

دومین سمینار (راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی

۲ فرورداد ماه ۱۳۸۷

طراحی سیستم‌های آبیاری جویچه‌ای، کرتی و نواری به روش‌های تجربی و هیدرولیکی توسط یک برنامه کامپیوتری

حدیث خسروی^۱، محمدمهدی رویوران^۲، مریم جوادی بایگی^۳

چکیده

به منظور طراحی سیستم‌های آبیاری جویچه‌ای، کرتی و نواری از روش‌های تجربی و روابط هیدرولیکی استفاده می‌شود. در روش هیدرولیکی طراحی سیستم جویچه‌ای، از اصول دینامیکی سیالات و در طراحی سیستم‌های کرتی و نواری از دستورالعمل‌های طراحی که توسط SCS ارائه شده است، استفاده می‌شود. در روش‌های تجربی استفاده از جداولی که به کمک آنها بتوان پارامترهای طراحی را تخمین زد لازم است. در این رابطه جهت انجام صحیح و سریع محاسبات طراحی سیستم‌های جویچه‌ای، کرتی و نواری برنامه کاربردی ۹ گزینه‌ای به زبان ++C ارائه شده است. گزینه (۱): محاسبات مدیریت آبیاری را انجام می‌دهد و خروجی آن سه جدول است: جدول (۱): باران مؤثر، تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی گیاه برای همه ماه‌ها. جدول (۲): عمق خالص و ناخالص آب آبیاری، هیدرومدول، دور آبیاری برای همه ماه‌ها. جدول (۳): نیاز آبشویی، نیاز آبی کل فصل (میلیمتر) و (متر مکعب در هکتار)، گزینه (۲) راندمان‌های ویژه آبیاری و راندمان کل آبیاری، گزینه (۳) درصد تلفات در اثر نفوذ عمقی برای نسبت‌های مختلف زمان پیشروی (FAR) و مقادیر مختلف a ، در آبیاری جویچه‌ای، گزینه (۴) حداکثر مجاز طول جویچه (متر) برای خاک‌ها، شیب‌ها و مقادیر مختلف آب آبیاری، گزینه (۵) بنا بر شماره منحنی نفوذی که کاربر وارد می‌کند ضرایب لازم برای طراحی سیستم آبیاری سطحی (جویچه‌ای و کرتی) (a, b, c, f, g) ، گزینه (۶) جدولی شامل محاسبه محیط خیس شده فارو، حجم آبی که بصورت نخیره موقت در داخل فارو وجود دارد، زمان رسیدن جبهه پیشروی جریان آب در فارو (طبق دستورالعمل SCS)، زمان لازم برای نفوذ، مقدار ناخالص

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه رازی

Email: hadiskhosravi@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه رازی

عمق آبیاری که وارد فارو می‌شود، گزینه (۷) با توجه به مقدار جریان و نوع خاک، سطح پیشنهادی برای کرت، گزینه (۸) جدولی شامل محاسبه زمان خالص نفوذ، زمان پیشروی، طول کرت، زمان قطع جریان و عمق ماکزیمم جریان در کرت و گزینه (۹) جدولی شامل محاسبه زمان تأخیر پسروی، دبی ورودی در واحد عرض نوار و عمق جریان در ابتدای نوار را به کاربر ارائه می‌دهند.

کلمات کلیدی: آبیاری سطحی، کرت، نوار، فارو، نفوذ ...

(۱) مقدمه

در مناطق خشک از جمله مناطق کشور ما تأمین آب برای مصارف کشاورزی مستلزم سرمایه‌گذاری سنگین است. محدودیت منابع آب زیرزمینی در اغلب نقاط کشور دیگر چندان مستعدی برای توسعه بهره برداری از این منابع را ندارد، و به علت تفاوت زمان مصرف آب کشاورزی و نزولات جوی و جریان رودخانه‌ها عملاً به جز تعدادی از رودخانه‌ها که طرح‌های آن‌ها در دست مطالعه است یا به زودی اجرا می‌شود کار مهار آبهای سطحی عمدتاً به سمت طرح‌های پر هزینه خواهد رفت. لذا با توجه به افزایش جمعیت کشور، تولید مواد غذایی می‌بایستی با استفاده از امکانات موجود صورت گیرد. آب مهمترین رکن توسعه کشاورزی در کشور محسوب می‌گردد و بدون تأمین رطوبت کافی در عمق توسعه ریشه نمی‌توان از سایر نهاده‌های کشاورزی نظیر نیروی کار، زمین، کود، بذر، سم و ماشین‌آلات استفاده مطلوب نمود (۶). آبیاری سطحی قدیمی‌ترین روش آبیاری است که در اکثر نقاط جهان رواج دارد. این روش بر حسب وضعیت و شرایط خاک، آب، زمین و تجربه زارعین به صور گوناگون انجام می‌پذیرد: مانند آبیاری به روش جویچه‌ای، کرتی، شیاری، نواری و غیره. آبیاری سطحی اگر به درستی طراحی و اجرا شود، به دلیل عدم نیاز به وسایل و دستگاه‌های پیچیده، برای زارعین یکی از بهترین روش‌ها محسوب می‌شود اما چنانچه به خوبی اجرا نشود، موجب تلفات آب، عدم یکنواختی توزیع آب و کاهش محصول می‌گردد. در حال حاضر آبیاری سطحی در جهان و کشور ما مهمترین و عمده‌ترین روش‌های آبیاری موجود است. به طور مثال طبق گزارشات کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی سطح آبیاری میکرو شامل کلیه روش‌های بارانی و قطره‌ای در کل جهان در سال ۱۹۹۱ معادل ۱۷۶۸۹۸۷ هکتار بوده است که معادل ۰٫۸ درصد روش‌های آبیاری می‌باشد و این شیوه‌ها عمدتاً در باغات، تاکستان‌ها و برای سبزیکاری به کار می‌رفته است. در کشور ما سطح تحت پوشش سیستم‌های تحت فشار در حدود ۱٫۲ درصد می‌باشد. در سال‌های اخیر نیز در سطح جهانی نیز رشد و توسعه تکنولوژی و مدیریت آبیاری سطحی موجب گردیده که اجرای آنها نسبت به سیستم‌های تحت فشار در اولویت قرار گیرد (۶).

