت غلطک‌زنی (B_2)، سه نوبت غلطک‌زنی (B_3) و بدون غلطک‌زنی (B_0) طی سال ۱۳۸۸ اجرا و اکثر پارامترهای ارزیابی برداشت گردید. مدل آبیاری سطحی WinSRFR با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای واسنجی و ارزیابی شد. پارامترهای نفوذ و زبری مانینگ جویچه به روش بهینه‌سازی چند سطحی، واسنجی گردید. حداکثر خطای نسبی مدل در برآورد زمان پیشروی، پسروی و رواناب خروجی در تیمارهای مختلف به ترتیب ۲/۱، ۴/۷ و ۴/۵ درصد به دست آمد. متوسط بازده کاربرد ۱۳ نوبت آبیاری صورت گرفته برای هر یک از تیمارهای B_0، B_1، B_2 و B_3 به ترتیب ۵۰/۰۳، ۵۵/۷۷، ۶۰/۲۲ و ۶۲/۳۱ درصد محاسبه گردید. به منظور ارتقای عملکرد آبیاری، ترکیبهای بهینه‌ی دبی ورودی و زمان قطع جریان برای تمام آبیاری‌ها و تیمارهای مختلف، استخراج گردید. تحت سه نوبت تحکیم بستر (B_3)، متوسط کارایی مصرف آب نسبت به شرایط بدون تحکیم (B_0)، ۱۷/۸٪ افزایش نشان داد. به علاوه با اعمال دبی ورودی و زمان قطع جریان بهینه، کارایی مصرف آب تا حدود ۲۷٪ قابل ارتقاء است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد، بازده کاربرد، بهینه‌سازی چند سطحی، مدل آبیاری سطحی، نفوذ

مقدمه

آبیاری سطحی رایج‌ترین شیوه آبیاری در کشور است و حدود از ۹۵ درصد اراضی فاریاب در ایران به روش سطحی آبیاری می‌شوند (۱). مشکل عمده روش‌های آبیاری سطحی پایین بودن بازده آب آبیاری است که به طور عمده از ضعف مدیریت، فقدان تحقیقات قابل اجرا و طراحی نامناسب ناشی می‌شود (۴). در آبیاری جویچه‌ای، جویچه‌ها غالباً توسط جویچه بازکن ایجاد می‌شوند که این ادوات موجب افزایش زبری جدار جویچه و سست شدن خاک بستر می‌گردد. لذا باعث افزایش نفوذ آب در خاک، شدت فرسایش جدار و در نتیجه انتقال رسوبات در طول جویچه‌ای را به دنبال دارد. تحکیم بستر جویچه علاوه بر تثبیت خاک، موجب صاف شدن و کاهش زبری جدار و در نتیجه باعث افزایش یکنواختی نفوذ آب در طول جویچه، کاهش تلفات نفوذ عمقی، املاح و مواد غذایی و در نهایت صرفه‌جویی در مصرف آب خواهد شد (۱۷). تحقیقات بورلی و همکاران (۱۲) نشان داد که سرعت پیشروی جریان آب در جویچه تثبیت شده ۴۰ درصد بیشتر از جویچه معمولی می‌باشد. لذا فرصت نفوذ در طول یک جویچه تقریباً یکسان شده و بدین ترتیب می‌توان انتظار یکنواختی توزیع بالا را داشت. از معایب تلفات نفوذ عمقی علاوه بر خارج شدن آب از دسترس گیاه، خروج مواد غذایی و علفکش‌ها و ورود آنها به آبهای زیرزمینی را به دنبال خواهد داشت. برای متراکم کردن جویچه‌ها، غلطک‌های وزین عملکرد قابل قبولی در کاهش نفوذ عمقی داشته‌اند (۱۱). محمدی و نورجو (۶) با طراحی و ساخت غلطک تثبیت جویچه، اثر استفاده از غلطک در بهبود پارامترهای آبیاری جویچه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند. براساس نتایج آنها، اعمال غلطک بر جویچه، بر روی پارامترهای آبیاری تأثیرمعنی‌دار داشته و غلطک با قطر ۵۵ سانتی‌متر، عرض ۱۵ سانتی‌متر و وزن ۲۵ کیلوگرم را جهت حصول حداکثر بازده آبیاری توصیه نمودند. نتایج آنان نشان داد که استفاده از غلطک، بازده کاربرد را از ۴۵/۴ درصد در جویچه معمولی به ۶۴ درصد در جویچه غلطک خورده افزایش داد. با توجه به هزینه زیاد سامانه‌های آبیاری تحت فشار، بهبود و اصلاح روش‌های

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: verdinejad@gmail.com)
۲- پژوهشگر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه

آبیاری سطحی امری اجتناب ناپذیر است (۴). مدیریت آبیاری سطحی برای بدست آوردن بازده و یکنواختی بالا پیچیده است، لذا لزوم استفاده از ابزارهایی که بتوان ضمن طرح مناسب به حداکثر بازده آب دست یافت، اجتناب ناپذیر می‌باشد. یکی از این ابزارها مدل‌های آبیاری سطحی هستند که با شبیه‌سازی آبیاری سطحی، پدیده جریان آب و بازده‌های آبیاری را با توجه به شرایط مزرعه‌ای پیش‌بینی می‌کنند. مدل آبیاری*WinSRFR*، مدل ریاضی یک بعدی برای تحلیل و شبیه‌سازی آبیاری سطحی است که در سال ۲۰۰۶ با همکاری مرکز تحقیقات کشاورزی مناطق خشک (*ARS*)[1] و بخش تحقیقات کشاورزی آمریکا (*USDA*)[2] توسعه و از جمله‌ی مدل‌هایی است که کاربرد زیادی در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی داشته و بر اساس دو مدل ریاضی اینرسی – صفر و موج کینماتیکی و به روش حل عددی محاسبات را انجام می‌دهد (۷). مقایسه نتایج مدل‌های اینرسی– صفر و هیدرودینامیک توسط کلمنز و استرلکف و نیز استرلکف نشان داد که نتایج این دو مدل بسیار به هم نزدیک هستند. این مقایسه‌ها همچنین سازگاری بهتری را بین نتایج موج کینماتیکی و هیدرودینامیکی برای شیب‌های تندتر نشان داد (۱۳ و ۲۰). فرض جریان یکنواخت بطور زیادی تجزیه و تحلیل را ساده می‌کند ولی استفاده از این روش را محدود به نوارهای شیب‌دار و جویچه‌ها با زهکشی آزاد می‌کند. صحت عملکرد مدل اینرسی– صفر با توجه به داده‌های مزرعه‌ای مربوط به آبیاری کرت‌ها، نوارها و جویچه‌ها توسط فرانگمیر و رامسی و نیز الیوت و واکر نیز اثبات گردیده است (۱۴ و ۱۵).

مقایسه‌ی مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی– صفر و موج کینماتیک در شبیه‌سازی آبیاری سطحی با استفاده از مدل *SIRMOD*، نشان داد که مدل‌های هیدرودینامیک و اینرسی– صفر در فرایند شبیه‌سازی، مدل‌های بسیار قوی بوده و تا شیب ۱ درصد تفاوتی بین نتایج این دو مدل وجود ندارد؛ اما با افزایش شیب، بخاطر افزایش سرعت جریان، دقت مدل اینرسی– صفر، به تدریج کاهش می‌یابد (۲۱). همچنین دقت مدل موج کینماتیک برای خاکهای رسی و خیلی سنگین، دبی ورودی زیاد، ضریب زبری مانینگ بزرگ و آبیاری کرتی، کاهش می‌یابد؛ اما در تعداد زیادی از شرایط، هر سه مدل نتایجی مشابه به دست می‌دهند (۲۱).

مدل اینرسی– صفر به سبب سادگی، دقت و دامنه‌ی کاربرد زیاد، مدل برتر در مدلسازی هیدرولیک جریان آب روی سطح خاک بوده و در شرایط مزرعه‌ای، دقت مدل هیدرودینامیک کامل را داشته و فاقد نقاط ضعف آن (ناپایداری و واگرایی) می‌باشد (۵). نتایج یک مدل ریاضی همان اندازه دقیق است که اطلاعات اولیه مورد نیاز آنها دقیق باشد. عملاً اندازه‌گیری جریان ورودی و مشخصات هندسی مزرعه با دقت نسبتاً خوبی امکان‌پذیر است و بیشترین منبع خطا به تعیین ویژگیهای نفوذ از سطح خاک و ضریب زبری سطح خاک مربوط می‌شود. زیرا این عوامل طی عملیات آبیاری، با زمان و مکان متغیر می‌باشند (۳ و ۵).

