تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶ (ص ۴۸-۳۹)

مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف برآورد معکوس ضرایب معادله نفوذ در شرایط کشت داخل جویچه

پیام کمالی[۱] و حامد ابراهیمیان[۲]*

۱.دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

۲. استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۱۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۳/۲۶)

چکیده

ضرایب معادلات نفوذ نقش اساسی در ارزیابی و طراحی سامانه‌های آبیاری دارند؛ به همین دلیل برای افزایش بازده آبیاری ضروری است که این ضرایب با دقت بالا تخمین زده شوند. در این تحقیق، چهار روش تخمین معکوس ضرایب معادله نفوذ شامل دو نقطه‌ای، بهینه‌سازی چند سطحی، SIPAR-ID و IPARM با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در شرایط کشت داخل جویچه مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند. مطالعه مزرعه‌ای به منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در سال ۱۳۹۳ در کرج انجام گردید. گیاه مورد استفاده در این تحقیق ذرت بود که با دو دبی ۰/۲۹ و ۰/۴۴ لیتر در ثانیه، در هفت نوبت آبیاری شد. براساس ضرایب تخمینی معادله نفوذ، مدل IPARM با متوسط خطای نسبی ۱/۲۴ و ۱/۵۲ درصد و روش بهینه‌سازی چند سطحی با متوسط خطای نسبی ۱/۴۴ و ۱/۵۸ درصد در تخمین حجم آب نفوذ یافته در خاک بهترین عملکرد را به ترتیب در دبی‌های ۰/۲۹ و ۰/۴۴ لیتر در ثانیه داشتند. مدل SIPAR-ID در تخمین ضرایب معادله نفوذ در جویچه‌های کشت شده عملکرد ضعیف و با نوسانات زیاد داشت. علاوه بر این، روش دو نقطه‌ای نیز با متوسط خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد عملکرد قابل‌قبولی در تخمین حجم نفوذ یافته در این بررسی ارائه داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری سطحی، ضرایب معادله نفوذ، رواناب، پیشروی، IPARM، بهینه‌سازی چند سطحی

مقدمه

در بسیاری از مناطق جهان بیش از ۹۰ درصد اراضی فاریاب با روش‌های سطحی آبیاری می‌شوند. مشکل عمده روش‌های آبیاری سطحی پایین بودن بازده آب آبیاری است که بطور عمده از ضعف مدیریت آبیاری ناشی می‌شود. در روش‌های آبیاری سطحی، آبیاری جویچه‌ای نسبت به سایر روش‌های آبیاری سطحی بیشتر استفاده می‌شود و با توسعه کشاورزی مکانیزه سازگارتر است. همچنین نسبت به آبیاری کرتی و نواری حجم کمتری از آب، در واحد عرض مزرعه حرکت می‌کند اما اغلب بازده به اندازه آنها نیست (Abbasi, 2012). کشت داخل جویچه با توجه به مزایای زیاد مانند تبخیر کمتر رطوبت کف جویچه به دلیل سایه انداختن برگ‌ها، کنترل فرسایش در زمین‌های با شیب زیاد و دور ماندن گیاه از نمک تجمع یافته روی پشته، ممکن است در آینده نه چندان دور مورد استقبال کشاورزان واقع شود. نفوذ آب در خاک یکی از عوامل مهم در طراحی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی است. نفوذپذیری از سطح خاک، فرایندی پیچیده بوده و به خواص فیزیکی و شیمیایی آب و خاک وابسته است. نفوذ آب در خاک با زمان و مکان متغیر بوده و ممکن است از یک نقطه مزرعه به نقطه دیگر و از زمانی به زمان دیگر، چندین برابر تغییر کند (Abbasi, 2012). به منظور ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی یک سامانه آبیاری سطحی در مرحله اول نیاز به تعیین ضرایب معادله نفوذ می‌باشد. با تخمین دقیق ضرایب معادله نفوذ، طراحی مناسب‌تری انجام خواهد شد و در نتیجه می‌تواند موجب افزایش بازده آبیاری گردد.

Holzapfel *et al* (2004) در مطالعه‌ای برای به دست آوردن ضرایب معادله نفوذ از چهار روش مختلف استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روش دو نقطه‌ای مناسب‌ترین و روش یک نقطه‌ای ضعیف‌ترین نتیجه را برای برآورد ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف داشتند. Majdzadeh *et al* (2009) مطالعه‌ای برای برآورد ضرایب معادله نفوذ انجام دادند، آنها نشان دادند که روش INFILT و دو نقطه‌ای الیوت و واکر بهترین برآورد را دارند. Moravejalahkami *et al* (2009) در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که روش بهینه‌سازی چند سطحی بهتر از روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر ضرایب معادله نفوذ را برآورد می‌کند. Ramezani Etedali *et al* (2011) برای تخمین ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس از سه مدل EVALUE، SIPAR-ID و

* نویسنده مسئول : ebrahimian@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

INFILT استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد در برآورد حجم آب نفوذ یافته در خاک و در حالت انتها بسته دو مدل EVALUE و SIPAR-ID کمترین خطای نسبی را داشتند. در حالت انتها باز نیز مدل SIPAR-ID دقت بالایی داشت و همچنین نتایج نشان داد که دقت هر سه مدل (بخصوص مدل INFILT) در رژیم کاهش جریان نسبت به جریان ثابت کمتر است. در مطالعه‌ای روش‌های IPARM، INFILT و روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر جهت تخمین ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف و لوئیس مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج نشان داد که مدل IPARM دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین روش می‌باشد (Ebrahimian, 2014). Beykzadeh *et al* (2014) روش‌های بهینه‌سازی چند سطحی و دونقطه‌ای الیوت و واکر را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش بهینه‌سازی چند سطحی در هر دو مرحله پیشروی و پسروی نسبت به روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر بهتر عمل کرده و موجب کاهش خطای شبیه‌سازی می‌شود. در مطالعه‌ای از مدل‌سازی معکوس برای برآورد ضرایب نفوذ و زبری استفاده شد و برای این کار از مدل ریاضی اینرسی- صفر، الگوریتم ژنتیک و هفت تابع هدف استفاده نمودند. نتایج نشان داد که تابع هدفی که می‌تواند اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده زمان‌های پیشروی و پسروی و حجم رواناب را به صورت همزمان بهینه کند، ضرایب نفوذ و زبری را با دقت بالایی تخمین می‌زند (Sedaghatdoost and Ebrahimian, 2014).

