

مقایسه و بهبود روش‌های طراحی سیستم آبیاری سطحی (مطالعه موردی آبیاری جویچه‌ای)

زهرا تقی‌زاده^۱، حسین رضایی^۲، وحید رضوردی‌نژاد^{۳*}

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۲۸

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

^۲ - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

^۳ - استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: v.verdinejad@urmia.ac.ir

چکیده

پایین بودن بازده آب آبیاری مشکل اصلی روش‌های آبیاری سطحی می‌باشد. به منظور مقایسه و بهبود روش‌های طراحی آبیاری جویچه‌ای شامل روش SCS، FAO، تعادل حجمی، موج کینماتیک و اینرسی-صفر، آزمایش‌های صحرایی برای اندازه‌گیری پارامترهای طراحی آبیاری جویچه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که برای دقت بیشتر طراحی، معادله نفوذ باید به روش بیلان حجمی به دست آید. همچنین در روش SCS نسبت دادن یک خانواده نفوذ به داده‌های اندازه‌گیری شده سبب به وجود آمدن خطا در محاسبات می‌شود. برای دقیق‌تر شدن طراحی، معادله زمان پیشروی در روش SCS و روش تعادل حجمی باید اصلاح شود. با اصلاح رابطه زمان پیشروی روش SCS، جذر میانگین مربعات خطای زمان پیشروی (RMSE) از ۱۰/۳۶ دقیقه به ۲/۳۴ دقیقه و ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) از ۰/۴- به ۰/۱۹- تغییر می‌یابد. با اصلاح روش تعادل حجمی و استفاده از روابط عبارت ذخیره سطحی، زیرسطحی و معادله نفوذ کوستیاکوف-لوئیس، RMSE زمان پیشروی از ۸ دقیقه به ۶/۲۶ دقیقه و CRM زمان پیشروی از ۰/۳۲ به ۰/۲۵ کاهش پیدا می‌کند. در روش تعادل حجمی اصلاح شده، باید گام‌های زمانی کوتاه و تکرار بیشتری در حل گام‌به‌گام صورت گیرد تا خطای کمتری در محاسبات به وجود آید. برای طراحی به روش اینرسی-صفر و موج کینماتیک که جزء دقیق‌ترین روش‌ها می‌باشند، منحنی‌های هم‌تراز ایجاد شده با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR4.1 به کاربر اجازه می‌دهند تا با لحاظ محدودیت‌های عملی و هیدرولیکی و با آزمون و خطا به جستجوی ترکیب متغیرهای موردنظری بپردازد که منجر به سطوح بالایی از یکنواختی و کارایی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اینرسی صفر، تعادل حجمی، روش FAO، روش SCS، موج کینماتیک

Comparison and Improvement of Surface Irrigation Design Methods (Case Study Furrow Irrigation)

Z Taghizadeh¹, H Rezaei², V Rezaerdinejad^{*3}

Received: 12 Septebre 2015 Accepted: 18 July 2016

¹- M.Sc. Student of Irrigating and Drainage, Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

²- Assoc. Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

³- Assist. Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

* Corresponding Author, Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir

Abstract

Low application efficiency is the main problem of surface irrigation systems. In order to compare and improve furrow irrigation design methods including FAO, SCS, volume balance, kinematic wave and zero-inertia methods, field experiments were conducted for measuring design parameters of furrow irrigation. Results showed that the volume balance method gave the most accurate results of infiltration equation. Also attributing an intake family of the SCS method for field data caused error in the computation. Adjustment of SCS advance time equation and volume balance methods increased the model accuracy. With improvement of SCS advance time, the residual mass coefficient (CRM) and root mean square error (RMSE) of advance time changed from -0.4 to -0.019 and from 10.36 to 2.34 min, respectively. Improving volume balance method, using surface and subsurface storages and modified Kostiakov-lewis infiltration equation, decreased the RMSE and CRM advance time from 8 to 6.26 min and from 0.32 to 0.25, respectively. Results showed that short time steps and more iteration should be performing for less error in the improved volume balance method. Created contours by WinSRFR4.1 model allow user to search a set of variables by consideration of hydraulic and practical conditions to achieve high level of uniformity and efficiency at zero-inertia and kinematic wave models.

Keywords: FAO method, Kinematic wave, SCS method, Volume balance, Zero-Inertia

مقدمه

سطحی از جمله آبیاری جویچه‌ای پایین‌بودن بازده آب آبیاری می‌باشد. یکی از راهکارها برای افزایش بازده آن، طراحی دقیق این سیستم می‌باشد که مستلزم اطلاع از جزئیات خصوصیات نفوذپذیری آب می‌باشد. با توجه به اینکه روابط تجربی نفوذ بر اساس آمار تجربی حاصل شده‌اند و فرضیاتی در آنها به‌کار نرفته است، بهتر از روابط نظری با اطلاعات مزرعه‌ای همخوانی دارند (امداد ۱۳۸۷). یکی از روش‌های تعیین نفوذپذیری استفاده از روش‌هایی است که حالت استاتیک آب (مانند

آبیاری جویچه‌ای رایج‌ترین شیوه آبیاری برای محصولات زراعی است. تجدیدنپذیری منابع انرژی جهان سبب افزایش هزینه انرژی و مواد اولیه شده که توجیه اقتصادی سیستم‌های تحت فشار را به‌خصوص برای مزارع کوچک زیر سؤال می‌برد. برای مزارع با ابعاد کوچک و متوسط سیستم آبیاری سطحی مناسب‌ترین گزینه به حساب می‌آید (سنتوز و همکاران ۲۰۰۳، لوثیز و هرمان ۲۰۰۵). مشکل عمده سیستم‌های آبیاری

SCS، ضرایب این معادلات را با استفاده از بیلان حجمی به‌دست آورد و نتایج نشان داد که متوسط مقادیر خطای نفوذ تجمعی معادله کوستیاکوف-لوئیس نسبت به دو معادله دیگر از مقدار کمتری برخوردار می‌باشد. روش‌های مختلفی برای طراحی آبیاری جویچه‌ای مطرح می‌باشند که در ادامه تشریح می‌گردد.

روش FAO: قانون $T_r = \frac{T_n}{4}$ اولین بار توسط کریدل و همکاران در سال ۱۹۵۶ پیشنهاد شد. البته در صورتی که توان معادله نفوذ کوستیاکوف عددی به‌غیر از ۰/۵ باشد از نسبت‌های دیگری باید استفاده نمود. در روش FAO براساس بیشینه دبی غیرفرسایشی جویچه $(Q_{max} = \frac{0.6}{S})$ ، دبی فرضی انتخاب می‌شود. سپس معادله نفوذ کوستیاکوف و معادله پیشروی آب در جویچه $(x = pt^r)$ تعیین می‌شود که ضرایب r و p با لگاریتم‌گیری و با استفاده از دو نقطه از منحنی پیشروی قابل محاسبه می‌باشند. زمان پیشروی بر اساس قانون $T_r = \frac{T_n}{4}$ و طول جویچه بر اساس معادله پیشروی آب محاسبه و در نهایت محاسبات برای دبی‌های مختلف تکرار و دبی که سبب بیشینه بازده و کمینه تلفات شود، انتخاب می‌شود.