در تصمیم‌گیری برای انتخاب شیوه آبیاری سطحی بایستی عوامل زیادی در نظر قرار گیرند. این عوامل عبارتند از: پستی و بلندی زمین، نوع خاک، شکل مزرعه، نوع خاک، شکل مزرعه، نوع گیاه و نیروی کار

انسانی. وسعت روز افزون تکنولوژی، لزوم بهره‌برداری مفید از سرمایه‌های تخصصی و نیز سرعت بخشیدن به کارها، استفاده از کامپیوتر در انجام محاسبات را ضروری ساخته است (۳). در این مقاله برنامه کاربردی جهت طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی (نوع جویچه‌ای و کرتی) ارائه شده است.

۲) راندمان‌ها در آبیاری سطحی

آب مایه حیات است و به واسطه ارزش بالایی که دارد می‌بایست طراحی طوری انجام شود تا از هدر رفتن آن جلوگیری شود. راندمان، پارامتریست که در آن نحوه کاربری آب در آبیاری به کمیت درآورده می‌شود.

راندمان یا بازده سیستم عبارتست از نسبت آنچه از آن سیستم گرفته می‌شود (ستاده‌ها) به آنچه سیستم در یافت می‌دارد (داده‌ها). در سیستم آبیاری سطحی داده‌ها مقدار آبی است که وارد سیستم یا بخشی از سیستم می‌شود و ستاده‌ها مقدار آبی است که در آن قسمت به طور مفید مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنچه در سیستم آبیاری مفید واقع می‌شود، مقدار آبیست که به مصرف تبخیر- تعرق، شستشوی نمک‌ها، جلوگیری از یخبندان و یا بطور مثال خنک کردن گیاه می‌رسد.

(مقدار آبی که از منبع در یافت می‌شود) / (مقدار آبی که مفید واقع می‌شود) = راندمان

چون سیستم‌های آبیاری از بخش‌های مختلفی تشکیل شده اند و آب به مصارف گوناگون می‌رسد، لذا راندمان در بخش‌های مختلف از منبع استخراج تا محل دفع آب تحت عنوان راندمان‌های ویژه به تفکیک بررسی می‌شوند (۴).

۲-۱) راندمان‌های ویژه

از هنگامی که آب از منبع اصلی دریافت می‌شود تا زمانی که وارد مزرعه می‌گردد تلفات گوناگونی به دلیل نفوذ و یا تبخیر- تعرق توسط گیاهان آبی در آن صورت می‌گیرد که برای تعیین آنها انواع راندمان‌ها به شرح زیر توصیف می‌شوند:

۲-۱-۱) راندمان انتقال

نسبت مقدار آبی که وارد سیستم انتقال آب در مزرعه شده به مقدار آبی که از چاه یا مخزن یا رودخانه وارد لوله یا کانال‌های اصلی انتقال آب به مزرعه می‌گردند.

۲-۱-۲) راندمان توزیع

نسبت حجم آبی که با سیفون یا وسایل دیگر وارد زمین میشود به حجم آبی که وارد سیستم توزیع می‌شود.

۲-۱-۳) راندمان ورود آب به مزرعه

نسبت مقدار آبی که در سطح زمین پخش می‌شود به مقدار آبی که وارد وسیله ورود آب (سیفون، لوله آبگیر، آبپاش، دریچه و ...) در سطح زمین می‌گردد.

۲-۱-۴) راندمان الگوی توزیع

حجم آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه‌ها به حجم آبی که در سطح مزرعه پخش می‌شود.

۲-۱-۵) راندمان سیستم آبیاری

راندمان کلی یک سیستم آبیاری نسبت مقدار آبیست که در منطقه توسعه ریشه‌ها ذخیره می‌شود به مقدار آبی که از منبع اصلی استخراج می‌شود. مقدار آب می‌تواند بر حسب حجم آب یا دبی توصیف گردد. در واقع راندمان کلی یک سیستم آبیاری حاصل ضرب راندمان‌هایی است که در بالا شرح داده شد.

$$E = (Ee \times Ea \times Ed) \div 100 \quad (1-2)$$

E: راندمان کل

Ee: راندمان انتقال

Ea: راندمان کاربرد

Ed: راندمان توزیع

۳) طراحی سیستم آبیاری جویچه‌ای

۳-۱) در عملیات طراحی سیستم‌های آبیاری برای تعیین تبخیر و تعرق عملاً از روش‌های مستقیم یا روش‌های محاسباتی استفاده می‌شود. این روش‌ها بر اساس فرمول زیر استوارند (۴).

$$ETc = ETo \times Kc \quad (1-3)$$

ETo: تبخیر و تعرق پتانسل (تبخیر- تعرق گیاه مرجع)

ETc: تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر

Kc: ضریب گیاهی

با داشتن اطلاعات اولیه، می‌بایست پارامترهای طراحی به ترتیب زیر محاسبه گردند.

۳-۱-۱) عمق آبیاری

حداکثر عمق خالص آبیاری با توجه به عمق ریشه گیاهان، نگهداشت آب در خاک و تخلیه مجاز رطوبتی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$dx = AW \times z \times MAD \quad (۲-۳)$$

$$AW = Fc - PWP \quad (۳-۳)$$

dx: عمق خالص آبیاری حداکثر (mm)

z: عمق ریشه گیاه (mm)

AW: نگهداشت آب در خاک (mm/M)

MAD: ضریب مدیریت یا تخلیه مجاز

Fc: ظرفیت زراعی

PWP: نقطه پژمردگی دائمی

۳-۱-۲) دور آبیاری

دور آبیاری عبارتست از فاصله زمانی بین دو آبیاری متوالی که به عمق آبیاری و تبخیر و تعرق واقعی گیاه بستگی دارد.

$$T = \frac{dx}{ETc} \quad (۴-۳)$$

T: دور آبیاری (day)

ETc: تبخیر و تعرق ماکزیمم روزانه (mm/day)

dx: عمق خالص آبیاری حداکثر (mm)

