دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی
۲ خرداد ماه ۱۳۸۷

توسعه مدل پیشروی آب در آبیاری شیاری بر اساس شدت جریان ورودی و رطوبت اولیه خاک

زهرا زواره‌ای مقدم[۱]، علی‌اصغر منتظر[۲]

چکیده

در آبیاری سطحی، سرعت پیشروی آب روی سطح خاک از اهمیت زیادی در ارزیابی توابع نفوذ و در نتیجه برآورد عملکرد سیستم برخوردار است. این مطالعه با هدف تعیین مدل پیشروی آب در آبیاری شیاری بر اساس شدت جریان ورودی و رطوبت اولیه خاک انجام گرفت. آزمایش بر روی ۳۰ شیار به طول ۷۰ متر و عرض ۷۵ سانتی متر صورت پذیرفت. تیمارهای آزمایشی بر اساس تغییرات دو پارامتر شدت جریان ورودی به شیارها و رطوبت اولیه خاک تعریف شدند. با توجه به نوع خاک، شیب زمین و ابعاد شیارها بازه تغییرات شدت جریان ورودی ۰/۹- ۰/۱ لیتر بر ثانیه و بازه تغییرات رطوبت اولیه خاک ۱۷-۳ درصد در نظرگرفته شد. برداشتهای صحرایی برای ۵ آبیاری متفاوت انجام گردید که به منظور حذف اثر تغییرات زمانی نفوذ بر مدل پیشروی، داده‌های آبیاری اول در تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار نگرفت. بر اساس داده‌های مشاهداتی، مدل سه متغیره‌ای به منظور پیش بینی زمان پیشروی آب در طول شیارها بر اساس فاصله پیشروی، شدت جریان ورودی و رطوبت اولیه خاک استخراج گردید. تحلیل حساسیت مدل نشان داد که زمان پیشروی جریان از حساسیت بالاتری نسبت به شدت جریان ورودی به شیار در مقایسه با رطوبت اولیه خاک برخوردار است (حدود دو برابر). همچنین رابطه توانی پیشروی بر اساس شدت جریان ورودی توسعه یافته و روشی جهت تعیین ضرائب آن ارائه گردید. ارزیابی نشان داد که رابطه پیشنهادی ضمن همبستگی بالا با داده‌های مشاهداتی، امکان برآورد زمان پیشروی آب را برای دبی‌های تست نشده با دقت بالایی فراهم می‌نماید. با مشخص شدن منحنی پیشروی جریان برای دبی‌های

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد

۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

تست نشده، می‌توان میزان نفوذ را با استفاده از روش‌هایی که مبتنی بر اطلاعات پیشروی می‌باشند، با دقت قابل قبولی برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری شیاری، شدت جریان، رطوبت اولیه، منحنی پیشروی

۱- مقدمه

در آبیاری سطحی، مسئله پیشروی آب به این دلیل که در برگیرنده اطلاعات ارزشمندی راجع به چگونگی نفوذ آب بداخل خاک می‌باشد، همواره مورد توجه بوده است. سرعت پیشروی به عوامل مختلفی از جمله شدت جریان ورودی، رطوبت اولیه خاک، مقاومت بستر خاک به جریان آب و شیب طولی مزرعه بستگی دارد. ساده‌ترین و معمولترین رابطه‌ای که برای پیشروی آب در شیار استفاده می‌شود یک رابطه توانی بصورت زیر است (Walker & Elliot, 1982; Walker & Skogerboer, 1987; Scaloppietal, 1995).

