

دومین سمینار (راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی

۲ فرورداد ماه ۱۳۸۷

روش ساده شده طراحی آبیاری جویچه‌ای

بهنام آبابایی^۱، وحیدرضا وردی‌نژاد^۲

چکیده

حرکت آب بر روی سطح خاک در آبیاری سطحی، تحت مطالعه مداوم متخصصین قرار داشته و دارد. با اینحال همچنان راه درازی باقی مانده تا سیستم‌های آبیاری سطحی به سیستم‌هایی کارا مبدل شوند. به دلیل ساده سازی‌های مختلفی که در هر یک از روش‌های طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی صورت گرفته است، هر روش تفاوتی با روش دیگر دارد. در این مقاله، روش پایه‌ای گذشته برای طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی مورد استفاده قرار گرفته است. اساس این روش، توانایی پیش بینی فاز پیشروی، پسروی و همچنین پیش بینی الگوی توزیع آب در سطح مزرعه می‌باشد. اصلی ترین مفهوم در این رابطه، قانون بقای جرم می‌باشد که در این مقاله به روش‌های عددی مورد استفاده قرار گرفته است.

کلید واژه‌ها: آبیاری سطحی، طراحی، مدیریت، راندمان کاربرد، کارایی آبیاری.

۱. مقدمه

بسیاری از سیستم‌های آبیاری سطحی، دارای راندمان و عملکرد قابل قبولی نمی‌باشند که این موضوع را میتوان به محدودیت‌های فیزیکی از جمله شیب تند زمین، خاک کم عمق و یا عدم برنامه‌ریزی دقیق منبع آب، طراحی نادرست و عدم بهره‌برداری و مدیریت مناسب مزرعه نسبت داد. یکی از مزایای آبیاری سطحی نسبت به روش‌های تحت فشار این است که اغلب به یک منبع مطمئن و قابل اعتماد آب نیاز ندارد.

^۱- دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد، مهندسی کشاورزی، آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه تهران

^۲- دانشجوی مقطع دکتری، مهندسی کشاورزی، آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه تهران

سیستم‌های آبیاری سطحی قادرند با شدت جریان‌های مختلف، شدت جریان‌های متغیر، و همچنین کیفیت پایین آب سازگاری یابند.

سیستم‌های آبیاری سطحی را می‌توانیم براساس عملکرد هیدرولیکی آنها تقسیم‌بندی نماییم. یکی از روش‌های تقسیم بندی، استفاده از منحنی‌های پیشروی و پسروی می‌باشد. در این مقایسه هیدرولیکی فرض می‌شود که آب از یک انتهای مزرعه وارد شده و به سمت انتهای دیگر بصورت یکنواخت جریان می‌یابد. از این جنبه می‌توانیم دسته بندی‌های زیر را در سیستم‌های آبیاری سطحی تشخیص دهیم:

سیستم آبیاری شیاری (فارو)، سیستم آبیاری نواری، سیستم آبیاری کرتی و سیستم آبیاری کرتی شیاری. (جدول ۱)

اختلاف عمده از نظر عملکرد هیدرولیکی این روشها بستگی به مقدار و الگوی جریان ورودی، شکل عمومی منحنی پسروی و هیدروگراف رواناب (پایاب) دارد. متأسفانه در گذشته روش‌های طراحی از فرضیات مختلفی استفاده کرده و به این ترتیب فرآیند طراحی پیچیده تر شده است. هدف از این مقاله ارائه روشی می‌باشد که امکان استفاده از آن در طراحی سیستم‌های مدرن آبیاری سطحی وجود دارد. روابط ریاضی و روشهای محاسباتی همگی براساس معادله پیوستگی بناگردیده اند، اما در برخی موارد برای سهولت بیشتر از روابط تجربی نیز بهره گرفته شده است. این روش برای تعیین زمان پیشروی و زمان آبیاری و تعیین الگوی آب نفوذ یافته تحت برخی شرایط کاری استفاده می‌شود.

جدول ۱: دسته‌بندی روش‌های آبیاری سطحی

نام روش	روش کنترل جریان	شیب	کنترل جریان ورودی	شرایط انتهای مزرعه
آبیاری جوی و پشته (فارو)	فارو	دارای شیب کم تا زیاد که می‌تواند شیب عرضی نیز داشته باشد	هدایت جریان به درون فاروهای منفرد	با زهکشی آزاد یا انتهای مسدود شده
آبیاری نواری	نوارهای مسطح شیاردار	دارای شیب کم تا زیاد که می‌تواند شیب عرضی نیز داشته باشد	توزیع آب در طول مرز بالای نوار	با زهکشی آزاد، انتهای کاملاً مسدود یا دارای تعدادی خروجی
آبیاری کرتی	قطعات کاملاً مسطح	بدون شیب در همه جهات	ورود آب از یک نقطه در مرز بالای زمین	انتهای مسدود
آبیاری کرتی شیاری	قطعات مسطح شیاردار	بدون شیب در جهت جریان که می‌تواند شیب عرضی نیز داشته باشد	هدایت جریان به درون فاروهای منفرد	انتهای مسدود شده