۳-۱-۳) نیاز فالص و نافالص آبیاری

نیاز خالص آبیاری عبارتست از میزان آب مورد نیاز گیاه بین دو آبیاری که به هر شکل ممکن بایستی در اختیار گیاه قرار گیرد. این میزان آب صرف تبخیر و تعرق- شستشوی املاح و تلفات می‌گردد.

$$NIR = ETc + LR - Re - Ge \quad (۵-۳)$$

NIR: نیاز خالص آبیاری در روز (mm)

ETc: تبخیر و تعرق واقعی روزانه (mm)

LR: نیاز آبتشویی روزانه (mm)

Re: بارش مؤثر روزانه (mm)

Ge: تغذیه از آب زیر زمینی (mm)

نیاز آبخوویی که جزئی از آب آبیاریست، مقدار آبی است که باید بصورت نفوذ عمقی از لایه ریشه‌ها بگذرد تا توازن نمک را در این منطقه برقرار نماید.

$$LR = \frac{Eci}{Ecp - Eci} \times Ic \quad (۳-۶)$$

LR: نیاز آبخوویی (برحسب میلیمتر)

Eci: هدایت الکتریکی آب آبیاری (mmhos/s)

Ecp: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (mmhos/s)

Ic: عمق آب آبیاری (mm)

باران مؤثر از رابطه (USDA) بدست می‌آید

$$Re = fd \times [1.25P^{0.82416} - 2.93522] * 10^{(0.00095512 * Etc)} \quad (۳-۷)$$

در صورتیکه باران مؤثر مقداری منفی بدست آید، صفر در نظر گرفته می‌شود.
نیاز ناخالص آبیاری از تقسیم نیاز خالص (۳-۵) بر راندمان کاربرد بدست می‌آید.

۳-۲) روش تجربی

توزیع آب روی سطح خاک در تمام سیستم‌های آبیاری سطحی از یک قاعده کلی پیروی می‌کند. پیشروی آب در ابتدا سریع است ولی به تدریج سرعت پیشروی آب به انتهای زمین کند می‌شود. این مرحله از آبیاری را فاز پیشروی یا مرحله پیشروی می‌نامند. پس از اینکه آب به انتهای زمین رسیده معمولاً مدتی به همین نحو آبیاری ادامه پیدا می‌کند تا انتهای زمین نیز به مقدار لازم آبیاری شود. فاصله بین زمانی که آب به انتهای زمین رسیده بود تا زمانی که آب به داخل زمین قطع گردید به نام فاز ذخیره یا مرحله ذخیره رطوبت مرسوم است. از هنگامی که ورود آب قطع شد ممکن است مدتی طول بکشد تا آبی که در ابتدای مزرعه در سطح زمین بوده است به تدریج در خاک نفوذ کند و سرانجام عمق آب در ابتدای زمین به صفر برسد. این مرحله را فاز تخلیه می‌گویند.

شاید رایج‌ترین شیوه برای آبیاری محصولات زراعی ردیفی آبیاری جویچه‌ای باشد. در این روش آب روی تمام سطح خاک جریان نمی‌یابد، بلکه درون جویچه‌های باریکی که فارو نامیده می‌شوند، جریان می‌یابد. فاروها بین دو ردیف گیاه کاشته شده قرار می‌گیرند. آب به تدریج در کف و کناره‌های شیار نفوذ

کرده و خاک را مرطوب می‌کند. برای به دست آوردن نتیجه مطلوب از این روش آبیاری لازم است شکل و طول شیارها و فاصله بین آنها مناسب باشد و مدیریت خوبی اعمال گردد.

شکل شیارها در اجرای یک آبیاری خوب و مناسب حائز اهمیت است. شیارها معمولاً به شکل ۷ هستند، عرض آنها بین ۲۵ تا ۴۰ سانتی متر و عمقشان بین ۱۵ تا ۳۰ سانتی متر است. ولی این ارقام با توجه به مقدار جریان، نوع خاک و نوع محصول متغیر است (۴).

هر شیار مشابه یک کانال باریک است و باید به مقدار کافی عریض باشد تا آب را منتقل کرده و صدمه‌ای به شیارها وارد نشود. هرچه مقدار جریان زیاد باشد عرض شیار بایستی افزایش یابد.

در خاک‌های شنی آب سریعتر از خاک‌های رسی نفوذ می‌کند. در این موارد بایستی آب به سرعت در شیار حرکت کند تا زیاد در خاک نفوذ نکند. به همین دلیل در خاک‌های شنی از شیارهای باریک و عمیق استفاده می‌شود تا سطح خاکی که با آب تماس پیدا می‌کند کم باشد و در نتیجه آب کمتری جذب خاک شود.

در خاک‌های رسی آب به کندی در خاک نفوذ می‌کند و به همین دلیل گاهی لازم است شیارها کم عمق و عریض باشند تا سطحی از خاک که با آب تماس پیدا می‌کند افزایش یافته و آب سریعتر جذب شود. انتخاب طول جویچه به عوامل زیر بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نوع خاک
- مقدار جریان
- عمق آبیاری
- اندازه و شکل مزرعه
- شیب زمین
- شیوه زراعت

موقع آبیاری خاک‌های شنی، آب به سرعت در خاک نفوذ می‌کند. به این دلیل جویچه‌ها بایستی کوتاه باشند تا آب زودتر به انتهای مزرعه برسد، حتی زمانی که مقدار جریان زیاد است. برعکس در خاک‌های رسی آب به کندی در خاک نفوذ می‌کند، بنابراین جویچه‌ها می‌توانند طولانی تر از خاک‌های شنی باشند، حتی زمانی که مقدار جریان کم است.

از نظر کشاورزی بهتر است جویچه‌ها حتی الامکان طولانی باشند تا کانال و زهکش کمتری ایجاد و در نتیجه زمین کمتری از این طریق اشغال می‌شود. از طرفی مکانیزه کردن کشاورزی نیز ساده تر صورت می‌گیرد. در صورتی که جویچه‌ها کوتاه باشند مراقبت زیادی نیاز دارند، زیرا جریان آب به طور منظم بایستی از یک شیار به شیار دیگر هدایت شود.

