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

حساسیت‌سنجی روش‌های مختلف برآورد پارامترهای نفوذ در آبیاری شیاری

حسن حبیبی خاوه[۱]، علی اصغر منتظر[۲]، سیدمحمودرضا بهبهانی[۳]

چکیده

در این تحقیق هشت روش برآورد پارامترهای مدل نفوذ کوستیاکوف در آبیاری شیاری با طول کوتاه مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش برای شیارهای با طول ۶۰ متر و عرض‌های۴۰،۵۰ و ۶۰ سانتی متر در ۳ نوبت آبیاری متوالی و دو نوع بافت خاک سبک و سنگین انجام شد. روش‌های مورد ارزیابی عبارت بودند از (۱) الیوت و واکر، (۲) شپارد، (۳) نفوذسنجی کریدل و همکاران، (۴) نفوذ سنجی اصلاح شده کریدل و همکاران، (۵) ولیانتزاس، (۶) آپادهیایا و راگوانشی، (۷) مک‌کلی‌مونت و اسمیت (نرم افزار Infilt) و (۸) بهینه‌سازی خطا با استفاده از نرم افزار Matlab. نتایج اندازه‌گیری مزرعه‌ای نشان داد که روش برآورد پارامترهای نفوذ بر مقادیر کمّی این ضرایب تاثیرگذار می‌باشد. بررسی انجام شده بیانگر آن است که عرض شیار و روش برآورد بر مقدار ضریب توانی (a) معادله کوستیاکف تاثیر چندانی ندارد لکن بر مقدار ضریب ثابت معادله (k) تاثیر قابل توجهی دارد. منحنی نفوذ تجمعی بدست آمده برای شیارهای باریک با استفاده از روش‌های مختلف همخوانی زیادی داشته اما برای شیارهای پهن، منحنی‌ها متفاوت بوده و به روش تعیین معادله نیز وابسته می‌باشد. مقادیر نفوذ تجمعی برآورد شده از روش‌های مورد مطالعه، در خاک سبک اختلاف کمتری نسبت به خاک سنگین نشان دادند. عموماً در تمام آبیاری‌ها و هر دو نوع بافت خاک سبک و سنگین، در شیارهای باریک منحنی‌های نفوذ تجمعی تطابق بیشتری داشتند. نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که تقریباً کلیه روش‌ها به طول شیار حساسیت خیلی زیاد دارند. همچنین کلیه روش‌ها به تغییرات دبی حساس هستند. دبی ورودی به شیار به دلیل تاثیری که بر زمان پیشروی دارد بر روی الگوی نفوذ موثر است. دامنه حساسیت روشهای هشتگانه به ضریب زبری بستر از کم

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد

۲ و ۳- استادیار و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

حساسیت تا حساس متغیر است. همچنین روش مک‌کلی‌مونت و اسمیت و روش نرم‌افزار Matlab ضرایب نفوذ را یکسان برآورد می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری شیاری، آنالیز حساسیت، پارامترهای نفوذ، معادله کوستیاکوف

۱- مقدمه

نفوذپذیری یکی از مهمترین پارامترهای خاک در طراحی و ارزیابی روش‌های آبیاری سطحی است (۱۳،۱۲،۷،۵). شیوه تعیین مشخصات نفوذ خاک بر مقدار کمّی نفوذ تاثیرگذار بوده و از اینرو می بایست با اهداف مطالعه مناسبت داشته باشد (۶،۵). در آبیاری شیاری، شکل و اندازه شیار بر روی حجم آب نفوذ یافته تاثیر داشته بطوری که اندازه شیار باعث افزایش محیط خیس شده و سطح تماس آب و خاک در شیار می‌گردد (۱۱). در رابطه با مقایسه روشهای تعیین خصوصیات نفوذ در شیارها، مطالعات پراکنده و البته محدودی انجام گردیده که از جمله مهمترین آن می توان به موارد زیر اشاره نمود. هولزافل و همکاران مطالعاتی در مورد ارزیابی چهار روش شامل نفوذ سنجی شیار، روش دو نقطه‌ای، روش یک نقطه‌ای و روش پیشروی انجام دادند (۴). نتایج تحقیقات ایشان نشان‌دهنده عدم وابستگی نمای معادله نفوذ کوستیاکف به روش‌های مختلف برآورد ثابت‌های نفوذ و همچنین نشان‌دهنده مشابهت منحنی‌های پیشروی در روش‌های مختلف در شیار باریک می‌باشد. با وجود پیشرفت‌های فراوانی که در دو دهه اخیر در مورد آبیاری سطحی ایجاد شده است اطلاعات موجود در زمینه تحلیل حساسیت متغیرهای وابسته مزرعه، طراحی و مدیریتی ناچیز است و همین اطلاعات نیز به صورت کمی موجود نیست. سینگ (۱۰) در سال ۱۹۹۰ تحقیقاتی را در مورد حساسیت متغیرهای کارایی در مورد کرت با انتهای بسته (راندمان کاربرد Ea، راندمان نیاز آبی Er، و راندمان یکنواختی کریستیان‌سن Ucc) را نسبت به متغیرهای نفوذپذیری و ضریب زبری مانینگ انجام داد. بواتسیا و والندر (۱) در سال ۱۹۹۲ مشاهدات کیفی را در مورد حساسیت پیشروی به تغییرات نفوذپذیری، هندسه شیار و ضریب زبری هیدرولیکی انجام دادند. زریهون و همکاران (۱۶) در سال۱۹۹۶ تحقیقاتی را در مورد آنالیز حساسیت ۶ متغیر آبیاری شیاری مانند راندمان کاربرد Ea، راندمان نیاز آبی Er، و راندمان یکنواختی کریستیان‌سن Ucc نسبت به ۱۳ متغیر مستقل مانند ضرایب شکل شیار، دبی ورودی به شیار و ضریب زبری انجام دادند. ایشان در تحقیقاتشان به این نتیجه رسیدند که نمی‌توان یک رابطه (مستقیم یا معکوس) بین متغیرهای وابسته و مستقل برقرار کرد لکن می‌توان حساسیت متغیرهای وابسته را نسبت به متغیرهای مستقل در ۵ دسته غیر حساس، کم حساسیت، نسبتا حساس، خیلی حساس و خیلی خیلی حساس طبقه‌بندی نمود.