۲. ملاحظات طراحی

۲-۱ هدف طراحی

مقدار مورد نیاز یا مورد نظر آبیاری مهمترین پارامتر طراحی می‌باشد. سیستم‌های آبیاری سطحی در دامنه کوچکی از عمق آب آبیاری (عمق مورد نظر نفوذ) دارای عملکرد با راندمان و یکنواختی بالا می‌باشند. آبیاری باید قادر باشد تا پارامترهایی از قبیل شدت جریان و یا زمان آبیاری را بسته به شرایط مزرعه تغییر دهد (شرایط مزرعه از نظر زبری و نفوذ). طراحی نادرست مزرعه باعث می‌شود که تصمیم‌گیری در این رابطه برای آبیاری مشکل شود. درحالی‌که طراحی مناسب می‌تواند راهنمای آبیاری در تغییر پارامترهای مختلف در هنگام بهره‌برداری از سیستم باشد.

سیستم‌های آبیاری سطحی بیشتر مناسب زمینهای مسطح یا با شیب کم می‌باشند. در شیب‌های تند، امکان ایجاد فرسایش افزایش یافته و امکان استفاده از سیستم تنها در دامنه کوچکی از شرایط مزرعه وجود دارد.

هدف اصلی در طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی، دستیابی به دامنه یا مقدار مورد انتظار از راندمان کاربرد آب می‌باشد، AE. این مقدار مورد انتظار را در اینجا راندمان کاربرد پتانسیل می‌نامیم، PAE، تا از راندمان کاربرد اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه تمایز یابد. طراحی معمولاً براساس اعمال عمق مشخصی آب آبیاری در سرتاسر مزرعه بنا می‌شود. مقدار پارامتر PAE_{min} راندمان کاربرد در زمانی می‌باشد که حداقل مقدار آب نفوذ یافته در کل مزرعه دقیقاً برابر با عمق مورد انتظار آبیاری باشد:

$$PAE_{min} = \frac{d_{min}}{d_a} = \frac{d_{req}}{d_a} \quad (1)$$

که d_{req} برابر با عمق مورد نظر، d_{min} حداقل عمق نفوذ یافته و d_a عمق آب آبیاری می‌باشد که منجر به برابری d_{req} و d_{min} گردیده است. در عمل، مقداری کم آبیاری مجاز است و طراحی براساس تأمین مقدار مورد نظر عمق نفوذ یافته در یک چهارم پایین مزرعه صورت می‌پذیرد. کلیدهای اصلی در طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی، تعیین پارامترهایی می‌باشد که روند نفوذ آب به درون خاک و مقاومت خاک و گیاه در برابر حرکت آب در سطح خاک را تشریح می‌نمایند.

۲-۲ روابط زبری زمین (مقاومت خاک در برابر حرکت آب)

معمولاً برای تشریح مقاومت موجود در برابر جریان آب از معادله مانینگ استفاده می‌شود.

$$Q = \frac{AR^{2/3} S_f^{1/2}}{n} \quad (2)$$

در سیستم‌های آبیاری کرتی و نواری از شدت جریان در واحد عرض نوار استفاده می‌شود:

$$q = \frac{y^{5/3} S_f^{1/2}}{n} \quad (۳)$$

که Q : شدت جریان، $q = Q / W$: شدت جریان در واحد عرض، A : سطح مقطع جریان، S_f : گرادیان هیدرولیکی، n : ضریب زبری مانینگ، y عمق جریان، W عرض نوار یا کرت و R شعاع هیدرولیکی می‌باشد. واحدهای اصلی در این معادلات متر و ثانیه می‌باشند.

۲-۳ روابط نفوذ

نفوذ بیشترین تأثیر را در طراحی و عملکرد سیستم‌های آبیاری سطحی دارد. تخمین پارامترهای مربوط به نفوذ از سخت‌ترین کارها در فرآیند طراحی می‌باشد. طراحان معمولاً از معادله تجربی کوستیاکوف استفاده می‌نمایند:

$$d = Kt^a \quad i = aKt^{a-1} \quad (۴)$$

و یا در معادله تغییر یافته:

$$d = Kt^a + Bt + C \quad i = aKt^{a-1} + B \quad (۵)$$

که d : عمق نفوذ یافته، i : شدت نفوذ، t مدت زمان (فرصت) نفوذ و a و K و B و C ثابت‌های تجربی معادلات می‌باشند.