نقش میزان و شدت نفوذ در تحلیل جریان‌های سطحی از اهمیت زیادی برخوردار است.

برای اینکه پدیده نفوذ بصورت نظری توصیف شود معادلات مختلفی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به معادله کاستیاکف اشاره کرد. این معادله از اولین معادلاتی است که برای توصیف نفوذ آب به داخل خاک ارائه شده است. این معادله به شرح زیر می‌باشد:

$$i = c(t)^a \quad (۶-۳)$$

i: عمق آب نفوذ یافته (cm) از شروع نفوذ

t: زمان نفوذ (min) از شروع

a, c: ضرایب تجربی که به نوع خاک بستگی دارند

این معادله را بر حسب t می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$t = \left(\frac{i}{c}\right)^{\frac{1}{a}} \quad (۷-۳)$$

در این رابطه t عبارتست از زمان لازم برای آنکه آب به مقدار i در زمین نفوذ کند.

اگر زمان پیشروی کامل یعنی مدت زمانی که آب به انتهای زمین می‌رسد Tt و زمان خالص آبیاری یا مدتی که لازم است آب به اندازه نیاز آبیاری در خاک نفوذ کند Tn باشد، با فرض اینکه زمان پیشروی یک چهارم زمان آبیاری باشد خواهیم داشت:

$$Tt = \frac{1}{4} Tn \quad (۸-۳)$$

برای نشان دادن رابطه بین مقادیر مختلف a، نسبت زمان پیشروی به زمان آبیاری و درصد مقدار تلفات، جدولی طراحی شده است. این جدول نشان می‌دهد هر چه طول زمین افزایش یابد یا نسبت زمان پیشروی افزایش پیدا کند، راندمان آبیاری کمتر می‌شود. معمولاً در عملیات آبیاری اگر خواهیم بدون انجام محاسبات طراحی طول فارو را تخمین بزنیم از قانون یک چهارم استفاده می‌شود، یعنی طول فارو طوری انتخاب می‌شود که در یک چهارم زمان لازم برای آبیاری آب به انتهای فارو برسد، زیرا در این صورت تلفات ناشی از نفوذ عمقی ناچیز خواهد بود.

در طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی از یک سری روابط تجربی استفاده می‌شود. از این روابط فقط در تخمین‌های اولیه استفاده می‌شود.

۱۱-۲-۳) دبی غیر فرسایشی

شکل خاص فارو باعث شده که برای دبی عبوری آن ملاحظات در نظر گرفته شود. برای اینکه فارو شکل خود را حفظ کند، در ابتدای آن فرسایش رخ ندهد و مواد در انتهای آن رسوب نکنند، بایستی سرعت بیشتر از سرعتی که باعث فرسایش یافتن خاک می‌شود نباشد. میدانیم که سرعت تابعی از دبی عبوریست، پس لازم است به دبی عبوری از فارو توجه ویژه داشت.

بین حداکثر دبی مجاز و شیب طولی فارو بر اساس تجارب سازمان حفاظت خاک وزارت کشاورزی آمریکا (USDA-SCS) رابطه تجربی زیر به دست آمده است:

$$Q_{\max} = \frac{0.6}{S} \quad (9-3)$$

Q_{\max} : حداکثر دبی مجاز (l/s)

S: شیب طولی فارو (%)

۳-۲-۲) ابعاد مزرعه

جدول مربوط به مقدار تلفات و نسبت زمان پیشروی به زمان آبیاری که در بخش قبل به آن اشاره شد نشان می‌دهد که در صورتیکه طول فارو افزایش یابد، مقدار راندمان آبیاری کاهش خواهد یافت. برای تخمین حداکثر طول مجاز جویچه، برای سه گروه اصلی خاک‌ها، رس، لوم و شن جدولی موجود است که به عنوان یک راهنما و در طراحی‌های اولیه برای سیمای کلی طرح می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۳) روابط هیدرولیکی

به طور کلی سیستم‌های آبیاری از دو جزء تشکیل شده‌اند:

الف) اجزاء مکانیکی: پمپ، لوله، شیر آلات و ...

ب) اجزاء طبیعی: اقلیم، خاک، گیاه و ...

روابط هیدرولیکی که برای طراحی سیستم آبیاری فارو ارائه شده است بر اساس معادلات فیزیکی است که مؤسسه حفاظت خاک آمریکا بدین منظور ارائه داده است.

جدولی که رابطه بین شماره منحنی نفوذ و ضرایب a , b , c , f , g نشان می‌دهد، موجود است که در طراحی سیستم فارو مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۳-۱) متوسط نفوذ آب در فارو

در فارو، نفوذ فقط از محیط خیس شده صورت می‌گیرد. و این در حالیکه مقدار نفوذ باید بر حسب واحد طول روی سطح مزرعه توصیف گردد. نفوذ در فارو با نصب فلوم در دو انتهای فارو (محل جریان ورودی و خروجی از آن) در زمانی که معادل زمان آبیاریست اندازه‌گیری می‌شود. متوسط نفوذ آب در طول فارو از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$i = \frac{1}{Lp} (V_{in} - V_{out} - V_s) \quad (10-3)$$

i: متوسط مقدار نفوذ آب در فارو در سطح خیس شده آن (mm)

L: فاصله بین دو نقطه که جریان ورودی و خروجی در آن اندازه گیری می‌شوند (m)

P: محیط خیس شده (m)

V_{in}: حجم جریان ورودی (l)

V_{out}: حجم جریان خروجی (l)

V_s: حجم آبی که به صورت خیره در فارو باقی مانده و هنوز در خاک نفوذ نکرده (l)

۳-۳-۲) محیط فیس شده فارو

مقدار تنظیم شده محیط خیس شده فارو، از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P = 0.265 \left[\frac{Qn}{S^{0.5}} \right]^{0.425} + 0.227 \quad (11-3)$$

P: محیط خیس شده اصلاح شده (m)

Q: دبی ورودی فارو (l/s)

n: ضریب زبری مانینگ (معمولاً برای فارو ۰,۰۴ در نظر گرفته می‌شود)

S: شیب فارو (m/m)