$$t = px^r \qquad (۱)$$

که در آن x فاصله پیشروی (متر) در مدت t دقیقه از ورود آب، و p و r ضرائب تجربی برازش می‌باشند. الیوت و واکر (Walker & Elliot, 1982) پس از مقایسات معادله (۱) با فرمهای دقیقتر و روشهای برازش منحنی نتیجه گرفتند که بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که معادله با دو نقطه برازش داده شود. زمان پیشروی آب تا نصف طول مزرعه $(L/2)$، و پیشروی تا انتها (L)، را می‌توان همزمان حل کرد تا پارامترهای تجربی p و r بدست آیند:

$$r = \frac{Ln(t_{0.5L}/t_L)}{Ln\ (0.5)} \qquad (۲)$$

$$p = \frac{t_L}{L^r} \qquad (۳)$$

ویلاردسون و بی‌شاپ (Willardson & Bishop, 1967) معادله پیشروی جریان را به صورت زیر بدست آورده‌اند:

$$t_x = a(e^{cx} - 1) \qquad (۴)$$

که در آن t_x مدت زمان لازم (به دقیقه) برای رسیدن جبهه پیشروی به فاصله x به فوت می‌باشد. ضرائب a و c را می‌توان با بدست آوردن شیب منحنی در دو نقطه از آن و جایگزینی مقادیر بدست آمده در معادله دیفرانسیلی زیر برای دو نقطه و حل آن به طریقه دو معادله و دو مجهول حساب نمود.

$$\frac{dt}{dx} = ac + ct_x \qquad (۵)$$

الورز (Alvarez, 2003) با استفاده از رابطه توانی پیشروی و معادله نفوذ کوستیاکف و ترکیب معادله بیلان حجم برای دو نقطه میانی و انتهایی شیار، رابطه زیر را جهت پیش بینی منحنی پیشروی برای دبی‌های تست نشده ارائه داد. ایشان فرض کردند که با تغییرات دبی، r ثابت و تنها P تغییر می‌کند.

$$\frac{P_{ne}}{P_e} = \frac{A_{one}Q_e}{A_{oe}Q_{ne}} \qquad (۶)$$

که در آن P_e ضریب رابطه توانی پیشروی برای یک دبی مشخص Q_e، با سطح مقطع جریان معلوم A_{oe} و P_{ne} ضریب رابطه توانی پیشروی برای دبی تست نشده Q_{ne}، با سطح مقطع جریان نامعلوم A_{one} می‌باشد.

در این تحقیق، رابطه توانی پیشروی بر اساس میزان دبی توسعه یافت و روشی جهت تعیین ضرائب تجربی آن ارائه گردید. با استفاده از رابطه پیشنهادی می‌توان منحنی پیشروی و همچنین میزان نفوذ را برای سایر دبی‌های تست نشده پیش‌بینی کرد.

۲- مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در مزرعه آموزشی- تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران صورت پذیرفت. بدین منظور در قطعه زمینی به طول ۷۰ متر و عرض ۲۵ متر، شیارهایی به فواصل ۷۵ سانتی متر از یکدیگر ایجاد گردید. بافت خاک مزرعه مورد مطالعه از نوع رسی و میانگین شیب مزرعه ۰/۴ درصد بود. به منظور حذف اثر شیارها بر یکدیگر در طرفین هر شیار اندازه‌گیری، یک شیار به عنوان محافظ در نظر گرفته شد. برای ورود آب به شیارها از سیفون استفاده شد. اندازه‌گیری میزان دبی سیفون‌ها به روش حجمی با ایجاد حفره‌ای در خاک، قبل از آبیاری انجام گرفت. برای اندازه‌گیری سرعت حرکت جبهه پیشروی در شیارها، کناره شیارها به فواصل ۵ متر میخ‌کوبی شد. با شروع آبیاری زمان رسیدن جبهه پیشروی به هر میخ (ایستگاه) یادداشت گردید. تیمارهای آزمایشی بر اساس تغییرات دو پارامتر شدت جریان ورودی به شیارها و رطوبت اولیه خاک شیارها تعریف شدند. با توجه به بافت خاک، شیب زمین و ابعاد شیارها بازه تغییرات شدت جریان ورودی ۰/۹- ۰/۱ لیتر بر ثانیه و بازه تغییرات رطوبت اولیه خاک ۱۷-۳ درصد در نظر گرفته شد. از آنجا که انجام آزمایش و اندازه‌گیریها در یک رطوبت از پیش تعیین شده بدلیل مشکل

پایش رطوبت خاک تا لحظه رسیدن به رطوبت مورد نظر میسر نبود، اندازه‌گیری پیشروی در رطوبت‌های مختلف بعد از گذشت زمان معینی از آبیاری صورت گرفت.

