

ارائه یک روش ساده برای تعیین معادلات نفوذ آبیاری جویچه‌ای بر اساس هیدروگراف‌های جریان ورودی و جریان خروجی

محمد مهدی کفایتی^۱، * بهروز مصطفی زاده فرد^۲ و منوچهر حیدرپور^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آبیاری، دانشگاه صنعتی اصفهان،

^۲دانشیار گروه آبیاری، دانشگاه صنعتی اصفهان، ^۳استادیار گروه آبیاری، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۴/۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۲/۱۶

چکیده

برای استفاده بهینه از آب و افزایش راندمان آبیاری ضروری است که پارامترهای معادلات نفوذ که نقش اساسی در ارزیابی و طراحی سیستم‌های آبیاری دارند، با دقت بالایی تخمین زده شوند. در این مقاله، یک روش ساده بر اساس هیدروگراف‌های جریان ورودی و جریان خروجی ارائه گردیده است که می‌تواند پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیس را برای روش‌های آبیاری سطحی شبیدار از جمله روش‌های خاص آبیاری جویچه‌ای مثل آبیاری غلام گردشی که تاکنون راه حلی برای تعیین معادله نفوذ آن ارائه نشده است، محاسبه نماید. در روش ارائه شده نیازی به حل معادلات پیچیده بیلان حجم که دارای پارامترهای متعددی است نمی‌باشد. برای ارزیابی روش ارائه شده، یک سیستم آبیاری غلام گردشی واقع در پارک صفا اصفهان مورد آزمایش قرار گرفت و پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیس تعیین گردید. نتایج نشان داد که روش ارائه شده، قادر است با دقت بالایی پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیس را تعیین نماید به طوری که خطای پیش بینی حجم نفوذ محاسبه شده با استفاده از معادلات فوق در مقایسه با حجم نفوذ محاسبه شده توسط هیدروگراف‌های جریان ورودی و جریان خروجی به ترتیب برابر با $2/9$ و $7/6$ درصد گردید.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، هیدروگراف، نفوذ، آبیاری غلام گردشی.

مقدمه

آبیاری سطحی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های آبیاری است که به علت کم بودن هزینه اولیه آن (در مقایسه با روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای) تا به حال تحقیقات زیادی برای افزایش راندمان آن انجام گرفته است. به منظور ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی یک سیستم

آبیاری سطحی در مرحله اول نیاز به تعیین پارامترهای معادله نفوذ می‌باشد. اگر این پارامترها دقیق‌تر ارزیابی گردند، بهتر می‌توان سیستم آبیاری مورد نظر را ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی نمود. برای استفاده بهینه از آب و افزایش راندمان آبیاری لازم است که پارامترهای معادله نفوذ بخصوص در رابطه با عمق آب، محیط خیس شده و شکل هندسی جویچه با دقت خوبی تخمین زده شوند. در صورتی که پارامترهای معادله نفوذ با دقت مناسب و

پیشروی و پسروی آب در جویچه، شکل هندسی جویچه و ضریب زبری سطح جویچه.

روش بیلان حجم با داشتن دقت زیاد دارای محدودیت‌هایی می‌باشد که عبارتند از:

۱- پارامترهای مورد نیاز در این روش زیاد است و اندازه‌گیری آنها مستلزم صرف زمان و هزینه می‌باشد.

۲- این روش شامل معادلاتی است که حل آنها نسبتاً پیچیده و وقت‌گیر می‌باشد.

۳- روش دقیق و ساده‌ای برای محاسبه برخی از پارامترهای مورد استفاده در این روش وجود ندارد که از آن جمله می‌توان به ضریب زبری مانینگ و فاکتور شکل ذخیره سطحی اشاره نمود.

۴- فرضیات روش بیلان حجم نظیر یکنواخت بودن جریان، یکنواخت بودن مقطع جویچه و یکنواخت بودن شیب جویچه ممکن است در بعضی شرایط صادق نباشند.

روش نفوذ سنج گردش جویچه از روش‌های جدیدی است که اخیراً برای تعیین معادله نفوذ آب به جویچه مورد استفاده قرار گرفته است (مصطفی‌زاده و موسوی، ۱۹۸۹). در این روش، از محاسبات نسبتاً ساده‌تری به منظور تعیین پارامترهای معادله نفوذ استفاده می‌شود. با این حال این روش نیز دارای معایب و محدودیت‌هایی می‌باشد که عبارتند از:

۱- نیاز به تجهیزات و وسایل نسبتاً پیچیده دارد که نصب و استفاده از آنها به راحتی و در هر جایی مقدور نمی‌باشد. نظیر مخزن آب، پمپ و موتور پمپ و لوله‌های رابط، شیرفلکه و ...