هدف از انجام تحقیق حاضر، برآورد مقادیر پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف در سه نوبت آبیاری و در سه شیار باریک، متوسط و پهن با استفاده از ۸ روش مختلف در دو نوع بافت خاک سبک و سنگین

می‌باشد. ارزیابی شیوه‌های برآورد و حساسیت سنجی هر یک نسبت به پارامترهای هندسی و هیدرولیکی شیارها از دیگر اهداف این مطالعه است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آزمایشات صحرایی

آزمایش در دو مزرعه مختلف با بافت‌های خاک سبک و سنگین انجام گردید. مزرعه با بافت خاک سبک در یک باغ گیلاس در روستای خاوه از توابع شهر کهک استان قم واقع بود. خاک این مزرعه از نوع لوم شنی و شیب مزرعه در جهت طول شیارها ۰/۰۰۸ m/m بود. مزرعه با بافت خاک سنگین در مزرعه آزمایشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران قرار داشت. خاک مزرعه از نوع لوم رسی و شیب مزرعه در جهت طول شیارها نیز ۰/۰۰۸ m/m بود. در هر مزرعه، سه شیار منشوری با اندازه‌های باریک، متوسط و پهن (به ترتیب با عرض بالای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ سانتی متر) در سه تکرار به طول ۶۰ متر ایجاد گردید و دبی ثابت ۰/۵ لیتر بر ثانیه وارد هر یک از شیارها شد. دبی ورودی از طریق کانال انتقال آب بالاسری و به کمک سیفون تامین گردید. اندازه‌گیری جبهه پیشروی در شیارها در فواصل ۱۰ متری صورت گرفت. دبی ورودی و خروجی شیار نیز به کمک فلوم WSC تیپ ۱ و۲ اندازه‌گیری شد.

۲-۲- روش‌های برآورد پارامترهای معادله نفوذ

در این تحقیق، روش‌های (۱) الیوت و واکر، (۲) شپارد، (۳) نفوذسنجی کریدل و همکاران، (۴) نفوذسنجی اصلاح شده کریدل و همکاران، (۵) ولیانتزاس، (۶) آپادهیایا و راگوانشی، (۷) نرم افزار Infilt ارائه شده توسط مک‌کلی‌مونت و اسمیت و (۸) بهینه‌سازی خطا با استفاده از نرم افزار Matlab به منظور برآورد پارامترهای معادله نفوذ مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین حساسیت‌سنجی هر یک از روش‌ها نسبت به مقادیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی ورودی با استفاده از روش زریهون و همکاران (۱۶) انجام شد. ذیلا به معرفی هر یک از روش‌های برآورد نفوذ پرداخته می‌شود.

- روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر

الیوت و واکر در سال ۱۹۸۲ (۲) یک روش ساده برای به دست آوردن ثابت‌های معادله نفوذ کوستیاکف، بر پایه رابطه بین پیشروی جبهه آب و زمان پیشروی در شیار ارائه کردند. معادلات عمومی استفاده شده برای به دست آوردن ثابت‌ها عبارتند از:

$$qt_x = \sigma_y A_0 x + \sigma_z k t_x^a$$

که در آن:

qt_x حجم متوسط نفوذ یافته در واحد طول در زمان t بر حسب m^3، σ_z فاکتورشکل تحت الارضی، rثابت توانی معادله پیشروی و k و a ثابت‌های معادله نفوذ کوستیاکف هستند. فاکتور σ_z به صورت زیر به دست می آید:

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

و معادله توانی پیشروی نیز به صورت زیر است:

$$x = pt^r$$

که در آن:

x فاصله جبهه پیشروی آب تا ابتدای شیار بر حسب متر، t زمان پیشروی بر حسب دقیقه و p و r نیز ثابت هستند.

در این روش، معادلات زیر برای به دست آوردن ثابت‌های k و a (پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف) به کار گرفته می‌شود.

$$k = \frac{V_L}{\sigma_z t_L^a}$$

$$a = \frac{\ln(V_L / V_{0.5L})}{\ln(T_L / T_{L/2})}$$

که در آن:

$$V_L = \frac{Q_0 t_L}{L} - \sigma_y A_0$$

$$V_{0.5L} = \frac{2Q_0 t_{0.5L}}{L} - \sigma_y A_0$$

که در آن:

T_L زمان پیشروی بر حسب دقیقه در طول L، $T_{\frac{L}{2}}$ زمان پیشروی بر حسب دقیقه در طول $\frac{L}{2}$، V_L حجم جریان در فارو در فاصله L بر حسب متر مکعب، $V_{0.5L}$ حجم جریان در فارو در فاصله L/2، بر حسب متر مکعب، و Q_i دبی ورودی بر حسب ($m^3 / \min$) می‌باشد.

در روش دو نقطه‌ای، برای حجم آب در سطح که حاصل مساحت سطح مقطع در قسمت ورودی شیار و طول پیشروی جبهه آب می‌باشد، یک ضریب شکل(σ_y) که تغییراتی در حدود۰/۵تا۱/۰دارد، معمولا ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود. این روش بسیار ساده و به کار بردن آن در مزرعه فقط به زمان پیشروی دو نقطه در طول شیار، دبی ورودی به شیار و مساحت سطح مقطع جریان در قسمت ورودی دارد.

- روش یک نقطه‌ای شپارد

روش یک نقطه‌ای توسط شپارد و همکاران(۹) در سال ۱۹۹۳ ارائه شد. این روش از همان روش دو نقطه‌ای تبعیت می‌کند. تفاوت آن با روش دو نقطه‌ای در این است که فرض می‌شود ثابت توانی معادله پیشروی ۰/۵ است. در این حالت به دست آوردن معادله پیشروی تنها نیاز به یک نقطه دارد. معادلات به دست آوردن ثابت‌های k و a در این حالت مانند معادلات روش الیوت و واکر است و فقط معادله محاسبه σ_z به صورت زیر تغییر می‌یابد.

$$\sigma_z = \frac{a + 0.5(1-a) + 1}{(1+a)(1.5)}$$

این روش برای محاسبه نفوذ متوسط شیار با استفاده از زمان پیشروی انتهای شیار، جریان ورودی و مساحت سطح مقطع شیار به کار می رود.