در بررسی تغییرات زمانی و مکانی نفوذ آب بر عملکرد آبیاری محصول نیشکر تحت آبیاری جویچه‌ای، تغییرات زمانی و مکانی نفوذ، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی یکنواختی توزیع، رواناب، بازده کاربرد و نفوذ آب در خاک داشته اما تغییرات نفوذ آب با گذشت زمان، کاهش یافت (۱۰). در مدل *WinSRFR* میزان آب نفوذ یافته در آبیاری جویچه‌ای توسط بیشتر معادلات نفوذ از جمله کوستیاکف، معادلات *SCS*، کوستیاکف اصلاح شده‌ی شاخه‌ای و کوستیاکف–لوئیس برآورد می‌گردد که در تحقیق حاضر، معادله کوستیاکف–لوئیس مد نظر قرار گرفت که برای گستره وسیعی از خاکها مناسب می‌باشد (۳ و ۱۶):

$$I = kt^{a} + f_0 t \qquad (۱)$$

که در آن I حجم نفوذ تجمعی در واحد طول (m^3/m)، f_0 سرعت نفوذ نهایی ($m^3/m/min$)، t زمان (min) و a (–) و k ($m^3/m/min^a$) پارامترهای تجربی معادله نفوذ کوستیاکف–لوئیس می‌باشند. اجاقلو و همکاران (۲) در بررسی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای a و k در آبیاری جویچه‌ای، روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر و روش بهینه-سازی مک کلایمونت و اسمیت را پیشنهاد کردند. اما روش‌های مبتنی بر معادله بیلان حجم مانند روش‌های دو نقطه‌ای و یک نقطه-ای (استفاده از یک نقطه داده‌های پیشروی)، دارای این ضعف هستند که فقط از داده‌های مرحله پیشروی استفاده کرده و بخشی از فرایند جریان در تخمین پارامترها نادیده گرفته می‌شود (۵ و ۲۲). برای تخمین دقیق‌تر پارامترهای نفوذ، به جای مرحله پیشروی، باید از اطلاعات کل مراحل آبیاری استفاده نمود (۹ و ۲۲). روش بهینه‌سازی چند سطحی[3]، یکی از جدیدترین و دقیق‌ترین روش‌های تخمین پارامترهای معادله کوستیاکف–لوئیس و نیز ضریب زبری مانینگ می‌باشد که برخلاف روش‌های قبلی (مانند روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر)، از اطلاعات تمام مراحل آبیاری استفاده می‌نماید و توسط واکر ارائه شده است (۲۲). برخلاف روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر، f_0 نیز در روش بهینه‌سازی چند سطحی، از داده‌های مراحل آبیاری برآورد می‌شود. مروج الاحکامی و همکاران (۱۹)، نشان دادند که روش بهینه‌سازی چند سطحی واکر بهتر از روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر، پارامترهای نفوذ را برآورد می‌کند. علاوه بر پارامترهای نفوذ، ضریب زبری مانینگ نیز توسط این روش برآورد می‌شود. تنها عیب این روش نیاز به محاسبات نسبتاً طولانی و وقت‌گیر می‌باشد. روش بهینه‌سازی چند سطحی به یک مدل ریاضی آبیاری سطحی مانند

1- Agricultural Research Service
2- United States Department of Agriculture
3- Multilevel optimization

SIRMOD،WinSRFR و یا مدل دیگر برای شبیه‌سازی عوامل آبیاری نیاز دارد. در این روش پارامترهای مورد نیاز با استفاده از تحلیل حساسیت، اولویت‌بندی و براساس داده‌های مزرعه‌ای شامل منحنی‌ای پیشروی، پسروی و هیدروگراف خروجی برآورد می‌شوند. حساسیت این داده‌ها به پارامترهای مختلف نفوذ متفاوت است. مثلاً پسروی تقریباً به a و k حساس نبوده اما به n حساستر است. هیدروگراف خروجی بیشتر تابعی از a و f_0 است. زمان پیشروی هم بیشتر به a و k حساس است. روش بهینه‌سازی چند سطحی طی دو گام محاسبات را انجام می‌دهد. گام اول، تخمین اولیه برای پارامترهای مجهول می‌باشد. مثلاً k از پیشروی، a و f_0 از هیدروگراف خروجی و n از داده‌های پسروی، تخمین زده می‌شوند. در گام دوم به ترتیب اولویت، به روش بهینه‌سازی برآورد می‌شوند. واکر با آزمون و خطا، ترتیب تخمین k، f_0، a و n را مناسبترین گزینه پیشنهاد کرد. پارامتر k با استفاده از پیشروی جریان، به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$k^* = \min \left[\left| t_L - \bar{t}_L \right| \right]_{a,\, f_0 ,n} \qquad (۲)$$

که در آن *k مقدار برآورد شده k، t_L و $\bar{t}_L$ مقدار اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده زمان پیشروی به ازای مقادیر تخمین اولیه f_0، a و n می‌باشد. f_0 از هیدروگراف رواناب خروجی تعیین می‌شود:

$$f_0^{\,*} = \min \left[\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (R_i - \bar{R}_i)^2} \right]_{a,k^*,n} \qquad (۳)$$

که در آن $f_0^{\,*}$ مقدار برآورد شده f_0، R_i و $\bar{R}_i$ مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده رواناب در زمان‌های مختلف و N تعداد دفعات اندازه‌گیری رواناب است. پس از تخمین f_0، مرحله قبل با $f_0^{\,*}$ مجدداً برای تخمین k تکرار شود. ضریب a با استفاده از داده‌های هیدروگراف خروجی و به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$a^* = \min \left[\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (R_i - \bar{R}_i)^2} \right]_{k^*,\, f_0^*,n} \qquad (۴)$$

که در آن a^* مقدار برآورد شده‌ی a است. پس از تخمین a، مراحل قبلی برای برآورد مجدد k و f_0 تکرار می‌شوند. نهایتاً ضریب زبری مانینگ (n) از داده‌های مرحله‌ی پسروی برآورد می‌شود:

$$n^* = \min \left[\left| t_R - \bar{t}_R \right| \right]_{a^*,\, f_0^*,k^*} \qquad (۵)$$

که در آن t_R و $\bar{t}_R$ مقادیر زمان پسروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده می‌باشند. پس از تخمین n، کلیه‌ی مراحل قبلی برای برآورد مجدد a، k و f_0 با n^* تکرار می‌شوند (۲۲). مراحل تخمین مجهولات یا بصورت دستی قابل انجام است و یا بصورت خودکار توسط اتصال یک مدل بهینه‌سازی به مدل آبیاری سطحی، که در این تحقیق روش دستی مد نظر قرار گرفت. در استان آذربایجان‌غربی سطح کشت چغندرقند بالغ بر ۳۷۰۰۰ هکتار بوده که از نظر تولید، دومین تولید کننده چغندرقند در کشور می‌باشد. متوسط عملکرد چغندرقند در این استان ۴۲ تن در هکتار بوده که حدود ۱۰ تن در هکتار بیش از متوسط عملکرد کشور می‌باشد (۶). نیاز آبی چغندرقند در مقایسه با سایر محصولات رایج منطقه بالا و روش آبیاری عمده‌ی مزارع چغندرقند، جویچه‌ای می‌باشد که با توجه به بازده پایین آبیاری، مصرف آب در مزارع چغندرقند استان معمولاً بالا بوده و بهبود بازده آبیاری و کارایی مصرف آب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق هدف بررسی و ارتقای عملکرد آبیاری جویچه‌ای در شرایط تحکیم و تثبیت بستر جویچه و با استفاده از مدل آبیاری سطحی WinSRFR می‌باشد. در این تحقیق علاوه بر تأثیر تحکیم بستر جویچه در افزایش بازده آبیاری، اثر متغیرهای دبی ورودی و زمان قطع جریان، توأم با عملیات تثبیت بستر کشت، اعمال و بررسی گردید. بدین منظور سری آزمایش‌های مزرعه‌ای طی فصل رشد چغندرقند انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور جمع‌آوری داده‌های صحرایی، آزمایش مزرعه‌ای برای بررسی تأثیر تحکیم بستر جویچه بر عملکرد آبیاری جویچه‌ای و بر روی محصول چغندرقند در منطقه نقده استان آذربایجان غربی با مختصات جغرافیایی ۳۷/۰۵ درجه عرض شمالی، ۴۵/۴۲ درجه طول شرقی و در ارتفاع ۱۲۹۶ متری از سطح دریا،طی سال ۱۳۸۸ اجرا گردید. چهار تیمار نحوه تحکیم بستر جویچه با سه تکرار در نظر گرفته شد. تیمارهای تحکیم بستر جویچه شامل: تحکیم بستر در یک نوبت غلطک‌زنی (B_1)، دو نوبت غلطک‌زنی (B_2)، سه نوبت غلطک‌زنی (B_3) و بدون غلطک‌زنی به عنوان شاهد (B_0) در نظر گرفته شد. نوبت اول غلطک‌زنی بعد از کاشت و برای تیمارهای B_1، B_2 و B_3 انجام گرفت. دومین غلطک‌زنی بعد از آبیاری دوم و به محض گاورو شدن مزرعه برای تیمارهای B_2 و B_3 و نهایتاً سومین غلطک‌زنی برای تیمار B_3 و بعد از آبیاری هفتم، در حالت گاورو شدن مزرعه صورت گرفت. قطر غلطک ۵۵ سانتی‌متر و عرض آن ۱۵ سانتی‌متر انتخاب شد و از وزنه ۲۵ کیلوگرم برای تامین فشار لازم برای تحکیم بستر جویچه استفاده به عمل آمد (۶). نوع بذر استفاده شده رقم منوژم ۷۰۷ ایرانی، فاصلهٔ بوته‌های روی ردیف۲۰سانتی‌متر، فواصل جویچه ۰/۵ متر و طول جویچه‌ها ۸۰ متر بوده است. شیب طولی کلیه‌ی جویچه‌ها یکسان و برابر ۰/۰۰۵۵ متر بر متر اندازه‌گیری گردید. کلیه عملیات زراعی از جمله آبیاری، تنک، وجین، کولتیواتور زنی به منظور کنترل علف های هرز، سله‌شکنی و سمپاشی علیه آفات و بیماریها برای تمام تیمارها به طور یکسان انجام شد. جهت تعیین نیاز کود، نمونه‌برداری خاک از اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری انجام و پس از آزمون، مقدار ۳۵ کیلوگرم فسفات آمونیوم، ۳۵ کیلوگرم پتاس و ۵۰ کیلوگرم بر هکتار کود اوره قبل از کاشت به زمین داده شد. مقدار آب