۳-۳-۳) حجم خیره موقت در فارو

حجم آبی که بصورت ذخیره موقت در داخل فارو وجود داشته و هنوز در خاک نفوذ نکرده است از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V_s = \frac{L}{0.305} \left\{ 2.947 \left[\frac{Qn}{S^{0.5}} \right]^{0.735} - 0.0217 \right\} \quad (12-3)$$

۳-۳-۴) مقدار نفوذ آب

مقدار نفوذ آب در سیستم آبیاری فارو بایستی بر حسب ارتفاع آب در سطح کل مزرعه توصیف شود. این مقدار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$i = \left[a(t^b) + c \right] \frac{P}{W} \quad (۱۳-۳)$$

W: فاصله بین پشته‌های فارو (m)

۳-۳-۵) زمان پیشروی

زمان رسیدن جبهه پیشروی جریان آب در فارو بر اساس دستورالعمل SCS از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Tt = \frac{x}{f} \exp \left[\frac{gx}{Q(S)^{0.5}} \right] \quad (۱۴-۳)$$

Tt: زمان پیشروی (min)

x: فاصله از ابتدای فارو (m)

f: ضریب ثابت پیشروی که به نوع خاک بستگی دارد.

g: ضریب ثابت پیشروی که به نوع خاک بستگی دارد.

Q: دبی حجمی ورودی در فارو (l/s)

S: شیب فارو (m/m)

۳-۳-۶) زمان نفوذ

اگر in مقدار خالص آب مورد نیاز جهت نفوذ باشد، زمان لازم برای نفوذ این مقدار آب از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Tn = \left[\frac{\ln(W/P) - c}{a} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (۱۵-۳)$$

در صورتیکه انتهای جویچه باز باشد و یا جویچه‌ها شبیدار باشند، می‌توان زمان پسروری را صفر فرض کرد.

۳-۳-۷) مقدار نافالص عمق آبیاری

مقدار ناخالص عمق آبیاری که وارد فارو شده است از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$ig = \frac{60 \times Q \times T}{W \times L} \quad (۱۶-۳)$$

ig: مقدار ناخالص عمق آبیاری که وارد فارو شده است (mm)

Q: دبی ورودی به فارو (l/s)

W: فاصله فاروها از هم (m)

T: زمان قطع جریان (min)

۴) طراحی سیستم آبیاری در کرت‌های مسطح

کرت قطعه زمینی است که معمولاً به شکل مربع یا مستطیل بوده و اطراف آن توسط پشته کوچکی از خاک محصور است. سطح خاک در داخل کرت مسطح و بدون شیب بوده و وقتی آب وارد آن شد حالت غرقابی به خود می‌گیرد.

سیستم کرتی برای انواع گیاهان مناسب است. اندازه کرت به مقدار جریان آب و نفوذ پذیری خاک بستگی دارد. در شرایطی که مقدار جریان آب کم باشد، سیستم آبیاری کرتی مناسب‌ترین روش آبیاری زمین است. اندازه کرت به عواملی مانند: نوع خاک، اندازه مزرعه، شیب زمین و شیوه زراعت بستگی دارد، که از این میان نوع خاک، مقدار جریان و عمق آبیاری مهمترینند.

۴-۱) روابط تجربی

در روش کرتی نیز مانند روش آبیاری فارو، بین مقدار جریان آب، منحنی نفوذ خاک، راندمان آبیاری و ابعاد کرت روابط تجربی وجود دارد. با استفاده از این روابط می‌توان تخمین‌های اولیه را در طراحی بدست آورد. جدول (۶) نمونه‌ای از این روابط است.

۴-۲) روابط هیدرولیکی

روابط هیدرولیکی در سیستم‌های آبیاری کرتی بر مبنای دستورالعمل‌های SCS ارائه شده است. معادلات هیدرولیکی که بر اساس آنها پارامترهای طراحی محاسبه میشوند عبارتند از: معادله پیوستگی (۲)، معادله نفوذ و معادله مانینگ در جریانهای روباز که به کرت‌های پهن با عمق محدود تعمیم داده می‌شود. آزمایشات نفوذ در طراحی سیستم آبیاری کرتی توسط حلقه‌های نفوذ و یا کرت‌های کوچکی که پر از آب میشوند انجام می‌گردد.

۴-۲-۱) زمان خالص نفوذ

زمان خالص نفوذ در یک کرت مسطح از معادلاتی مشابه رابطه (۳-۱۵) محاسبه می‌شود بدون آنکه نیازی به اصلاح محیط خیس شده باشد.

$$Tn = \left[\frac{in - c}{a} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (1-4)$$

۱۴-۲-۲) زمان پیشروی

طراح با در نظر گرفتن مقدار مناسبی برای راندمان کاربرد از معادله زیر می‌تواند مقدار زمان پیشروی را محاسبه نماید:

$$Ed = 105.81 - 32.676 \left(\frac{Tt}{Tn} \right)^{0.5} \quad (2-4)$$

Ed: راندمان کاربرد

Tt: زمان پیشروی

Tn: زمان نفوذ مقدار خالص آبیاری

۱۴-۲-۳) طول کرت

با داشتن زمان پیشروی می‌توان از رابطه زیر طول کرت را محاسبه کرد:

$$L = \frac{6 \times 10^4 \times Qu \times Tt}{\frac{a(Tt)^b}{1+b} + c + 1798(n)^{\frac{3}{8}}(Qu)^{\frac{9}{16}}(Tt)^{\frac{3}{16}}} \quad (3-4)$$

a, b, c: ضرایب ثابت (جدول (۵))

Qu: دبی در واحد عرض کرت (m²/s)

Tt: زمان پیشروی

L: طول کرت

n: ضریب زبری مانینگ

مقدار n برای کرت‌های مختلف به شرح زیر است (۴):

نوع کرت	کشت نشده و صاف	کشت شده با غلات	کشت شده با یونجه و گیاهان مشابه	کشت شده با پنبه، چغندر و گیاهان مشابه
n	۰,۰۴	۰,۱۰	۰,۱۵	۰,۲۵