۲- مقدار ذخیره سطحی در محاسبه پارامترهای معادله نفوذ لحاظ نمی‌شود.

۳- برای طول کوتاهی از جویچه (معمولاً ۶ تا ۱۲ متر) به کار می‌رود که در برخی مزارع نمی‌تواند شرایط نفوذ در کل جویچه را ارائه نماید.

۴- با افزایش طول جویچه و افزایش زمان آزمایش، تجهیزات مورد استفاده باید در اندازه‌های بزرگتری به کار

نزدیک به شرایط مزرعه‌ای تعیین نگردند ممکن است آبیاری بی‌رویه و در نتیجه فرونشست عمقی و رواناب انتهایی صورت پذیرد و یا آبیاری، کمتر از مقدار مورد نیاز انجام گیرد که در هر دو صورت، راندمان آبیاری کم خواهد بود (سقائیان‌نژاد، ۱۹۹۵). برای سیستم‌های آبیاری نظیر جویچه‌ای، کرتی و نواری روش‌های متعددی جهت تعیین پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکف^۱ و کوستیاکف-لوئیس^۲ وجود دارند که از آن جمله می‌توان به روش‌های استوانه‌های نفوذسنج، جویچه مسدود شده، نفوذ سنج گردش و بیلان حجم اشاره نمود (مصطفی‌زاده و موسوی، ۲۰۰۶). روش استوانه‌های نفوذسنج برای آبیاری کرتی و نواری کاربرد دارد و معادله به‌دست آمده معمولاً نیاز به تعدیل‌سازی دارد. برای آبیاری جویچه‌ای روش بیلان حجم و روش نفوذ سنج گردش به علت اینکه تأثیر دینامیک جریان در تعیین معادله نفوذ را در نظر می‌گیرند و جریان آب تحت شرایط طبیعی زبری، شکل هندسی و محیط خیس شده جویچه صورت می‌گیرد، از دقت خوبی برخوردار هستند.

روش بیلان حجم برای اولین بار توسط کریستیانسن و همکاران (۱۹۶۶) معرفی گردید و تا به حال محققین زیادی (الیوت و رمسی، ۱۹۸۲، فنگمیر و رمسی، ۱۹۷۸) با استفاده از روش‌های مختلف از جمله روش "دو نقطه" معادله بیلان حجم را به منظور تعیین پارامترهای معادله نفوذ حل نموده‌اند. در تحقیقات به عمل آمده نشان داده شده است که روش بیلان حجم به مراتب ساده‌تر و دقیق‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد (مصطفی‌زاده، ۱۹۹۱؛ لای و پندیلا، ۱۹۷۷). ماتیوس و ایونارت (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای با استفاده از روش بیلان حجم مدلی برای تعیین پارامترهای معادله نفوذ در آبیاری جویچه‌ای ارائه نمودند. در روش بیلان حجم نیاز به اندازه‌گیری پارامترهایی برای جویچه مورد ارزیابی می‌باشد که عمده‌تاً عبارتند از: دبی جریان ورودی به جویچه، دبی جریان خروجی از جویچه،

1- Kostiakov

2- Kostiakov-Lewis

گرفته شوند که در این صورت خطای حاصل از در نظر نگرفتن ذخیره سطحی افزایش می‌یابد.

دو روش ذکر شده در بالا، علاوه بر معایب فوق تنها محدود به روش آبیاری جویچه‌ای با شیپ‌های منظم بوده و در سایر روش‌های آبیاری سطحی با حالت‌های خاص نظیر آبیاری غلام گردشی که یک روش سنتی آبیاری جویچه‌ای در ایران است (مروج الاحکامی، ۲۰۰۵)، روش جویچه‌ای کنگره‌ای و روش جویچه‌ای که شیپ و سطح مقطع یکنواخت نداشته و ضریب زبری مانینگ در طول آن متغیر و یا نامعلوم باشد کارایی نداشته و یا از دقت کمی برخوردار هستند.