روش SCS: در این روش جریان آب در جویچه، تابع قوانین جریان آب در مجاری روباز در نظر گرفته می‌شود. برای طراحی، با لحاظ کردن تقریب‌هایی، آبیاری با جریان یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. در این روش بر اساس بیشینه دبی غیرفرسایشی جویچه، دبی فرضی انتخاب می‌شود. سپس گروه نفوذپذیری، پارامترهای f و g مربوط به آن تعیین می‌شود. محیط خیس شده اصلاح شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P = 0.265 \times \left[\frac{nQ}{S^{0.5}} \right]^{0.4247} + 0.227 \quad [4]$$

که در آن n ضریب زبری مانینگ و S شیب جویچه (m^{-1}) می‌باشند. زمان لازم برای نفوذ عمق خالص آبیاری با استفاده از رابطه کوستیاکوف تعیین و سپس طول

استوانه‌های مضاعف) را در نظر می‌گیرند. این روش‌ها نیاز به ابزار و وسایل خاص داشته و اندازه‌گیری با آنها وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد. ضمن اینکه این روش‌ها اغلب میزان نفوذ را در یک نقطه مشخص می‌کنند، در حالی که در استفاده از معادلات بیلان حجمی، متوسط نفوذ در طول جویچه تعیین می‌شود. بنابراین روش‌هایی مانند روش ورودی-خروجی که بر اساس معادلات بیلان حجمی می‌باشد، از اعتبار بیشتری نسبت به روش‌های نقطه‌ای برخوردار هست (واکر و اسکورگوبو ۱۹۸۷، شپارد و والندر ۱۹۹۳). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که به‌دست آوردن پارامترهای نفوذ به‌روش بیلان حجم به‌مراتب دقیق‌تر و ساده‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد (مصطفی‌زاده ۱۹۹۱، لی و پاندیا ۱۹۷۷). والیانتر و همکاران (۲۰۰۱) برای به‌دست آوردن پارامترهای نفوذ SCS به‌روش بیلان حجمی از معادلات زیر استفاده کردند:

$$f(\alpha) = \sigma_z^{(\alpha)} k(\alpha) t_2^\alpha - D = 0, \quad [1]$$

$$\sigma_z = \frac{\alpha + r(1 - \alpha) + 1}{(1 + \alpha)(1 + r)}$$

$$D = \frac{Q_0 t_2 - 0.77 A_0 x_2 - c P x_2}{x_2 P}, \quad [2]$$

$$k(\alpha) = 14.088 \alpha^{45} + 0.000148 (-\ln \alpha)^{-1.652}$$

$$r = \frac{\log\left(\frac{x_1}{x_2}\right)}{\log\left(\frac{t_1}{t_2}\right)} = (\log((0.5Q_0 t_2) / (0.5^\alpha (Q_0 t_2 - 0.77 A_0 x_2 - c P x_2) + 0.77 A_0 x_2 + c P x_2))) / \log(1/2) \quad [3]$$

که در آن A_0 سطح مقطع جریان در ابتدای جویچه (m^2)، Q_0 شدت جریان ورودی ($m^3 s^{-1}$)، P محیط خیس شده (m)، r توان معادله پیشروی، c برابر \sqrt{mm} ، x_1 و x_2 به ترتیب نصف و کل طول جویچه (m)، t_1 و t_2 زمان پیشروی به نقاط مطرح شده، σ_z فاکتور شکل زیر سطحی، k ضریب زمان در معادله نفوذ SCS بر حسب $m \min^{-a}$ و α توان معادله نفوذ می‌باشد. امداد (۱۳۸۷) برای مقایسه معادلات نفوذ کوستیاکوف-لوئیس، فیلیپ

به صورت مدل‌های ریاضی ارائه نمود، توسعه داده شده است. اساس این روش‌ها بر اصول بنیادی بقای جرم و اندازه حرکت استوار است. معادله پیوستگی به صورت معادله ۸ می‌باشد. در مورد رابطه اندازه حرکت، ویک (۱۹۶۸) از اصل اندازه حرکت پایدار استفاده کرد که با ساده‌سازی معادله اندازه حرکت غیر پایدار به دست آمده است (معادله ۹).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + I_x = 0 \quad [۸]$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f + \frac{I_x v}{gA} \quad [۹]$$

که در آن I_x شدت نفوذ در واحد طول ($m^3 s^{-1} m^{-1}$)، زمان t (s)، y عمق جریان (m)، g شتاب ثقل ($m s^{-2}$)، v سرعت جریان ($m s^{-1}$)، S_0 شیب کف جویچه ($m m^{-1}$) و S_f شیب خط گرادیان انرژی ($m m^{-1}$) می‌باشند. معادلات ۸ و ۹ موسوم به معادلات سنت-ونانت^۱ هستند که توسط چاو (۱۹۵۹) توسعه داده شده است.

مدل هیدرودینامیک کامل^۲ (HD): مدل‌های کامپیوتری که معادلات سنت-ونانت را برای شبیه‌سازی استفاده می‌کنند، مدل‌های هیدرودینامیکی معروف هستند. استفاده از این مدل‌ها تاحدی پیچیده و پرهزینه می‌باشند.

مدل اینرسی-صفر^۳ (ZI): استرلکف و کاتاپودز (۱۹۷۷) از عبارتهای اینرسی و شتاب در معادله ۹ صرف‌نظر کردند (از آنجا که سرعت جریان در حین آبیاری‌های سطحی کم است) و روشی ساده و سریع را برای مدل نمودن آبیاری سطحی توسعه دادند که معادله ۱۰ حاصل گردید. مدل‌های آبیاری سطحی بر اساس معادلات ۸ و ۱۰ به مدل‌های اینرسی-صفر معروف هستند.

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad [۱۰]$$

فرضی برای جویچه انتخاب و زمان پیشروی محاسبه می‌شود.

$$T_t = \frac{x}{f} e^{\frac{gx}{QS^{0.5}}} \quad [۵]$$

که در آن x فاصله در جهت جریان از ورودی (m) می‌باشد. پس از محاسبه زمان کل آبیاری و زمان متوسط نفوذ در طول جویچه با استفاده از معادله ۶ و ۷ عمق ناخالص آبیاری، بازده کاربرد آب، درصد رواناب، درصد نفوذ عمقی و کمینه یکنواختی توزیع تعیین می‌شود (سهرابی و پایدار ۱۳۸۴). محاسبات برای طول دبی‌های مختلف تکرار می‌شود تا طول و دبی انتخاب شود که سبب بیشینه بازده و کمینه تلفات شود.

$$T_o = T_{co} - T_t \quad [۶]$$

$$T_{o,ave} = T_{co} - \frac{0.0929}{fx \left[\frac{0.305 g}{QS^{0.5}} \right]^2} \times \left[\left(\frac{gx}{QS^{0.5}} - 1 \right) e^{\frac{gx}{QS^{0.5}}} + 1 \right] \quad [۷]$$

میرزایی و صدرالدینی (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای با توجه به زمان پیشروی و اختلاف عمق نفوذ طراحی و اندازه‌گیری شده بیان کردند که روش FAO در طراحی آبیاری جویچه‌ای روش قابل اطمینانی است. سهرابی مشک‌آبادی (۱۳۸۵) در تحقیقی دو روش طراحی آبیاری جویچه‌ای FAO و SCS را با یکدیگر مورد مقایسه قرار داد تا روش مناسب انتخاب و به کشاورزان و مشاوران پیشنهاد شود. با توجه به نتایج تحقیق بیان گردید که روش SCS روش مناسب‌تری می‌باشد.