- روش نفوذسنجی شیار

روش نفوذسنجی توسط کریدل و همکاران (۳) در سال ۱۹۵۶ توضیح داده شده است. این روش به اندازه‌گیری دبی ورودی و دبی خروجی در ابتدا و انتهای شیار همینطور طول شیار و محیط خیس شده شیار نیاز دارد. سرعت نفوذ به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$VI(t) = \frac{Q_i - Q_0}{LWP}$$

که در آن: $VI(t)$ سرعت نفوذ در زمان t به صورت ($m^3/\min/m^2$)، Q_0 دبی ورودی بر حسب $m^3/\min$، Q_0 دبی خروجی بر حسب $m^3/\min$، L طول شیار بر حسب متر و WP محیط خیس شده بر حسب متر است. مزیت روش نفوذسنجی در این است که محاسبات بر پایه اندازه‌گیری از کل شیار است. هر چند فقط مقدار متوسط نفوذ در این روش تعیین می‌شود. با انتگرال‌گیری از معادله بالا می‌توان مقادیر ثابت‌های k و a را در معادله نفوذ تجمعی به دست آورد.در این مقاله از انتگرال گیری ذوزنقه‌ای به صورت زیر برای تعیین معادله نفوذ استفاده گردیده است.

$$\int_0^t VI(t) = \frac{1}{LWP}\int_0^t Q_i - Q_0$$

$$I = \frac{1}{LWP}V_t - \sum_{i=1}^{n} Q_{0i}(t_t - t_{adv})$$

که در آن: t_t زمان کل از ابتدای آبیاری، t_{adv} زمان پیشروی و Q_{0i}، i امین دبی خروجی ثبت شده از شیار می‌باشد. در تحقیق حاضر، تعداد دبی‌های خروجی مورد استفاده n=۳ دبی خروجی بوده است. پس از انجام انتگرال‌گیری برای ۳ زمان مختلف ۳ مقدار برای نفوذ تجمعی به دست می‌آید. با استفاده از این ۳ نقطه می‌توان با روش‌های مختلف ضرایب معادله نفوذ را به دست آورد. سپس با برازش معادله نفوذ کوستیاکف بر این ۳ نقطه متغیرهای a و k معادله نفوذ کوستیاکف به دست خواهد آمد. ایراد اساسی روش کریدل و همکاران در این است که حجم آب روی سطح شیار را در نظر نمی‌گیرد.

- روش نفوذسنجی شیار اصلاح شده

در این مقاله برای اصلاح روش کریدل و همکاران، در یک روش اصلاح شده حجم آب روی سطح شیار نیز در نظر گرفته می‌شود. حجم آب روی سطح شیار با استفاده از فرمول زیر برآورد می‌گردد.

$$V_s = \sigma_y A_0 L$$

که در آن:

σ_y، ضریب شکل شیار، A_0 سطح مقطع متوسط جریان و L طول شیار است. بنابراین معادله به صورت زیر اصلاح می‌شود.

$$I = \frac{1}{LWP}V_t - \sum_{i=1}^{n}[Q_{0i}(t_t - t_{adv})] - \sigma_y A_0 L$$

روش انجام کار مشابه روش نفوذسنجی می‌باشد.

- روش ولیانتزاس

ولیانتزاس و همکاران (۱۳) در سال ۲۰۰۱ یک روش را برای برآورد ضرایب تابع نفوذ معرفی کردند. این روش برای پیشروی از همان تابع توانی پیشروی روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر استفاده می‌کند. البته ولیانتزاس و همکاران برای مدل‌سازی نفوذ از تابع نفوذ USDA به فرم زیر استفاده کردند.

$$i = kt^{\alpha} + c$$

که در آن k و α ضرایب تجربی و c ضریب ثابت ۰/۰۰۷مترمکعب بر هر متر طول شیار است. ولیانتزاس و همکاران نشان دادند که k و α به کمک رابطه زیر به یکدیگر وابسته می‌شوند.

$$k = \frac{14088\alpha^{45} + 0.148(-\ln\alpha)^{-1.652}}{1000}$$

با جایگذاری این معادله در معادله موازنه حجم و انتگرال‌گیری از آن خواهیم داشت:

$$Q_0 t = \sigma_y A_0 x + \sigma_z k t^{\alpha} x + cx$$

که در آن σ_z همان تعریفی را دارد که در معادله دو نقطه‌ای داراست. با استفاده از دو نقطه (x_1,t_1) و (x_2,t_2) که در آن $x_1 = 0.5x_2$ دو معادله همزمان خواهیم داشت که می‌توان آنها را برای متغیرهای مجهول معادله حل کرد. به طور خلاصه:

$$r = \frac{\ln(\frac{x_1}{x_2})}{\ln(\frac{t_1}{t_2})} = \frac{\ln(\frac{0.5Q_0 t_2}{0.5^{a}(Q_0 t_2 - \sigma_y A_0 x_0 - cx_2)} + \sigma_y A_0 x_2 + cx_2}{\ln(\frac{1}{2})}$$

و همچنین

$$f(a) = \sigma_z k t_2^{a} - \frac{Q_0 t_2 - \sigma_y A_0 x_2 - cx_2}{x_2} = 0$$

برای حل باید از روش‌های تکراری مرسوم استفاده کرد. ابتدا یک مقدار اولیه برای α فرض می‌شود و سپس از روی آن r محاسبه می‌شود. معادله زیر نیز برای یافتن αجدید به روش نیوتن رافسون حل می‌شود.

$$a_{new} = a - \frac{f(a)}{f'(a)}$$

که در آن:

$$f'(a) \approx \sigma_z t_2^{a}\left(\frac{dk}{da} + k\ln t_2\right)$$

و

$$\frac{dk}{da} = 633.96a^{44} + \frac{0.2445(-\ln(a)^{-2.652}}{1000a}$$

محاسبه f و α ادامه می‌یابد تا مقادیر α به یکدیگر همگرا شود.