هدف از تحقیق حاضر ارائه یک روش ساده است که می‌تواند پارامترهای معادلات نفوذ متداول در آبیاری سطحی نظیر معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لویس را بدون نیاز به حل معادلات پیچیده بیلان حجم که نیاز به پارامترهای متعددی دارند، برای روش‌های آبیاری سطحی در مزارع شیبدار از جمله روش‌های خاص آبیاری جویچه‌ای مثل آبیاری غلام گردشی که تا کنون راه حلی برای تعیین پارامترهای معادلات نفوذ آن ارائه نشده است، براساس اطلاعات هیدروگراف‌های جریان ورودی و جریان خروجی محاسبه نماید.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی روش ارائه شده، یک سیستم آبیاری غلام گردشی در جنوب اصفهان واقع در پارک کوهستانی صفه که برای آبیاری فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گرفت انتخاب و آزمایش تعیین معادله نفوذ برای آن انجام شد (شکل ۱). سیستم مورد نظر به طول ۲۸۵ متر در دامنه کوه صفه قرار گرفته است و درختان متنوعی نظیر داغداغان، سرو و انار را آبیاری می‌نماید. دبی آب ورودی به جویچه تا حدی متغیر و طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده، حداکثر حدود ۱/۷ لیتر در ثانیه بود. بافت خاک مزرعه لوم سیلتی - رسی بود که با افزایش عمق درصد سیلت آن بیشتر می‌شد. مقطع عرضی جویچه در طول

جویچه متغیر و عرض بالای جویچه بسیار غیر یکنواخت (از ۲۰ تا ۹۰ سانتی‌متر) است. شیپ در جهت طولی جویچه متغیر و به‌طور متوسط حدود ۸/۷ درصد می‌باشد. در جهت عرضی نیز شیپ وجود داشت و حتی در برخی مقاطع شیپ عرضی معکوس دیده می‌شد. بستر جویچه در محدوده قوس‌ها، سنگریزه‌ای و در سایر نقاط خاکی بود. با توجه به این خصوصیات ضریب زبری نیز در طول جویچه متغیر بوده و با روش‌های موجود به سادگی قابل محاسبه نیست. برای چنین شرایطی نمی‌توان پارامترهای معادله نفوذ را با استفاده از روش‌های متداول که برای جویچه‌های منظم ارائه شده اند با دقت بالا محاسبه نمود. برای چنین شرایطی اگر از روش نفوذ سنج گردشی جویچه برای تعیین پارامترهای معادله نفوذ استفاده شود با توجه به شرایط متغیر در طول جویچه، حداقل نیاز به طولی برابر ۳۰ متر می‌باشد که در چنین شرایطی حجم آب مورد نیاز برای انجام آزمایش زیاد خواهد بود. همچنین طبق محاسبات، مقدار حجم ذخیره سطحی ۰/۵۱ مترمکعب بود که چون در این روش این مقدار لحاظ نمی‌شود، خطایی در حدود ۳۲ درصد در حجم نفوذ کل در طول ۳۰ متر جویچه ایجاد می‌کند.

برای انجام آزمایش، ۳۰ متر اول جویچه شامل چندین مسیر مارپیچی انتخاب شد. برای اندازه‌گیری دبی جریان ورودی به جویچه و دبی جریان خروجی از محدوده مشخص شده جویچه، از دو WSC فلوم تیپ ۱ که معادله واسنجی آنها قبلاً تعیین گردیده بود، استفاده شد. این فلوم‌ها قادرند تا شدت جریان ۳ لیتر در ثانیه را با دقت بالا اندازه‌گیری کنند. قبل از شروع آبیاری رطوبت خاک در عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد و متوسط رطوبت وزنی خاک برای این عمق‌ها ۱۳/۷ درصد تعیین شد. زمان قطع جریان آب ۱۱۱ دقیقه از شروع آزمایش بود و ۱۳۷ دقیقه بعد از شروع آزمایش مقدار جریان خروجی از فلوم انتهایی به صفر رسید.

تجهیزات مورد نیاز در این روش عمدتاً شامل وسایل اندازه‌گیری دبی می‌باشند که باید در ابتدا و انتهای جویچه نصب گردند. برای این کار می‌توان از وسایلی نظیر سرریز، روزنه و پارشال فلوم نیز استفاده نمود. پس از نصب وسایل اندازه‌گیری آب، دبی جریان ورودی و دبی جریان خروجی از جویچه اندازه‌گیری و در فرم‌های مشخص ثبت می‌گردند. با داشتن این اطلاعات می‌توان هیدروگراف‌های جریان ورودی و خروجی را ترسیم نمود که مهمترین پارامتر مورد نیاز در این روش می‌باشد. آبیاری تا زمانی ادامه می‌یابد که نفوذ آب به جویچه به نفوذ نهایی برسد و این زمان با ثابت شدن هیدروگراف خروجی تحقق می‌یابد. شرح مختصر روابط مورد استفاده در روش پیشنهادی در زیر ارائه شده است.