بیشتر مطالعاتی که برای ارزیابی روش‌های مختلف تخمین ضرایب معادله نفوذ در آبیاری جویچه‌ای انجام شده است، در حالت کشت روی پشته که کشت معمول آبیاری جویچه‌ای است، بوده است. با توجه به مزیت‌های کشت داخل جویچه لازم است که روش‌های مختلف برآورد ضرایب معادله نفوذ در این نوع کشت مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرند. Bonder and Sepaskhah (2002) در مطالعه‌ای نشان دادند که کشت داخل جویچه باعث افزایش ضریب زبری مانینگ می‌شود. همچنین در تحقیقی که کشت داخل جویچه را در دو سال زراعی مورد بررسی قرار دادند، به این نتیجه رسیدند که کشت داخل جویچه باعث افزایش بهره‌وری و بازده مصرف آب می‌گردد (Shabani *et al*., 2012). در این تحقیق دو روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (Elliott and Walker, 1982) و SIPAR-ID که از داده‌های مرحله پیشروی برای تخمین معکوس ضرایب معادله نفوذ استفاده می‌کنند و همچنین دو روش IPARM و بهینه سازی چند سطحی که علاوه بر داده‌های مرحله پیشروی از داده‌های سایر مراحل آبیاری سطحی برای برآورد معکوس ضرایب معادله نفوذ استفاده می‌کنند، در شرایط کشت داخل جویچه مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

معادله نفوذ کاستیاکوف-لوئیس

معادله نفوذ کاستیاکف-لوئیس برای گستره وسیعی از خاک‌ها مناسب بوده و بیشترین کاربرد را در طراحی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی دارد (Hanson *et al*., 1993):

$$Z = kt^a + f_0 t \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه، Z 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 ($m^3/m/min^a$) ضرایب تجربی معادله نفوذ کاستیاکف-لوئیس می‌باشند. متغیرها بصورت حجم در واحد طول در واحد عرض، به عمق تبدیل می‌شوند.

روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲)

این روش بر اساس معادله‌ی بیلان حجم (پیوستگی) و شکل تابع نمایی مرحله‌ی پیشروی و برای آبیاری جویچه‌ای، توسعه یافته و برای سامانه‌های آبیاری کرتی و نواری نیز قابل استفاده است. مهم‌ترین ویژگی این روش آن است که در مزارع شیب‌دار کاربرد داشته و فقط از داده‌های مرحله پیشروی برای برآورد ویژگی‌های نفوذ استفاده می‌کند. روش دو نقطه‌ای بخشی از فرآیند جریان در تخمین ضرایب نفوذ را نادیده می‌گیرد. در این روش از دو نقطه‌ی میانی و انتهای پیشروی برای تخمین دو ضریب معادله‌ی کوستیاکف-لوئیس (k و a) استفاده می‌شود.

با فرض رابطه‌ی توانی پیشروی (Fok and Bishop, 1965) و لگاریتم گرفتن از طرفین آن برای دو نقطه میانی و انتهای جویچه، ضرایب ثابت r و p محاسبه می‌گردد.

$$x = p\,t^r \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

$$a = \frac{\log\left(\frac{Q t_1}{x_1} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_1}{1+r}\right) - \log\left(\frac{Q t_2}{x_2} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_2}{1+r}\right)}{\log\left(\frac{t_1}{t_2}\right)} \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

$$k = \frac{\frac{Q t_1}{x_1} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_1}{1+r}}{\sigma_z t_1^a} \quad k = \frac{\frac{Q t_1}{x_1} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_1}{1+r}}{\sigma_z t_1^a} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

که در آن: A_0 سطح مقطع ورودی جریان بر حسب مترمربع، x فاصله پیشروی بر حسب متر، t زمان پیشروی بر حسب دقیقه، Q دبی ورودی به جویچه بر حسب مترمکعب در دقیقه، اندیس‌های ۱ و ۲، مربوط به پیشروی تا نصف و انتهای جویچه می‌باشند. σ_y ضریب شکل سطحی بوده (بدون واحد) که

Archive of SID
www.SID.ir

بین ۰/۷ تا ۰/۸ متغیر است و الیوت و واکر (۱۹۸۲) ۰/۷۸ و رونالت و والندر (۱۹۹۷) مقدار ۰/۷۹ را پیشنهاد کردند (در این تحقیق ضریب شکل سطحی ۰/۷۷ در نظر گرفته شد). σ_z نیز ضریب شکل زیرسطحی بوده و از رابطه‌ی (۵) محاسبه می‌گردد (Keifer, 1965):

$$\sigma_z = \frac{a + r(1-a) + 1}{(1+a)(1+r)} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

در این روش، فرض بر این است که f_0 قبلاً از سایر روش‌ها مانند روش ورودی- خروجی تعیین شده است.

بهینه‌سازی چند سطحی

روش بهینه‌سازی چند سطحی، یکی از جدیدترین روش‌های تخمین ضرایب معادله کاستیاکف-لوئیس و نیز ضریب زبری مانینگ می‌باشد که برخلاف روش‌های قبلی، از اطلاعات تمام مراحل آبیاری استفاده می‌نماید (Walker, 2005). عیب این روش نیاز به محاسبات نسبتاً طولانی می‌باشد. روش بهینه‌سازی چند سطحی به یک مدل ریاضی آبیاری سطحی برای شبیه‌سازی هیدرولیک آبیاری نیاز دارد. برای این منظور نرم‌افزار WinSRFR به کار گرفته شد. نرم‌افزار WinSRFR مدل ریاضی یک بعدی برای تحلیل و شبیه‌سازی آبیاری سطحی است که در سال ۲۰۰۶ توسعه یافت و از جمله‌ی مدل‌هایی است که کاربرد زیادی در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی دارد و با دو مدل ریاضی اینرسی صفر و موج کینماتیکی محاسبات را انجام می‌دهد (Bautista *et al.*, 2009). با توجه به اینکه 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 (Abbasi, 2012)، این مدل در این مطالعه نیز به کار گرفته شد.

بر خلاف روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر، f_0 نیز در این روش از داده‌های مراحل آبیاری برآورد می‌شود. علاوه بر ضرایب نفوذ، ضریب زبری مانینگ نیز توسط این روش قابل تخمین است. در این روش ضرایب با استفاده از تحلیل حساسیت، اولویت‌بندی و براساس داده‌های مزرعه‌ای (زمان‌های پیشروی و پسروی و هیدروگراف جریان خروجی) برآورد می‌شوند. حساسیت این داده‌ها به ضرایب 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 (Walker, 2005). روش بهینه‌سازی چند سطحی طی دو گام محاسبات را انجام می‌دهد. گام اول، تخمین اولیه برای ضرایب 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. Walker (2005) با آزمون و خطا، ترتیب تخمین k، f_0، a و n را مناسب‌ترین گزینه پیشنهاد کرد. محاسبات با این روش طولانی و وقت‌گیرتر است ولی ازآنجایی که از داده‌های مراحل مختلف آبیاری استفاده می‌نماید، ازدقت بیشتری برخورداراست. عملیات تکرار تا زمانی ادامه خواهد یافت که خطای پیش‌بینی پیشروی، پسروی و رواناب خروجی توسط ضرایب تخمینی نفوذ و زبری، حداقل گردد.