- روش آپادهیایا و راگوانشی

آپادهیایا و راگوانشی (۱۲) در سال ۱۹۹۹ در توصیف روششان از معادله نمایی هورتون برای مدل‌سازی نفوذ تجمعی به صورت زیر استفاده کردند:

$$I = F(1 - e^{-\theta t}) + ft$$

که در آن F و θ ضرایب ثابت هستند و f نیز سرعت نفوذ پایه خاک در معادله هورتون است متغیر F تابعی از سرعت نفوذ اولیه و سرعت نفوذ نهایی است. همچنین پیشروی با استفاده از تابع توانی زیر توصیف می‌شود.

$$x = x_{\max}(1 - e^{-\theta t})$$

که نمای θ همان نمای معادله هورتون می باشد. $x_{\max}$، بیشترین فاصله پیشروی ممکن (نقطه نهایی شیار) می‌باشد. برای به دست آوردن f و F از معادله زیر که با استفاده از معادله موازنه حجم ایجاد شده استفاده می‌شود.

$$V = qt = F[\frac{x}{\theta} - t(x_{\max} - x) + f[t(2x_{\max} - x) - \frac{2x}{\theta}] + \sigma_y A_0 x$$

در این مقاله این معادله برای (x_i, t_i)های مختلف پیشروی نوشته می‌شود و بهترین برازش منحنی با پیوستگی ۹۹ درصد به دست می‌آید. دو متغیر نفوذ f و F می‌توانند با استفاده از نتایج حاصل از این برازش به دست آیند. برای به دست آوردن θ نیز معادله نمایی هورتون برای (x_i, t_i)های مختلف پیشروی استفاده می‌گردد و با برازش نقاط بر این معادله بهترین مقدار θ با پیوستگی ۹۹ درصد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- روش نرم افزار Infilt

نرم افزار Infilt توسط مک‌کلی‌مونت و همکاران (۷) ارائه گردید. این نرم افزار از معادلات پایه روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر استفاده می‌کند با این تفاوت که در روش مورد استفاده در این نرم‌افزار فقط به داده‌های پیشروی و دبی ورودی به شیار نیاز است و بقیه پارامترهای موجود، مانند سطح مقطع متوسط

شیار و سرعت نفوذ پایه خاک توسط این نرم افزار محاسبه می‌شود. روش مورد استفاده در این نرم افزار در مقاله مک‌کلی‌مونت و همکاران توصیف شده است. با استفاده از تنها ۳ داده پیشروی و مشخص بودن مقادیر دبی و ورودی به شیار و مقدار سطح مقطع متوسط جریان می‌توان ضرایب a و k را در معادله کوستیاکف و کوستیاکف لوئیس به دست آورد. این نرم افزار برای حل از روش بهینه‌سازی به منظور کاهش خطا در محاسبات خود استفاده می‌کند.

- روش استفاده از توابع Matlab

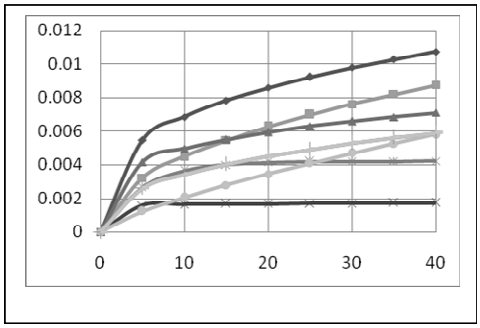
نرم افزارMatlab به کمک روش‌های پیشرفته محاسباتی، توانایی‌های گسترده‌ای مانند حل انتگرال معین و نامعین چندگانه، مشتق‌گیری و حل چند معادله چند مجهول را داراست. این روش که برای اولین بار در این مقاله ارائه شده است، بر پایه حل همزمان معادلات موازنه حجم در شیار برای چند زمان پیشروی متفاوت می‌باشد. برای انجام مدل‌سازی تنها نیاز به داده‌های پیشروی و دبی ورودی به شیار دارد. پس از حل همزمان معادلات موازنه حجم برای چند زمان پیشروی (حداقل ۳ زمان پیشروی) با توجه به تعداد معادلات ایجاد شده می‌توان مقادیر ضرایب a و k معادله کوستیاکف همچنین سطح مقطع متوسط شیار و مقدار نفوذ پایه را به دست آورد. برای نیل به این مقصود این روش از توابع sym و $fsolve$که برای حل چند معادله و چند مجهول به کار می‌رود، استفاده می‌کند. معادلات اساسی این روش نیز همان معادلات پایه در روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

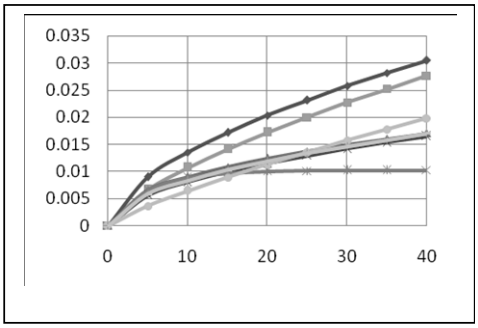
۳-۱- مقایسه منحنی‌های نفوذ در خاک سبک و سنگین در آبیاری‌ها و عرض شیارهای متفاوت