مدل‌های ریاضی به‌طور روزافزون در طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی به‌کار گرفته می‌شوند. این مدل‌ها جهت محاسبات مختلف شامل موقعیت جبهه‌های تر و خشک در حین پیشروی و پس‌روی آب، یکنواختی و بازده آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند و کیفیت طراحی را با توجه به اینکه طراح می‌تواند ترکیب‌های متعددی از دبی جریان، طول مزرعه و شیب را در نظر بگیرد، بهبود بخشیده‌اند. چند روش با سطوح مختلف پیچیدگی برای اینکه بتوان فرآیندهای آبیاری سطحی را

1-Saint-Venant

2- Full hydrodynamic models

3- Zero-inertia

پیشروی در آبیاری جویچه‌ای مدل ترکیبی بیلان حجمی - اینرسی صفر را به کار بردند که در آن عبارت ذخیره سطحی و زیرسطحی نسبت به مدل تعادل حجمی متداول اصلاح شده است.

$$f(Y) = c_1 Y_i^{\sigma_2+1} + c_2 Y_i + c_3 Y_i^{(-\sigma_2 p_2)} + c_4 \quad [13]$$

$$c_1 = \frac{-b\sigma_1 W}{M}, c_2 = \frac{-\sigma_2 z_1 (\sigma_2 b^2 + b)}{M}, \quad [14]$$

$$c_3 = \frac{Q^2 n^2}{3600 \rho_1 (\sigma_1)^{\rho_2}}, c_4 = -S, b = \frac{0.45}{(1+P)^{0.2}},$$

$$P = \frac{Q.S. \left(\frac{Y_n}{k}\right)^a}{W.Y_n^2}$$

$$S_i = \frac{M}{\sigma_1 Y_i^{\sigma_2} + (\sigma_2 b + 1)\sigma_2 z_1} \quad [15]$$

$$M = \frac{(\sigma_2 b + 1)Q.\Delta t + (\sigma_1 Y_{i-1}^{\sigma_2} S_{i-1})}{\sigma_1 Y_i^{\sigma_2} + (\sigma_2 b + 1)\sigma_2 z_1} \quad [16]$$

$$\frac{(\sigma_2 b + 1) \sum_{k=1}^{i-1} \left(\frac{Z_{i-k+1} - Z_{i-k-1}}{2} \right) (S_k - S_{k-1}) + (\sigma_2 b + 1)(\sigma_2 z_1 S_{i-1})}{\sigma_1 Y_i^{\sigma_2} + (\sigma_2 b + 1)\sigma_2 z_1} - \frac{(\sigma_2 b + 1) \left(\frac{1}{2} - \sigma_z \right) z_1 (S_{i-1} - S_{i-2})}{\sigma_1 Y_i^{\sigma_2} + (\sigma_2 b + 1)\sigma_2 z_1}$$

که در آنها y_n عمق نرمال (m)، W عرض جویچه (m)، Δt گام زمانی (min)، i شاخص زمان، k شاخص مکان و مقدار Z_i مرتبط با زمان t_i در ابتدای جویچه می‌باشد. در این روابط برای نفوذ از فرمول کوستیاکوف استفاده شده است. با استفاده از این روابط مقدار پیشروی و عمق جریان براساس گام‌های متوالی محاسبه می‌شود و حل در هر گام زمانی بستگی به محاسبات در انتهای گام زمانی قبلی دارد. روش حل این معادلات به این گونه است که با محاسبه مسافت پیشروی در هر گام زمانی ابتدا عمق جریان در ابتدای جویچه با حل معادله ۱۳ محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از معادله ۱۵ مسافت پیشروی محاسبه می‌گردد. محاسبات تاجایی ادامه می‌یابد که آخرین مسافت پیشروی برابر با طول جویچه گردد. حل کامل این مدل - های ریاضی به‌غیر از روش تعادل حجمی به‌صورت دستی مشکل و زمان‌بر است. به‌این‌دلیل نرم‌افزارهای

مدل موج کینماتیک^۴ (KW): هنگامی که شیب جریان افزایش می‌یابد، کاربرد فرمول اینرسی صفر خیلی مشکل خواهد بود و احتیاج به تقسیم‌کردن مسیر پیشروی جریان به جزءهای کوچک در انتهای پایین - دست با فاصله از موج پس‌روی دارد. در شبیه‌سازی ریاضی پیشروی و پس‌روی آب با روش موج کینماتیک، معادله اندازه حرکت (معادله ۹) بوسیله یک معادله جریان یکنواخت جایگزین می‌شود که به‌طور زیادی تجزیه و تحلیل را ساده می‌کند ولی استفاده از این روش را محدود به نوارهای شیب‌دار و جویچه‌های زهکشی آزاد می‌کند.

$$S_o = S_f \quad [17]$$

روش تعادل حجمی^۵ (VB): روش تعادل حجمی براساس معادله پیوستگی است که برای تعیین T_t در طول مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$QT_t - 0.77A_o L - \sigma_z Lk(T_t^a) - \frac{1}{1+r} f_o T_t L = 0,$$

$$A_o = C_1 \left(\frac{Q_o n}{60S_o^{0.5}} \right)^{C_2}, C_2 = \frac{3\sigma_2}{5\sigma_2 - 2\gamma_2}, C_1 = \left(\frac{\gamma_1^{0.67}}{\sigma_1^{1.67}} \right)^{C_2},$$

$$A = \sigma_1 y^{\sigma_2}, WP = \gamma_1 y^{\gamma_2}$$

[12]

که در آن WP محیط خیس‌شده (m) و L طول جویچه می‌باشد. الدرری و همکاران (۲۰۰۴) برای طراحی آبیاری جویچه‌ای دبی و طول جویچه را به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای طراحی در نظر گرفته و از روش تعادل حجمی برای طراحی استفاده کردند. ترکیب بهینه طول جویچه و دبی به‌منظور بیشینه‌سازی بازده با آزمون و خطا و به‌کمک شکل‌های رسم‌شده به‌دست آمد. برای طراحی دقیق‌تر آبیاری جویچه‌ای به‌روش تعادل حجمی باید روابط عبارت‌های ذخیره سطحی و زیرسطحی را برای محاسبه زمان پیشروی لحاظ کرد. گلستانی و همکاران (۱۳۸۹) برای بهبود نتایج پیش‌بینی زمان

4- Kinematic wave
1- Volume balance

به منظور جمع‌آوری داده‌های صحرائی، آزمایشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۹ انجام گردید. بعد از عملیات شخم و دیسک، جویچه‌هایی به فواصل ۰/۷۵ متر، شیب طولی یکنواخت و برابر ۱ درصد و طول ۸۶ متر با توجه به شرایط موجود و در حال بهره‌برداری در منطقه ایجاد شد. کشت محصول ذرت علوفه‌ای در اوایل خرداد ماه صورت گرفت. بافت سطحی خاک لوم رسی بوده که با افزایش عمق به لوم و لوم شنی تبدیل می‌گردد. برای این تحقیق روش آبیاری جویچه‌ای معمولی یا سنتی جویچه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای این روش سه جویچه در نظر گرفته شد. جویچه‌های کناری به‌عنوان جویچه‌های بافر (به‌منظور حذف خطای اندازه‌گیری جریان جانبی از جویچه‌های کناری) عمل کرده و اندازه‌گیری پارامترهای موردنیاز توسط جویچه وسط انجام گردید. جویچه‌های آزمایشی به‌صورت انتها باز بوده و اطلاعات مربوط به شکل هندسه آنها در ابتدای فصل رشد در جدول ۱ ارائه شده است. مقطع عرضی جویچه برای هر یک از تیمارها و بر اساس داده‌های عرض کف، میانی و سطح به‌صورت تابع توانی در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی از فلوم‌های WSC تیپ‌های یک و دو و با توجه به مقدار دبی جریان استفاده گردید. نیاز آبی بر اساس برنامه AGWAT (علیزاده و همکاران ۱۳۸۱) محاسبه گردید و برای اندازه‌گیری سرعت پیشروی و پس‌روی، جویچه اصلی به فواصل ۱۰ متر در طول جویچه علامت‌گذاری شد.