معادله کلی موازنه (تبادل) آبی برای سیستم آبیاری سطحی در حال آبیاری که دارای رواناب باشد به صورت معادله ۱ می‌باشد:

$$V_{in} = V_{ss} + V_{inf} + V_{out} \quad (1)$$

که در آن:

$$V_{in} = \text{حجم آب ورودی بر حسب متر مکعب}$$

$$V_{ss} = \text{حجم آب ذخیره سطحی بر حسب متر مکعب}$$

$$V_{inf} = \text{حجم آب نفوذ کرده بر حسب متر مکعب}$$

$$V_{out} = \text{حجم آب خروجی بر حسب متر مکعب}$$

حجم آب نفوذ کرده برابر است با معادله ۲:

$$V_{inf} = V_{in} - (V_{out} + V_{ss}) \quad (2)$$

با داشتن حجم آب نفوذ کرده، پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لویس قابل محاسبه است که مراحل کار به شرح زیر می‌باشد:

۱- محاسبه حجم آب ورودی: حجم آب ورودی در زمان t برابر است با مساحت زیر هیدروگراف ورودی از زمان صفر تا زمان t که با استفاده از قانون دوزنقه یا سایر روش‌ها قابل محاسبه می‌باشد.

۲- محاسبه حجم آب خروجی: حجم آب خروجی در زمان t نیز همانند حجم آب ورودی با استفاده از هیدروگراف خروجی قابل محاسبه است.

۳- محاسبه ذخیره سطحی: ذخیره سطحی از مقدار صفر در ابتدای آبیاری شروع شده و پس از مدتی که آب از نقطه خروجی سیستم خارج شد تقریباً به مقدار حداکثر خود می‌رسد. از این زمان به بعد مقدار ذخیره سطحی را می‌توان تقریباً ثابت فرض نمود. در زمان قطع آبیاری، ذخیره سطحی مازاد بر نفوذ به تدریج از سیستم خارج شده و به مقدار صفر می‌رسد. حجم ذخیره سطحی در زمانی که مقدار آن ثابت است به صورت معادله ۳ قابل محاسبه است:

$$V_{ss} = V_{out(t_{end}-t_{cut})} + V_{inf(t_{end}-t_{cut})} \quad (3)$$

که در آن:

$V_{out(t_{end}-t_{cut})}$ = حجم آب خارج شده در نقطه خروجی از زمان قطع جریان تا زمانی که دبی در نقطه خروجی صفر می‌شود بر حسب متر مکعب

$V_{inf(t_{end}-t_{cut})}$ = حجم آب نفوذ کرده از زمان قطع جریان تا زمانی که دبی در نقطه خروجی صفر می‌شود بر حسب مترمکعب

t_{end} = زمان قطع رواناب در نقطه خروجی از زمان شروع آبیاری بر حسب دقیقه

t_{cut} = زمان قطع جریان آب از زمان شروع آبیاری بر حسب دقیقه

۳-۱- محاسبه $V_{out(t_{end}-t_{cut})}$: حجم آب خارج شده در نقطه خروجی در مدت زمان $t_{end} - t_{cut}$ که برابر است با سطح زیر منحنی هیدروگراف خروجی از زمان t_{cut} تا t_{end} که با استفاده از قانون دوزنقه قابل محاسبه است.

۳-۲- محاسبه $V_{inf(t_{end}-t_{cut})}$: حجم آب نفوذ کرده در مدت زمان $t_{end} - t_{cut}$ که با داشتن نفوذ نهایی خاک از معادله ۴ قابل محاسبه است:

$$V_{inf(t_{end}-t_{cut})} = \frac{(t_{end} - t_{cut}) \times f_0}{2} \quad (4)$$

که در آن:

f_0 = سرعت نفوذ نهایی خاک بر حسب مترمکعب بر دقیقه

برای محاسبه سرعت نفوذ نهایی خاک می‌توان از هیدروگراف‌های جریان ورودی و جریان خروجی استفاده

کرد. با فرض اینکه زمان تداوم آبیاری در حدی باشد که سرعت نفوذ به سرعت نفوذ نهایی رسیده باشد می‌توان معادله ۵ را نوشت:

$$f_0 = Q_{in} - Q_{out} \quad (5)$$

که در آن:

Q_{in} = مقدار دبی در نقطه ورودی بر حسب مترمکعب بر دقیقه

Q_{out} = مقدار دبی در نقطه خروجی وقتی به مقدار ثابتی می‌رسد بر حسب مترمکعب بر دقیقه