در این بخش منحنی‌های نفوذ در دو خاک سبک و سنگین (به ترتیب خاوه و ابوریحان) مقایسه می‌شود. هدف از این مقایسه پاسخ به این سئوال است که در کدام یک از این دو خاک، منحنی‌های نفوذ در روش‌های هشتگانه به هم نزدیکتر است. پاسخ به این سوال در حقیقت روشن‌کننده این موضوع است که کدامیک از دو نوع خاک حساسیت بیشتری به روش مورد استفاده برای تعیین نفوذپذیری دارد. مسلماً هر کدام از این دو خاک که در آن منحنی‌های نفوذ روش‌های هشتگانه واگراتر باشد حساسیت بیشتری به روش مورد استفاده برای اندازه‌گیری پارامترهای نفوذ دارد چون دامنه تغییرات نفوذپذیری‌های اندازه‌گیری شده توسط روش‌های هشتگانه در آن بیشتر است. این مقایسه برای ۳ آبیاری و ۳ عرض شیار انجام گردید که در این مقاله به علت مشابهت نتایج و جلوگیری از اطاله کلام فقط نمودارهای مربوط به شیار باریک در سایت ابوریحان آورده می‌شود. راهنمای مربوط به تمامی نمودارها در شکل (۱) دیده می‌شود. همچنین در تمامی نمودارها محور افقی بیانگر زمان بر حسب دقیقه و محور عمودی بیانگر مقدار نفوذ تجمعی بر حسب متر مکعب بر هر متر طول شیار می‌باشد. مقایسه نمودارها که نمونه‌ای از آن در

شکل ۱-الف و ۱-ب مشاهده می‌شود نشان می‌دهد که در تمامی آبیاری‌ها و برای عرض شیارهای مورد مطالعه، نمودارهای نفوذ تجمعی در خاک سبک به یکدیگر نزدیکتر از نمودارهای نفوذ تجمعی در خاک سنگین است. به عبارت دیگر خاک سنگین به روش انتخاب شده برای اندازه‌گیری مقدار نفوذ بیش از خاک سبک وابسته است. بیشترین میزان برآورد نفوذ تجمعی از روش الیوت و واکر در هر دو خاک سبک و سنگین به دست می‌آید. کمترین میزان برآورد نفوذ تجمعی در وضعیت خاک‌های متفاوت، مختلف است. در خاک سنگین روش‌های ولیانتزاس و شپارد کمترین میزان نفوذ تجمعی را نشان می‌دهند و در خاک سبک روش آپادهیایا و راگوانشی کمترین میزان نفوذ را نشان می‌دهد.



شکل (۱) الف- منحنی های نفوذ روش‌های هشتگانه در شیار باریک و آبیاری اول (ابوریحان)

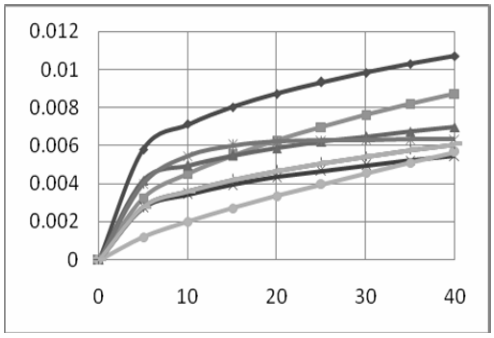


شکل (۱) ب- منحنی های نفوذ روش‌های هشتگانه در شیار باریک و آبیاری اول (خاوه)

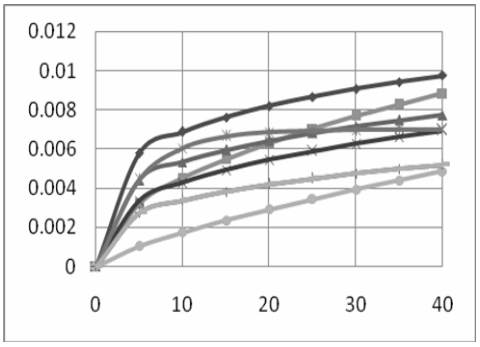
۳-۲- مقایسه منحنی‌های نفوذ در شیارهای باریک، متوسط و پهن در آبیاری‌ها و بافت خاک‌های متفاوت

در این بخش منحنی‌های نفوذ در شیارهای باریک، متوسط و پهن مقایسه می‌شود. هدف از این مقایسه پاسخ به این سئوال است که در کدام یک از این سه نوع شیار، منحنی‌های نفوذ در روش‌های هشتگانه به هم نزدیکتر است. پاسخ به این سوال در حقیقت روشن کننده این موضوع است که کدامیک از سه نوع شیار حساسیت بیشتری به روش مورد استفاده برای تعیین نفوذپذیری دارد. مسلماً هر کدام از این سه نوع شیار که در آن منحنی‌های نفوذ روش‌های هشتگانه واگراتر باشد حساسیت بیشتری به روش مورد استفاده برای اندازه‌گیری پارامترهای نفوذ دارد چون دامنه تغییرات نفوذپذیری‌های اندازه‌گیری شده توسط روش‌های هشتگانه در آن بیشتر است. این مقایسه برای ۲ بافت خاک و ۳ آبیاری انجام گردید که در این مقاله به علت مشابهت نتایج و جلوگیری از اطاله کلام فقط نمودارهای مربوط به آبیاری اول در سایت ابوریحان آورده می‌شود. مقایسه نمودارها که نمونه‌ای از آن در شکل ۲-الف، ۲-ب و ۲-ج مشاهده

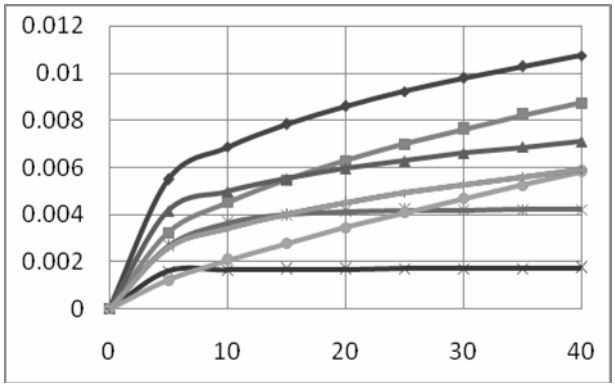
می‌شود نشان می‌دهد که عموماً در تمام آبیاری‌ها و هر دو نوع بافت خاک سبک و سنگین، در شیارهای باریک منحنی‌های نفوذ تجمعی به یکدیگر نزدیک‌ترند. به عبارت دیگر در شیار باریک منحنی‌های نفوذ تجمعی به هم شبیه است بدون اینکه به روش انتخاب شده بستگی داشته باشد. این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات هولزافل و همکاران (۴) مطابقت دارد.