در خاک‌هایی که در طول زمان آبیاری به سرعت نهایی و ثابت نفوذ می‌رسند، رابطه دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد که از رابطه ۵ مشتق گردیده و به این ترتیب روابط ساده‌تر می‌شوند. در واقع در این روابط، در زمان‌های کوتاه از رابطه ۵ با ضریب B برابر با صفر استفاده شده و در نهایت و زمانیکه سرعت نفوذ به مقدار ثابت B نزدیک می‌شود، جزء اول معادله سرعت نفوذ در نظر گرفته نمی‌شود.

$$d = Kt^a + C \quad i = aKt^{a-1} \quad \text{برای زمان‌های کوچکتر از } t_B \quad (۶)$$

$$d = Kt^a + C_2 \quad i = B \quad \text{برای زمان‌های بزرگتر یا مساوی با } t_B$$

t_B زمانیکه که سرعت نفوذ حاصل از دو رابطه فوق برابر می‌شوند (زمان وقوع سرعت نفوذ ثابت نهایی). به دلیل الگوی دوبعدی نفوذ در فاروها، فرآیند نفوذ در این سیستم آبیاری با فرآیند نفوذ در سیستم‌های کرتی و نواری متفاوت است. نفوذ در آبیاری شیاری تحت تأثیر عرض مرطوب شده جریان و همچنین

جریان جانبی بین فاروها قرار دارد. در طراحی کفیسست تا نفوذ به صورت حجم نفوذ یافته در واحد طول فارو در واحد عرض بیان شود. به این ترتیب مقدار نفوذ محاسبه شده تحت تأثیر تغییرات عرض مرطوب شده جریان در طول فارو قرار نمی‌گیرد. مقدار نفوذ را می‌توانیم به عنوان تابعی از فاصله فاروها و عرض مرطوب شده جریان در انتهای بالادست فارو بیان کنیم. سپس و به عنوان مثال، نفوذ با شدت جریان ورودی تغییر می‌کند.

۳. روش طراحی

۳-۱ فرصت نفوذ

در روشهای طراحی معمولاً فرض می‌شود که یکی از دو انتهای مزرعه حداقل مقدار نفوذ را دریافت داشته است. سپس مقدار جریان ورودی و زمان آبیاری به نحوی تغییر داده می‌شوند که مقدار مورد نظر در آن نقطه نفوذ کند. زمان مورد نیاز برای نفوذ عمق مورد نظر آب در این نقطه، t_{req} ، یکی از پارامترهای مهم در طراحی می‌باشد.

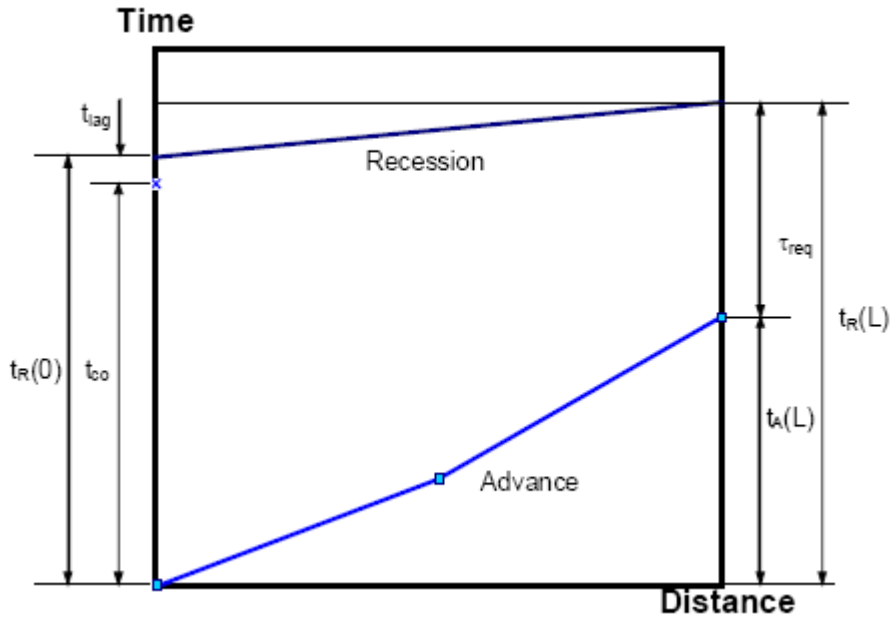
زمان فرصت نفوذ در هر نقطه در طول مزرعه، x ، یعنی $t_{opp}(x)$ برابر است با اختلاف زمان پیشروی و پسروی در همان نقطه:

$$t_{opp}(x) = t_{R(x)} - t_{A(x)} \quad (7)$$

در انتهای بالادست مزرعه که $x=0$ ، فرصت زمان نفوذ برابر است با زمان پسروی، یا:

$$t_{opp(0)} = t_{R(0)} = t_{co} + t_{lag} \quad (8)$$

که t_{co} : زمان آبیاری یا زمان قطع جریان و t_{lag} : زمان تأخیر پسروی یا زمانی که نیاز است تا پس از قطع جریان مقدار عمق جریان در ابتدای مزرعه به صفر برسد (آب از ابتدای مزرعه ناپدید شود). (شکل ۱ را ببینید). طراحی براساس برآورد نیاز آبی در انتهای مزرعه نیازی به محاسبه منحنی پیشروی و پسروی ندارد. با اینحال نیاز است تا مقدار PAE_{min} تخمین زده شود و روشی نیز برای تخمین زمان تأخیر پسروی نیز ارائه گردد. در نوارهای کوتاه و شیب‌های تند، حداقل عمق نفوذ می‌تواند در انتهای بالادست مزرعه روی دهد. با اینحال محاسبات عددی Strelkof et al. 1996 نشان داد که در اغلب شرایطی که حداکثر راندمان کاربرد حاصل می‌شود، حداقل عمق نفوذ در انتهای مزرعه روی می‌دهد. حتی زمانیکه این عمق در ابتدای مزرعه قرار داشته باشد، عمقهای مربوط به یک چهارم پایین مزرعه در بین دو انتهای مزرعه قرار می‌گیرند. بنابراین توصیه می‌شود که معمولاً طراحی براساس انتهای پایین دست مزرعه صورت گیرد. مگر در شرایطی که آبیاری غرقابی صورت می‌پذیرد.



شکل ۱: منحنی‌های پیشروی و پسروی و پارامترهای مورد نیاز در طراحی براساس حداقل عمق نفوذ در انتهای مزرعه

زمانیکه حداقل عمق نفوذ در انتهای مزرعه قرار دارد، نیاز است تا منحنی‌های پسروی و پیشروی محاسبه شوند. برآورد شدت جریان ورودی مناسب و زمان فرصت نفوذ مورد نیاز در انتهای مزرعه مشکل تر است.

$$t_{R(x=L)} = t_{A(L)} + t_{req} \quad (9)$$

زمان قطع جریان که منجر به وقوع حداقل عمق نفوذ در انتهای مزرعه می‌شود از رابطه ۱۰ محاسبه می‌گردد:

$$t_{co} = t_{A(L)} + t_{req} - [t_{R(L)} - T_{R(0)} + t_{lag}] \quad (10)$$

که مقدار داخل براکت نشان دهنده زمان بین قطع جریان و پسروی جریان در انتهای پایین دست مزرعه می‌باشد (شکل ۱ را ببینید). روش‌های نسبتاً مشابهی برای تخمین منحنی‌های پیشروی در روش‌های مختلف آبیاری سطحی استفاده می‌شوند. اما محاسبه منحنی پسروی مشکل تر است و جزء آخر معادله ۱۰ در روش‌های مختلف آبیاری سطحی به گونه‌های متفاوتی محاسبه می‌شود.

۳-۲ منحنی پیشروی

در تمامی روش‌ها، تعادل آبی مورد نظر می‌باشد. در این مقاله، به جای استفاده از روابط تجربی برای محاسبه حجم ذخیره سطحی، از چند فرض و ساده سازی استفاده شده است. در طول فاز پیشروی، حجم تجمعی نفوذ یافته در هر نقطه برابر است با اختلاف حجم تجمعی ورودی و حجم ذخیره سطحی. این تعادل آبی در رابطه زیر نمایش داده شده است:

$$V_{in(t)} = V_{y(t)} + V_{z(t)} \quad (11)$$

که $V_{in(t)}$: حجم تجمعی جریان ورودی، $V_{y(t)}$: حجم ذخیره سطحی و $V_{z(t)}$ حجم تجمعی نفوذ همگی در زمان t می‌باشند. معمولاً رابطه ۱۱ را به شکل زیر مورد استفاده قرار می‌دهند:

$$Q_{in}t = \sigma_y A_{o(t)}x + \sigma_z W_{z(t)}x \quad (12)$$

که $A_{o(t)}$: سطح مقطع جریان در زمان t در محل ورودی مزرعه، σ_y فاکتور شکل سطحی، σ_z فاکتور شکل زیر سطحی و W عرض می‌باشد (تمامی واحدها متر و ثانیه می‌باشند). فاکتور شکل سطحی برابر است با نسبت بین متوسط سطح مقطع جریان و سطح مقطع جریان در ورودی مزرعه که در مورد فاروها بین ۰/۷ تا ۰/۸ متغیر است. فاکتور شکل زیرسطحی برابر است با نسبت بین متوسط سطح مقطع نفوذ یافته (عمق نفوذ ضربدر عرض) و سطح مقطع نفوذ یافته در ورودی مزرعه. برای سادگی بیشتر، حجم زیرسطحی را به شکل زیر بازنویسی می‌کنند:

$$V_z = W(C + \sigma_{z1} K t_x^a + \frac{h}{1+h} B_{tx})x \quad (13)$$

که h مقدار توان در معادله پیشروی جریان می‌باشد.