۴- محاسبه حجم آب نفوذ کرده: پس از محاسبه ذخیره سطحی، جدولی مشابه جدول ۱ تنظیم می‌گردد و حجم جریان ورودی، حجم جریان خروجی، ذخیره سطحی و نهایتاً حجم آب نفوذی برای زمان‌های مختلف بعد از ثابت شدن جریان خروجی محاسبه می‌گردد. مقدار نفوذ به دست آمده بر حسب مترمکعب خواهد بود. در صورتی که سیستم مورد نظر از نوع جویچه‌ای یا سایر سیستم‌های مشابه آن نظیر آبیاری غلام گردشی و یا آبیاری جویچه‌ای کنگره‌ای باشد می‌توان با تقسیم مقدار نفوذ تجمعی به دست آمده بر طول جویچه مورد آزمایش، مقدار نفوذ را بر حسب مترمکعب بر متر (متر مکعب در واحد طول سیستم آبیاری) به دست آورد. نفوذ نهایی f_0 که واحد آن مترمکعب بر دقیقه بر متر است از رابطه ۶ به دست می‌آید:

$$f_0 = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \quad (6)$$

که در آن:

L = طول جویچه بر حسب متر

در صورتی که عرض بالایی جویچه‌ها در سیستم آبیاری مورد آزمایش ثابت باشند از تقسیم حجم آب نفوذ یافته در هر نقطه در طول جویچه بر عرض بالایی جویچه مقدار نفوذ بر حسب عمق آب نفوذ یافته در آن نقطه به دست می‌آید.

۵- محاسبه پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف: نفوذ کوستیاکف به صورت معادله ۷ ارائه شده است:

$$Z = k.t^a \quad (7)$$

که در آن:

Z = حجم نفوذ تجمعی در واحد طول جویچه بر حسب مترمکعب بر متر

t = زمان نفوذ بر حسب دقیقه

k و a = ضرایب معادله

برای محاسبه ضرایب معادله فوق به دو روش می‌توان عمل نمود: در روش اول با استفاده از نرم‌افزاری مانند Excel و استفاده از ارقام جدول ۱ یعنی ارقام t و Z پارامترهای معادله نفوذ به روش رگرسیون به دست می‌آید. روش دوم موسوم به روش دو نقطه است که دو نقطه از سری نقاط به دست آمده انتخاب شده و معادله برای این دو نقطه حل می‌شود. نقاط انتخابی معمولاً نقطه انتهایی و نقطه‌ای مربوط به ۱۰ تا ۳۰ دقیقه بعد از شروع نفوذ است (مصطفی‌زاده و موسوی، ۲۰۰۶).

اگر Z_1 حجم تجمعی آب نفوذ کرده در زمان t_1 و Z_2 حجم تجمعی آب نفوذ کرده در زمان t_2 باشد ضریب a برابر است با معادله ۸:

$$a = \frac{\log\left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)}{\log\left(\frac{t_1}{t_2}\right)} \quad (8)$$

با داشتن ضریب a ، ضریب k از رابطه ۹ قابل محاسبه است:

$$k = \frac{Z_1}{t_1^a} \quad (9)$$

۶- محاسبه پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس: معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس به صورت رابطه ۱۰ ارائه شده است:

$$Z = k.t^a + f_0.t \quad (10)$$

در این معادله نیاز به محاسبه مقدار نفوذ نهایی f_0 می‌باشد که با استفاده از معادله ۶ قابل محاسبه است. برای محاسبه ضرایب این معادله می‌توان از روش دو نقطه استفاده نمود. در این حالت اگر Z_1 حجم تجمعی آب نفوذ کرده در زمان t_1 و Z_2 حجم تجمعی آب نفوذ کرده

در زمان t_2 باشد، مقدار ضریب a برابر است با معادله ۱۱:

$$a = \frac{\log\left(\frac{Z_1 - f_0 \cdot t_1}{Z_2 - f_0 \cdot t_2}\right)}{\log\left(\frac{t_1}{t_2}\right)} \quad (11)$$

با داشتن ضریب a ، ضریب k از رابطه ۱۲ زیر محاسبه می‌گردد:

$$k = \frac{Z_1 - f_0 \cdot t_1}{t_1^a} \quad (12)$$

برای تعیین دقت روش پیشنهادی برای پیش بینی مقدار کل حجم آب نفوذ یافته به جویچه اطلاعات هیدروگراف‌های جریان ورودی و خروجی مبنا قرار گرفت و مقدار کل حجم آب نفوذ یافته محاسبه شده با استفاده از معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیس به دست آمده با مقادیر حاصل از هیدروگراف‌های جریان ورودی و خروجی مقایسه شد که نتایج حاصله در بخش بعدی ارایه شده است. زیرا اطلاعات هیدروگراف‌های جریان ورودی و خروجی مقادیر دقیق حجم آب وارده شده به جویچه، حجم آب خارج شده از جویچه و حجم آب نفوذ یافته به جویچه را بعد از اتمام عمل آبیاری ارایه می‌دهد.