برداشت‌های صحرایی برای ۵ آبیاری متفاوت انجام شد که به منظور حذف اثر تغییرات زمانی نفوذ بر مدل پیشروی، داده‌های آبیاری اول در تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار نگرفت.

به منظور تعیین رابطه میان سرعت پیشروی، رطوبت اولیه خاک و دبی ورودی نخست روابطی بین پارامترهای مذکور بصورت زیر پیشنهاد گردید:

$$t = f(x, Q, \theta) \qquad (۷)$$

که در آن:

t = زمان پیشروی (دقیقه)

x = فاصله پیشروی از ابتدای شیار (متر)

Q = میزان جریان ورودی به شیار (مترمکعب بر دقیقه)

θ = رطوبت خاک قبل از آبیاری (درصد وزنی)

با استفاده از نرم‌افزار Datafit 8.2 بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده، میزان ضریب همبستگی و خطای محاسباتی برای هر یک از مدل‌های پیشنهادی تعیین شد و بر اساس آن بهترین رابطه استخراج گردید.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- مدل‌های رگرسیونی پیشنهادی پیشروی بر اساس رطوبت اولیه خاک و دبی ورودی به شیار

تعدادی از مناسب‌ترین روابط برازش شده در جدول (۱) ارائه گردیده است.

جدول ۱- روابط رگرسیونی پیشنهادی میان سرعت پیشروی، رطوبت اولیه خاک و دبی ورودی به شیار

مدل پیشنهادی	ضریب همبستگی	خطای استاندارد برآورد
$t = \propto x^{\beta} Q^{\gamma} \omega^{\theta}$	۰/۹۹۲	۱/۳۰۶
$t = \propto x^{\beta} Q^{\gamma} \exp(\omega\theta)$	۰/۹۹۲	۱/۳۰۶
$t = \propto x^{\beta} Q^{\gamma} \theta^{\omega}$	۰/۹۹۰	۱/۴۶۸
$t = \propto x^{\beta} \exp(\gamma Q + \omega\theta)$	۰/۹۶۰	۲/۹۹۵
$t = \exp(\propto x + \beta Q + \gamma\theta + \omega)$	۰/۹۳۱	۳/۹۴۶

از میان روابط موجود در جدول (۱) با توجه به مقادیر همبستگی و خطای محاسباتی رابطه اول انتخاب شد. شکل کامل شده معادله مذکور به صورت زیر می‌باشد:

$$t = 0.0038x^{1.30}Q^{-0.99}(0.94^{\theta}) \quad (۸)$$

۳-۲- آنالیز حساسیت مدل سه متغیره پیشروی

میزان همبستگی هر یک از متغیرهای مستقل رابطه (۸) با زمان پیشروی با استفاده از آنالیز آماری داده‌های مشاهداتی در نرم‌افزار Datafit 8.2 تعیین شد (جدول ۲). ملاحظه می‌شود که حساسیت زمان پیشروی به تغییرات مکانی بیش از سایر متغیرهاست. همینطور مشاهده می‌شود که تأثیرپذیری زمان پیشروی از دبی ورودی دو برابر میزان رطوبت اولیه خاک می‌باشد. به عنوان مثال، ۲۰ درصد افزایش در میزان دبی ورودی به همان میزان زمان پیشروی را کاهش می‌دهد؛ در حالیکه همین مقدار افزایش در میزان رطوبت اولیه خاک تنها ۱۰ درصد کاهش زمان پیشروی را به همراه دارد.