۴-۲-۴) زمان قطع جریان

زمان قطع جریان ورودی به کرت (T_{co}) زمان لازم برای ورود مقدار ناخالص آبیاری (ig) به سطح کرت است و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T_{co} = \frac{in \times L}{600 \times Qu \times Ed} \quad (4-4)$$

T_{co} : زمان قطع جریان پس از شروع آبیاری (min)

in : عمق خالص آبیاری (mm)

Ed : راندمان آبیاری (%)

۴-۲-۵) عمق ماکزیمم جریان

ارتفاع پشته‌های اطراف کرت به عمق جریان آبی که وارد کرت می‌شود بستگی دارد. حداکثر عمق جریان را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$d_{max} = 2250(n)^{\frac{3}{8}}(Qu)^{\frac{9}{16}}(T_{co})^{\frac{3}{16}} \quad (5-4)$$

d_{max} : عمق ماکزیمم جریان (mm)

در صورتیکه زمان پیشروی از زمان قطع جریان بزرگتر باشد، در معادله بالا به جای T_{co} بایستی T_t را قرار داد.

۵) طراحی سیستم آبیاری نواری

نوارها بطور کلی مشابه کرت‌های مسطح می‌باشند، جز اینکه در جهت طولی دارای شیب هستند و در جهت عرضی نیز ممکن است شیب محدودی داشته باشند. نوارهای شیبدار بطور کلی محصور نبوده و انتهایشان باز است. این روش بیشتر در اراضی کاربرد دارد که عمق خاک امکان تسطیح و مسطح کردن زمین را ندهد.

۵-۱) روابط هیدرولیکی

طراحی سیستم نواری بر این اساس استوار است که آب روی هر نقطه از مزرعه باید برابر زمان لازم برای نفوذ به مقدار نیاز خالص آبیاری وجود داشته باشد.

زمان تأخیر عقب نشینی

در سیستم نواری فاصله بین زمان قطع آب در ابتدای نوار زمانیکه آب در همان ابتدای نوار از روی زمین محو شود بنام زمان تأخیر پسروی نامیده می‌شود. در نوارهای با شیب تند، فرض میشود که شیب سطح آب با شیب زمین برابر و عمق متوسط جریان مساوی با عمق جریان در ابتدای نوار باشد. در این وضعیت زمان تأخیر پسروی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Trl = \frac{(Qu)^{0.2} \times (n)^{1.2}}{120(S)^{1.6}} \quad (۱-۵)$$

Qu: دبی در واحد عرض (m²/s)

n: ضریب زبری مانینگ

S: شیب زمین (m/m)

Trl: زمان تأخیر عقب نشینی (min)

مقدار ضریب زبری مانینگ مشابه مقادیر است که برای کرت‌های مسطح در بخشش قبل گفته شد. در مورد نوارهای با شیب کم که در آنها شیب زمین کمتر از ۰,۰۰۴ (m/m) است، عمق جریان در ابتدای نوار که آب وارد آن می‌شود کمتر از عمق نرمال در سطح نوار بوده و در این صورت زمان تأخیر پسروی از رابطه زیر بدست می‌آید (۴):

$$Trl = \frac{(Qu)^{0.2} (n)^{1.2}}{120 \left[s + \frac{0.0094n(Qu)^{0.175}}{(Tn)^{0.88} (s)^{0.5}} \right]^{1.6}} \quad (۲-۵)$$

Tn: زمان خالص نفوذ (min)

دبی در واحد عرض

دبی در واحد عرض از موازنه بین حجم آب داده شده به نوار و عمق خالص مورد نیاز آبیاری تقسیم بر راندمان آبیاری بدست می‌آید.

$$Qu = \frac{0.00167 \times in \times L}{(Tn - Trl) \times Ed} \quad (۳-۵)$$

in: عمق خالص آبیاری (mm)

L: طول نوار (m)

Ed: راندمان آبیاری توزیع (%)

در این معادله، فرض شده است که راندمان ورود آب به زمین معادل ۱۰۰ درصد باشد.

عمق جریان در نوار

حداکثر عمق جریان آب در آبیاری نواری از روی ارتفاع پشته‌ها بدست می‌آید. ارتفاع پشته‌ها معمولاً ۱٫۲۵ برابر حداکثر عمق جریان در نظر گرفته می‌شود. عمق جریان در ابتدای نوار برای وضعیتی که شیب زمین زیاد باشد برابر عمق نرمال جریان در نظر گرفته شود از معادله زیر بدست می‌آید:

$$dh = \frac{1000(Qu)^{0.6}(n)^{0.6}}{S^{0.3}} \quad (۴-۵)$$

برای نوارهایی که شیبشان کم است عمق جریان در ابتدای نوار کمتر از عمق نرمال جریان آب بوده و مقدار آن از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$dh = 2454(Trl)^{0.1875}(Qu)^{0.5625}(n)^{0.1875} \quad (۵-۵)$$

۶ توضیح برنامه کامپیوتری ارائه شده

برنامه کامپیوتری ارائه شده به زبان C++ (۱) دارای ۹ گزینه می‌باشد. در ابتدای اجرای برنامه، منو روی صفحه نمایان شده و کاربر امکان انتخاب گزینه مورد نظر را دارد و تا زمانیکه کاربر عددی غیر از (۱-۹) وارد کند، برنامه تکرار می‌شود. گزینه (۱) محاسبات مدیریت آبیاری را انجام داده، خروجی آن ۳ جدول است که عبارتند از جداول (۱و۲و۳و۴و۵). گزینه (۲) راندمان بخش‌های مختلف و راندمان کل آبیاری را محاسبه می‌کند. گزینه (۳) درصد تلفات در اثر نفوذ عمقی برای نسبت‌های مختلف زمان پیشروی (FAR) و مقادیر مختلف a را بر اساس جدول (۴) به کاربر ارائه می‌دهد. گزینه (۴) حداکثر مجاز طول جویچه (متر) برای خاک‌ها، شیب‌ها و مقادیر مختلف آب آبیاری را بر اساس جدول (۵) به کاربر ارائه می‌دهد. گزینه (۵) بنا بر شماره منحنی نفوذی که کاربر وارد می‌کند ضرایب لازم برای طراحی سیستم آبیاری سطحی (جویچه‌ای و کرتی) (a,b,c,f,g) را به کاربر می‌دهد. گزینه (۶) جدولی که شامل محاسبه محیط خیس شده فارو، حجم آبی که بصورت ذخیره موقت در داخل فارو وجود دارد، زمان رسیدن جبهه پیشروی جریان آب در فارو (طبق دستورالعمل SCS)، زمان لازم برای نفوذ، مقدار ناخالص عمق آبیاری که وارد فارو می‌شود، می‌باشد را به کاربر ارائه می‌دهد. گزینه (۷) بر اساس جدول (۷) با توجه به مقدار جریان و نوع خاک، سطحی را برای کرت پیشنهاد می‌دهد. گزینه (۸) جدولی که شامل زمان خالص نفوذ، زمان پیشروی، طول کرت، زمان قطع جریان و عمق ماکزیمم جریان در کرت است را به کاربر ارائه می‌دهد. گزینه (۹) جدولی شامل محاسبه زمان تأخیر پسروی، دبی ورودی در واحد عرض نوار و عمق جریان در ابتدای نوار است را به کاربر ارائه می‌دهد. نتایج در فایل متنی "surface irrigation.txt" ایجاد می‌شوند.