نتایج و بحث

با مقایسه حجم آب نفوذ کرده حاصل از اختلاف کل حجم آب ورودی به جویچه و کل حجم آب خروجی از جویچه که توسط هیدروگراف‌های ورودی و خروجی به دست آمد، مقدار نفوذ محاسبه شد. برای این منظور دو فلوم، یکی در ابتدا و یکی در انتهای جویچه آزمایشی به فاصله ۳۰ متر از یکدیگر نصب گردیدند. سپس ارتفاع آب در فلوم‌های ورودی و خروجی در زمان‌های مختلف در طول آبیاری یادداشت شد. شکل ۲ هیدروگراف‌های جریان ورودی و جریان خروجی را برای ۳۰ متر طول جویچه آزمایشی نشان می‌دهد. با توجه به این

هیدروگراف‌ها، جریان ورودی از مقدار صفر در ابتدای آبیاری شروع و پس از ۶ دقیقه تقریباً ثابت شد و ۹ دقیقه طول کشید تا آب به فلوم خروجی برسد و پس از تقریباً ۲۰ دقیقه دبی خروجی ثابت گردید. از این زمان به بعد مقدار ذخیره سطحی تقریباً ثابت بود (جدول ۱). در مدت زمان انجام آزمایش همانگونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود هیدروگراف‌های جریان ورودی و جریان خروجی تحت تاثیر تغییر فشار منبع تامین آب نوسان داشتند (شکل ۲) ولی قبل از قطع جریان آب، حدود ۳۰ دقیقه جریان آب با دبی ثابت از فلوم خروجی در حال عبور بود. جدول ۲ حجم کل آب ورودی و حجم کل آب خروجی را نشان می‌دهد که تفاوت آنها، حجم آب نفوذ کرده در طول جویچه است. همچنین در این جدول حجم کل آب نفوذ کرده در طول جویچه با استفاده از معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیس ارائه شده است. نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که روش ارائه شده از دقت خوبی برخوردار است. با استفاده از روش ارائه شده تعیین پارامترهای معادلات نفوذ برای روش‌هایی نظیر آبیاری غلام گردشی که جویچه‌ها به صورت مار پیچی هستند و با جویچه‌های منظم متفاوت هستند، امکان‌پذیر است.

در مثال زیر تعیین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس با استفاده از اطلاعات آبیاری غلام گردشی پارک کوهستانی صفا ارائه شده است.

در معادله کوستیاکف-لوئیس ابتدا نیاز به محاسبه نفوذ نهایی می‌باشد که مقدار آن با استفاده از معادله ۶ و با داشتن مقادیر دبی جریان ورودی و دبی جریان خروجی که از هیدروگراف‌های شکل ۲ به دست آمد، محاسبه شد:

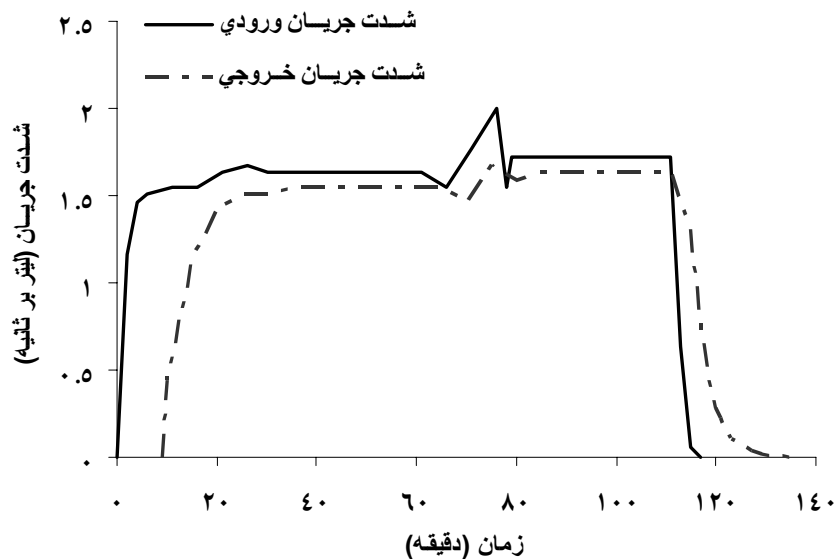
$$f_o = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} = \frac{(1/72 - 1/633)/1000 \times 60}{30} = 0.00175$$



شکل ۱- نمایی از سیستم آبیاری غلام گردشی مورد آزمایش.