آبیاری بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک عمق توسعه ریشه و جبران کمبود رطوبتی خاک تا حد ظرفیت زراعی مزرعه، تعیین گردید. در مراحل اولیه رشد عمق خاک جهت برآورد کمبود رطوبت خاک، ۳۰ سانتی‌متر و در سایر مراحل رشد با حفر پروفیل نسبت به تعیین عمق توسعه ریشه اقدام گردید. با فرض تبعیت نفوذ از معادله کوستیاکف-لوئیس، پارامترهای نفوذ از روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر برآورد گردید و از روابط نفوذ برآورد شده، مدت آبیاری برای هر تیمار تخمین زده شد. سرعت نفوذ پایه با نصب فلوم WSC و به روش ورودی-خروجی محاسبه شد. ۱۳ آبیاری طی فصل زراعی چغندرقند انجام و ارزیابی برای تمام آبیاریها انجام گردید. اولین آبیاری هفتم خرداد ماه و آخرین آبیاری هشتم مهرماه سال ۱۳۸۸ انجام گردید. با نصب فلوم WSC در ابتدا و انتهای جویچه‌ها، دبی ورودی و خروجی در کلیه تیمارها اندازه‌گیری شد. طول جویچه‌ها با فواصل ۱۰ متری میخکوبی و زمان پیشروی و پسروی آب در جویچه یادداشت گردید. سرعت نفوذ پایه که بر اساس چهار ساعت آزمایش در دو جویچه معمولی و غلطک خورده تعیین شده بود، تغییرات چندانی نداشته و برای کل جویچه‌ها یکسان در نظر گرفته شد. بافت خاک مزرعه‌ی محل آزمایش نسبتاً سنگین بوده و مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

شکل مقطع جویچه برای تیمارهای مختلف با استفاده از مقطع-سنج استخراج گردید. هندسه‌ی مقطع جویچه برای آبیاری‌های اول، سوم و هشتم و برای هر چهار تیمار اندازه‌گیری شد. با انتقال داده‌های مقطع‌سنج، پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مقطع محاسبه گردید.

روش بهینه‌سازی چند سطحی، طی دو مرحله، محاسبات تخمین پارامترهای نفوذ را انجام می‌دهد که در مرحله اول، تخمین اولیه‌ای برای پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس و ضریب زبری مانینگ صورت گرفت. طی مرحله‌ی دوم، پارامترها نفوذ وضریب زبری، بهینه‌سازی و واسنجی نهایی شد. اندازه‌گیری پارامترهای نفوذ برای سه آبیاری اول، سوم و هشتم و برای هر یک از تیمارهای B_0، B_1، B_2 و B_3، انجام گرفت. برای چهار تیمار تحکیم بستر در سه آبیاری فوق الذکر، تخمین اولیه‌ای برای پارامترها صورت گرفت. تخمین اولیه پارامترهای a و k، از روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر و برای تخمین اولیه‌ی f_0 از روش ورودی-خروجی استفاده شد. برای تخمین اولیه ضریب زبری مانینگ (n)، از جدول راهنمای نرم‌افزار WinSRFR استفاده گردید. در مرحله‌ی دوم فرایند بهینه‌سازی چند سطحی، از تخمین اولیه پارامترها در آبیاری اول، برای واسنجی نهایی پارامترهای نفوذ آبیاری اول؛ از تخمین اولیه پارامترها در آبیاری سوم، برای واسنجی نهایی پارامترهای نفوذ آبیاری‌های دوم تا هفتم و از تخمین اولیه پارامترها در آبیاری هشتم، برای واسنجی پارامترهای نفوذ آبیاری‌های هشتم تا سیزدهم بکار گرفته شد. در جدول۳، مقادیر واسنجی شده‌ی پارامترهای معادله نفوذ و ضریب زبری مانینگ به روش بهینه‌سازی چند سطحی برای نوبت‌های آبیاری اول و دوم ارائه شده است. به منظور ارزیابی عملکرد و بررسی دقت مدل WinSRFR در پیش‌بینی زمان پیشروی، نفوذ و رواناب و سایر متغیرها، از روابط همبستگی و خطا شامل ضریب تبیین (R^2)، خطای نسبی و ریشهٔ میانگین مربع خطای نرمال شده (NRMSE) بین مقادیر مشاهده و برآورد شده، استفاده گردید:

$$NRMES=\frac{1}{\overline{O}}\times\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(S_i-O_i)^2}\times100 \qquad (۶)$$

که در آن S_i: مقادیر شبیه‌سازی شده، O_i: مقادیر اندازه‌گیری شده، N: تعداد مشاهدات و $\overline{O}$ متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده است. مقدار NRMSEکمتر از۱۰٪ نشان دهنده مدلسازی عالی، ما بین ۱۰ تا ۲۰٪ خوب، ۲۰ تا ۳۰٪ متوسط و بیشتر از ۳۰٪ نشان دهنده عدم اطمینان مطلق از مدل می‌باشد. یکی از ورودی‌های نامعین که نیاز به واسنجی دارد، ضریب زبری مانینگ (n) می‌باشد (۱۸). این پارامتر به همراه پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس، به روش بهینه-سازی چند سطحی و براساس داده‌های جریان، بهینه گردید.

نتایج و بحث

پیشروی، پسروی و رواناب

با توجه به برتری مدل اینرسی- صفر در مدلسازی هیدرولیک جریان آب روی سطح خاک، این مدل مبنای مدلسازی سیستم آبیاری قرار گرفت. هرچند مدلWinSRFRعلاوه بر اینرسی- صفر، قادر به شبیه‌سازی سیستم آبیاری براساس مدل موج کنیماتیک نیز می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک	بافت خاک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	pH	EC	K	P	No_3	T.N.V
		٪	٪	٪	٪		dS/m	ppm			٪
۳۰-۰	لوم رس سیلتی	۳۳/۱	۵۰/۹	۱۶	۰/۸۰	۷/۵۵	۶/۱	۶۰۰	۷/۲	۴۴/۲	۲۵/۰
۶۰-۳۰	رس سیلتی	۴۱/۱	۴۲/۹	۱۶	۰/۵۵	۷/۷۰	۳/۱۰	۴۷۰	۲/۸	۲۴	۲۵/۷
۹۰-۶۰	لوم رس	۳۹/۱	۴۰/۹	۲۰	۰/۴۰	۷/۷۰	۱/۹۳	۲۴۰	۳/۶	۵/۳	۱۵/۵

جدول ۲- اطلاعات مربوط به شکل هندسه جویچه‌ها برای هر یک از تیمارهای تحکیم بستر جویچه