$$t = Sx^h \quad (14)$$

S یک مقدار ثابت است، و

$$\sigma_{z1} = \frac{h + a(h-1) + 1}{(1+a)(a+h)} \quad (15)$$

تعیین منحنی پیشروی نیاز دارد تا مقادیر Q_{in} ، A_0 ، σ_y پارامترهای معادله نفوذ و مقدار عرض مشخص باشند. از آنجاییکه توان معادله پیشروی جریان و زمان پیشروی با یکدیگر مرتبط هستند، تعیین منحنی پیشروی نیاز به یک روش چرخشی دارد. با استفاده از اطلاعات مربوط به زمان پیشروی در دو نقطه (معمولاً انتها و میانه مزرعه)، توان معادله پیشروی محاسبه می‌گردد:

$$h = \frac{\log(t_{0.5L}/t_L)}{\log(0.5)} \quad (16)$$

مشکل اصلی در روابط فوق این است که عموماً مقادیر پارامترهای A_0 و σ_y نامشخص هستند. در شیبهای تند، حجم ذخیره سطحی جزء کوچکی از حجم جریان ورودی به مزرعه را تشکیل می‌دهد به نحوی که تخمین نه چندان دقیق این مقدار نیز می‌تواند منجر به تخمین قابل قبول منحنی پیشروی گردد. A_0 معمولاً برابر با سطح مقطع جریان در عمق نرمال و σ_y در حدود 0.7 فرض می‌شوند. در شیبهای ملایم، سهم ذخیره سطحی از کل جریان ورودی به مزرعه، حتی در زمان قطع جریان نیز قابل توجه است. A_0 نیز بطور پیوسته در طول آبیاری تغییر می‌کند و عمق جریان گاهی هرگز به عمق نرمال نمی‌رسد. فاکتور شکل سطحی نیز به همین منوال رفتار می‌کند.

۳-۳ عملکرد

راندمان کاربرد پتانسیل، به صورت حجم مورد نیاز (عمق مورد نیاز ضربدر فاصله فاروها ضربدر طول فارو) تقسیم بر کل حجم آب وارد شده به فارو (شدت جریان ورودی ضربدر زمان آبیاری = زمان قطع جریان) محاسبه می‌شود. در مورد کم آبیاری نیاز به هیچ تعدیلی نیست زیرا این روش فرض می‌کند که تمام مزرعه به مقدار کافی آبیاری شده است. می‌توانیم حجم پایاب را با محاسبه توزیع مقادیر آب نفوذ یافته (براساس اختلاف مقادیر زمان پسروی و زمان پیشروی)، حجم آب نفوذ یافته و کسر این مقدار از کل آب ورودی محاسبه نماییم. در صورتیکه مقادیر پیشروی، پسروی و نفوذ در چندین نقطه در طول مزرعه محاسبه شوند، روش فوق جواب دقیقتری به دست می‌دهد. در بسیاری از موارد، هشت نقطه کفایت می‌کند. حجم نفوذ عمقی نیز برابر است با تفاضل کل حجم نفوذ کرده و حجم مورد نیاز آبیاری، با این فرض که کلیه نقاط حداقل به اندازه کمبود رطوبت خاک، آب دریافت داشته‌اند.

در روش زیر فرض می‌شود که طول، شیب و شدت جریان ورودی مشخص هستند. سپس حداقل زمان آبیاری (زمان قطع جریان) به منظور تأمین نیاز آبی در تمام نقاط مزرعه محاسبه می‌شود. سپس مقدار PAE_{min} تخمین زده می‌شود. لازم است تا در شرایط مختلف مزرعه، این روش چندین بار تکرار شود تا ترکیب مناسب طول، شیب و شدت جریان حاصل گردد.