مدل IPARM

مدل IPARM نرم افزاری است که ضرایب معادله نفوذ کاستیاکوف- لوئیس را براساس معادله بیلان حجمی برآورد می‌کند. در این مدل علاوه بر اطلاعات مرحله پیشروی، از اطلاعات مرحله ذخیره نیز برای برآورد ضرایب معادله نفوذ استفاده می‌شود. به منظور در نظر گرفتن فاز ذخیره در معادله بیلان حجمی، عبارت رواناب خروجی (V_R) به معادله بیلان حجمی اضافه گردید (Gillies and smith, 2005):

$$Qt = V_s + V_I + V_R \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

در این رابطه، V_S و V_I به ترتیب حجم آب ذخیره سطحی و نفوذ یافته، Q دبی و t زمان می‌باشد در مدل بیلان حجمی با فرض فاکتور شکل زیرسطحی (σ_Z)، حجم نفوذ به فرم معمولی (غیردیفرانسیلی) $\sigma_z ZX$ می‌باشد (Abbasi, 2012). با تخمین حجم تجمعی نفوذ (Z) از رابطه کاستیاکف-لوئیس (فرض رابطه ۱ برای تابع Z) و تفکیک σ_Z به اجزای σ_{Z1} و σ_{Z2}، حجم آب نفوذ یافته از سطح خاک (V_I)، با انتگرال‌گیری از رابطه ۱ در طول سطح خیس‌شده، محاسبه می‌گردد (Gillies and smith, 2005; Abbasi, 2012):

$$V_I = \int_{s=0}^{s=x} Z(t - t_s)ds = \left(\sigma_{z1} k t^a + \sigma_{z2} f_0 t\right)x \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

در این رابطه، x طول پیشروی و σ_{Z1} و σ_{Z2} فاکتورهای شکل زیرسطحی هستند.

در ارزیابی سیستم آبیاری جویچه‌ای، عموماً پیشروی و رواناب در گام‌های مکانی و زمانی مشخص اندازه‌گیری می‌شود (Walker and Skogerboe, 1987). هدف توابع زیر، کمینه کردن: ۱- فواصل پیشروی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده طی فاز پیشروی و ۲- حجم رواناب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده طی فاز ذخیره، برای برآورد ضرایب معادله نفوذ می‌باشد:

(رابطه ۸)

$$O.F.1 = SSE_{Advance} = \sum_{i=1}^{N_a} \left(x_i - \frac{Qt_i}{\sigma_y A_0 + \sigma_{z1} k t_i^{\,a} + \sigma_{z2} f_0 t_i} \right)^2$$

Archive of SID

www.SID.ir

(رابطه ۹)

$$O.F.2 = SSE_{Runoff} = \sum_{i=1}^{N_r}\left(V_{Ri} - \left(Qt_i - \sigma_{ys}A_0L - \sigma_{z1}kL - \sigma_{z2}f_0L\right)\right)^2$$

در این رابطه، SSE مربع خطای استاندارد، t_i ،x_i و V_{Ri} به ترتیب فواصل پیشروی اندازه‌گیری شده، زمان و حجم رواناب، N_a تعداد نقاط اندازه‌گیری پیشروی و N_r تعداد حجم رواناب اندازه‌گیری شده (تعداد نقاط هیدروگراف خروجی) می‌باشد. با ترکیب دو تابع هدف، می‌توان مساله را به یک مساله تک هدفه و بدون بعد تبدیل و حل آن را ساده‌تر کرد:

(رابطه ۱۰)

$$O.F. = Min.\left[\frac{\sum_{i=1}^{N_a}\left(x_i - \frac{Qt_i}{\sigma_y A_0 + \sigma_{z1}kt_i^a + \sigma_{z2}f_0t_i}\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{N_a}x_i^2\right)} + \frac{\sum_{i=1}^{N_r}\left(V_{Ri} - \left(Qt_i - \sigma_{ys}A_0L - \sigma_{z1}kL - \sigma_{z2}f_0L\right)\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{N_R}V_{Ri}^2\right)}\right]$$

ضرایب معادله نفوذ (a ،k ،f_0) به عنوان متغیرهای تصمیم مساله بهینه‌سازی مدل IPRAM هستند که از کمینه کردن تابع هدف بالا (معادله ۱۰) برآورد می‌شوند.

مدل SIPAR-ID

SIPAR-ID مدلی تحت ویندوز برای تخمین ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف و ضریب زبری مانینگ در آبیاری سطحی پیشنهاد شده است (Rodriguez and Martos, 2010). محدودیتی از نظر باز یا بسته بودن انتهای مزرعه برای این مدل وجود ندارد. این مدل برای تخمین ضرایب از معادله بیلان حجم و روش حل معکوس استفاده کرده و از شبکه عصبی مصنوعی به منظور به حداقل رساندن اختلاف مرحله پیشروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده استفاده می‌کند. ورودی‌های این مدل شامل هیدروگراف جریان ورودی، فاز پیشروی، شیب کف مزرعه، ضرایب هیدرولیکی و هندسی مقطع و عمق جریان در هر ایستگاه در زمان‌های مختلف است. این مدل توانایی انجام آنالیز حساسیت و عدم قطعیت نتایج خروجی را نیز دارا است. در مدل SIPAR-ID برای شبیه‌سازی فاز پیشروی از مدل بیلان حجم استفاده می‌شود و حل عددی در مدل بر اساس ترکیب معادله بیلان حجمی و شبکه عصبی مصنوعی است. در این مدل از ساده‌ترین رویکرد معادله سنت-ونانت که ادغام معادله پیوستگی بر روی کل جریان سطحی و نفوذ کرده و همچنین جایگزینی معادله دینامیک برای تعیین مشخصات در وسط نیمرخ جریان است، استفاده شده است. این کار باعث تسهیل مدل‌سازی آبیاری سطحی می‌گردد. معادله سنت ونانت بر اصول فیزیکی دو معادله پیوستگی و مومنتم استوار است. این معادلات حل تحلیلی ندارند ولی با در نظر گرفتن یک‌سری فرضیات ساده و معتبر در آبیاری سطحی به راحتی حل می‌شوند. به این ترتیب این مدل از معادله بیلان حجمی در طول مسیر پیشروی جریان آب استفاده می‌کند. در مدل SIPAR-ID همچنین برای یافتن پاسخ بهینه سراسری با همگرایی مناسب از الگوریتم تکاملی تفاضلی[1] استفاده شده است.