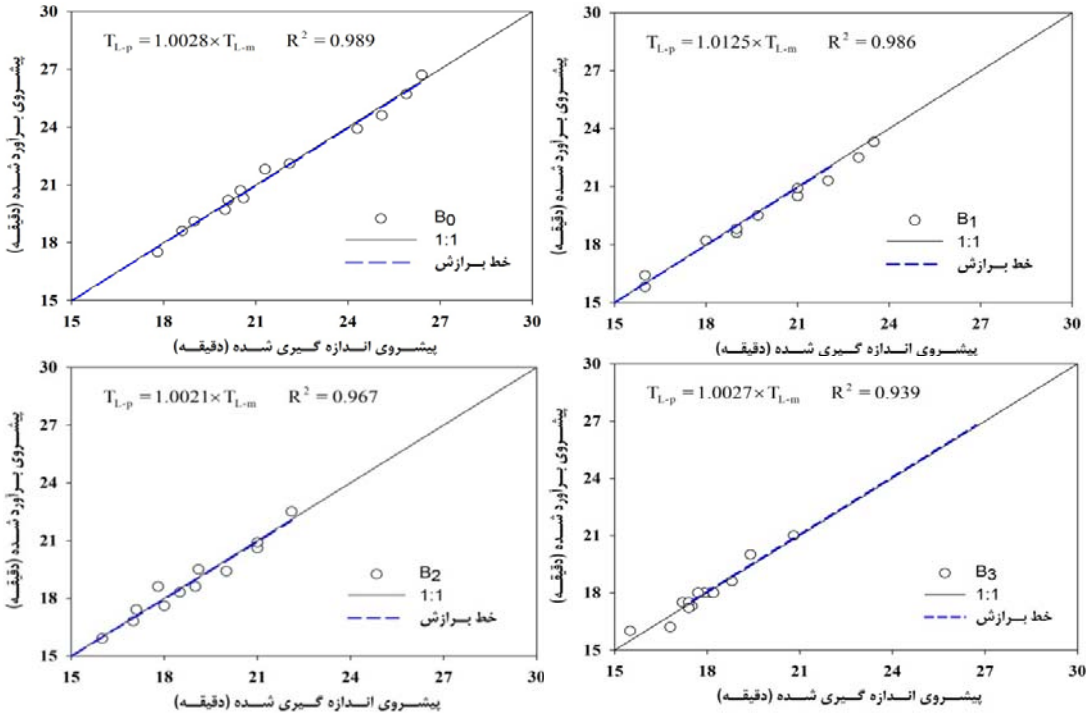
تیمار	روش آبیاری	عرض بالایی (سانتی متر)	عرض میانی (سانتی متر)	عرض کف (سانتی متر)
B_0	آبیاری اول	۳۲	۲۰/۲	۶/۸
	آبیاری سوم	۳۲	۱۷/۰۵	۶/۹
	آبیاری هشتم	۲۹/۷	۲۱/۲	۱۲/۶
B_1	آبیاری اول-قبل از غلطک‌زنی	۲۵/۷	۱۹	۷/۴
	آبیاری اول- بعد از غلطک‌زنی	۲۸/۱	۲۰/۷	۱۳/۷
B_2	آبیاری سوم- قبل از غلطک‌زنی	۲۷/۵	۲۱/۵	۱۱/۶
	آبیاری سوم - بعد از غلطک‌زنی	۲۸/۹	۲۱/۵	۷/۸
B_3	آبیاری هشتم- قبل از غلطک‌زنی	۳۰	۱۸/۴	۸/۹
	آبیاری هشتم- بعد از غلطک‌زنی	۳۳/۰	۲۱/۱	۱۵/۴

جدول ۳- مقادیر واسنجی شده‌ی پارامترهای معادله نفوذ و ضریب زبری مانینگ به روش بهینه‌سازی چند سطحی برای دو نوبت آبیاری

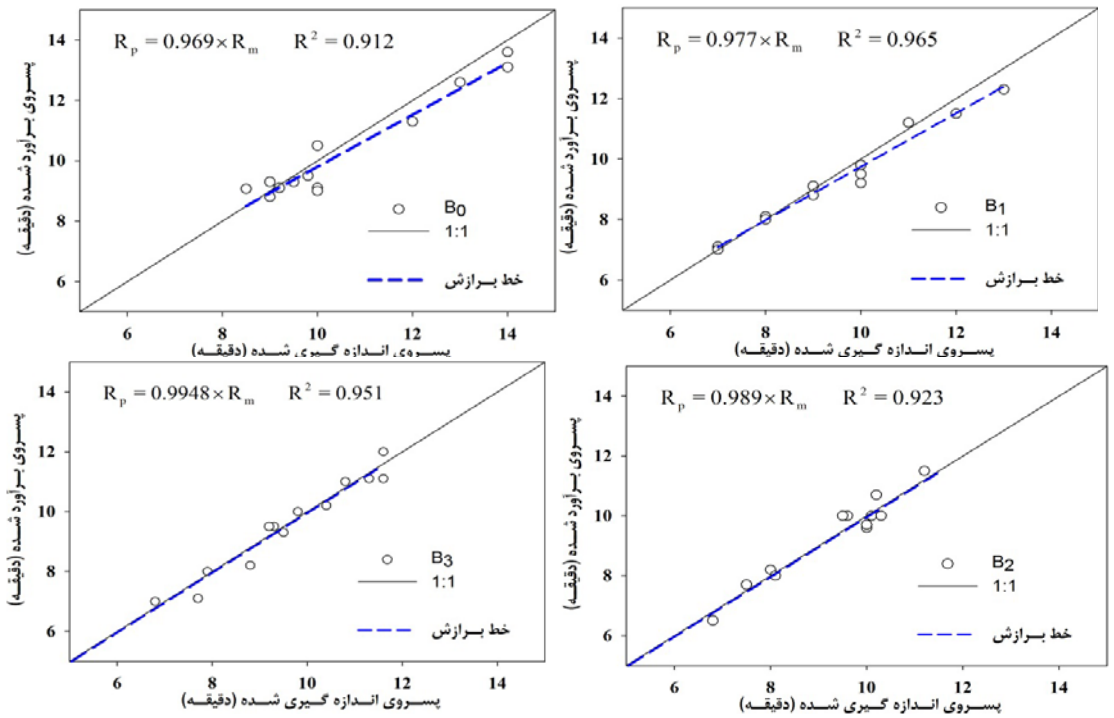
نوبت آبیاری	تیمار	پارامتر			
		a(-)	k ($m^3/m/min^a$)	f_0 ($m^3/m/min$)	n (-)
آبیاری اول	B_0	۰/۲۳۶	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۳۸
	B_1	۰/۴۲۰	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۳۷
	B_2	۰/۴۶	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۳۹
	B_3	۰/۴۱	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۳۸
آبیاری دوم	B_0	۰/۲۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۳۷
	B_1	۰/۱۵	۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۳۴
	B_2	۰/۳۳	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۳۵
	B_3	۰/۲۴	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۳۶

با واسنجی پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف- لوئیس و ضریب زبری مانینگ به روش بهینه‌سازی چند سطحی برای هر یک از تیمارها و آبیاری‌های انجام شده، نتایج حاصل از مدل و اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت. واسنجی به روش بهینه‌سازی چند سطحی بر اساس داده‌های همان آبیاری بوده، لذا چهار پارامتر مجهول، برای هر چهار تیمار و ۱۳ رویداد آبیاری به طور مجزا واسنجی گردید. نتایج زمان پیشروی اندازه‌گیری شده و برآورد شده برای چهار تیمار، مطابق شکل۱ می‌باشد. ضریب R^2 برای چهار تیمار B_0،B_1،B_2 وB_3 به ترتیب ۰/۹۸۹، ۰/۹۸۶، ۰/۹۶۷ و ۰/۹۳۹ به دست آمد. NRMSE چهار تیمار به ترتیب ۱/۴۵، ۱/۹، ۲/۱ و ۱/۸ درصد به دست آمد که نشان از دقت بسیار بالای مدل در پیش‌بینی زمان پیشروی دارد. مقدار خطای نسبی برآورد پیشروی برای چهار تیمار فوق به ترتیب ۱/۱۲، ۱/۶۶، ۱/۸ و ۱/۵۷درصد به دست آمد که نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی مدل و اندازه‌گیری شده بسیار ناچیز (کمتر از ۰/۴ دقیقه) و قابل اغماض است. همچنین مقادیر رواناب و زمان پسروی اندازه‌گیری و برآورد شده در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه گردیده است. مدل با همبستگی بالا و حداقل خطا، رواناب و زمان پسروی را برآورد نمود. مقدار خطای نسبی برآورد چهار تیمار B_0،B_1،B_2 وB_3 در برآورد زمان پسروی به ترتیب ۴/۶۷، ۲/۴۹، ۳/۳۴ و ۳/۲۱ درصد (حداکثر ۰/۴۷ دقیقه) و رواناب خروجی به ترتیب ۴/۰۱، ۴/۱، ۴/۵ و ۴/۳ (حداکثر ۶۴ لیتر) به دست آمد. حداکثر NRMSE برآورد رواناب و زمان پسروی نیز به ترتیب ۴/۶ و ۴/۵ درصد محاسبه گردید.