آبیاری سطحی از جمله WinSRFR برای تحلیل هیدرولیکی منسجم سیستم‌های آبیاری سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نرم‌افزار دارای چهار بخش شبیه‌سازی، ارزیابی، طراحی فیزیکی و تحلیل عملیاتی می‌باشد. از بخش طراحی فیزیکی برای طراحی یک سیستم آبیاری سطحی جدید استفاده می‌شود. همچنین اگر عملیات بهینه‌سازی شده منجر به عملکرد قابل‌قبول نشود، باید تغییراتی در طرح موجود صورت گیرد (راهنمای نرم‌افزار WinSRFR2.1). باتیستا و همکاران (۲۰۰۹a) برای طراحی با استفاده شکل‌های ایجادشده توسط نرم‌افزار WinSRFR و به‌روش آزمون و خطا ترکیب بهینه $q-t_{co}$ را با هدف تأمین Z_{req} در همه نقاط زمین و بیشینه‌سازی بازده کاربرد به‌دست آوردند. یکی از مهم‌ترین راهکارها برای افزایش بازده آبیاری جویچه‌ای طراحی اصولی این سیستم می‌باشد. طراحی این سیستم می‌تواند با در نظر گرفتن فرضیات و با روش‌های مختلف صورت گیرد که انتخاب روش موردنظر باید با در نظر گرفتن شرایط منطقه موردنظر، اطلاعات در دسترس برای طراحی و دانش کشاورز صورت گیرد. در این تحقیق روش‌های مختلف طراحی آبیاری جویچه‌ای مورد مقایسه قرار گرفت و به‌منظور افزایش دقت طراحی، با اعمال اصلاحاتی سعی در بهبود روش‌های طراحی آبیاری جویچه‌ای شد.

مواد و روش‌ها

جدول ۱- اطلاعات مربوط به شکل هندسه جویچه تحت آزمایش در ابتدای فصل.

روش آبیاری	عرض بالایی (cm)	عرض میانی (cm)	عرض کف (cm)	بیشینه عمق (cm)
جویچه ای	۴۵	۲۵	۱۰	۹

شده زمین، هیدروگراف‌های جریان ورودی و خروجی و زمان‌های پیشروی و پس‌روی برآورد می‌کند. برای جویچه این داده‌ها را می‌توان با یکی از توابع نفوذ زمان، نفوذ معلوم، گروه نفوذ NRCS، گروه نفوذ-زمان،

عموماً سه روش تحلیل رویداد تحت پشتیبانی بخش تحلیل رویداد نرم‌افزار WinSRFR4.1 می‌باشند که یکی از آنها روش تعادل حجمی می‌باشد. این روش تابع نفوذ متوسط مزرعه را توسط هندسه اندازه‌گیری-

همکاران (۱۳۹۱). با استفاده از مجموعه نتایج به صورت عبارت و شکل‌هایی می‌توان نتیجه‌گیری‌های لازم را به دست آورد. شکل‌های هیدرولیک مسئله، کمینه پتانسیل بازده کاربرد آب (PAE_{min})، کمینه یکنواختی توزیع (DU_{min})، درصد روان‌آب (RO)، درصد نفوذ عمقی (DP)، عمق به‌کار برده شده (D_{app})، میانگین عمق نفوذ یافته در چارک پایین (D_{lq})، زمان قطع جریان (T_{co})، نسبت پیشروی (R) برای نمایش نموداری نتایج توسط نرم-افزار ایجاد می‌شود که به کاربر اجازه می‌دهند تا به جستجوی ترکیب‌هایی از متغیرهای تصمیم‌گیری بپردازد که منجر به سطوح بالا از یکنواختی و کارایی می‌شود، درحالی‌که محدودیت‌های عملی و هیدرولیکی را توجیه می‌کند.

نتایج و بحث

در طراحی با استفاده از روش FAO با توجه به توان معادله نفوذ کوستیاکف به دست آمده، از نسبت $T_i = \frac{T_p}{5}$ برای طراحی استفاده شد. همچنین بیشینه دبی غیرفرسایشی برای جویچه مورد مطالعه 0.765 l s^{-1} می‌باشد. با تکرار محاسبات برای دبی‌های مختلف، طول جویچه 87 m و دبی 0.17 l s^{-1} به عنوان دبی مناسب انتخاب شد. در روش FAO نیازی به اندازه‌گیری ضریب زبری و نفوذ نهایی خاک نیست و این روش اغلب برای محاسبات و تخمین اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای انتخاب دقیق‌تر باید بررسی‌های بیشتری صورت گیرد. از جمله دلایل این مطلب می‌توان به لحاظ نشدن نفوذ نهایی خاک، محیط خیس شده جانبی، ضریب زبری، تغییرات مکانی پارامترهای هیدرولیکی و محدودیت‌های مختلف مانند عدم کفایت آبیاری در انتهای جویچه، غیریکنواختی توزیع و مناسب نبودن مقدار نسبت پیشروی اشاره نمود. علت اصلی برتری روش SCS نسبت به روش FAO در تصحیح محیط خیس شده جویچه می‌باشد (میرزایی و صدرالدینی ۱۳۸۹). با فرض برقراری رابطه تجربی ۵ بین زمان

فرمول کوستیاکوف، فرمول کوستیاکوف اصلاح شده و تابع شاخه‌ای در این نرم‌افزار تطبیق داد.

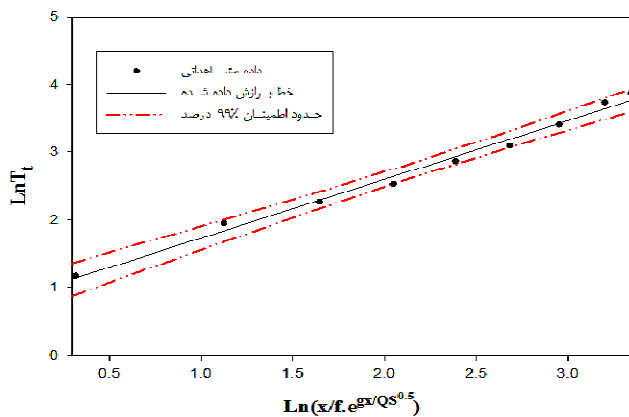
خروجی‌های نموداری و شاخص‌های آماری محاسبه شده توسط این بخش که شامل RMSE زمان پیشروی و پس‌روی، ضریب تبیین و ضریب کارایی مدل می‌باشد، برای مقایسه عملکرد توابع نفوذ برآورد شده و داده‌های اندازه‌گیری شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق واسنجی پارامترهای معادلات نفوذ برای روش‌های مختلف طراحی با استفاده از این نرم‌افزار و به روش تعادل حجمی مریام-کلر (۱۹۷۸) صورت گرفته است. برای بیان کمی تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر محاسبه شده از شاخص‌های آماری RMSE و CRM که به صورت زیر بیان می‌شود، استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_m - x_p)^2}{n}} \quad [17]$$

$$CRM = \frac{\sum (x_p - x_m)}{\sum x_m} \quad [18]$$

که در آن x_m مقدار واقعی متغیر، x_p مقدار پیش-بینی شده آن و n تعداد متغیر مربوطه می‌باشد. در صورتی که CRM برابر با صفر باشد، نشان‌دهنده یک برآورد مناسب توسط رابطه موردنظر می‌باشد. مقادیر مثبت و منفی آن نشان‌دهنده بیش برآوردی یا کم-برآوردی رابطه نسبت به مقادیر واقعی است. به منظور تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس از روش ورودی-خروجی برای تعیین سرعت نفوذ نهایی و با استفاده از داده‌های پیشروی جریان، روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲) برای تعیین ضرایب k و a به کار گرفته شد. برای طراحی به روش موج کینماتیک و اینرسی-صفر از نرم‌افزار WinSRFR4.1 و معادله نفوذ کوستیاکوف-لوئیس استفاده شده است. نتایج حساسیت‌سنجی‌ها نشان داد که شاخص‌های ارزیابی آبیاری سطحی حساسیت کمتری به ضریب زبری مانینگ دارند و به دقت بالایی نیاز ندارد (تقی‌زاده و

نقاط بدست آمده از معادله با نقاط اندازه‌گیری شده همخوانی نزدیک‌تری دارد. به‌علاوه در این روش نسبت دادن گروه نفوذ به داده‌های اندازه‌گیری، سبب به‌وجود آمدن خطا در تخمین مقادیر موردنظر می‌شود؛ لذا محاسبه مستقیم پارامترهای k و α با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ مناسب‌تر است. در این صورت مقدار CRM نفوذ تجمعی از ۰/۰۵۵ به ۰/۰۱۸- تغییر پیدا می‌کند.