ردیف	ماه	تبخیر و تعرق پتانسیل	ضریب گیاهی	باران ماهانه	ضریب fd	استفاده از آب زیر زمینی	رطوبت موجود در خاک	باران مؤثر	تبخیر و تعرق واقعی	نیاز خالص آبی- آبتجویی
1	JUN	۹,۵	۰,۵۴	۱,۵	1	0	0	۰	۵,۱۳	۵,۱۳
2	JUL	۱۰,۲	۰,۶	۱,۰۲	1	0	0	۰	۶,۱۲	۶,۱۲
3	AUG	۱۲,۸	۰,۶	۰,۹۸	1	0	0	۰	۷,۶۸	۷,۶۸

جدول (۱)

جدول (۲)

ماه	آب قابل دسترس	نیاز خالص آبیاری	عمق آبیاری	دور آبیاری
JUN	۱۶۰	۵,۳۳	۴۸	۹
JUL	۱۶۰	۶,۳۲	۵۲	۸,۲۲
AUG	۱۶۰	۷,۸۸	۵۶	۷,۱

جدول (۳)

نیاز آبتجویی	نیاز خالص آبی در کل فصل آبیاری (میلیمتر)	نیاز خالص آبی در کل فصل آبیاری (متر مکعب)
۰,۲	۱۹,۵۳	۹۷۶,۵

جدول (۴): درصد مقدار تفات در اثر نفوذ عمقی برای نسبت‌های مختلف زمان پیشروی (FAR)

و مقادیر مختلف a

نسبت زمان پیشروی به زمان آبیاری	a									
	FAR	۰,۱	۰,۲	۰,۳	۰,۴	۰,۵	۰,۶	۰,۷	۰,۸	۰,۹
۱	۳,۵	۶,۹	۱۰,۴	۱۳,۸	۱۷,۲	۲۰,۵	۲۳,۸	۲۷,۰	۳۰,۲	۳۰,۲
۱/۲	۲,۰	۴,۱	۶,۱	۸,۱	۱۰,۱	۱۲,۱	۱۴,۱	۱۶,۱	۱۸,۰	۱۸,۰
۱/۳	۱,۴	۲,۹	۴,۳	۵,۷	۷,۲	۸,۶	۱۰,۱	۱۱,۵	۱۲,۹	۱۲,۹
۱/۴	۱,۱	۲,۲	۳,۳	۴,۵	۵,۶	۶,۷	۷,۸	۸,۹	۱۰,۰	۱۰,۰
۱/۵	۰,۹	۱,۸	۲,۷	۳,۶	۴,۶	۵,۵	۶,۴	۷,۳	۸,۲	۸,۲
۱/۱۰	۰,۵	۱,۰	۱,۴	۱,۹	۲,۴	۲,۹	۳,۳	۳,۸	۴,۳	۴,۳

جدول (۵): حداکثر مجاز طول جویچه (متر) برای خاک‌ها با شیب‌ها و مقادیر مختلف آب آبیاری، طول به متر و عمق‌ها به سانتیمتر

متوسط مقدار آبیاری (سانتیمتر)												
۷,۵ ۱۵ ۲۲,۵ ۳۰				۵ ۱۰ ۱۵ ۲۰				۷,۵ ۱۰ ۱۲,۵				
رس				لوم				شن				
شیب فارو(%)	Meters											
۰,۰۵	۳۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۱۲۰	۲۷۰	۴۰۰	۴۰۰	۶۰	۹۰	۱۵۰	۱۹۰
۰,۱	۳۴۰	۴۴۰	۴۷۰	۵۰۰	۱۸۰	۳۴۰	۴۴۰	۴۷۰	۹۰	۱۲۰	۱۹۰	۲۲۰
۰,۲	۳۷۰	۴۷۰	۵۳۰	۶۲۰	۲۲۰	۳۷۰	۴۷۰	۵۳۰	۱۲۰	۱۹۰	۲۵۰	۳۰۰
۰,۳	۴۰۰	۵۰۰	۶۲۰	۸۰۰	۲۸۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۱۵۰	۲۲۰	۲۸۰	۴۰۰
۰,۵	۴۰۰	۵۰۰	۵۶۰	۷۵۰	۲۸۰	۳۷۰	۴۷۰	۵۳۰	۱۲۰	۱۹۰	۲۵۰	۳۰۰
۱	۲۸۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۷۰	۴۷۰	۹۰	۱۵۰	۲۲۰	۲۵۰
۱,۵	۲۵۰	۳۴۰	۴۳۰	۵۰۰	۲۲۰	۲۸۰	۳۴۰	۴۰۰	۸۰	۱۲۰	۱۹۰	۲۲۰
۲	۲۲۰	۲۷۰	۳۴۰	۴۰۰	۱۸۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۴۰	۶۰	۹۰	۱۵۰	۱۹۰

جدول (۶): شماره منحنی‌های نفوذ و ضرایب پیشروی برای شرایطی که نفوذ بر حسب میلی‌متر، زمان بر حسب دقیقه و طول بر حسب متر است.