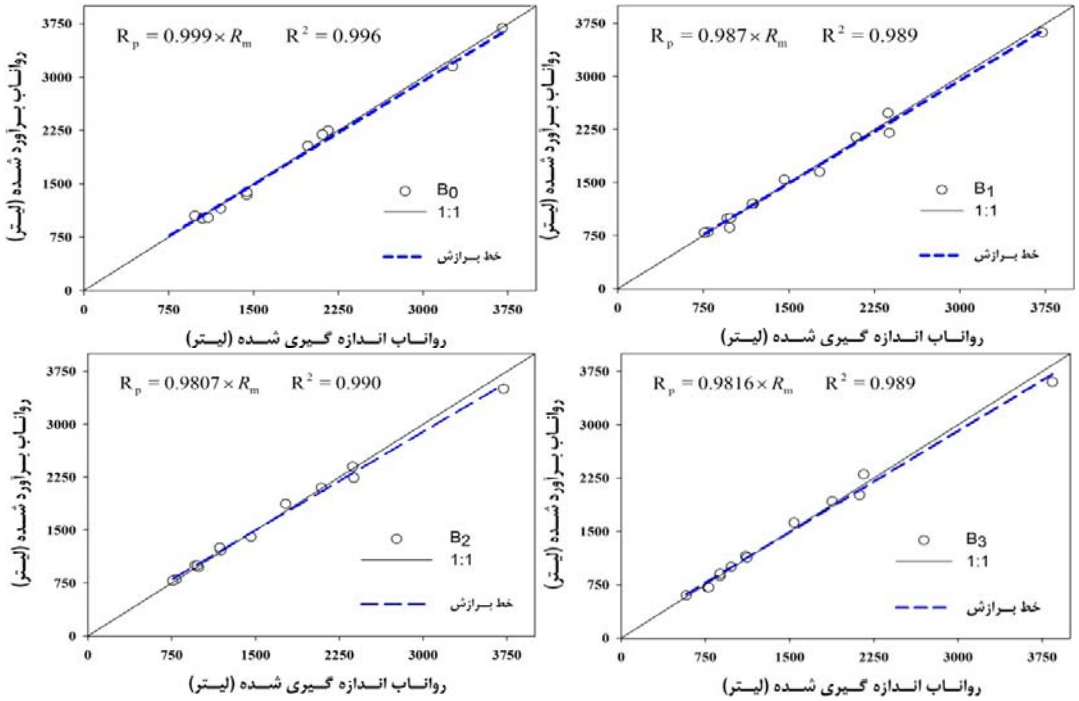
با مقایسه‌ی و تحلیل نتایج مدل در پیش‌بینی زمان پیشروی، زمان پسروی و رواناب خروجی در تیمارهای مختلف تحکیم بستر جویچه، متوسط خطای نسبی زمان پیشروی، پسروی و رواناب به ترتیب ۱/۵، ۳/۴ و ۴/۲ درصد به دست آمد. این نتایج نشان دهنده خطای کمتر مدل در پیش‌بینی زمان پیشروی نسبت به زمان پسروی و رواناب دارد. متوسط ضریب R^2 زمان پیشروی، پسروی و رواناب برآورد و مشاهده شده، به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۴ و ۰/۹۹ به دست آمد. نتایج حاکی از آن است که با اینکه همبستگی مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده‌ی رواناب به یک نزدیک می‌باشد، اما خطای برآورد رواناب توسط مدل، بیشتر می‌باشد. ضریب R^2 به داده‌ی پرت بسیار حساس می‌باشد، لذا در نتیجه‌گیری کلی از مدل، معیار خطا بر معیار همبستگی ارجحیت دارد. به این ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری نمود که قابلیت مدل در برآورد زمان پیشروی، نسبت به زمان پسروی و رواناب بهتر می‌باشد.



شکل ۱- مقایسه بین مقادیر پیشروی اندازه‌گیری و برآورد شده در تیمارهای مختلف تحکیم بستر جویچه



شکل ۲- مقایسه بین مقادیر پیشروی اندازه‌گیری و برآورد شده مدل در تیمارهای مختلف تحکیم بستر جویچه

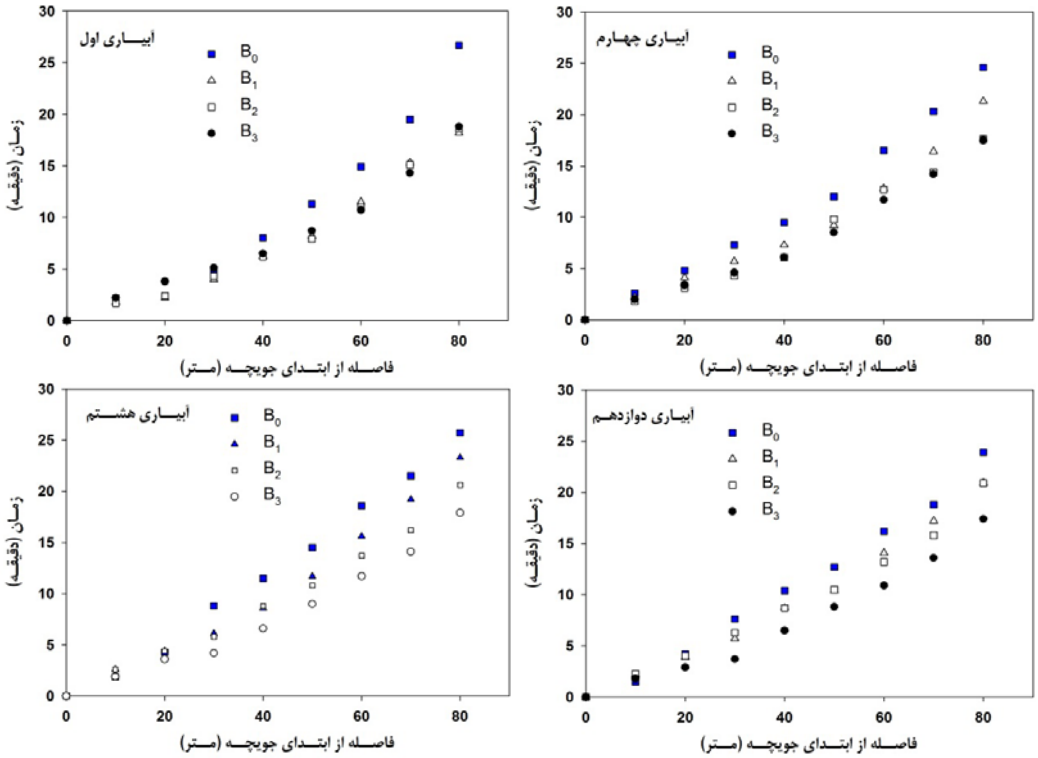


شکل ۳- مقایسه بین مقادیر رواناب خروجی اندازه‌گیری و برآورد شده مدل در تیمارهای مختلف تحکیم بستر جویچه

ارزیابی تأثیر غلطک بر عملکرد آبیاری و کارایی مصرف آب

انجام عملیات غلطک، باعث کاهش زمان پیشروی با تغییر پارامترهای معادله‌ی نفوذ و ضریب زبری مانینگ گردید. متوسط کمترین زمان پیشروی طی ۱۳ آبیاری ارزیابی شده، مربوط به B_3 (۱۷/۹ دقیقه) و بیشترین زمان پیشروی برای B_0 (۲۶/۷ دقیقه) به دست آمد. در شکل ۴ پیشروی اندازه‌گیری شده در جویچه‌های غلطک خورده و غلطک نخورده، برای چهار آبیاری اول و هشتم ارائه و مقایسه شده است. مقدار متوسط رواناب ۱۳ آبیاری در تیمارهای B_0 و B_3 به ترتیب ۴۰/۲ و ۳۶/۹ درصد بوده که حاکی از تأثیر عملیات غلطک در کاهش رواناب خروجی داشت. با توجه به اندازه‌گیری کمبود رطوبت خاک (عمق مورد نیاز آبیاری)، حجم آب ورودی، نفوذ و رواناب اندازه‌گیری شده در جویچه‌ها، بازده کاربرد آب آبیاری برای تمام آبیاریها محاسبه گردید. متوسط بازده کاربرد طی ۱۳ آبیاری صورت گرفته برای هر یک از تیمارهای B_0، B_1، B_2 و B_3 به ترتیب ۵۰/۰۳، ۵۵/۷۷، ۶۰/۲۲ و ۶۲/۳۱ درصد محاسبه گردید. مقادیر بازده کاربرد و یکنواختی توزیع ربع آخر، برای آبیاریها و تیمارهای مختلف در جدول۴ آورده شده است. متوسط یکنواختی توزیع ربع آخر (DU_{lq}) برای هر یک از تیمارهای فوق، به ترتیب ۹۳/۸، ۹۳/۶، ۹۲/۸ و ۹۲/۶ درصد محاسبه گردید. با توجه به اختلاف قابل اغماض در مقادیر متوسط یکنواختی توزیع ربع آخر برای هر یک از تیمارها، می‌توان معیار بازده کاربرد را ملاک ارزیابی و نتیجه‌گیری قرار داد. برای تمام تیمارها و آبیاری‌های صورت گرفته، یکنواختی توزیع ربع آخر از ۹۱ تا ۹۶ درصد متغیر بوده که در یک دامنه مناسب (بیشتر از ۹۰ درصد) برای این شاخص قرار دارند.