شکل ۱- تغییرات LnT_t در برابر $Ln(x.e^{gx/QS^{0.5}}/f)$.

همچنین RMSE نفوذ تجمعی از m^3 ۰/۱۰۲ به m^3 ۰/۰۹۴- نسبت به زمانی که گروه نفوذ به داده‌های اندازه‌گیری نفوذ نسبت داده می‌شود، کاهش می‌یابد. همان‌طور که در جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود برای طراحی دقیق‌تر باید از معادلات اصلاح‌شده استفاده نمود.

پیشروی و مسافت پیموده‌شده در سری آزمایشات مطالعه موردی، با لگاریتم‌گیری و برازش معادله برای داده‌های LnT_t و $Ln(x.e^{gx/QS^{0.5}}/f)$ (اجزای معادله ۵) بایستی خط رسم‌شده دارای شیب واحد و عرض از مبدأ صفر باشد. برای داده‌های مزرعه‌ای رابطه بین LnT_t و $Ln(x.e^{gx/QS^{0.5}}/f)$ در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، شیب و عرض از مبدأ به ترتیب ۱ و صفر نمی‌باشد. معادله برازش داده‌شده بین داده‌های LnT_t و $Ln(x.e^{gx/QS^{0.5}}/f)$ به صورت رابطه ۱۹ به دست آمد که در این رابطه شیب و عرض از مبدأ به ترتیب ۰/۸۶۹ و ۰/۸۵۷ محاسبه گردید. مطابق رابطه ۱۹ و با ساده‌سازی آن، تابع زمان پیشروی به صورت رابطه ۲۰ به دست آمد. با توجه به تجربی بودن رابطه ۵ و خطای آن در پیش‌بینی زمان پیشروی، رابطه موردنظر اصلاح شد. ضریب همبستگی معادله برازش داده‌شده برابر ۰/۹۹ بوده و خط برازش داده‌شده در محدوده اطمینان ۹۹٪ قرار دارد.

$$LnT_t = 0.869 \left(\frac{x}{f}\right) e^{\frac{gx}{QS^{0.5}}} + 0.857 \quad [19]$$

$$T_t = 2.356 \left(\frac{x}{f}\right)^{0.869} e^{\frac{0.869 gx}{QS^{0.5}}} \quad [20]$$

با استفاده از رابطه، RMSE زمان پیشروی از min ۱۰/۳۶ به min ۲/۳۴ و مقدار CRM زمان پیشروی از ۰/۴- به ۰/۰۱۹- نسبت به زمانی که از رابطه ۵ برای محاسبه زمان پیشروی استفاده می‌شود، کاهش می‌یابد.

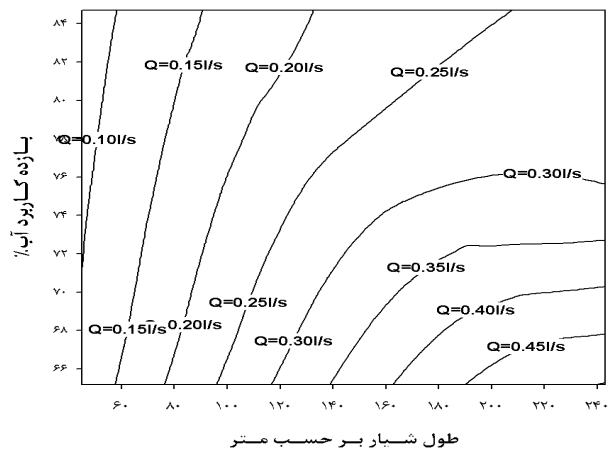
جدول ۲- مقایسه شاخص‌های آماری روش‌های اصلاح‌شده در پیش‌بینی زمان پیشروی و نفوذ تجمعی.

پارامتر	روش طراحی	RMSE	CRM
زمان پیشروی	SCS	۱۰/۳۶ min	۰/۴-
	SCS اصلاح‌شده	۲/۳۴ min	۰/۰۱۹-
نفوذ تجمعی	SCS	۰/۱۰۲ m^3	۰/۰۵۵
	SCS اصلاح‌شده	۰/۰۹۴ m^3	۰/۰۱۸-
زمان پیشروی	تعادل حجمی	۸ min	۰/۳۲
	تعادل حجمی اصلاح‌شده	۶/۲۶ min	۰/۲۵

بازده کاربرد را برای جویچه‌های انتخاب‌شده نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که بازده بالا برای طول‌های کوچک و متنازماً دبی‌های کم به دست می‌آید و به همین ترتیب دبی‌های بیشتر برای طول‌های بزرگ‌تر برای رسیدن به بازده بالا مورد نیاز است. این شکل می‌تواند برای محاسبه ناحیه‌ای که این تغییر به سمت رسیدن به طول جویچه بهینه با دبی متناظر گرایش پیدا می‌کند، مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال در مورد سوم زمانی که دبی $1 \text{ s}^{-1} / 0.3$ است، ماکزیمم بازده زمانی اتفاق می‌افتد که طول برابر ۱۵۰ m باشد. زمانی که طول جویچه از ۱۵۰ m بیشتر باشد بازده کاربرد تا ۳۵٪ برای طول ۲۲۰ m کاهش پیدا می‌کند. در شکل ۳ (ب) مشاهده می‌شود AE در دبی‌های خاصی سریع افزایش می‌یابد. این ناحیه از تغییر سریع AE، شاخصی از مشکل ضعف هیدرولیکی بوده و قابل اعتماد نمی‌باشد. چون تغییرات کوچک در ورودی‌ها سبب کاهش چشمگیر بازده کاربرد آب می‌شود. بنابراین دبی ورودی انتخابی باید در محدوده‌ای نزدیک به آن باشد. با توجه به شکل ۵ و ابعاد زمین مورد نظر کشاورز می‌تواند تصمیم بگیرد که کدام دبی، بازده بیشتری ایجاد می‌کند یا به‌همین ترتیب چه طولی برای دبی موجود می‌تواند اجرا شود. با انتخاب دبی و طول جویچه بیشتر، هزینه اجرا و نگهداری کاهش می‌یابد و اطمینان بیشتری نسبت به طراحی حاصل می‌آید.

در روش تعادل حجمی متداول برای ساده‌سازی روابط فرض می‌شود، متوسط عمق جریان سطحی ثابت است که این فرض خود سبب ایجاد خطا در محاسبات می‌شود؛ ولی در روابط ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ این فرض حذف شده است. از جمله مزیت‌های دیگر استفاده از این روابط این است که می‌تواند با هر فرمول نفوذ دیگر یا حتی یک جدول نفوذ تجمعی با زمان نیز به کار برده شود و همچنین می‌توان پروفیل سطح آب بر روی جویچه را با توجه به معادله پروفیل سطح مورد استفاده نیز رسم کرد. مقدار خطای نسبی ایجادشده که

ارتباط بین دبی و طول‌های جویچه پس از اعمال اصلاحات در شکل ۲ ارائه شده است و ترکیب دبی و طول‌هایی را نشان می‌دهد که سبب بیشینه بازده و کمینه تلفات می‌شود. با توجه به شرایط و شکل مزرعه می‌توان ترکیب مناسب را انتخاب نمود. این شکل می‌تواند به‌عنوان یک راهنما برای انتخاب مناسب‌ترین طول و دبی در خاک‌های مشابه توسط کشاورزان و آبیاریان مورد استفاده قرار گیرد. در عمل برای آبیاری سطحی به‌ویژه در آبیاری جویچه‌ای به دلیل تلفات رواناب و نفوذ عمقی، نباید بازده کاربرد بیشتر از ۸۰٪ را انتظار داشت.