داده‌های مزرعه‌ای

برای ارزیابی عملکرد روش‌ها، از اطلاعات آزمایش‌های صحرایی آبیاری جویچه‌ای استفاده گردید. مطالعه در مزرعه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران از خرداد تا مهر ۱۳۹۳ انجام شد. در این مطالعه، فواصل و طول جویچه‌ها به ترتیب ۰/۷۵ و ۱۱۰ متر و شیب طولی مزرعه ۰/۰۱۲ متر بر متر بود. با محصول تحت کشت ذرت علوفه‌ای ۷۰۴ کراس و بافت خاک لوم رسی بود. در این تحقیق هفت سری آزمایش آبیاری جویچه‌ای به صورت انتها باز انجام گردید. جریان‌های ورودی و خروجی توسط فلوم‌های WSC تیپ ۲ برای دو جویچه با دبی-های مختلف (۰/۲۹ و ۰/۴۴ لیتر بر ثانیه) اندازه‌گیری شد. پیشروی و پسروی آب هم در طول جویچه و در فواصل ۱۰ متری اندازه‌گیری شد. ابتدا جویچه‌ها تا وسط شیارکن ایجاد شدند و سپس کشت داخل جویچه به صورت دستی انجام گردید. هفت نوبت آبیاری در طول فصل رشد محصول ذرت برای مقایسه روش‌های مختلف در نظر گرفته شد. داده‌های صحرایی اندازه‌گیری شده در جدول‌های (۱ و ۲) برای جویچه های ۱ و ۲ (به ترتیب مربوط به دبی های کم و زیاد) آورده شده‌اند.

ارزیابی عملکرد روش‌ها

ضرایب نفوذ توسط هر روش، برای هر هفت نوبت آبیاری در طول فصل رشد ذرت برآورد شد. به منظور بررسی دقت و صحت روش‌های برآورد ضرایب نفوذ، کل حجم آب نفوذ یافته پیش-بینی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده، برای هر جویچه آزمایشی مقایسه شد. مجموع حجم آب نفوذ یافته اندازه‌گیری شده داخل خاک از تفاوت بین حجم آب ورودی و خروجی جویچه بدست آمد. حجم کل آب نفوذ یافته پیش‌بینی شده با استفاده از قانون ذوزنقه‌ای تخمین زده شد:

$$V_t = \sum_{i=1}^{n-1}\left(L_i\left(\frac{Z_i + Z_{i+1}}{2}\right)\right) \qquad \text{(رابطه ۱۱)}$$

در این رابطه، n تعداد ایستگاه‌ها، L_i فاصله ایستگاه‌ها بر حسب متر، Z_i و Z_{i+1} به ترتیب نفوذ تجمعی بر حسب متر

1. Differential Evolutionary

Archive of SID

www.SID.ir

مکعب بر متر برای ایستگاه i و $i+1$ام می‌باشد. درصد خطای نسبی (Relative Error) نیز برای ارزیابی روش‌های برآورد ضرایب نفوذ، از رابطه زیر محاسبه شد:

$$RE = \frac{V_p - V_m}{V_m} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۱۲)}$$

در این رابطه، V_m و V_p به ترتیب مقدار اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده حجم کل آب نفوذ یافته می‌باشند. همچنین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای ارزیابی و مقایسه روش‌ها محاسبه گردید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - M_i)^2}{n}} \qquad \text{(رابطه ۱۳)}$$

در این رابطه، M_i و P_i به ترتیب مقدار اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده و n تعداد نمونه است.

جدول ۱- مشخصات داده‌های صحرایی مورد استفاده برای هفت نوبت آزمایش برای جویچه ۱ (دبی کم)

پارامتر آبیاری	شماره آبیاری						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
دبی ورودی (lit/s)	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۹
حجم رواناب (lit)	۱۶۹۶	۱۸۳۷	۱۲۰۲	۱۰۶۷	۱۰۹۳	۱۴۳۳	۸۷۸
زمان قطع جریان (min) (min)	۲۲۹	۲۴۵	۲۳۰	۲۰۰	۲۲۵	۲۲۰	۱۶۵
زمان پیشروی (min)	۵۱	۵۹/۵	۷۳	۶۱/۵	۶۷/۵	۷۱	۶۳
زمان پسروی (min)	۱۶	۱۶	۱۸	۱۹/۵	۱۸	۱۸	۱۷

جدول ۲- مشخصات داده‌های صحرایی مورد استفاده برای هفت نوبت آزمایش برای جویچه ۲(دبی زیاد)

پارامتر آبیاری	شماره آبیاری						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
دبی ورودی (lit/s)	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴
حجم رواناب (lit)	۲۶۳۴	۳۱۰۴	۲۷۲۱	۱۹۰۷	۲۲۵۵	۲۶۵۲	۱۷۱۹
زمان قطع جریان (min)	۲۲۹	۲۲۰	۲۰۵	۱۵۰	۱۸۰	۲۰۰	۱۴۵
زمان پیشروی (min)	۴۵/۵	۴۴	۴۴/۶	۳۹/۵	۳۹/۵	۴۰	۴۱
زمان پسروی (min)	۱۶	۱۸	۲۰	۱۹	۱۸/۵	۱۸/۵	۱۸

نتایج و بحث

ضرایب معادله نفوذ

مقادیر ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف- لوئیس برای هر نوبت آبیاری توسط روش‌های IPARM، بهینه‌سازی چند سطحی،SIPAR-ID و دو نقطه‌ای الیوت و واکر استخراج شد که به ترتیب در جدول‌های (۳ تا ۶) ارائه گردید. مدل‌های IPARM و بهینه‌سازی چند سطحی ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف– لوئیس را بصورت مستقل برآورد می‌کنند ولی در روش دو نقطه‌ای از روش ورودی-خروجی برای بدست آوردن سرعت نفوذ نهایی استفاده شد. مدل SIPAR-ID نیز ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف را تخمین می‌زند و سرعت نفوذ نهایی را ارائه نمی‌دهد. چون مدل SIPAR-ID مقدار سرعت نفوذ نهایی را برآورد نمی‌کند، مقدار ضریب a را در اکثر آبیاری‌ها بیشتر از روش‌های دیگر برآورد کرد. مدل IPARM به جز آبیاری ششم که مقدار سرعت نفوذ نهایی را صفر برآورد کرد، در تمام آبیاری-ها برای سرعت نفوذ نهایی مقداری برآورد کرد. تغییرات ضریب a در مدل IPARM که به ترتیب بین ۰/۴۰۷-۰/۰۸۷۷ بود نسبت به سایر روش‌ها نوسان زیادی داشت. اما روش بهینه‌سازی چند سطحی ضریب a را بین ۰/۲۲-۰/۱۷ برآورد کرد که نوسانی کمتری نسبت به بقیه روش‌ها داشت. نفوذ نهایی روش دو نقطه‌ای که توسط روش ورودی- خروجی تعیین شد به نسبت سایر روش‌هایی که نفوذ نهایی را پیش‌بینی می‌کنند، مقدار بیشتری داشت. روش دو نقطه‌ای مقدار ضریب a را در چند آبیاری صفر پیش‌بینی کرد. همه روش‌ها نیز در برآورد ضریب k عملکرد یکسانی داشتند و مقدار k تقریباً در همه روش‌ها در یک محدوده (۰/۰۰۲-۰/۰۰۴۵) بود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف- لوئیس به دست آمده توسط مدل IPARM در نوبت‌های مختلف آبیاری در جویچه‌های آزمایشی