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایش نفوذ در مزرعه آبیاری غلام گردشی.

Time (دقیقه)	V_{in} (مترمکعب)	V_{out} (مترمکعب)	V_{ss} (مترمکعب)	V_{inf} (مترمکعب)	Z (مترمکعب بر متر)
۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰	۱/۷۱۰	۰/۶۳۳	۰/۵۱۱	۰/۵۶۷	۰/۰۱۹
۳۰	۲/۶۹۹	۱/۵۲۴	۰/۵۱۱	۰/۶۶۴	۰/۰۲۲
۶۰	۵/۶۳۸	۴/۳۰۴	۰/۵۱۱	۰/۸۲۲	۰/۰۲۷
۹۰	۸/۷۲۱	۷/۱۵۵	۰/۵۱۱	۱/۰۵۵	۰/۰۳۵
۱۱۱	۱۰/۸۸۸	۹/۲۱۲	۰/۵۱۱	۱/۱۶۵	۰/۰۳۹



شکل ۲- هیدروگرافهای جریان ورودی و جریان خروجی.

جدول ۲- مقایسه حجم آب نفوذ یافته به جویچه در روش‌های مختلف.

V_{in} مترمکعب	V_{out} مترمکعب	V_{inf} مترمکعب	Z کوستیاکف مترمکعب	Z کوستیاکف- لوئیس مترمکعب
۱۱/۱۰	۳/۹۳	۷/۱۷	۷/۳۷	۷/۷۱

خطا قابل اغماض و ناشی از خطای تعیین معادلات نفوذ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

استفاده از روش پیشنهادی برای تعیین معادلات نفوذ متداول در آبیاری سطحی نظیر معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیس در مقایسه با استفاده از معادلات پیچیده بیان حجم برای تعیین معادلات نفوذ که نیاز به پارامترهای متعددی از جمله مقطع هندسی جویچه، فاکتور شکل ذخیره سطحی، فاکتور شکل ذخیره تحت‌الارضی، ضریب زبری و غیره... دارند و حل آنها معمولاً به روش آزمون و خطا انجام می‌پذیرد، برای مزارع شیبدار آبیاری سطحی از جمله روش‌های خاص آبیاری جویچه‌ای مثل آبیاری غلام گردشی و آبیاری کنگره‌ای توصیه می‌شود. برای آبیاری غلام گردشی که جویچه‌ها به صورت مارپیچی هستند و تاکنون راه حلی برای تعیین پارامترهای معادلات نفوذ آن ارائه نشده و استفاده از معادلات بیان حجم برای این روش به دلیل شکل خاص جویچه‌ها دقت کافی ندارد استفاده از روش پیشنهادی توصیه می‌شود. هر چند که مطالعات بیشتر در این زمینه نیاز است.

سپاسگزاری

این پروژه تحقیقاتی با شماره ۱۳۳۲ و با حمایت سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهر اصفهان و دانشگاه صنعتی اصفهان انجام یافته است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از آقایان مهدی علی‌خاصی و بهزاد قنبریان دانشجویان رشته آبیاری به خاطر همکاری در جمع‌آوری آمار میدانی، صمیمانه قدردانی می‌شود.

با استفاده از اطلاعات جدول ۱ مقدار Z_1 برابر 0.19 مترمکعب بر متر در زمان 20 دقیقه و مقدار Z_2 برابر 0.39 در زمان 111 دقیقه بود که در نتیجه مقدار ضریب a با استفاده از معادله ۱۱ محاسبه می‌گردد:

$$a = \frac{\log\left(\frac{0.019 - 0.000175 \times 20}{0.039 - 0.000175 \times 111}\right)}{\log\left(\frac{20}{111}\right)} = 0.135$$

با محاسبه مقدار a سپس پارامتر k با استفاده از معادله ۱۲ قابل محاسبه است.