متوسط عملکرد ریشه چغندرقند برای تیمارهای B_0، B_1، B_2 و B_3 به ترتیب ۴۳/۷۲، ۴۲/۱۵، ۴۲/۰۸ و ۴۱/۸۸ تن در هکتار به دست آمد. غلطک‌زنی کارایی مصرف آب در زراعت چغندرقند را افزایش داد. کارایی مصرف آب برای چهار تیمار فوق به ترتیب ۳/۱۹، ۳/۴۴، ۳/۶۱ و ۳/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی، محاسبه گردید؛ به طوریکه حداقل کارایی مصرف آب در تیمار بدون غلطک به دست آمد، در حالی که در شرایط بودن غلطک، بیشترین عملکرد در واحد سطح به دست آمد. این وضعیت نشان دهنده، کاهش تلفات آبیاری با عمل غلطک می‌باشد. به طوری که با یک، دو و سه نوبت غلطک‌زنی، مقدار مصرف آب نسبت به تیمار بدون غلطک به ترتیب ۱۰/۱، ۱۴/۳ و ۱۹/۱ درصد کاهش یافت. بیشترین مصرف آب مربوط به تیمار بدون غلطک، با ۱۳۶۸۸ مترمکعب در هکتار طی ۱۳ عمل آبیاری انجام شده، می‌باشد.

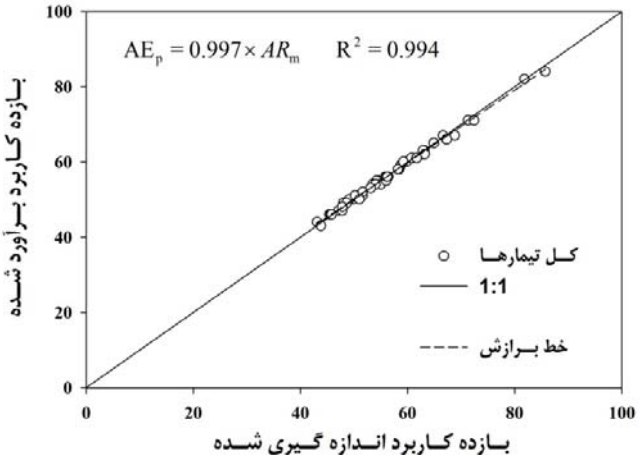


شکل ٤-مقایسه مرحله پیشروی اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف برای نوبت‌های آبیاری۱، ٤، ۸ و ۱۲

جدول٤- مقادیر بازده کاربرد و یکنواختی توزیع ربع آخر، برای آبیاریها و تیمارهای مختلف تحکیم بستر جویچه

نوبت آبیاری	بازده کاربرد آب (AE)				یکنواختی توزیع ربع آخر (DU_{lq})			
	B_0	B_1	B_2	B_3	B_0	B_1	B_2	B_3
۱	۴۹/۸	۵۹/۸	۶۷/۲	۵۸/۴	۹۲	۹۳	۹۲	۹۳
۲	۵۵/۱	۵۵/۸	۶۰/۷	۶۰/۹	۹۵	۹۳	۹۲	۹۲
۳	۴۷/۱	۵۳/۵	۶۲/۹	۶۰/۷	۹۴	۹۳	۹۲	۹۳
۴	۵۴/۵	۶۴/۹	۸۵/۷	۸۱/۸	۹۳	۹۳	۹۱	۹۱
۵	۵۹/۶	۶۳/۱	۶۸/۸	۶۷/۳	۹۲	۹۳	۹۱	۹۲
۶	۴۳/۱	۵۶/۴	۶۳/۲	۶۱/۷	۹۵	۹۴	۹۳	۹۴
۷	۴۵/۴	۴۸/۶	۵۶/۱	۵۴	۹۶	۹۵	۹۴	۹۴
۸	۵۴/۲	۵۸/۷	۵۰/۲	۵۸/۲	۹۲	۹۳	۹۴	۹۳
۹	۴۸	۴۵/۸	۴۷/۸	۵۳/۱	۹۵	۹۵	۹۵	۹۳
۱۰	۴۳/۸	۵۱/۶	۵۱/۶	۷۱/۳	۹۳	۹۳	۹۳	۹۱
۱۱	۴۹/۱	۴۷/۸	۴۵/۸	۵۱	۹۴	۹۴	۹۳	۹۴
۱۲	۴۵/۷	۶۳	۶۶/۶	۷۲/۴	۹۳	۹۳	۹۱	۹۱
۱۳	۵۵	۵۶	۵۶/۲	۵۹/۲	۹۴	۹۴	۹۴	۹۳
متوسط	۵۰/۰۳	۵۵/۷۷	۶۰/۲۲	۶۲/۳۱	۹۳/۸	۹۳/۶	۹۲/۸	۹۲/۶

بازده کاربرد یکی از خروجی‌های مدل WinSRFRبوده و مقادیر بازده کاربرد اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل، برای تمام تیمارها در شکل ۵ آورده شده است. وجود همبستگی بالا و خطای برآورد نسبی کم (حدود ۱درصد)، نشان دهنده این است که مدل اجزای بیلان (مقدار نفوذ و رواناب) را بصورت قابل قبولی پیش‌بینی کرده است. یکی از دلایل پیش‌بینی مدل با دقت بسیار بالا را می‌توان به نحوه واسنجی مدل، ارتباط داد. در روش واسنجی بهینه‌سازی چند سطحی، واسنجی پارامترهای نفوذ، برای هر آبیاری به صورت جداگانه انجام گرفت. همچنین در این روش، ضریب زبری نیز مورد واسنجی قرار گرفت.



شکل ۵- مقایسه بین بازده کاربرد اندازه‌گیری و برآورد شده مدل در کل تیمارهای تحکیم بستر جویچه

ارتقای عملکرد آبیاری توسط متغیرهای دبی ورودی و زمان قطع جریان

در مطالعه حاضر ارتقای عملکرد آبیاری، بر مبنای اعمال عملیات غلطک بوده، اما متغیرهای دیگری نیز در افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب مؤثر بوده که مهمترین آنها دبی ورودی و زمان قطع جریان می‌باشند (۸). با توجه به شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل، WinSRFR دارای عملکرد قابل قبول در پیش‌بینی متغیرهای آبیاری بوده، لذا با اطمینان می‌توان از آن به منظور بهبود عملکرد آبیاری استفاده کرد. برای این منظور اقدام به استخراج منحنی‌های هم-عملکرد (هم تراز) برای بازده کاربرد آب گردید. منحنی‌های هم عملکرد که به وسیله تحلیل عملیاتی مدلWinSRFR ایجاد می‌شوند، برای بهینه‌سازی دبی جریان ورودی (q) و زمان قطع جریان (t_{co}) استفاده می‌شود. این نتایج با درون‌یابی از نتایج شبیه‌سازی مدل WinSRFRدر شبکه‌ای مستطیل شکل از نقاط و در یک فضای موجه و امکان‌پذیر از مقادیر q و t_{co} ایجاد می‌شوند. منحنی‌های هم-عملکرد بازده کاربرد برای تمام آبیاری‌ها و تیمارها (۴×۱۳رویداد آبیاری) استخراج شد و امکان افزایش بازده کاربرد تحت دو متغیر تصمیم دبی ورودی و زمان قطع جریان برای تمام آبیاری‌ها بررسی شد. در شکل ۶ منحنی هم عملکرد بازده کاربرد تیمارهای مختلف برای اولین آبیاری به همراه خط $D_{min}=D_{req}$ ارائه شده است که D_{req} عمق مورد نیاز و D_{min} حداقل عمق لازم می‌باشند. در شکل۶ بازده کاربرد در سمت پایین و چپ، به حداکثر و با افزایش q و t_{co} (به سمت راست و بالای نمودار) کاهش می‌یابد. در این شکل خط نقطه چین نشان دهنده مکان نقاطی از q و t_{co} می‌باشد که حداقل عمق مورد نیاز آبیاری (در انتهای جویچه) تأمین می‌گردد. سمت راست خط نقطه چین، نشان دهنده ترکیباتی از دبی ورودی و زمان قطع جریان می‌باشند که حداقل عمق آبیاری بیشتر از عمق مورد نیاز آبیاری می‌باشد؛ در حالی که در سمت چپ، عکس این شرایط وجود دارد. در بخش چپ خط چین، هر چند ممکن است که با ترکیباتی از دبی ورودی و زمان قطع جریان به بازده کاربرد بالا دست یافت، ولی حداقل عمق مورد نیاز آبیاری تامین نمی‌گردد. علامت * نشان دهنده شرایط جاری در تیمارهای آبیاری می‌باشد. با توجه به شکل ۶، برای آبیاری اول تیمار B_0، بازده کاربرد در شرایط جاری ۴۹/۸ درصد (مقدار برآوردی توسط مدل۵۰٪) می‌باشد. علامت * که شرایط موجود را نشان می‌دهد، در سمت راست خط چین بوده و نشان دهنده این است حداقل عمق آبیاری بیشتر از عمق مورد نیاز می‌باشد. با حرکت بر روی خط چین حداکثر افزایش بازده کاربرد آبیاری اول تیمار B_0 نسبت به وضع موجود، ۶۵٪، تحت دبی ورودی ۰/۶۵ لیتر بر ثانیه و زمان قطع جریان ۶۰ دقیقه به دست می‌آید. در شرایط موجود، دبی ورودی و زمان قطع جریان به ترتیب ۰/۸۲ لیتر بر ثانیه و ۶۰ دقیقه بوده است.