نوبت آبیاری	شماره جویچه	a (-)	k ($m^3/\min^a/m$)	f_0 ($m^3/\min/m$)
اول	۱	۰/۱۵۹	۰/۰۰۳۵۵	۰/۰۰۰۰۷۱۲
	۲	۰/۰۸۷۷	۰/۰۰۴۵۹	۰/۰۰۰۱۰۱
دوم	۱	۰/۲۹۱	۰/۰۰۲۴۲	۰/۰۰۰۰۴۵۸
	۲	۰/۲۲۲	۰/۰۰۳۳۱	۰/۰۰۰۰۵۸۹
سوم	۱	۰/۲۱۳	۰/۰۰۳۱۳	۰/۰۰۰۰۷۲۶
	۲	۰/۱۸۱	۰/۰۰۴۰۲	۰/۰۰۰۰۶۹۶
چهارم	۱	۰/۱۹	/۰۰۲۴۸	۰/۰۰۰۰۷۲
	۲	۰/۲۵۴	۰/۰۰۲۷۲	۰/۰۰۰۰۶۵۹
پنجم	۱	۰/۲۸۸	۰/۰۰۲۰۲	۰/۰۰۰۰۶۵۸
	۲	۰/۲۲۶	۰/۰۰۲۹۱	۰/۰۰۰۰۷۳۷
ششم	۱	۰/۴۰۷	۰/۰۰۲۱۱	۰
	۲	۰/۲۹۳	۰/۰۰۲۵۴	۰/۰۰۰۰۵۹
هفتم	۱	۰/۲۴۹	۰/۰۰۲۴۱	۰/۰۰۰۰۶۰۶
	۲	۰/۲۸	۰/۰۰۲۸۷	۰/۰۰۰۰۵۲۸

جدول ۴- ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف- لوئیس به دست آمده توسط روش بهینه‌سازی چند سطحی در نوبت‌های مختلف آبیاری در جویچه‌های آزمایشی

نوبت آبیاری	شماره جویچه	a (-)	k ($m^3/\min^a/m$)	f_0 ($m^3/\min/m$)
اول	۱	۰/۱۷	۰/۰۰۳۴۴	۰/۰۰۰۰۷۲۵
	۲	۰/۱۸	۰/۰۰۳۰۲	۰/۰۰۰۰۹۸۸
دوم	۱	۰/۱۸	۰/۰۰۳۱۶	۰/۰۰۰۰۶۳۷
	۲	۰/۱۷	۰/۰۰۳۲۲	۰/۰۰۰۰۷۱۳
سوم	۱	۰/۱۹	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۷۶۳
	۲	۰/۱۷	۰/۰۰۳۰۷	۰/۰۰۰۰۸
چهارم	۱	۰/۱۹	۰/۰۰۲۴۸	۰/۰۰۰۰۷۲۵
	۲	۰/۱۹	۰/۰۰۲۴۵	۰/۰۰۰۰۸۷۵
پنجم	۱	۰/۱۹	۰/۰۰۲۵۱	۰/۰۰۰۰۸
	۲	۰/۱۹	۰/۰۰۲۵۱	۰/۰۰۰۰۹
ششم	۱	۰/۲۲	۰/۰۰۲۳۲	۰/۰۰۰۰۵۵
	۲	۰/۱۹	۰/۰۰۲۷۲	۰/۰۰۰۰۸
هفتم	۱	۰/۲۲	۰/۰۰۲۵۳	۰/۰۰۰۰۶۷۵
	۲	۰/۱۹	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۰۰۸۲۵

جدول ۵- ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف- لوئیس به دست آمده توسط مدل SIPAR-ID در نوبت‌های مختلف آبیاری در جویچه‌های آزمایشی

نوبت آبیاری	شماره جویچه	a (-)	k ($m^3/\min^a/m$)
اول	۱	۰/۴۳۱	۰/۰۰۱۹۱
	۲	۰/۲۸۲	۰/۰۰۳۱۶
دوم	۱	۰/۴۰۹	۰/۰۰۱۹۲
	۲	۰/۳۲۱	۰/۰۰۳۲۴
سوم	۱	۰/۳۸۹	۰/۰۰۲۲۲
	۲	۰/۱۹۹	۰/۰۰۴۰۹
چهارم	۱	۰/۳۵۵	۰/۰۰۲۰۶
	۲	۰/۳۱۹	۰/۰۰۲۵۳
پنجم	۱	۰/۴۷۸	۰/۰۰۱۴۵
	۲	۰/۳۵۲	۰/۰۰۲۲۹
ششم	۱	۰/۴۰۸	۰/۰۰۱۸
	۲	۰/۴۰۵	۰/۰۰۲۰۱
هفتم	۱	۰/۴۶۴	۰/۰۰۱۵۵
	۲	۰/۳۴۶	۰/۰۰۲۴۸

جدول ۶- ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف- لوئیس به دست آمده توسط روش دو نقطه‌ای الیوت واکر در نوبت‌های مختلف آبیاری در جویچه‌های آزمایشی

نوبت آبیاری	شماره جویچه	a (-)	k ($m^3/\min^a/m$)	f_0 ($m^3/\min/m$)
اول	۱	۰/۳۲۹	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۰۸۷۳
	۲	۰	۰/۰۰۳۰۲	۰/۰۰۰۱۲
دوم	۱	۰/۰۹۶	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۰۰۷۹۱
	۲	۰	۰/۰۰۹۴	۰/۰۰۰۰۸۳۴
سوم	۱	۰/۱۱۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۰۰۸۸۹
	۲	۰/۰۵	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۰۰۸۳۴
چهارم	۱	۰/۰۶۵	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۰۰۸۱۳
	۲	۰	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۰۱۰۱
پنجم	۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۸۶۲
	۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۰۰۹۸۷
ششم	۱	۰/۲۹	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۶۵۲
	۲	۰/۱۶۲	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۰۰۹۱۱
هفتم	۱	۰/۱۳۹	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۰۰۸۴
	۲	۰/۰۶۲	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۰۰۹۱۱