۴. روش آبیاری با جوی و پشته‌های شیبدار (آبیاری شیاری یا فارو)

۴-۱ فرضیات

در آبیاری به وسیلهٔ فاروهای شیبدار، سرعت پیشروی جریان باید به حدی زیاد باشد که در عین اینکه انتهای مزرعه آب کافی دریافت می‌دارد، ابتدای مزرعه نیز بیش از حد آبیاری نشود. اما اگر سرعت پیشروی بیش از حد زیاد باشد، مقادیر زیادی از آب از انتهای مزرعه به صورت پایاب (رواناب) خارج می‌شود. مگر اینکه به روشی مانند کاهش جریان (Cut-Back) در زمان تکمیل فاز پیشروی و یا توسل به آبیاری موجی، و همچنین روشهای مبتنی بر استفادهٔ مجدد از رواناب مزرعه، این مشکل تعدیل گردد. شیب فاروها در مناطق با بارندگی زیاد، باید به حدی باشد که مقدار زهکشی مورد نیاز را تأمین کند (بزرگتر از ۰/۰۳ درصد) و در ضمن به حد فرسایش نیز نرسد.

سطح مقطع جریان و محیط مرطوب شدهٔ فارو براساس عمق نرمال جریان تعیین می‌شوند. برای محاسبهٔ سطح مقطع جریان معمولاً از فرمول نوزنقه و یا فرمول‌های توانی استفاده می‌شود. سپس عمق نرمال به روش سعی و خطا و براساس دبی مشخص از رابطهٔ ۲ محاسبه می‌گردد.

روش طراحی فرض می‌کند که عرض مرطوب شدهٔ فارو در طول آن تغییر نمی‌کند. به بیان دیگر، حجم نفوذ یافته در هر واحد از طول فارو تنها به فرصت نفوذ جریان در آن نقطه وابسته است و نه به محیط مرطوب شده و یا عمق جریان. در خاک‌های با بافت سنگین که مقادیر زیادی جریان جانبی بین فاروها وجود دارد، عرض مرطوب شده اساساً برابر با فاصلهٔ بین فاروها می‌باشد. در خاکهای با بافت سبک، کاهش عرض مرطوب شده در طول فارو منجر به کاهش چشمگیر مقدار نفوذ در طول فارو می‌گردد که این کاهش در عرض مرطوب شده به دلیل کاهش شدت جریان با دور شدن نسبت به ابتدای مزرعه و در نتیجه کاهش عمق جریان می‌باشد. به همین دلیل در طراحی نباید سعی شود که مقدار رواناب کاهش یابد زیرا این کار ممکن است به کاهش بیش از اندازهٔ شدت جریان در نقاط انتهایی فارو منجر شود.

۴-۲ پیشروی

در فاروهای شیبدار، معمولاً فرض می‌شود که عمق جریان در ابتدای بالادست فارو برابر با عمق نرمال جریان (در تمام طول آبیاری) و شیب زمین برابر با گرادیان هیدرولیکی می‌باشد. این فرضیات بخصوص برای شیبهای بزرگتر از ۰/۵ درصد مناسب می‌باشند. از آنجاییکه سطح مقطع جریان در ابتدای فارو در تمام دورهٔ آبیاری ثابت است، لذا محاسبهٔ حجم ذخیرهٔ سطحی تنها تابعی از فاصلهٔ پیشروی جریان خواهد بود.

روش فرض کردن مقدار تقریبی ذخیرهٔ سطحی از طریق رابطهٔ ۱۲ منجر به ایجاد رابطه ای بین طول پیشروی، x ، و زمان پیشروی می‌گردد (با فرض اینکه دبی ورودی، فاصلهٔ فاروها، سطح مقطع جریان ورودی، و فاکتورهای شکل سطحی و زیرسطحی ثابت باشند). در بسیاری از موارد فاکتور شکل سطحی

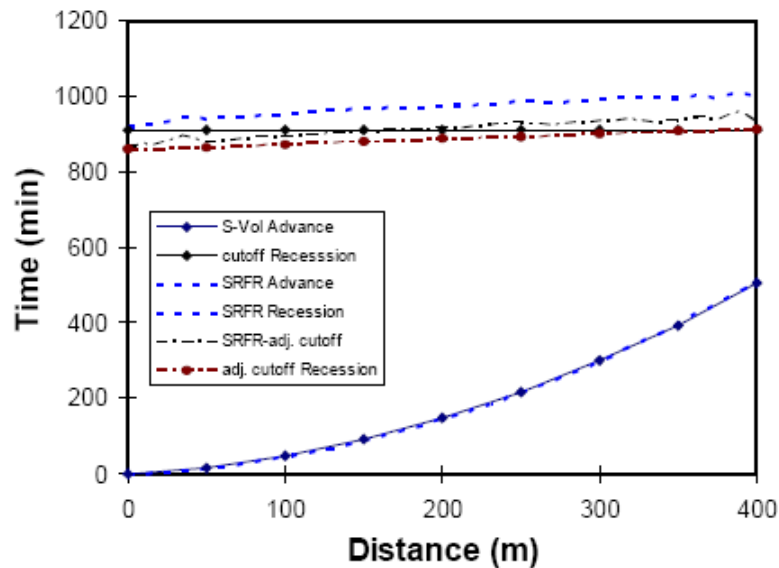
تغییر چندانی نداشته و مقدار آن بین ۰/۷ و ۰/۸ قرار می‌گیرد. اما فاکتور شکل زیرسطحی تغییرات گسترده ای دارد. با استفاده از یک تابع نفوذ توانی، مقدار فاکتور شکل زیرسطحی قابل محاسبه است (رابطه ۱۵). سپس به روش دو نقطه‌ای و با استفاده از رابطه ۱۴، توان معادله پیشروی جریان، h ، تخمین زده می‌شود.