شکل (۲) الف- منحنی‌های نفوذ روشهای هشتگانه در شیار باریک و آبیاری اول(ابوریحان)



شکل (۲) ب- منحنی‌های نفوذ روشهای هشتگانه در شیار متوسط و آبیاری اول(ابوریحان)

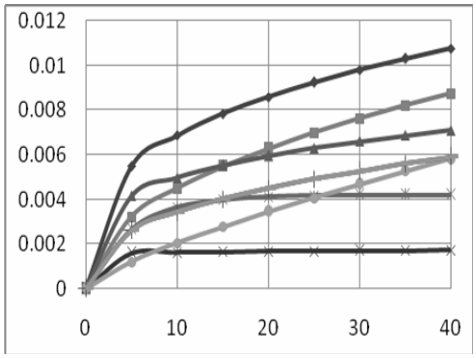


نمودار(۲) ج- منحنی‌های نفوذ روش‌های هشتگانه در شیار پهن و آبیاری اول (ابوریحان)

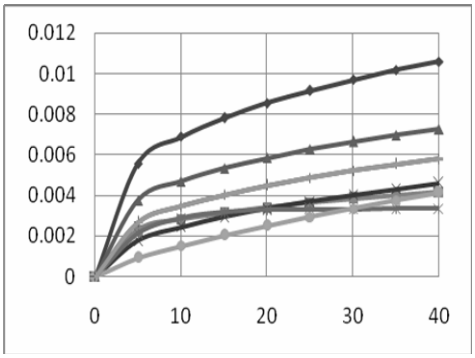
۳-۳- مقایسه منحنی‌های نفوذ در آبیاری‌های اول، دوم و سوم در بافت خاک و عرض‌های شیار متفاوت

در این بخش منحنی‌های نفوذ در آبیاری‌های اول،دوم و سوم مقایسه می‌شود. هدف از این مقایسه پاسخ به این سئوال است که در کدام یک از این سه نوبت آبیاری، منحنی‌های نفوذ در روش‌های هشتگانه به هم نزدیکتر است. پاسخ به این سوال در حقیقت روشن کننده این موضوع است که کدامیک از سه نوبت آبیاری حساسیت بیشتری به روش مورد استفاده برای تعیین نفوذپذیری دارد. مسلماً هر کدام از این سه نوبت آبیاری که در آن منحنی‌های نفوذ روش‌های هشتگانه واگراتر باشد حساسیت بیشتری به روش مورد

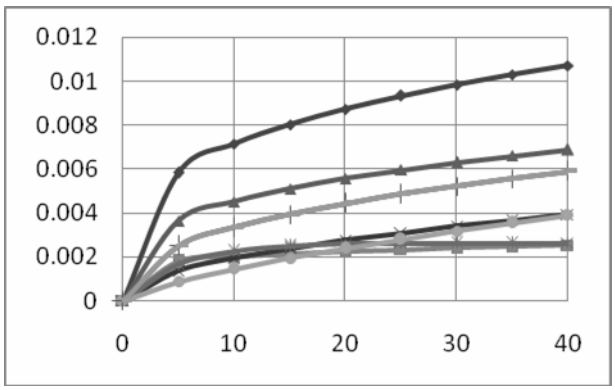
استفاده برای اندازه‌گیری پارامترهای نفوذ دارد چون دامنه تغییرات نفوذپذیری‌های اندازه‌گیری شده توسط روش‌های هشتگانه در آن بیشتر است. این مقایسه برای ۲ بافت خاک و ۳ آبیاری انجام گردید که در این مقاله به علت مشابهت نتایج و جلوگیری از اطاله کلام فقط نمودارهای مربوط به آبیاری اول در سایت ابوریحان آورده می‌شود. مقایسه نمودارها که نمونه ای از آن در نمودار ۳-الف ،۳-ب و ۳-ج مشاهده می‌شود نشان می‌دهد که در آبیاری‌های مختلف تفاوت محسوسی در شکل منحنی‌های نفوذ به وجود نمی‌آید. در این مقایسه انتظار می رفت که منحنی‌های نفوذ در آبیاری‌های متوالی میزان آب نفوذیافته را کمتر نشان بدهد. دلیل محسوس نبودن این تغییرات احتمالا توجه به کوتاه بودن طول مدتی است که آب با خاک در تماس است و انتظار می‌رود که زمانهای طولانی نمودارها به هم نزدیکتر شود و مقدار آب نفوذ یافته را در آبیاری‌های متوالی کمتر نشان دهد. روش الیوت و واکر در مدل‌سازی نفوذ به ترتیبی که نشان دهنده کاهش میزان آب نفوذیافته در آبیاری‌های متوالی باشد موفق‌تر است.بدترین نتایج مربوط به روش اپادهیایا و راگوانشی است.



نمودار (۳) الف- منحنی‌های نفوذ روش‌های هشتگانه در شیار باریک و آبیاری دوم (ابوریحان)



نمودار (۳) ب- منحنی‌های نفوذ روش‌های هشتگانه در شیار باریک و آبیاری اول (ابوریحان)



نمودار(۳) ج- منحنی‌های نفوذ روش‌های هشتگانه در شیار باریک و آبیاری سوم (ابوریحان)

۳-۴- تاثیر غیر ترکیبی روش‌های مدل‌سازی بر پارامترهای نفوذ

جدول (۱) مقادیر پارامتر a وk برای ۲ نوع خاک، ۳ نوع عرض شیار و ۳ آبیاری که از روش‌های هشتگانه برآورد گردیده است را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود عموماً پارامتر a محاسبه شده توسط هر یک از روش‌های هشتگانه مدل‌سازی نفوذ برای تمام آبیاری‌ها و عرض‌های متفاوت شیار برای هر یک نوع خاک یکسان به دست آمده است و تفاوت مقدار پارامتر k باعث ایجاد تفاوت در مقدار کمی نفوذ گردیده است. همچنین عموماً در تمامی روش‌ها مقدار پارامتر a درخاک سبک بیش از خاک سنگین است. این موضوع برای تمامی روش‌های هشتگانه صادق است. بیشترین مقدار به دست آمده برای پارامتر a مربوط به روش ولیانتزاس و کمترین مقدار به دست آمده پارامتر a برای روش الیوت و واکر و نفوذسنجی است. مقادیر پارامترهای a و k نیز در روش‌های مک‌کلی‌مونت و اسمیت و نرم افزار Matlab یکسان است. دلیل این امر احتمالاً مشابهت روش بهینه‌سازی در روش مک‌کلی‌مونت و اسمیت و حل چند معادله و چند مجهول در روش نرم افزار Matlab است.