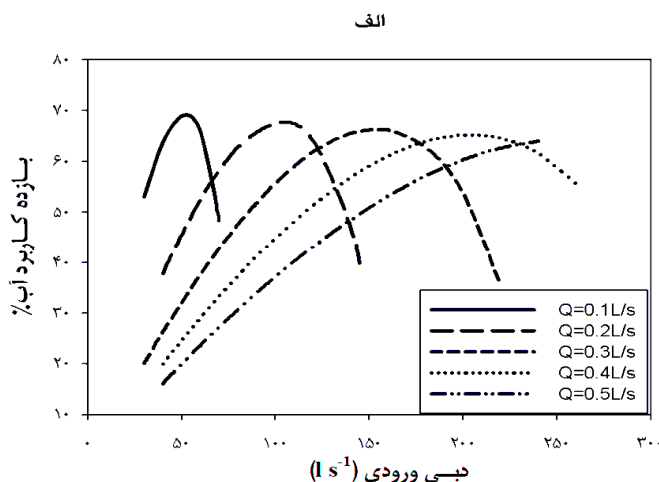
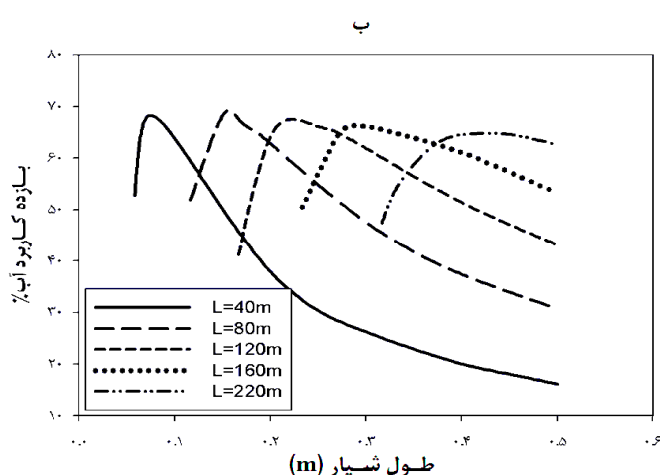


شکل ۲- ترکیب دبی و طول‌های جویچه مناسب بر اساس روش SCS برای کمینه‌کردن تلفات و بیشینه بازده.

طراحی به روش تعادل حجمی با توجه به شکل‌های ۳ (الف) و ۳ (ب) صورت می‌گیرد که بر اساس معادلات ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ رسم شده‌اند. با توجه به استفاده از پارامتر نفوذ نهایی خاک (F_0) که خاک‌ها در انتهای زمان آبیاری از خود نشان می‌دهند، لذا روشی که بر اساس معادله نفوذ کوستیاکوف-لویس باشد، دقیق‌تر است. در این تحقیق بر اساس نتایج تحقیقات آلازبا و استرلکف (۱۹۹۴) برای معادله‌های نفوذ مانند روش هورتون یا کوستیاکوف-لویس که شدت نفوذ نهایی ثابت فرض شده است، مقدار σ_z برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. شکل ۳ (الف) رابطه بین طول جویچه و

طوری‌که برای $\Delta t=0.05\text{min}$ و در ۱۲۰۰ تکرار، خطای نسبی در حدود ۵٪ می‌باشد (شکل ۴). خطای نسبی محاسبه مقدار زمان پیشروی از این معادلات با افزایش شیب کف و افزایش نفوذ کاهش می‌یابد (آلازبا و استرلکف ۱۹۹۴). با استفاده از این معادلات، RMSE زمان پیشروی از ۸ min به ۶/۲۶ min و CRM زمان پیشروی از ۰/۳۲ به ۰/۲۵ کاهش یافت.

یک مقدار منفی است، بستگی به تعداد و فاصله گام‌های زمانی دارد. مقدار خطای نسبی ناشی از فرض ثابت-بودن عمق جریان سطحی برای گام‌های زمانی بلند حالت نوسانی و متغیر دارد؛ ولی در نهایت مقدار خطا با افزایش تکرار، کاهش می‌یابد. هنگامی‌که گام‌های زمانی کوتاه است روند تغییرات خطا حالت ثابتی داشته و با افزایش تکرار مقدار آن همواره کاهش می‌یابد به-



شکل ۳- (الف) تغییرات بازده کاربرد آب نسبت به طول جویچه؛ (ب) تغییرات بازده کاربرد آب نسبت به دبی ورودی.

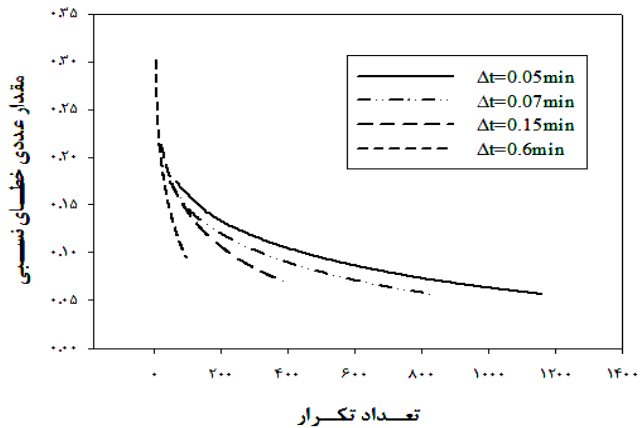
زمانی کوتاه است روند تغییرات خطا حالت ثابتی داشته و با افزایش تکرار مقدار آن همواره کاهش می‌یابد به-طوری‌که برای $\Delta t=0.05\text{min}$ و در ۱۲۰۰ تکرار، خطای نسبی در حدود ۵٪ می‌باشد (شکل ۴). خطای نسبی محاسبه مقدار زمان پیشروی از این معادلات با افزایش شیب کف و افزایش نفوذ کاهش می‌یابد (آلازبا و استرلکف ۱۹۹۴). با استفاده از این معادلات، RMSE زمان پیشروی از ۸ min به ۶/۲۶ min و CRM زمان پیشروی از ۰/۳۲ به ۰/۲۵ کاهش یافت.

در روش تعادل حجمی متداول برای ساده‌سازی روابط فرض می‌شود، متوسط عمق جریان سطحی ثابت است که این فرض خود سبب ایجاد خطا در محاسبات می‌شود؛ ولی در روابط ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ این فرض حذف شده است. از جمله مزیت‌های دیگر استفاده از این روابط این است که می‌تواند با هر فرمول نفوذ دیگر یا حتی یک جدول نفوذ تجمعی با زمان نیز به کار برده شود و همچنین می‌توان پروفیل سطح آب بر روی جویچه را با توجه به معادله پروفیل سطح مورد استفاده نیز رسم کرد. مقدار خطای نسبی ایجاد شده که یک مقدار منفی است، بستگی به تعداد و فاصله گام‌های زمانی دارد. مقدار خطای نسبی ناشی از فرض ثابت-بودن عمق جریان سطحی برای گام‌های زمانی بلند حالت نوسانی و متغیر دارد؛ ولی در نهایت مقدار خطا با افزایش تکرار، کاهش می‌یابد. هنگامی‌که گام‌های

از بخش طراحی فیزیکی نرم‌افزار WinSRFR4.1 برای بهینه‌کردن طول و عرض یا طول و دبی یک سیستم استفاده می‌شود. تحلیل طرح می‌تواند طول و شدت جریان سیستم را برای یک عرض معین از زمین بهینه‌سازی کند. نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد برای شرایط موردنظر پارامتر شیب تأثیر بسیار کمی بر