$$k = \frac{0.019 - 0.000175 \times 20}{20^{0.223}} = 0.010267$$

که در نتیجه معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس برای مزرعه مورد آزمایش برابر خواهد بود با:

$$Z = 0.010267 t^{0.135} + 0.000175 t$$

همچنین معادله نفوذ کوستیاکف به‌روش رگرسیون برای مزرعه مورد آزمایش با ضریب همبستگی 98 درصد تعیین گردید که معادله حاصله به صورت زیر است:

$$Z = 0.0054 t^{0.4143}$$

که واحدهای آن همانند واحدهای معادله ۷ می‌باشند. در جدول ۲ حجم کل آب نفوذ یافته با استفاده از معادلات کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیس و حجم کل آب نفوذ یافته حاصل از اختلاف کل حجم آب ورودی و حجم آب خروجی هیدروگراف‌ها برای آبیاری غلام گردشی مورد آزمایش نشان داده شده است. مقایسه مقادیر نفوذ ارائه شده در این جدول، صحت معادلات به دست آمده را نشان می‌دهد. مقایسه ارقام این جدول نشان می‌دهد که حجم کل آب نفوذ یافته محاسبه شده با استفاده از معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیس به‌دست آمده به ترتیب $2/9$ و $7/6$ درصد در مقایسه با مقدار کل حجم آب نفوذ یافته محاسبه شده توسط هیدروگراف‌های ورودی و خروجی تفاوت داشته، که این

منابع

- 1.Christiansen, J.E., Bishop, A.A., Kiefer, Jr., F.W., and Fok, Y.S. 1966. Evaluation of intake rate constants as related to advance of water in surface irrigation. *Trans. ASAE* 9(5): 671-674.
- 2.Elliott, R.L., and Ramsey, M.K. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Trans. ASAE* 25(2): 396-400.
- 3.Fangmeier, D.D., and Ramsey, M.K. 1978. Intake characteristics of irrigation furrows. *Trans. ASAE* 21(4): 696-700, 705.
- 4.Lai, R., and Pandya, A.C. 1977. Volume balance method for computing infiltration in surface irrigation. *Trans. ASAE* 15(1): 67-72.
- 5.Mateos, L., and Oyonarte, N.A. 2005. A spreadsheet model to evaluate sloping furrow irrigation accounting for infiltration variability. *Agricultural Water Management*, 76: 62-75.
- 6.Moravejolahkami, B. 2005. Comparison of hydraulic performance of conventional and cyclic furrow irrigations. Master of Science Thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, 124 P.
- 7.Mostafazadeh, B. 1991. Determination of Kostiakov-Lewis infiltration function parameters using volume balance equation for a furrow irrigation field at Isfahan. *Journal Agricultural Science and Technology*, 5(1): 101-112.
- 8.Mostafazadeh, B., and Mousavi, S.F. 1989. Comparison of infiltration under surge and continuous flow for furrow irrigation in three fields at Isfahan. *Journal Agricultural Science and Technology*, 3(2): 35-43.
- 9.Mostafazadeh, B., and Mousavi, S.F. 2006. *Surface Irrigation: Theory and Practice* (Translated to Persian), third edition, 582 P.
- 10.Saghalian-Nejad, S.H. 1995. The effects of wetted perimeter on infiltration equation parameters in furrow irrigation. Master of Science Thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, 98 P.

Introducing a simple method for determination of the infiltration equations for furrow irrigation based on inflow-outflow hydrographs

M. Kefayati¹, *B. Mostafazadeh-Fard² and M. Heidarpour³

¹Former M.Sc. student Dept. of Irrigation Isfahan University of Technology, Iran, ²Associate Prof., Dept. of Irrigation Isfahan University of Technology, Iran, ³Assistant Prof., Dept. of Irrigation Isfahan University of Technology, Iran

Abstract

To use water efficiently and to improve irrigation efficiency, it is necessary to determine the parameters of the infiltration equations accurately because they play important rule for evaluation and design of irrigation systems. In this article, a simple method based on inflow-outflow hydrographs, is introduced which can be used to determine the parameters of the Kostiakov and Kostiakov-Lewis infiltration equations for free draining surface irrigation methods especially for particular case of furrow irrigation called Gholam-gardeshy which up to now no method has been introduced to determine its infiltration equation. In the proposed method there is no need to solve complicated volume balance equation which involves in many parameters. To evaluate the proposed method, a Gholam-gardeshy furrow irrigation system located at a park called Sofeh in Isfahan, was evaluated and the parameters of the Kostiakov and Kostiakov-Lewis infiltration equations were determined. The results showed that the suggested method is able to determine the parameters of the Kostiakov and Kostiakov-Lewis infiltration equations with good accuracy. The error for predicting the volume of infiltration from the determined Kostiakov and Kostiakov-Lewis infiltration equations as compared to the volume of infiltration determined by the inflow-outflow hydrographs were 2.6 and 7.6 percent, respectively.

Keywords: Furrow irrigation; Hydrograph; Infiltration; Gholam-gardeshy irrigation.

* - E-mail: behrouz@cc.iut.ac.ir