۳-۵- آنالیز حساسیت

جدول (۲) حساسیت روش‌های برآورد پارامترهای نفوذ به پارامترهای مستقل اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود تقریباً کلیه روش‌ها به طول شیار حساسیت خیلی زیاد را نشان می‌دهند که این به معنای تغییرات کارایی روش‌های مدل‌سازی نفوذ در طول‌های مختلف شیار است. همچنین کلیه روش‌های مدل‌سازی به تغییرات دبی حساس هستند که البته این موضوع از پیش قابل انتظار بود. دبی ورودی به شیار به دلیل تاثیری که بر زمان پیشروی دارد بر روی الگوی نفوذ نیز موثر می‌باشد. دامنه حساسیت روش‌های هشتگانه به ضریب زبری از کم حساسیت تا حساس متغیر است. دلیل کم حساسیت بودن روش‌ها به ضریب زبری احتمالاً کوتاه بودن زمان آبیاری است که باعث می‌شود اثرات ضریب زبری بر زمان پیشروی تعدیل شود. این موضوع در مورد شیب شیار نیز صادق است. در مورد متغیر شکل شیار نیز با توجه به این که برخی مدل‌ها از این متغیر در محاسبات خود استفاده نمی‌کنند نسبت به آن حساسیتی ندارند. البته موضوع این است که خود ضریب شکل شیار وابسته به شکل شیار است که برای تحلیل مناسب تر تاثیر شکل شیار بر نفوذپذیری می‌بایست متغیرهای موثر بر ضریب شکل شیار به نحوی کمی شوند و مورد ارزیابی قرار گیرند.

جدول (۱) مقادیر برآورد شده پارامترهای نفوذ روش‌های هشتگانه

			الیوت و واکر		شپارد		نفوذ سنجی شیار		نفوذ سنجی شیار اصلاح شده		ولیانتزاس		مک‌کلی‌مونت و اسمیت		matlab	
	عرض شیار	نوبت آبیاری	k	a	k	a	k	a	k	a	k	a	k	a	k	a
			m3/min.a	-	m3/min.a	-	m3/min.a	-	m3/min.a	-	m3/min.a	-	m3/min.a	-	m3/min.a	-
ابوریحان	باریک	1	0.0033	0.3	0.0015	0.5	0.0028	0.3	0.0015	0.0	0.0012	0.8	0.0014	0.4	0.0014	0.4
		2	0.0034	0.3	0.0015	0.3	0.0023	0.3	0.0009	0.5	0.0010	0.7	0.0015	0.4	0.0015	0.4
		3	0.0036	0.3	0.0014	0.2	0.0022	0.3	0.0006	0.5	0.0009	0.7	0.0013	0.4	0.0013	0.4
	متوسط	1	0.0036	0.3	0.0015	0.5	0.0028	0.2	0.0016	0.3	0.0012	0.7	0.0015	0.4	0.0015	0.4
		2	0.0033	0.3	0.0015	0.3	0.0025	0.3	0.0012	0.4	0.0009	0.7	0.0014	0.4	0.0014	0.4
		3	0.0033	0.3	0.0015	0.2	0.0026	0.3	0.0015	0.4	0.0009	0.7	0.0013	0.4	0.0013	0.4
	پهن	1	0.0039	0.3	0.0015	0.5	0.0029	0.3	0.0019	0.3	0.0011	0.7	0.0017	0.3	0.0017	0.3
		2	0.0036	0.3	0.0015	0.3	0.0026	0.3	0.0014	0.4	0.0010	0.7	0.0014	0.3	0.0014	0.3
		3	0.0034	0.3	0.0015	0.2	0.0025	0.3	0.0013	0.4	0.0010	0.7	0.0012	0.4	0.0012	0.4

			الیوت و واکر		شپارد		نفوذ سنجی شیار		نفوذ سنجی شیار اصلاح شده		ولیانتزاس		مک‌کلی‌مونت و اسمیت		matlab	
	عرض شیار	نوبت آبیاری	k	a	k	a	k	a	k	a	k	a	k	a	k	a
			m3/min.a	-	m3/min.a	-	m3/min.a	-	m3/min.a	-	m3/min.a	-	m3/min.a	-	m3/min.a	-
خاوه	باریک	1	0.0035	0.6	0.0022	0.7	0.0031	0.5	0.0024	0.5	0.0033	0.8	0.0026	0.5	0.0026	0.5
		2	0.0040	0.6	0.0020	0.7	0.0029	0.5	0.0024	0.5	0.0033	0.8	0.0034	0.5	0.0034	0.5
		3	0.0047	0.5	0.0018	0.8	0.0023	0.6	0.0015	0.7	0.0033	0.8	0.0023	0.5	0.0023	0.5
	متوسط	1	0.0036	0.6	0.0021	0.7	0.0030	0.5	0.0019	0.6	0.0033	0.8	0.0026	0.5	0.0026	0.5
		2	0.0037	0.6	0.0021	0.7	0.0026	0.5	0.0020	0.6	0.0033	0.8	0.0023	0.5	0.0023	0.5
		3	0.0042	0.5	0.0015	0.8	0.0026	0.5	0.0013	0.6	0.0032	0.8	0.0023	0.5	0.0023	0.5
	پهن	1	0.0041	0.5	0.0027	0.6	0.0023	0.6	0.0019	0.6	0.0035	0.8	0.0029	0.5	0.0029	0.5
		2	0.0036	0.6	0.0022	0.7	0.0021	0.6	0.0013	0.7	0.0034	0.8	0.0025	0.5	0.0025	0.5
		3	0.0035	0.6	0.0018	0.8	0.0020	0.6	0.0011	0.7	0.0034	0.8	0.0023	0.5	0.0023	0.5