در تیمارB_1 در شرایط موجود، عمق مورد نیاز دقیقاً تامین می‌شود (* روی خط چین می‌باشد). بازده کاربرد وضع جاری برابر ۵۹/۸ بوده و با تغییر متغیرها، حداکثر افزایش بازده برابر ۶۸٪ تحت دبی ورودی ۰/۵۸ لیتر بر ثانیه و مدت زمان آبیاری ۶۳ دقیقه حاصل می‌گردد. در وضع موجود این تیمار برای آبیاری اول، دبی ورودی ۰/۸۳ لیتر بر ثانیه و مدت زمان آبیاری ۵۰ دقیقه بوده است. به این ترتیب در تیمارB_2 امکان افزایش بازده کاربرد از ۶۷/۲ درصد موجود به ۶۸/۵ درصد و در ترتیب در تیمارB_3 امکان افزایش از ۵۸/۴ درصد به ۶۹ درصد وجود دارد. ضمناً در تیمارB_3 در این آبیاری، حالت آبیاری بیش از عمق مورد نیاز وجود داشته است. البته در صورت اعمال عمق آب کمتر از عمق مورد نیاز، می‌توان بازده کاربرد را تا ۱۰۰ درصد نیز

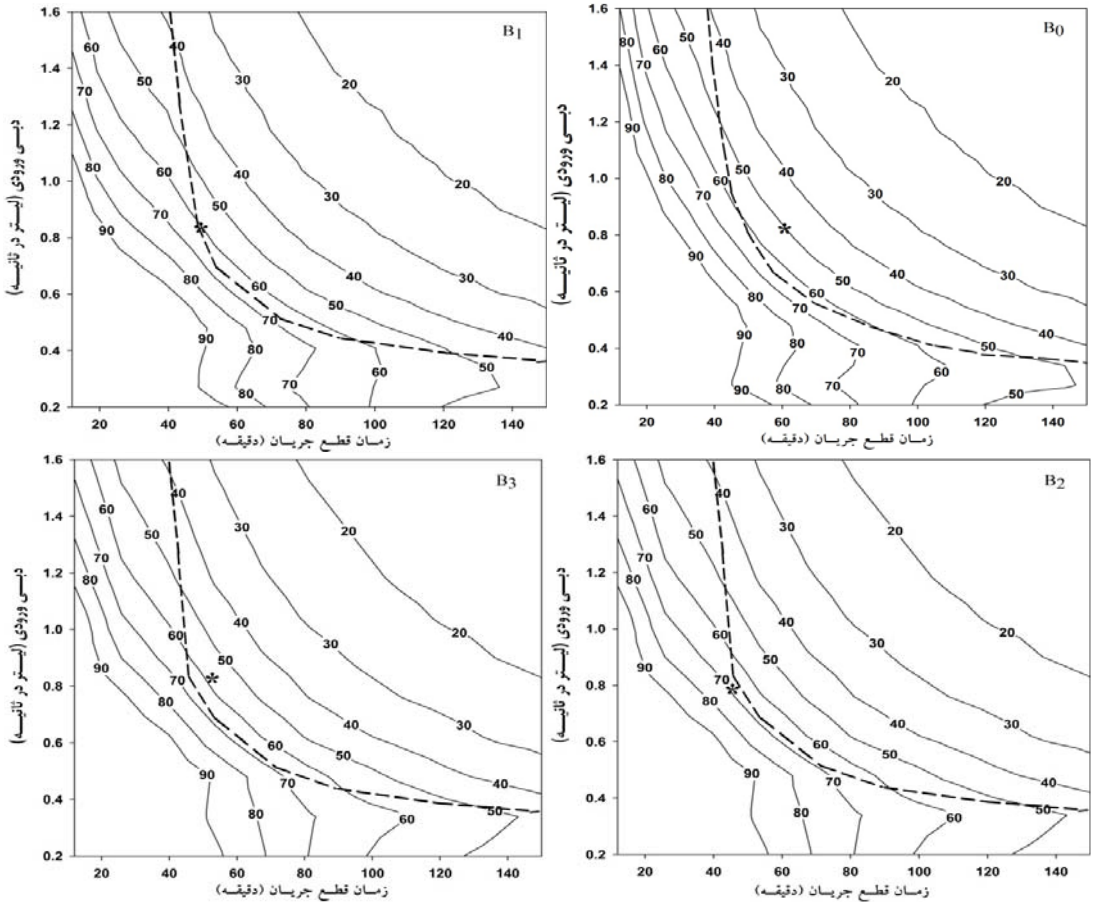
افزایش داد که این حالت، مد نظر در این مطالعه نمی‌باشد. بازده کاربرد را بیش از این مقدار نمی‌توان افزایش داد، زیرا شرایط فیزیکی جویچه از قبیل شیب، طول، هندسه مقطع و پارامترهای معادله نفوذ، شرایط تأمین عمق مورد نیاز را نخواهند داد.

مطابق آبیاری اول (شکل۶)، ترکیبهای بهینه‌ی دبی ورودی و زمان قطع جریان برای تمام آبیاری‌ها در تیمارهای مختلف، استخراج گردید. مقادیر بازده کاربرد حداکثر برای آبیاریها و تیمارهای مختلف در شرایط اعمال بهینه متغیرهای دبی ورودی و مدت زمان آبیاری در جدول ۵ آورده شده است. براساس این جدول، امکان افزایش متوسط مقادیر بازده کاربرد آب تحت متغیرهای دبی و زمان قطع جریان بهینه در تیمارهای مختلف B_0،B_1،B_2 وB_3 به ترتیب تا ۶۵/۵، ۶۷/۷، ۶۸/۷ و ۶۹/۹ درصد وجود دارد. امکان افزایش بیشتر مقادیر بازده کاربرد آب، منوط به تغییر هندسه جویچه از جمله شیب و طول جویچه می‌باشد که در این مطالعه مد نظر قرار نگرفته است.

با فرض متوسط عملکرد ارقام فوق الذکر برای چغندرقند در تیمارهای مختلف، تحت مدیریت بهینه آبیاری براساس ترکیبهای بهینه از دبی و زمان قطع جریان، کارایی مصرف آب افزایش خواهد یافت. کارایی مصرف همزمان باترکیبهای بهینه دبی و زمان قطع جریان، برای چهار تیمار B_0،B_1،B_2 وB_3 به ترتیب ۳/۹۵، ۳/۹۶، ۳/۹۸ و ۴/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی محاسبه شد.

نتیجه‌گیری

تحلیل حساسیت مدل WinSRFR نشان داده است که بیشترین حساسیت مدل نسبت به دبی ورودی، زمان قطع جریان و پارامترهای معادله نفوذ می‌باشد (۵). لذا در این تحقیق پارامترهای معادله نفوذ به جای روش مرسوم دو نقطه‌ای، از روش بهینه‌سازی چند سطحی تعیین گردیدند که در این روش، پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس و ضریب زبری مانینگ، با استفاده از اطلاعات تمام مراحل آبیاری تعیین می‌گردد.



شکل ٦- منحنی‌های هم تراز بازده کاربرد آب (درصد) تحت متغیرهای دبی و زمان قطع جریان برای آبیاری اول در تیمارهای مختلف (وضع موجود با علامت * مشخص شده است)

جدول ۵- مقادیر بازده کاربرد (AE) مدل تحت متغیرهای دبی و زمان قطع جریان بهینه در تیمارهای مختلف تحکیم بستر جویچه

نوبت آبیاری	B_0	B_1	B_2	B_3
۱	۶۵	۶۸	۶۸/۵	۶۹
۲	۶۵/۵	۶۷/۵	۶۹	۶۹
۳	۶۶	۶۷/۵	۶۸	۷۰
۴	۶۵/۵	۶۸	۶۸/۵	۷۱**
۵	۶۵	۶۸	۶۹	۷۰
۶	۶۵/۵	۶۷/۵	۶۹	۷۰
۷	۶۵	۶۷	۶۹	۶۹
۸	۶۵/۵	۶۸	۶۸/۵	۶۹/۵
۹	۶۶	۶۸	۶۹	۷۰
۱۰	۶۶	۶۷/۵	۶۸	۷۰/۵
۱۱	۶۵	۶۷	۶۹	۷۰
۱۲	۶۵/۵	۶۸	۶۹	۷۰
۱۳	۶۵/۵	۶۸	۶۸/۵	۷۰/۵
متوسط	۶۵/۵	۶۷/۷	۶۸/۷	۶۹/۹

**- مقدار بهینه بازده برابر ۷۱ وضع موجود ۸۱/۸ درصد می‌باشد که دلیل آن آبیاری کمتر از عمق مورد نیاز بوده است.

نتایج نشان داد که مدل WinSRFR با واسنجی به روش بهینه-سازی، زمان پیشروی، پسروی، مقدار رواناب و بازده کاربرد آب را با دقت بالا پیش‌بینی نمود. در این مطالعه، متوسط خطای نسبی تخمین زمان پیشروی، پسروی و رواناب توسط مدل به ترتیب ۱/۵، ۳/۴ و ۴/۲ درصد محاسبه گردید. متوسط بازده کاربرد طی ۱۳ آبیاری صورت گرفته برای هر یک از تیمارهای B_0، B_1، B_2 و B_3 به ترتیب ۵۰/۰۳، ۵۵/۷۷، ۶۰/۲۲ و ۶۲/۳۱ درصد و برای متوسط یکنواختی توزیع ربع آخر برای تیمارهای فوق، به ترتیب ۹۳/۸، ۹۳/۶، ۹۲/۸ و ۹۲/۶ درصد به دست آمد.