جدول ۲- میزان همبستگی متغیرهای مستقل با زمان پیشروی

متغیر وابسته	متغیر مستقل		
	$x\,(m)$	$Q\ (m^3/min)$	$\theta\ (\%)$
$t\ (min)$	0.57	-0.44	-0.22

علامت منفی بر رابطه معکوس بین متغیر مربوطه و زمان پیشروی دلالت می‌کند.

بررسی انجام شده نشان می‌دهد که توان متغیر Q در رابطه (۸) از ۱/۰۱- در ایستگاه میانی به ۰/۹۹- در ایستگاه پایانی می‌رسد. بدین معنا که اثر دبی ورودی بر زمان پیشروی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در این تحقیق با توجه به کوتاه بودن طول شیارها این تغییرات قابل ملاحظه نمی‌باشد.

۳-۳- توسعه رابطه توانی پیشروی بر اساس دبی ورودی به شیار

با فرض اینکه در زمانبندی آبیاری، آبیاری هنگامی انجام می‌شود که رطوبت خاک به حد معینی رسیده باشد، لذا از اثر تغییرات رطوبت اولیه خاک در طول فصل آبیاری صرف نظر نموده و رابطه فوق به فرم زیر بازنویسی می‌شود:

$$t = \propto x^{\beta}Q^{\gamma} \quad (۹)$$

رابطهٔ فوق را می‌توان شکل توسعه یافته رابطهٔ (۱) دانست که مستقیماً از داده‌های مشاهداتی استخراج شده است.

جهت تعیین ضرائب رابطه فوق، نخست لازم است در دو شیار که شرایط مشابهی (رطوبت اولیه خاک، طول، سطح مقطع و ...) دارند، به ازای دو جریان ورودی مختلف، پیشروی اندازه‌گیری شود. ارزیابی‌های انجام شده نشان می‌دهد، بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که اطلاعات پیشروی ایستگاههای میانی و انتهایی هر یک از شیارهای مورد آزمایش مورد استفاده قرار گیرد. بدین ترتیب چنانچه همزمان زمان پیشروی آب تا نصف طول شیار و پیشروی تا انتها را برای هر یک از شیارها جداگانه حل کنیم؛ متوسط مقادیر بدست آمده برابر است با توان x.

$$Q_1\begin{cases}t_{1(0.5L)}\\ t_{1L}\end{cases};\ Q_2\begin{cases}t_{2(0.5L)}\\ t_{2L}\end{cases}$$

$$\beta = average\left\{\frac{Ln(t_{1(0.5L)}/t_{1L}}{Ln(0.5)},\frac{Ln(t_{2(0.5L)}/t_{2L}}{Ln(0.5)}\right\} \qquad (۱۰)$$

برای تعیین توان Q، یکبار زمان پیشروی ایستگاه میانی و بار دیگر زمان پیشروی ایستگاه پایانی شیارها را همزمان حل می‌کنیم. و سپس از مقادیر حاصله میانگین می‌گیریم.

$$\gamma = average\left\{\frac{Ln(t_{1(0.5L)}/t_{2(0.5L)})}{Ln(Q_1/Q_2)},\frac{Ln(t_{1L}/t_{2L})}{Ln(Q_1/Q_2)}\right\} \qquad (۱۱)$$

با مشخص شدن توان هر یک از متغیرهای رابطه (۹)، با استفاده از یکی از داده‌ها می‌توان مقدار ضریب معادله مذکور را محاسبه کرد:

$$\propto = \frac{t_{2L}}{L^{\beta}Q_2^{\gamma}} \qquad (۱۲)$$

۳-۴- ارزیابی روش پیشنهادی جهت تعیین پارامترهای تجربی رابطه پیشروی ارائه شده

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، ضرائب معادله (۹) با استفاده از داده‌های پیشروی دو شیار که دارای جریان ورودی متفاوت بودند، محاسبه گردید.