جدول (۲) آنالیز حساسیت روش‌های برآورد پارامترهای نفوذ به پارامترهای مستقل اندازه‌گیری

پارامترهای مستقل	الیوت و واکر	شهارد	نفوذ سنجی شیار	نفوذ سنجی شیار اصلاح شده	آپادهیایا و راگوانشی	ولیانتزاس	مک کلی مونت	matlab
دبی ورودی به شیار	خ	خ	خ	خ	ح	خ	خ	خ
طول شیار	خ	خ	خ	خ	خ	خ	ح	ح
ضریب زبری	ح	ح	ح	ح	ک	ک	ک	ک
شیب شیار	ح	ح	ک	ک	ک	ک	ک	ک
متغیر شکل شیار	خ	خ	ک	ک	ب	ک	ب	ب

خ‌خ=خیلی خیلی حساس، خ=خیلی حساس، ح=حساس، کم حساسیت، ب=بدون حساسیت

۴-نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که روش برآورد ضرایب معادله نفوذ در نوبت‌های مختلف آبیاری، بافت خاک متفاوت و عرض‌های مختلف شیار بر مقادیرکمّی این ضرایب تاثیرگذار می‌باشد. همچنین عرض‌های مختلف شیار و روش برآورد معادله در یک نوبت آبیاری و یک نوع بافت خاک بر مقدار ضریب توانی (a) معادله کوستیاکف تاثیر چندانی ندارد لکن بر مقدار ضریب ثابت معادله (k) تاثیر قابل توجهی دارد. همچنین منحنی نفوذ تجمعی بدست آمده برای شیارهای باریک با استفاده از روش‌های مختلف مورد استفاده در یک نوبت آبیاری و یک نوع بافت خاک همخوانی زیادی داشته اما برای شیارهای پهن منحنی‌ها متفاوت بوده و به روش تعیین معادله نیز وابسته می‌باشد. در تمامی آبیاریها و به ازای عرض‌های متفاوت شیار، نمودارهای نفوذ تجمعی در خاک سبک به یکدیگر نزدیکتر از نمودارهای نفوذ تجمعی در خاک سنگین است و عموماً در تمام آبیاری‌ها و هر دو نوع بافت خاک سبک و سنگین، در شیارهای باریک منحنی‌های نفوذ تجمعی به یکدیگر نزدیک‌ترند. در یک نوع بافت خاک و همچنین یک عرض شیار، در آبیاری‌های مختلف تفاوت محسوسی در شکل منحنی‌های نفوذ به وجود نمی‌آید. نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که تقریباً کلیه روش‌ها به طول شیار حساسیت خیلی زیاد را نشان می‌دهند که این به معنای تغییرات کارایی روش‌های مدل‌سازی نفوذ در طول‌های مختلف شیار است. همچنین کلیه روش‌های مدل‌سازی به تغییرات دبی حساس هستند. دبی ورودی به شیار به دلیل تاثیری که بر زمان پیشروی دارد بر روی الگوی نفوذ موثر می‌باشد. دامنه حساسیت روش‌های هشتگانه به ضریب زبری از کم حساسیت تا حساس متغیر است. روش مک‌کلی‌مونت و اسمیت و روش نرم افزار Matlab ضرایب نفوذ را یکسان برآورد می‌کنند.

۵- منابع مورد استفاده

1. Bautista, E., and Wallender, W. W. (1992)."Hydrodynamic model with specified space steps."J. Irrig. And Drain. Engrg., ASCE, 118(3), 450-465
2. Elliott, R,L,, Walker, W,R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration advance functions. Trans ASAE 25: 396 – 400.

3. Criddle,W.D., Davis, S., Pair, C.H., Shockley, D.G., 1956. Methods for Evaluating Irrigation Systems. Agricultural Handbook No. 82. Soil Conservation Service, US Department of Agriculture, Washington, DC, p. 24.
4. Holzapfe, E.A., Jara, J., Zuñiga, C., Mariño, M.A., Paredes, J., Billib, M. 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation, Agric.Water Management. 68, 19–32.
5. Fekersillassie, D., Einsenhauer, D.E. 2000. Feedback-controlled surge irrigation. I. Model development. Trans. ASAE 43, 1621–1630.
6. Karmeli, D., Salazar, L.,Walker,W. 1978. Assessing the spatial variability of irrigation water application. Office of Research and Development US Environmental Protection Agency, Oklahoma, USA.
7. McClymont, D.J, Smith, R.J. 1996. Infiltration parameters from optimisation on furrow irrigation advance data. Irrigation Science 17(1): 15–22.
8. Oyonarte, N.A., Mateos, L., Palomo, M.J. 2002. Infiltration variability in furrow irrigation. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 128, 26–33.
9. Shepard, J.S., Wallender,W.W., Hopmans, J.W. 1993. One-point method for estimating furrows infiltration. Trans.ASAE 36, 395–404.
10. Singh, A. K. P. (1990). "Dynamic simulation for irrigation management in dyked end borders for improving seasonal performance,"phD dissertation, U.C. Louvain, Louvain-la0Neuve, Belgium.
11. Trout, T.J. 1992. Flow velocity and wetted perimeter effects on furrow infiltration. Trans. ASAE 35, 855–863.
12. Upadhyaya SK, Raghuwanshi NS. 1999. Semiempirical infiltration equations for furrow irrigation systems. Journal of Irrigation and Drainage 125(4): 173–178.
13. Valiantzas, J.D, Aggelides S., Sassalou, A. 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. Agricultural Water Management 52: 17–32.
14. Walker, W.R, Busman, J.D. 1990 Real time estimation of furrow infiltration.J Irrig Drain Engrg ASCE 116 (3): 299 – 318.
15. Walker, W.R., Skogerboe, G.V. 1987. Surface irrigation theory and practice. Prentice-Hall, New York-11.
16. Zerihun, D., Feyen, J., Reddy, J.M. 1996. Sensitivity analysis of furrow-irrigation performance parameters. J.Irrig. Drain. Eng. ASCE 122, 49–57.