۳-۴ پسروی

در فاروهای دارای شیب تند، فرض می‌شود که در تمام طول فارو، پسروی بلافاصله پس از قطع جریان روی می‌دهد و این فرض بخصوص برای زمین‌های با شیب بیش از ۰/۵ درصد صادق است. در این موارد، جزء درون براکت در رابطه ۱۰ صفر می‌شود. در شیبهای ملایم تر، پسروی در انتهای فارو بیشتر طول کشیده و مقدار نفوذ در این ناحیه بیشتر می‌شود که در نتیجه مقدار راندمان کاربرد پتانسیل کمتر از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود. با کسر مقدار آب باقی مانده بر روی سطح خاک در زمان قطع جریان از کل مقدار جریان ورودی به فارو می‌توانیم منحنی پسروی را تعدیل کنیم. زمان قطع جریان از رابطه ۱۷ قابل محاسبه است.

$$t_{co} = t_{A(L)} + t_{req} - \frac{V_y t_{co}}{Q_{in}} \quad (17)$$

حجم ذخیره سطحی در انتهای فاز پیشروی برای تخمین حجم ذخیره سطحی در زمان قطع جریان استفاده می‌شود. زمان پسروی در انتهای بالادست فارو برابر با زمان قطع جریان و زمان فرصت نفوذ در انتهای پایین دست آن برابر با t_{req} فرض می‌شود. زمان پسروی در انتهای فارو نیز از رابطه ۹ محاسبه می‌شود. برای نقاط میانی فارو نیز فرض می‌شود که منحنی پسروی به شکل خطی مستقیم از دو انتهای فارو عبور می‌کند. شکل ۲، منحنی‌های پیشروی و پسروی ناشی از روابط فوق و همچنین منحنی‌های ناشی از مدل SRFR را نمایش می‌دهد. در این مثال، $L = 400 \text{ m}$ ، $So = 0.002$ (شیب زمین)، $K = 30/1 \text{ mm/hr}$ ، $a = 0.35$ ، $d_{req} = 80 \text{ mm}$ ، $n = 0.05$ ، دبی ورودی به هر فارو ۱ lit/s، فاصله فاروها ۱ m، عرض کف فاروها ۱۰ cm و شیب جداره آنها ۲:۱ در نظر گرفته شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تعدیل زمان پسروی جریان با استفاده از رابطه ۱۷ نتایج قابل قبولی بدست داده است.



شکل ۲: مقایسه منحنی‌های پیشروی جریان (ناشی از روش حجم ذخیره سطحی و مدل SRFR) و منحنی‌های پسروی جریان (با استفاده از زمان قطع جریان، با استفاده از زمان تعدیل شده قطع جریان براساس حجم ذخیره سطحی در زمان قطع جریان، و شبیه‌سازی‌های مدل SRFR با استفاده از مقادیر اصلی و تعدیل شده زمان قطع جریان).

۵. بحث

روابطی که در این مقاله ارائه گردیدند، تنها پیشروی، پسروی و عملکرد سیستم را براساس مقادیر از پیش تعیین شده شدت جریان، عرض فاروها، طول فارو و پارامترهای نفوذ تعیین می‌کنند. هدف از این مقاله ارائه روش ساده شده ای برای طراحی آبیاری سطحی به روش جوی و پشته می‌باشد که امکان ساده سازی محاسبات و انجام آن با دست و یا ابزار ساده محاسباتی را مهیا می‌سازد.

۶. نتیجه‌گیری

روابطی که برای پیش بینی منحنی پیشروی ارائه گردید، همگی براساس معادله پیوستگی جریان و اصل بقای جرم استوار می‌باشند که با رابطه مانینگ و چند رابطه دیگر ترکیب شده است. تفاوت اصلی در روابط مختلف برای پیش بینی منحنی پیشروی، روش محاسبه گرادیان هیدرولیکی در این روش‌هاست. در شیب‌های تند، از عمق نرمال جریان استفاده می‌شود. اما در زمین‌های مسطح، شیب سطح آب و عمق جریان در بالادست تابعی از طول پیشروی جریان می‌باشند.