می‌گیرد. این خطوط تراز عملکرد با درون‌یابی از نتایج شبیه‌سازی مدل در شبکه‌ای مستطیل شکل از نقاط و در یک فضای امکان‌پذیر، از مقادیر متغیرهای مورد بررسی، ایجاد می‌شود. می‌توان با میزان کردن بازه متغیرها و موقعیت نقطه تنظیم، خطاهای موجود را کنترل کرد (باتیستا و همکاران ۲۰۰۹b). همان‌طور که در شکل ۵ (الف) دیده می‌شود به دلیل اینکه خطوط تراز PAE_{min} با تغییرات جریان ورودی نسبت به طول سریع‌تر تغییر می‌کنند، افزایش عملکرد را می‌توان با ثابت در نظر گرفتن عرض جویچه، با کاهش جریان ورودی نسبت به افزایش طول به‌سهولت انجام داد. شکل ۵ (الف) یک نقشه هم‌تراز PAE_{min} برای جویچه نمونه می‌باشد. این شکل تغییر نوعی PAE_{min} را نشان می‌دهد که با افزایش طول و کاهش دبی ورودی بهبود می‌یابد. برای سیستم‌های آبیاری که بوسیله کانال‌های باز تأمین می‌شوند، مقادیر جریان ورودی را حتی می‌توان در طول روز تغییر داد؛ ولی اگر دبی ورودی ثابت باشد تنها می‌توان جریان را بین دو یا چند جویچه تقسیم کرد یا با تغییر طول و عرض جویچه، طراحی را بهبود بخشید. برای شرایط حاضر PAE_{min} بالا با ترکیب‌های متفاوت طول و دبی ورودی به‌وسیله ناحیه‌ای با تراز بالای $PAE_{min} = 75\%$ قابل حصول می‌باشد. خطوط تراز PAE_{min} در شکل ۵ (الف) حاکی از آن است که عملکرد بالا می‌تواند با یک جویچه به‌طول $1/5$ برابر طول اولیه، $T_{co}=334min$ ، عرض و دبی ورودی مشابه جویچه مورد آزمایش هم به‌دست آید. این حالت برای یک مالک مطلوب است زیرا هزینه و زمان عملیات زراعی را کاهش می‌دهد. اگر چنانچه شرایط مزرعه به‌گونه‌ای باشد که بتوان جویچه‌های طولانی اجرا کرد می‌توان با جویچه‌ای به‌طول ۳ برابر طول اولیه، دبی $0.71 s^{-1}$ و $T_{co}=343min$ نیز به این بازه دست یافت. با این محدوده وسیع از ابعاد جویچه قابل‌قبول، اندازه‌ای که با طول و عرض کل زمین متناسب خواهد بود را می‌توان یافت. محدوده وسیعی از راه‌حل‌ها نیز یک طرح قوی را

روی بازده آبیاری دارد و بدین‌دلیل جزء متغیرهای تصمیم‌گیری (دبی جریان، طول جویچه و زمان قطع جریان) در نظر گرفته نشده است (تقی‌زاده و همکاران ۱۳۹۱).



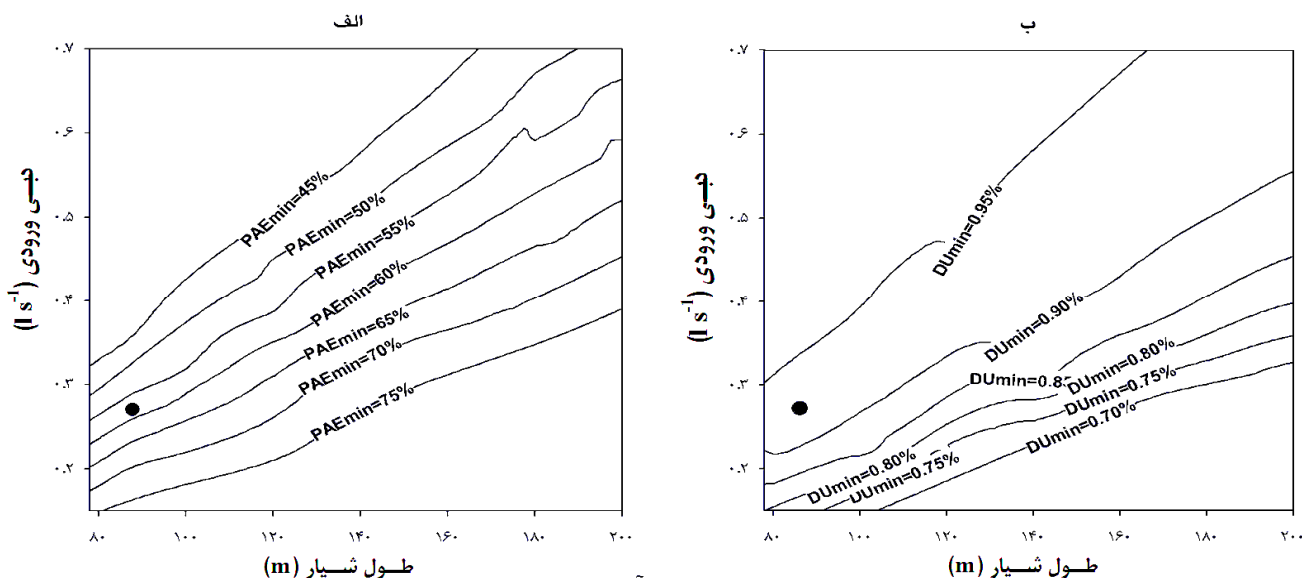
شکل ۴- تغییرات خطای نسبی ناشی از فرض ثابت بودن عمق جریان نسبت به تعداد تکرار برای گام‌های زمانی کوتاه.

به‌علت وجود سرعت‌ها و اعداد فرود نسبتاً کم در جریان‌های آبیاری سطحی، WinSRFR فرم ساده‌شده معادله مومنتم را به‌کار می‌برد و شبیه‌سازی را در مدل بی‌بعد اجرا و به یکی از دو روش اینرسی صفر و موج کینماتیک انجام می‌دهد. برای مزرعه مورد مطالعه مدل موج کینماتیک برای شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار به‌کار برده شده است. مدل موج کینماتیک ضمن سادگی دارای دقت بالا بوده و فاقد پیچیدگی‌های مدل هیدرودینامیک می‌باشد. هر چه گام‌های زمانی و مکانی بزرگتر انتخاب شود، نتایج شبیه‌سازی موج کینماتیک و هیدرودینامیک دارای اختلاف کمتری خواهد بود (سنتوس و همکاران ۲۰۰۳). مقایسه‌ها همچنین سازگاری بهتری را بین نتایج موج کینماتیک و هیدرودینامیک برای شیب‌های تندتر نشان می‌دهد.

طراحی در نرم‌افزار WinSRFR با کمک خطوط تراز عملکرد که در واقع به‌عنوان تابعی از متغیرهای مورد بررسی (Q و L) یا (W و L) می‌باشند، صورت

به انتهای جویچه برسد، می‌باشد) ۰/۸۵ می‌باشد (کلمن و ددریچ ۱۹۸۲). این راه‌حل پرخطر است زیرا در این حالت قطع جریان زمانی رخ می‌دهد که آب به ۶۵٪ از طول کرت برسد. شرایط مسئله موردنظر با دایره توپر در شکل ۵ نشان داده شده است و مقدار AE پیش‌بینی شده با مقادیر حاصل از اندازه‌گیری‌ها مطابقت دارد. به دلیل بالابودن شیب مزرعه اختلاف دو روش حل اینرسی-صفر و موج کینماتیک در تخمین زمان پیشروی، رواناب، مقدار نفوذ و در نتیجه نتایج بخش طراحی ناچیز می‌باشد.