شماره منحنی نفوذ	a	b	c	f	g
۰,۰۵	۰,۵۳۳۴	۰,۶۱۸	۷,۰	۷,۰۶	$۱,۰۸ * ۱۰^{-4}$
۰,۱۰	۰,۶۱۹۸	۰,۶۶۱	۷,۰	۷,۲۵	$۱,۲۵۱ * ۱۰^{-4}$
۰,۱۵	۰,۷۱۱۰	۰,۶۸۳	۷,۰	۷,۳۴	$۱,۴۱۴ * ۱۰^{-4}$
۰,۲۰	۰,۷۷۷۲	۰,۶۹۹	۷,۰	۷,۴۳	$۱,۵۷۸ * ۱۰^{-4}$
۰,۲۵	۰,۸۵۳۴	۰,۷۱۱	۷,۰	۷,۵۲	$۱,۷۴۱ * ۱۰^{-4}$
۰,۳۰	۰,۹۲۴۶	۰,۷۲۰	۷,۰	۷,۶۱	$۱,۹۰۴ * ۱۰^{-4}$
۰,۳۵	۰,۹۹۵۷	۰,۷۲۹	۷,۰	۷,۷۰	$۲,۰۶۷ * ۱۰^{-4}$
۰,۴۰	۱,۰۶۴	۰,۷۳۶	۷,۰	۷,۷۹	$۲,۲۳۰ * ۱۰^{-4}$
۰,۴۵	۱,۱۳۰	۰,۷۴۲	۷,۰	۷,۸۸	$۲,۳۹۳ * ۱۰^{-4}$
۰,۵۰	۱,۱۹۶	۰,۷۴۸	۷,۰	۷,۹۷	$۲,۵۵۶ * ۱۰^{-4}$
۰,۶۰	۱,۳۲۱	۰,۷۵۷	۷,۰	۸,۱۵	$۲,۸۸۳ * ۱۰^{-4}$
۰,۷۰	۱,۴۴۳	۰,۷۶۶	۷,۰	۸,۳۳	$۳,۲۰۹ * ۱۰^{-4}$
۰,۸۰	۱,۵۶۰	۰,۷۷۳	۷,۰	۸,۵۰	$۰,۵۳۵ * ۱۰^{-4}$
۰,۹۰	۱,۶۷۴	۰,۷۷۹	۷,۰	۸,۶۸	$۳,۸۶۲ * ۱۰^{-4}$
۱,۰۰	۱,۷۸۶	۰,۷۸۵	۷,۰	۸,۸۶	$۴,۱۸۸ * ۱۰^{-4}$
۱,۵۰	۲,۲۸۴	۰,۷۹۹	۷,۰	۷,۷۶	$۵,۸۱۹ * ۱۰^{-4}$
۲,۰۰	۲,۷۵۳	۰,۸۰۸	۷,۰	۱۰,۶۵	$۷,۴۵۱ * ۱۰^{-4}$

جدول (۷): مقادیر پیشنهادی برای سطح کرت (هکتار) به ازاء انواع مختلف خاک‌ها و دبی جریان

مقدار جریان (l)	مقدار جریان (m ³ /hr)	شن	لوم شنی	لوم رس	رس
۳۰	۱۰۸	۰,۰۲	۰,۰۶	۰,۱۲	۰,۲
۶۰	۲۱۶	۰,۰۴	۰,۱۲	۰,۲۴	۰,۴
۹۰	۳۲۴	۰,۰۶	۰,۱۸	۰,۳۶	۰,۶
۱۲۰	۴۳۲	۰,۰۸	۰,۲۴	۰,۴۸	۰,۸
۱۵۰	۵۴۰	۰,۱۰	۰,۳۰	۰,۶۰	۱,۰
۱۸۰	۶۴۸	۰,۱۲	۰,۳۵	۰,۷۲	۱,۲
۲۱۰	۷۵۶	۰,۱۴	۰,۴۲	۰,۸۴	۱,۴
۲۴۰	۸۶۴	۰,۱۶	۰,۴۸	۰,۹۶	۱,۶
۲۷۰	۹۷۲	۰,۱۸	۰,۵۴	۱,۰۸	۱,۸
۳۰۰	۱۰۸۰	۰,۲۰	۰,۶۰	۱,۲۰	۲,۰

(۷) بحث و نتیجه‌گیری

در طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی (جویچه‌ای، کرتی، نواری)، روش‌های تجربی و روش‌های هیدرولیکی قابل استفاده‌اند. در طراحی این سیستم‌ها به ترتیب بایستی یک سری پارامترها را محاسبه و سپس با تلفیق آنها در یکدیگر به نتایج و ضوابطی دست یافت که بتوان طرح را بر اساس آن اجرا کرد. با بکارگیری برنامه کاربردی ارائه شده، امکان انجام صحیح و سریع این محاسبات برای طراحی سیستم‌های آبیاری جویچه‌ای، کرتی و نواری فراهم می‌شود.

منابع:

۱. جعفر نژاد قمی، عین‌اله ۱۳۷۱. «برنامه نویسی به زبان ++C». انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۲. شیمز، اروینگ اچ ۱۳۷۱. «مکانیک سیالات»، انتشارات پژوهش.
۳. صباغ زاده، همایون ۱۳۸۳. اولین همایش بررسی مشکلات شبکه‌های آبیاری و زهکشی.
۴. علیزاده، امین ۱۳۸۴. «طراحی سیستم‌های آبیاری»، انتشارات قدس رضوی.

۵. قمرنیا، ه.ح. خسروی. و م.جوادی بایگی ۱۳۸۶. «برنامه رایانه ای طراحی سیستم آبیاری بارانی کلاسیک و آبیاری بارانی با لوله‌های چرخدار به زبان ++C». اولین سمینار طرح ملی آبیاری تحت فشار و توسعه پایدار.
۶. کبریتی، فتح اله. «لزوم بررسی سیستم‌های آبیاری سطحی در مراحل طراحی و بهره‌برداری بمنظور استفاده بهینه از منابع آب در سطح مزرعه»، مجموعه مقالات هفتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.