همچنین تحکیم بستر جویچه باعث افزایش کارایی مصرف آب گردید؛ به طوریکه اعمال سه بار غلطک (B_3) نسبت به شرایط بدون غلطک (B_0)، کارایی مصرف را ۱۷/۸ درصد افزایش داد.

تحت مدیریت بهینه دبی ورودی و زمان قطع جریان توأم با تحکیم بستر، امکان افزایش متوسط بازده کاربردبرای هر یک از تیمارهای B_0، B_1، B_2 و B_3 به ترتیب تا ۶۵/۵، ۶۷/۷، ۶۸/۷ و ۶۹/۹ درصد وجود دارد.

کارایی مصرف آب تیمارها، توأم با ترکیبهای بهینه‌ی دبی و زمان قطع جریان، برای چهار تیمار B_0، B_1، B_2 و B_3 به ترتیب ۳/۹۵، ۳/۹۶، ۳/۹۸ و ۴/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی محاسبه گردید. به این ترتیب با مدیریت بهینه دبی ورودی و زمان قطع جریان در کنار تحکیم بستر، ارتقاء کارایی مصرف آب تا حدود ۲۷ درصد پیش‌بینی می‌گردد.

در این مطالعه امکان افزایش عملکرد آبیاری جویچه‌ای توسط متغیرهای دبی ورودی و زمان قطع جریان بررسی و تحلیل شد. اما شرایط فیزیکی هندسه جویچه از قبیل شیب، طول و نیز شرایط نفوذ جویچه، امکان افزایش شاخص‌های عملکرد را بیش از مقادیر حاصل شده، نمی‌دهد. پیشنهاد می‌گردد که برای دست‌یابی به عملکرد بالاتر، متغیرهایی نظیر شیب و طول جویچه در کنار متغیرهای دبی ورودی و زمان قطع و نیز شرایط بافت خاک متفاوت با این مطالعه، در نظر گرفته شود.

منابع

۱- اسفندیاری م. ۱۳۸۷. بهبود راندمانهای آبیاری با تسطیح لیزری اراضی زراعی. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. خرداد ماه. کرج. صفحات ۲۲۰-۲۰۷.

۲- اجاقلو ح.، قبادی نیا م.، مجدزاده ب.، سهرابی ت. و عباسی ف. ۱۳۸۷. برآورد پارامترهای نفوذ برای شبیه‌سازی جریان پیشروی آب در جویچه. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. خرداد ماه. کرج. صفحات ۳۲۰-۳۱۰.

۳- بهبهانی م.ر. و بابازاده ح. ۱۳۸۴. ارزیابی مزرعه‌ای مدل سیستم آبیاری سطحی SIRMOD. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. (۲)۱۲: ۱۰-۱.

۴- عباسی ف. ۱۳۸۷. روشهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های

آبیاری سطحی. خرداد ماه. کرج. صفحات ۱۲-۱.
۵- عباسی ف. ۱۳۹۱. اصول جریان در آبیاری سطحی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۶- نورجو ا. و محمدی مزرعه ح. ۱۳۸۲. طراحی، ساخت و ارزیابی غلتک های تثبیت شیار ردیفکارها برای بهبود متغییرهای آبیاری. گزارش نهـایی، شماره ۷۸۰۱۵-۲۰-۱۰۲. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجانغربی.
7- Bautista E., Clemmens A.J., Strelkoff T.S., and Schlegel J. 2009a. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. Agricultural Water Management, 96:1146-1154.
8- Bautista E., Clemmens A.J., Strelkoff T.S., and Niblack M. 2009b. Analysis of surface irrigation systems with WinSRFR-Example application. Agricultural Water Management, 96:1162-1169.
9- Bautista E., Strelkoff T., Clemmens A.J., and Zerihun D. 2008. Surface volume estimates for infiltration parameter estimation. In: Babcok, R.W., Walton, R. (Eds.), Proc. World Environmental and Water Resources Congress 2008, ASCE/EWRI. Hon-olulu HI.
10- Bavi A., Boroomand-Nasab S., Naseri A., Naser Gh., and Meskarbashi M. 2012. Effects of infiltration variability on furrow irrigation performances. New York Science Journal, 5(6): 12:19.
11- Bondurant J., and James A. 1983. Predicting soil erosion under furrow irrigation by tractive force theory .ASAE, Paper No.83-2089.
12- Borrelli J., Fornstrom K.J., Brosz D.J., and Jackson G.D. 1982. Sediment yield and its control from fann land in the Bitter Creek drainage at Powell, Wyoming. Final report submitted to State of Wyoming, Department of Environmental Quality, Cheyenne, Wyoming.
13- Clemmens A.J., and Strelkoff T. 1979. Discussion of Strelkoff and Katapodes 1977. J. Irrigation and Drainage Division, ASCE, 104(3): 337-339.
14- Elliott R.L., and Walker W.R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advancefunctions. Transaction of the ASAE,25 (2): 396-400.
15- Fangmeier D.D., and Ramsey M.K. 1978. Intake characteristics of irrigation furrows. Transaction of the ASAE,21 (4): 696-705.
16- Hanson B.R., Prichard T.L., and Schulbach H. 1993. Estimating furrow infiltration. Agricultural Water Management, 24(4): 281–298.
17- Khalid M., and Smith J.L. 1978. Control of furrow infiltration by compaction.Transaction of the ASAE, 21(4): 654-657.
18- Li Z., and Zhang J. 2001. Calculation of field Manning's roughness coefficient. Agricultural Water Management, 49: 153–161.
19- Moravejalahkami B. Mostafazadeh-Fard B., Heidarpour M., and Abbasi F. 2009. Furrow infiltration and roughness prediction for different furrow inflow hydrographs using a zero-inertia model with a multilevel calibration approach. Biosystems Engineering, 103 (3): 371-381.
20- Strelkoff T.S. 1977. Algebraic computation of flow in border irrigation. J. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 103 (3): 357–377.
21- Valipour M. 2012. Comparison of surface irrigation simulation models: Full Hydrodynamic, Zero Inertia, Kinematic Wave. Journal of Agricultural Science, 4 (12): 68-74.
22- Walker W.R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. J.Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 131(2): 129–136.

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 6, Jan.-Feb. 2014, p. 1281-1293

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۲، ص. ۱۲۹۳-۱۲۸۱

Optimization of Furrow Irrigation Performance using WinSRFR under Furrow Firming Conditions of Sugarbeet Cultivation

V. Rezaverdinejad[1*]-A. Norjoo[2]

Received:31-08-2013
Accepted:25-12-2013

Abstract

In order to investigate impactes of furrow firming on furrow irrigation performance, a field experiment was conducted during Sugarbeet growing season in Nagadeh. Four furrow irrigation treatment of furrow firming includes B_1: furrow firming with once roller, B_2: furrow firming with twice roller, B_3: furrow firming with thrice roller and B_0: without furrow firming were considered to collect field data for 1388 period and all evaluation parameters were collected. The surface irrigation model: WinSRFR, was calibrated and evaluated by using field measurements data. Furrow Infiltration and Roughness parameters, was calibrated by multilevel optimization method.The maximum relative error for estimation of advance and recession times and runoff were obtained 2.1, 4.7 and 4.5%, respectively. For 13 irrigation events assessment, application efficiency of B_0, B_1, B_2 and B_3 were obtained 50.03, 55.77, 60.22 and 62.31%, respectively. So as to increase irrigation performance, optimal combinations of cutoff time and inflow rate were extracted for all irrigation events and treatments. Under B_3 furrow firming, the mean water productivity increased about 17.8% compared with without furrow firming. Beside with assumption of optimal cutoff time and inflow rate, water productivity is increasable about 27%.

Keywords: Performance Evaluation, Application Efficiency, Multilevel Optimization, Surface Irrigation Model, Infiltration

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture Urmia University, Urmia
(*- Corresponding Author Email: verdinejad@gmail.com)
2- Researcher, West Azarbayjan Agricultural and Natural Resources Research Center, Urmia