تضمین می‌کند، به طوری که اگر شرایط واقعی زمین اندکی نسبت به آنچه در طراحی فرض شده تغییر کند، جویچه هنوز قادر است تا به سطوح عملکرد بالا برسد. راه‌حلهایی از این قبیل باید شرایط مطلوبی از لحاظ خطوط ترانز کمینه یکنواختی توزیع و نسبت پیشروی داشته باشند. به عنوان مثال برای کرت‌های یکنواخت، یک مقدار کمینه پیشنهادی R ، R در مواردیکه قطع جریان قبل از پیشروی نهایی باشد به صورت X_{co}/L و در حالتی که قطع جریان بعد از پیشروی نهایی باشد به صورت t_{co} / t_L محاسبه می‌شود که X_{co} طول پیشروی تا زمان قطع جریان و t_L مدت زمانی که طول می‌کشد تا



شکل ۵- (الف) منحنی‌های هم ترانز پتانسیل بازده کاربرد آب کمینه، به عنوان تابعی از دبی ورودی و طول جویچه. (ب) منحنی‌های هم ترانز کمینه یکنواختی توزیع به عنوان تابعی از دبی ورودی و طول جویچه.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق روش‌های مختلف طراحی آبیاری جویچه‌ای (روش SCS، FAO)، تعادل حجمی، موج کینماتیک و اینرسی-صفر) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که روش‌های مطرح شده دارای دقت قابل قبول بوده و با لحاظ کردن اصلاحاتی می‌توان این روش‌ها را با دقت بیشتر به کار برد. با اصلاح رابطه زمان پیشروی روش SCS، جذر میانگین مربعات خطای زمان پیشروی از ۱۰/۳۶ min به ۲/۳۴ min و ضریب

جرم باقی مانده زمان پیشروی از ۰/۴- به ۰/۱۹- تغییر می‌یابد. محاسبه مستقیم پارامترهای k و α معادله نفوذ SCS با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ نیز سبب دقیق‌تر شدن طراحی می‌شود که ضریب جرم باقی مانده نفوذ جمعی از ۰/۰۵۵ به ۰/۱۹- و همچنین جذر میانگین مربعات خطا از 0.102 m^3 به 0.094 m^3 تغییر می‌یابد. استفاده از روابط عبارت ذخیره سطحی و زیرسطحی و همچنین معادله نفوذ کوستیاکوف-لوئیس سبب بهبود

حالت نوسانی خواهد داشت. برای طراحی به‌روش اینرسی-صفر و موج کینماتیک که جزء دقیق‌ترین روش‌ها می‌باشند، شکل‌های ایجادشده با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR4.1 به کاربر اجازه می‌دهند تا با لحاظ محدودیت‌های عملی و هیدرولیکی به جستجوی ترکیب متغیرهای تصمیم‌گیری بپردازد که منجر به سطوح بالایی از یکنواختی و کارایی می‌شود.

نتایج پیش‌بینی زمان پیشروی در روش تعادل حجمی می‌شود به‌طوری‌که جذر میانگین مربعات خطای زمان پیشروی از ۸ min به ۶/۲۶ min و ضریب جرم باقی‌مانده زمان پیشروی از ۰/۳۲ به ۰/۲۵ کاهش پیدا می‌کند. در روش مذکور بهتر است گام‌های زمانی کوتاه و تکرار بیشتری صورت گیرد تا خطای کمتری در محاسبات به‌وجود آید. در غیر این صورت مقدار خطای نسبی ناشی از فرض ثابت‌بودن عمق جریان سطحی

منابع مورد استفاده

- امداد مر، ۱۳۸۷. انتخاب معادله نفوذ مناسب با استفاده از معادلات بیلان حجمی در آبیاری جویچه‌ای. صفحه‌های ۵۵۸ تا ۵۶۶، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- تقی‌زاده ز، رضاوودی‌نژاد و، ابراهیمیان ح و خان‌محمدی ن، ۱۳۹۱. ارزیابی مزعه‌ای و تحلیل سیستم آبیاری سطحی با WinSRFR (مطالعه موردی آبیاری جویچه‌ای). مجله آب و خاک مشهد، جلد ۲۶، شماره ۶، صفحه‌های ۱۴۵۰ تا ۱۴۵۹.
- سهرابی ت و پایدار ز، ۱۳۸۴. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه تهران.
- سهرابی مشک آبادی ب، ۱۳۸۵. بررسی و مقایسه روش‌های فائو و اس-سی-اس در طراحی آبیاری شیاری در ایستگاه تحقیقات کشاورزی تجرک همدان. صفحه‌های ۳۹۷ تا ۴۱۰، همایش بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، زابل.
- گلستانی س، شایان‌نژاد م و طباطبایی ح، ۱۳۸۹. بررسی کاربرد روش هال اصلاح شده در مدل ترکیبی بیلان حجمی-اینرسی صفر برای آبیاری جویچه‌ای. مجله پژوهش آب ایران، سال ۴، شماره ۶، صفحه‌های ۱۱ تا ۱۸.
- علیزاده ا، وظیفه‌دوست م، کمالی غ، باستانی خ، مرتضوی ا، ایزدی ا، احمدیان طبسی ج و نوری اح، ۱۳۸۱. AGWAT: بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی. سازمان هواشناسی کشور، تهران.
- میرزایی ع و صدرالدینی ع، ۱۳۸۹. ارزیابی روش FAO در طراحی سیستم آبیاری جویچه‌ای. صفحه‌های ۴۷۷ تا ۴۸۳، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- Alazba AA and Strelkoff T, 1994. Correct form of Hall technique for border irrigation advance. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE 120 (2): 292-307.
- Bautista E, Clemmens J and Strelkoff TS, 2009a. Optimal and postirrigation volume balance infiltration parameter estimates for basin irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE 135(5): 579-587.
- Bautista E, Clemmens AJ, Strelkoff TS and Niblack M, 2009b. Analysis of surface irrigation systems with WinSRFR- Example application. Agricultural Water Management 96: 1162-1169.
- Chow VT, 1959. Open channel hydraulics. McGraw-Hill, New York.
- Clemmens AJ and Dedrick AR, 1982. Limits for practical level basin design. Journal of Irrigation Drainage Division ASCE 108 (2): 127-141.
- Criddle WD, Davis S, Pair CH and Shockley DG, 1956. Methods of evaluating irrigation system. Agricultural Handbook No. 82, SCS, USDA, Washington, D.C.
- Eldeiry A, Garcia L, El-zaher AS and El-Sherbini Kiwan M, 2005. Furrow irrigation system design for clay soils in arid regions. Applied Engineering in Agriculture 21(3): 411-420.
- Elliott RL and Walker WR, 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance function. American Society of Agricultural Engineers ASAE 25(2): 396-400.
- Lai R and Pandya AC, 1977. Volume balance method for computing infiltration in surface irrigation. American Society of Agricultural Engineers ASAE 15(1): 67-72.
- Luz PB and Heermann D, 2005. A statistical approach to estimating runoff in center pivot irrigation with crust conditions. Agricultural Water Management 72(1): 33-46.
- Merriam JL, Keller J, 1978. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, UT.

- Mostafazadeh B, 1991. Determination of Kostiakov-Lewis infiltration function parameters using volume balance equation for a furrow irrigation field at Isfahan. *Journal Agricultural Science and Technology* 5(1): 101-112.
- Santos FL, Reis JL, Martins OC, Castanheira NL and Serralheiro RP, 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of Sprinkler irrigated soils. *Biosystem Engineering* 86(3): 355-364.
- Shepard J and Wallender W, 1993. One-point method for estimating furrow infiltration. *Transactions of the ASAE* 36(2): 395-404.
- Strelkoff T and Katapodes ND, 1977. Border irrigation hydraulics with zero-inertia. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Division ASCE* 103(3):325-342.
- Valiantzas JD, Aggelides S and Salsalou A, 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. *Agricultural Water Management* 52(1):17-32.
- Walker WR and Skogerboe GV, 1987. *Surface irrigation theory and practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Wike OC, 1968. A hydrodynamic study of flow in irrigation furrow. Tech. Rep. 13. Water Resources Institute, Texas A & M University, College Station, Texas.
- WinSRFR 2.1 User Manual- DRAFT 2006 U.S. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Arid-Land Agricultural Research Center, 21881 N. Cardon Lane, Maricopa, AZ 85239.