مقایسه روش‌های تخمین ضرایب نفوذ

خطای نسبی روش‌های مختلف تخمین ضرایب معادله نفوذ در جدول‌های (۷ و ۸) ارائه شده است. تقریباً می‌توان گفت که افزایش دبی به جز روش SIPAR-ID که باعث افزایش ۱۵ درصدی متوسط خطای نسبی در تخمین حجم آب نفوذ یافته در خاک شد، در مورد سایر روش‌ها تأثیر چندانی بر روی نتایج ندارد. متوسط خطای نسبی مدل IPARM برای دو دبی کمتر از دو درصد است که نشان از عملکرد خوب مدل IPARM در برآورد حجم آب نفوذ یافته در خاک است. روش بهینه‌سازی نیز عملکرد خوبی در برآورد حجم آب نفوذ یافته در خاک داشت و متوسط خطای نسبی آن به جز جویچه کشت شده با دبی زیاد که ۲/۵۲ درصد است کمتر از دو درصد بود که مقدار خطای نسبی قابل قبول و خوبی می‌باشد. روش بهینه‌سازی چند سطحی نیز در همه نوبت‌های آبیاری عملکرد کم نوسانی داشت.

Archive of SID
www.SID.ir

مدل IPARM و روش بهینه‌سازی چند سطحی در مطالعاتی که در جویچه‌های بدون کشت برای برآورد ضرایب معادله نفوذ مورد استفاده قرار گرفته بودند نیز عملکرد قابل قبولی داشتند. مدل SIPAR-ID به دلیل اینکه سرعت نفوذ نهایی را برآورد نمی‌کند در تمام آبیاری‌ها کم برآورد داشت و مقدار حجم آب نفوذ یافته را کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده آن برآورد کرد. متوسط خطای نسبی این روش به جز جویچه بدون کشت با دبی کم که ۱۰ درصد است در مورد جویچه‌های دیگر بیشتر از ۲۰ درصد است. در بررسی جداگانه نوبت‌های آبیاری نیز مدل SIPAR-ID عملکرد خوبی نداشت و خطای نسبی آن بین ۱۰- تا ۵۱- درصد متغیر بود. با اینکه مدل SIPAR-ID در مطالعات گذشته در جویچه‌های بدون کشت، مدل مناسبی برای برآورد ضرایب معادله نفوذ گزارش شده است، اما در این مطالعه برآورد قابل قبول و مناسبی ارائه نداد. متوسط خطای نسبی در روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر قابل قبول است به طوری که متوسط خطای نسبی آن برای جویچه‌های بدون کشت و کشت شده در دو دبی کم و زیاد، کمتر از ۱۰ درصد بدست آمد. در بررسی جداگانه خطای نسبی روش دو نقطه‌ای برای آبیاری‌های مختلف مشخص شد که عملکرد این روش دارای نوسان بود به طوری که خطای نسبی آن بین ۱/۷- تا ۱۴/۶ درصد متغیر بود. روش دو نقطه‌ای به جز سه نوبت آبیاری در تمام آبیاری‌ها بیش برآورد داشت. در کل روش‌های IPARM و بهینه‌سازی چند سطحی در برآورد حجم آب نفوذ یافته در خاک عملکرد بسیار مناسب و کم نوسانی داشتند و روش‌هایی که علاوه بر داده‌های مرحله پیشروی از داده‌های سایر مراحل آبیاری سطحی برای برآورد ضرایب معادله نفوذ استفاده می‌کنند برآورد دقیق‌تری دارند. همچنین می‌توان گفت روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر عملکرد متوسطی در تخمین ضرایب نفوذ داشت و با توجه به اینکه به داده‌های کمتری برای برآورد ضرایب نفوذ نیاز دارد در بعضی موارد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مدل SIPAR-ID برآورد مناسبی برای ضرایب معادله نفوذ نداشت و خطای نسبی بالا و نوسان بسیار زیادی داشت.

جدول ۷- درصد خطای نسبی مدل IPARM و روش بهینه‌سازی چند سطحی در تخمین حجم کل آب نفوذ یافته

روش‌ها	IPARM		بهینه‌سازی چند سطحی	
نوبت آبیاری	دبی زیاد	دبی کم	دبی زیاد	دبی کم
اول	-۱/۱۳	-۱/۸۹	-۱/۳۸	۰/۳۲
دوم	-۱/۳۳	-۰/۵۸	۲/۳۷	۲/۸۱
سوم	۶/۶۲	۲/۷	۲/۲۳	۲/۱۲
چهارم	-۰/۳۵	۰/۴۲	-۱/۲۷	۰/۹۳
پنجم	۰/۴۵	-۰/۵۶	۱/۳	۱/۴۱
ششم	۰/۷۲	۱/۷۶	-۱/۶۵	۱/۷۶
هفتم	۰/۶۷	-۰/۷۹	۰/۴۱	۰/۷۲
میانگین	۱/۵۲	۱/۲۴	۱/۵۸	۱/۴۴