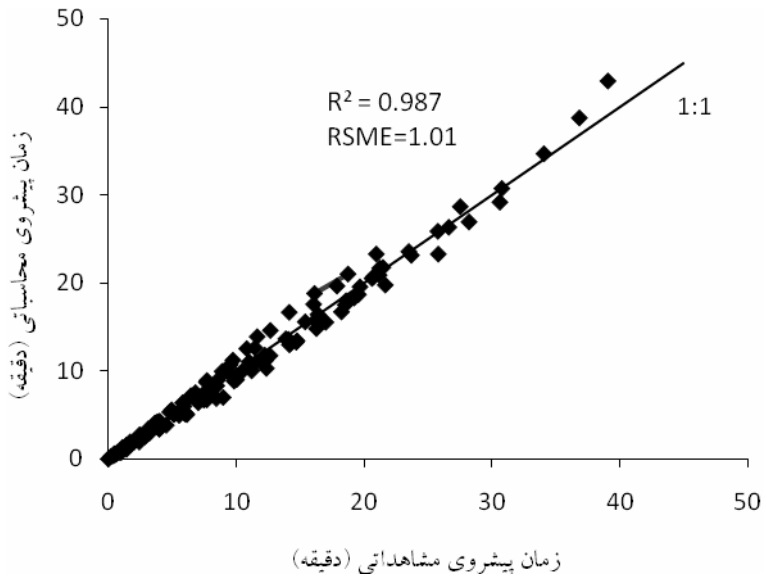
جدول ۳- اطلاعات پیشروی دو شیار مورد آزمایش جهت ارزیابی روش پیشنهادی

پارامتر	شیار شماره ۱	شیار شماره ۲
$Q\ (L/s)$	۰/۱۶۸	۰/۷۴۲
$L\ (m)$	۷۰	۷۰
$S\ (m/m)$	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳۹
$\theta_m\ (\%)$	۱۲/۴	۱۲/۴
$t_L\ (min)$	۳۹/۰۸	۱۱/۰۲
$t_{0.5L}\ (min)$	۱۶/۴	۳/۸۴

با جایگذاری ضرائب محاسبه شده در رابطه (۸) داریم:

$$t = 0.00176x^{1.387}Q^{-0.916} \qquad (۱۳)$$

جهت بررسی دقت رابطه فوق، زمانهای پیشروی برای سایر دبی‌ها که اطلاعات پیشروی آنها در دست بود، محاسبه شد. در شکل (۱) زمانهای پیشروی محاسبه شده با مقادیر واقعی مقایسه شده‌اند. همبستگی بالای مقادیر واقعی و محاسباتی بیانگر دقت قابل قبول روش ارائه شده می‌باشد.



شکل ۱- مقایسه زمان پیشروی مشاهده شده و محاسبه شده بر اساس رابطه (۱۳)

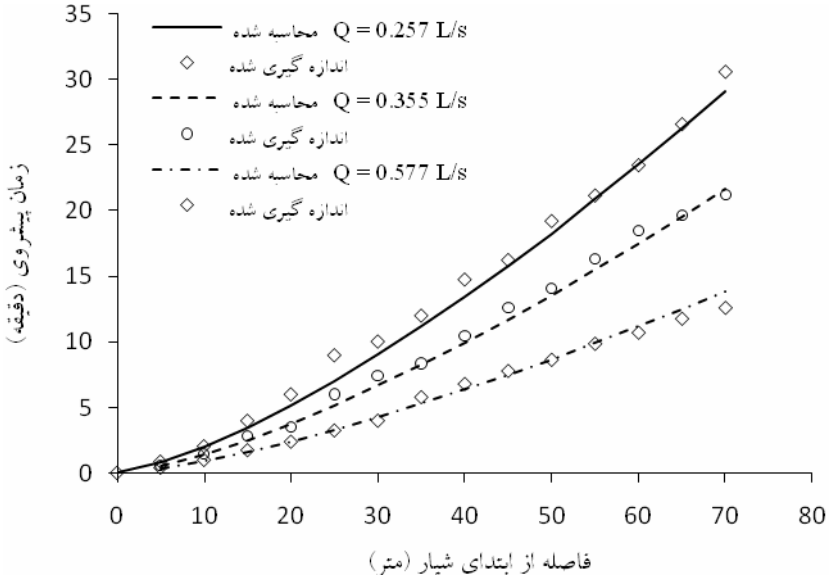
۳-۵- برآورد منحنی پیشروی و میزان نفوذ برای دبی‌های تست نشده