در هر روش، روابط ارائه شده برای پیش بینی منحنی پسروی متفاوت است. در فاروهای بسیار پرشیب، می‌توان با کمترین اشتباه فرض کرد که پسروی در تمامی نقاط فارو بلافاصله در زمان قطع جریان روی می‌دهد. با کاهش شیب زمین، می‌توانیم زمان پسروی را با کاهش زمان قطع جریان براساس حجم آب باقی

مانده بر روی زمین در زمان قطع جریان تخمین بزنیم، با این فرض که منحنی پسروری از یک خط مستقیم تشکیل می‌شود که ابتدای آن (بالادست) در زمان قطع جریان و انتهای آن (پایین دست) در زمانی برابر با مجموع زمان فرصت نفوذ مورد نیاز و زمان پیشروی تا انتهای فارو قرار دارد. لازم به یاد آوری می‌باشد که هدف از ارائه این روابط، تسهیل امر طراحی و امکان استفاده از این روش در ابزار محاسباتی ساده می‌باشد.

۷. مراجع

۱. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری. تیمور سهرابی، زهرا پایدار. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.
۲. آبیاری سطحی (تئوری و عمل). وین آر. واکر، گیلورد و. اسکاگربو؛ ترجمه بهروز مصطفی زاده، فرهاد موسوی. تهران، فرهنگ جامع. ۱۳۷۵.
۳. طراحی سیستم‌های آبیاری. امین علیزاده (ویرایش ۲). مشهد، دانشگاه اما رضا (ع)، ۱۳۸۱.
4. ASAE, 1991: Evaluation of Furrow Irrigation Systems.. ASAE EP419, Standards 1991, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp. 644.649.
5. Burt, C.M., Clemmens, A.J., Bliesner, R.D., Merriam, J.L., and L.A. Hardy, 2000: Selection of irrigation methods for agriculture.. ASCE On.Farm Irrigation Committee Report, ASCE, Reston, VA 129 pp.
6. Clemmens, A.J., Camacho, E., and T.S. Strelkoff, 1998: Furrow irrigation design with simulation.p. 1135.1140. In Int. Conf. on Water Resources Engineering Proceedings, Memphis, TN. Aug. 3,7, 1998.
7. Clemmens, A.J., and A.R. Dedrick, 1994: Irrigation techniques and evaluations.. Chapter 7, p. 64.103. In K.K. Tanji and B. Yaron (eds.) Management of Water Use in Agriculture, Adv. Series in Agricultural Sciences, Vol. 22, Springer.Verlag, Berlin.
8. Clemmens, A.J., Dedrick, A.R. and R.J. Strand, 1995: BASIN: A Computer Program for the Design of Level.Basin Irrigation Systems.. WCL Report #19, U.S. Water Conservation Lab., USDA/ARS, Phoenix, AZ.
9. Hart, W.E., Collins, H.G., Woodward, G. and A.S. Humpherys, 1980: Design and operation of gravity or surface irrigation systems.. Chap. 13 in M.E. Jensen (ed.), Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph No. 3, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
10. Kennedy, D.N. 1994: California Water Plan Update Vol. 1.. State of California Department of Water Resources, Sacramento, CA. 398 p.

11. Monserrat, J. and J. Barragan, 1998: Estimation of surface volume in hydrological models for border irrigation. , J. Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 124(5), 238.247.
12. Strelkoff, T. 1977: Algebraic computation of flow in border irrigation. , J. Irrig. Drain. Div., Am. Soc. Civ. Eng. 103(1R3). 357.377.
13. Strelkoff, T. 1990: SRFR: A Computer Program for Simulating Flow in Surface Irrigation Furrows.Basins.Borders. , WCL Report #17, U.S. Water Conservation Laboratory, USDA/ARS, Phoenix, AZ.
14. Strelkoff , T.S., Clemmens, A.J., Schmidt, B.V. and E.J. Slosky, 1996: Border: A Design and Management Aid for Sloping Border Irrigation Systems. , Version 1.0. WCL Report #21, U.S. Water Conservation Laboratory, USDA/ARS, Phoenix, AZ. 44 p. (Draft copy April '96).
15. Stringham, G.E. and S.N. Hamad, 1975: Design of irrigation runoff recovery systems. , Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 101(IR3), 209.219.
16. USDA, 1974: Border Irrigation. , National Engineering Handbook, Chapter 4, Sect. 15. Soil Conserv. Serv., USDA, Washington, D.C.
17. USDA, 1984: Furrow Irrigation. , National Engineering Handbook, Chapter 5, Sect. 15. Soil Conserv. Serv., USDA, Washington, D.C
18. Walker, W.R. and G.V. Skogerboe, 1987: Surface Irrigation: Theory and Practice. , Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 386 p.