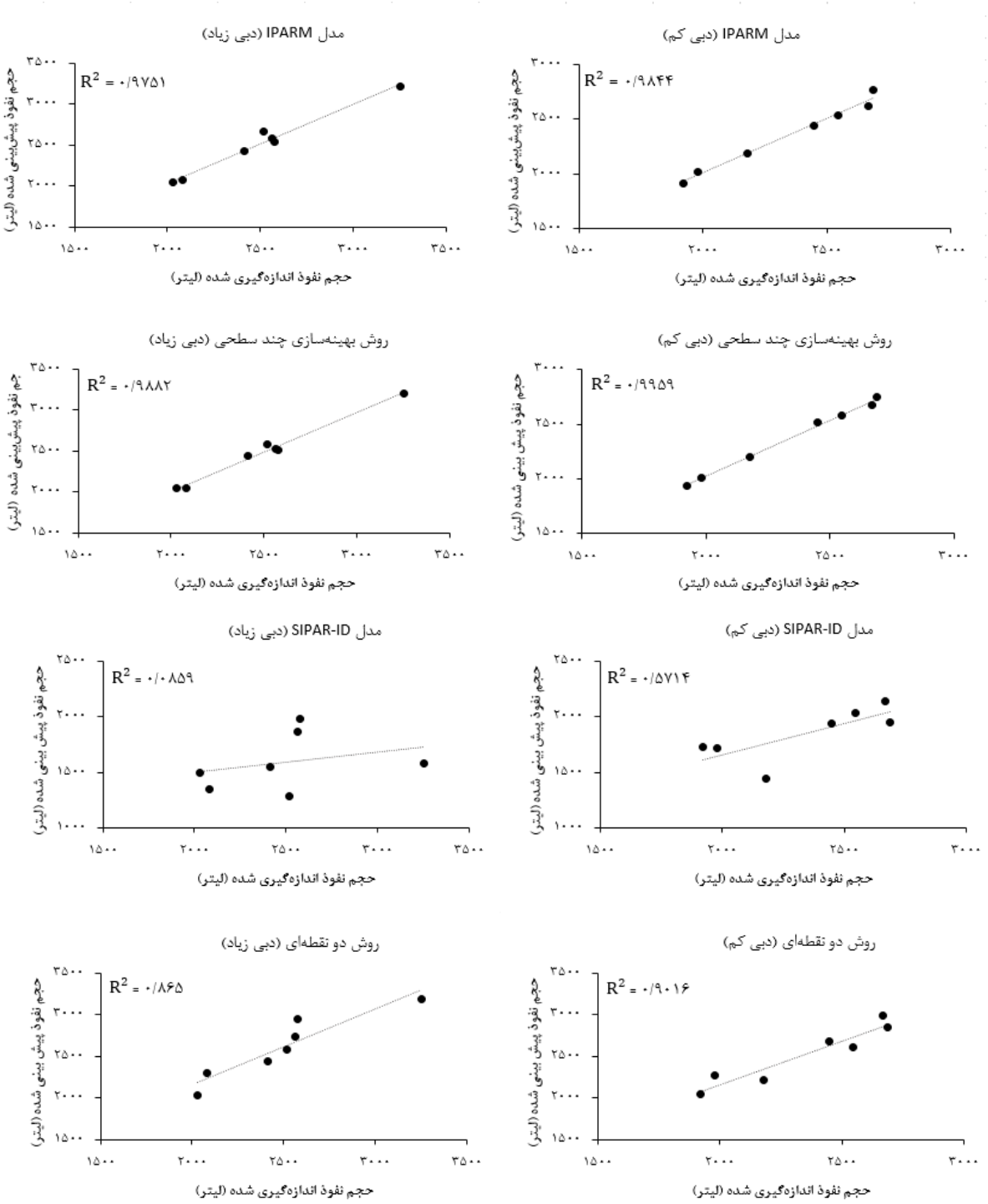
جدول ۸- درصد خطای نسبی روش دو نقطه‌ای و مدل SIPAR-ID در تخمین حجم کل آب نفوذ یافته

روش‌ها	دو نقطه‌ای		SIPAR-ID	
نوبت آبیاری	دبی زیاد	دبی کم	دبی زیاد	دبی کم
اول	-۱/۷۹	۱۲/۰۷	-۵۱/۴۱	-۲۰/۰۳
دوم	۱۴/۴۶	۹/۶	-۲۳/۱۵	-۲۰/۹۹
سوم	۲/۳۸	۵/۸۸	-۴۸/۹۶	-۲۷/۳۶
چهارم	۱۰/۰۸	۱/۶۱	-۳۵/۲۲	-۳۳/۸۷
پنجم	۱/۴	۲/۲۶	-۳۵/۸۲	-۲۰/۰۹
ششم	۷/۰۶	۱۴/۵۷	-۲۷/۰۸	-۱۳/۱
هفتم	-۰/۳۲	۶/۷۹	-۲۶/۴۲	-۱۰/۱۹
میانگین	۵/۳۶	۷/۵۴	۳۵/۴۴	۲۰/۸

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی حجم کل آب نفوذ یافته توسط روش‌های مختلف و برای آبیاری‌های مختلف در شکل (۱) ارائه شده است. مقدار ضریب تعیین برای مدل IPARM برای هر دو دبی بالای ۰/۹۷ بدست آمد که نشان دهنده دقت بالای مدل IPARM و نوسان کم این روش است. برای روش بهینه‌سازی چند سطحی نیز ضریب تعیین مقداری بالا و نزدیک به یک دارد که بیانگر دقت بالای این روش و همبستگی بالای بین مقادیر پیش‌بینی شده حجم آب نفوذ یافته توسط این روش و مقدار اندازه‌گیری شده است. مقدار ضریب تعیین به دست آمده برای روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر برای دبی‌های مختلف حدود ۰/۹ است، هرچند مقدار ضریب تعیین در این روش از دو روش IPARM و بهینه‌سازی چند سطحی کمتر است ولی قابل قبول می‌باشد. در این تحقیق مقدار ضریب تعیین مدل SIPAR-ID بسیار پایین به دست آمد.



شکل ۱- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده حجم آب نفوذ یافته توسط روش‌های مختلف

www.SID.ir

جدول ۹- مقادیر ریشه میانگین مربعات روش‌های مختلف (بر حسب لیتر) در تخمین حجم آب نفوذ یافته در داخل جویچه

جویچه	IPARM	بهینه‌سازی چند سطحی	SIPAR-ID	دو نقطه‌ای
جویچه ۱	۱۴/۱	۱۵/۰۹	۲۰۲/۲	۷۶/۷۷
جویچه ۲	۲۳/۱۴	۱۶/۲۹	۳۷۰/۵۸	۶۷/۵۹

ریشه میانگین مربعات میانگین روش‌های مختلف برآورد ضرایب معادله نفوذ در جدول (۹) ارائه شده است. در این بررسی نیز دو روش IPARM و بهینه‌سازی چند سطحی که علاوه بر داده‌های مرحله پیشروی از داده‌های سایر مراحل آبیاری سطحی برای برآورد ضرایب معادله نفوذ استفاده می‌کنند عملکرد بهتری داشتند. اما روش بهینه‌سازی چند سطحی نسبت به مدل IPARM به زمان محاسباتی طولانی‌تری نیاز دارد. روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر با اینکه داده‌های کمتری نسبت به روش‌های IPARM و بهینه‌سازی چند سطحی نیاز دارد و فقط از داده‌های مرحله پیشروی برای تخمین ضرایب نفوذ استفاده می‌کند، عملکرد تقریبا خوبی داشت و در صورتی که فقط داده-های مرحله پیشروی موجود باشد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مدل SIPAR-ID عملکرد مناسبی ارائه نکرد و خطای این روش بسیار زیاد بود و استفاده از آن به منظور تخمین ضرایب معادله نفوذ خطای زیادی به همراه داشت.

در این مطالعه دو روش IPARM و بهینه سازی چند سطحی در برآورد ضرایب معادله نفوذ در جویچه‌های کشت شده عملکرد مناسبی ارائه دادند. Moravejalahkami *et al* (2009) در مطالعه‌ای که در جویچه‌های بدون کشت انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که روش بهینه‌سازی چند سطحی بهتر از روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر ضرایب معادله نفوذ را برآورد می-کند. Ebrahimian (2014) نیز مدل‌های IPARM، INFILT و روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر را برای تخمین ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف و لوئیس مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل IPARM دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین روش در جویچه‌های بدون کشت می‌باشد.

روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر نیز در این مطالعه عملکرد قابل قبولی ارائه داد. Beykzadeh *et al* (2014) روش‌های بهینه‌سازی چند سطحی و دونقطه‌ای الیوت و واکر را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش بهینه‌سازی چند سطحی در هر دو مرحله پیشروی و پسروی نسبت به روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر بهتر عمل کرده و موجب کاهش خطای شبیه‌سازی می‌شود. با اینکه در مطالعات گذشته و جویچه‌های بدون کشت عملکرد مدل SIPAR-ID مناسب گزارش شده بود، اما مدل SIPAR-ID در این مطالعه در تخمین ضرایب معادله نفوذ در جویچه‌های کشت شده عملکرد بسیار ضعیفی داشت. Etedali *et al* (2011) برای تخمین ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس از سه مدل EVALUE، SIPAR-ID و INFILT استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد در برآورد حجم آب نفوذ یافته در خاک و در حالت انتها بسته دو مدل EVALUE و SIPAR-ID کمترین خطای نسبی را داشتند. در حالت انتها باز نیز مدل SIPAR-ID دقت بالایی داشت و همچنین نتایج نشان داد که دقت هر سه مدل (بخصوص مدل INFILT) در رژیم کاهش جریان نسبت به جریان ثابت کمتر است.

نتیجه‌گیری

روش‌های مختلف برآورد ضرایب معادله نفوذ در شرایط کشت در داخل جویچه مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. در این بررسی، روش‌های IPARM و بهینه‌سازی چند سطحی عملکرد بسیار خوبی در برآورد ضرایب معادله نفوذ در جویچه‌های کشت شده داشتند و با متوسط خطای نسبی کمتر از دو درصد و نوسان بسیار کم در پیش‌بینی‌ها به عنوان بهترین روش‌ها برای تخمین ضرایب معادله نفوذ معرفی شدند. این دو روش علاوه بر داده‌های مرحله پیشروی، برای تخمین ضرایب نفوذ به داده‌های سایر مراحل آبیاری سطحی نیز نیاز دارند و تفاوت آنها در این است که روش IPARM مدلی کاربردوست می‌باشد و با در دست داشتن ورودی به سادگی قابل اجرا می‌باشد؛ حال آنکه روش بهینه‌سازی علاوه بر یک مدل ریاضی به محاسبات نسبتاً طولانی نیز برای محاسبه ضرایب معادله نفوذ نیاز دارد. در ضمن روش IPARM فقط ضرایب معادله نفوذ را برآورد می‌کند اما روش بهینه‌سازی چند سطحی علاوه بر این ضرایب، ضریب زبری مانینگ را نیز برآورد می‌کند. بعد از این دو روش که عملکرد بسیار خوبی داشتند روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲) نیز برآورد نسبتاً خوبی داشت و با متوسط خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد و با توجه به اینکه به داده‌های کمتری نسبت به دو روش IPARMو بهینه‌سازی چند سطحی نیاز دارد و برای برآورد ضرایب معادله نفوذ از داده‌های مرحله پیشروی استفاده می‌کند عملکرد قابل قبولی ارائه داد. مدل SIPAR-ID نیز در این تحقیق عملکرد قابل قبولی در شرایط کشت داخل جویچه ارائه نداد و چون این روش سرعت نفوذ نهایی را برآورد نمی‌کند در همه آبیاری‌ها کم برآورد داشت که در بعضی آبیاری‌ها بیش از ۳۰ درصد خطا هم بدست آمد.

Archive of SID

www.SID.ir

REFERENCES

Abbasi, F. (2012). Principle Flow in Surface Irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID), p. 232, Tehran, Iran.

Bautista E., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S. and Schlegel, J. (2009). Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR, Agricultural Water Management. 96(1), 1146-1154.

Beykzadeh, E., Ziaei, A. N., Davari, K., and Ansari, H. (2014). Finding the Optimum Infiltration and Roughness Parameters Irrigation Using Complete Hydrodynamic Model. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 8 (3), 549-555. (In Farsi)

Ebrahimian, H. (2014). Soil Infiltration Characteristics in Alternate and Conventional Furrow Irrigation using Different Estimation Method, KSCE Journal of Civil Engineering, 18(6), 1904-1911.

Elliott, R. L. and W. R. Walker (1982). Field evaluation of furrow infiltration and advance functions, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 25(2), 396- 400.

Fok, Y.S., A.A. Bishop, (1965). Analysis of water advance in surface irrigation, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 91 (1), 99-116.

Gillies, M. H. and Smith, R. J. (2005). Infiltration parameters from surface irrigation advance and run-off data. Irrigation Science, 24(1), 25-35.

Hanson, B. R., Prichard, T. L. and Schulbach, H. (1993). Estimating furrow infiltration. Agricultural Water Management, 24(4), 281–298.

Holzapfel, E.A., J. Jana, C. Zuniga, M.A. Marino, J. Paredes, and M. Billib, 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation, Agricultural Water Management, 68(1), 19–32.

Keifer, F. W., 1965. Average depth of absorbed water in surface irrigation. Special Publication, Dept. of Civil Engineering, Utah State Univ. Logan, Utah.

Majdzadeh, B., Ojaghloo, H., Ghaobadi-Nia, M., Sohrabi, T. and Abbasi, F. (2009). Estimating infiltration parameter for simulation of advance flow in furrow irrigation, International Conference on Water Resources (ICWR 2009).

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.

Ramezani Etedali, H., Ebrahimian, H., Abbasi, F. and Liaghat, A. (2011). Evaluation of EVALUE, SIPAR_ID and INFILT Models for Estimating of Kostiakov infiltration parameters in Furrow Irrigation, Journal of Irrigation Science and Engineering, 35(1), 1-10. (In Farsi)

Rodriguez, J. A. and Martos, J. C. (2010). SIPAR_ID: Freeware for surface irrigation parameter identification. Journal of Environmental Modelling& Software, 25(1), 1478-1488.

Sedaghatdoost, A. and Ebrahimian, H. (2014). The application of inverse modeling to estimate infiltration and roughness coefficients in alternate and conventional furrow irrigation. Iranian Journal of Soil and Water Research, 45(2), 147-154. (In Farsi)

Sepaskhah, A. R. and Bonder, H. (2002). Estimation of manning roughness coefficient for bare and vegetated furrow irrigation, Journal of Biosystems Engineering, 82 (3), 351–357.

Shabani, A., Sepaskhah, A. R. and Kamgar-Haghighi, A. (2012). Responses of agronomic components of rapeseed (Brassica napus L.) as influenced by deficit irrigation, water salinity and planting method, International Journal of Plant Production, 7 (2), 313-340.

Walker, W. R., (2005). Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. Irrigation and Drainage Engineering 131(2), 129–136.

Walker, W. R. and Skogerboe, G. (1987). Surface Irrigation: Theory and Practice. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Archive of SID

www.SID.ir