در این تحقیق رابطه ارائه شده برای پیشروی و روش پیشنهادی برای تعیین ضرائب آن این امکان را فراهم می‌آورد تا در محدوده مورد نظر بتوان منحنی پیشروی را برای سایر دبی‌ها که مورد

آزمایش قرار نگرفته‌اند، تعیین کرد. در شکل (۲) منحنی پیشروی مربوط به سه جریان ورودی که با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه شده، ارائه شده است. لذا با داشتن رابطه میان سرعت پیشروی و میزان دبی برای یک مزرعه معین، می‌توان با در نظر گرفتن سایر ملاحظات (مقدار عمق کاربرد، نوع خاک و ...) نسبت به انتخاب مناسب میزان جریان ورودی به شیار تصمیم‌گیری کرد. مزیت دیگر رابطه مورد بحث این است که با مشخص شدن منحنی پیشروی برای دبی‌های تست نشده، می‌توان میزان نفوذ را با استفاده از روش‌هایی که مبتنی بر اطلاعات پیشروی هستند (مانند روش دو نقطه‌ای)، برآورد کرد.

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس داده‌های مشاهداتی، مدل سه متغیره‌ای به منظور پیش بینی زمان پیشروی آب در طول شیارها بر اساس فاصله پیشروی، شدت جریان ورودی و رطوبت اولیه خاک استخراج گردید. ملاحظه شد که حساسیت زمان پیشروی به تغییرات مکانی بیش از سایر متغیرهاست. همچنین تأثیرپذیری زمان پیشروی از دبی ورودی دو برابر میزان رطوبت اولیه خاک بود. بررسی انجام شده نشان داد که اثر دبی ورودی بر زمان پیشروی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در این تحقیق رابطه توانی پیشروی بر اساس شدت جریان ورودی توسعه یافت و روشی جهت تعیین ضرائب آن ارائه گردید. بدین ترتیب می‌توان با دقت قابل قبولی منحنی پیشروی و در نتیجه نفوذ را برای سایر دبی‌ها که مورد آزمایش قرار نگرفته‌اند، برآورد نمود. این امر به انتخاب مناسب میزان دبی ورودی به شیارها و نیز زمان قطع جریان کمک شایانی خواهد کرد.



شکل ۲- مقایسه منحنی پیشروی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده

فهرست منابع

۱. مریام، جان ال. و کلر، جک، ترجمه ف. قاسم زاده مجاوری، ۱۳۷۷. ارزیابی سیستم‌های آبیاری مزارع، چاپ دوم، انتشارات آستان قدس رضوی.

2. Alvarez, J. A. R., 2003. Estimation of advance and infiltration equations in furrow irrigation for untested discharges. J. Agricultural Water Management 60, 227–239.
3. Elliot, R. L., Walker, W. R., 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Trans. ASAE 15 (2), 369–400.
4. Scaloppi, E. J., Merkley, G. P., Willardson, L. S., 1995. Intake parameters from advance and wetting phases of surface irrigation. J. Irrigation Drainage Eng. ASCE 121(1), 57–70.
5. Walker, W. R., Skogerboer, G. V., 1987. Surface irrigation: Theory and Practice. Prentice-Hall, Engle wood Cliffs, NJ, 386 pp.
6. Willardson, L. S., and Bishop, A. A., Analysis of surface irrigation application efficiency, Journal of the irrigation and drainage division, ASCE, Vol. 93, No. IR2, June 1967.