

## کارگاه فنی آبیاری سطحی مکانیزه

۱۳ آذر ماه ۱۳۸۴

تعیین پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف- لوئیس

برای آبیاری غلام گردشی

محمد مهدی کفایتی<sup>۱</sup>، بهروز مصطفی زاده<sup>۲</sup>، منوچهر حیدرپور<sup>۳</sup>

### چکیده

روش آبیاری سطحی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های آبیاری است که به علت کم بودن هزینه اولیه آن (در مقایسه با روش آبیاری بارانی و قطره‌ای) تا به حال تحقیقات زیادی برای افزایش راندمان آن انجام گرفته است. برای استفاده بهینه از آب افزایش راندمان آبیاری ضروری است که پارامترهای معادله نفوذ که نقش اساسی در ارزیابی و طراحی سیستم‌های آبیاری دارند، با دقت خوبی تخمین زده شوند. آبیاری غلام گردشی یکی از روش‌های سنتی آبیاری شیاری در ایران است. با اینکه هنوز مطالعات جامعی پیرامون عملکرد هیدرولیکی این سیستم صورت نگرفته ولی زیاد بودن راندمان آبیاری این روش آبیاری در مزارع شیبدار بطور تجربی اثبات شده است. در این مقاله، روشی ارائه گردیده است که می‌تواند پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف- لوئیس را بدون نیاز به محاسبات پیچیده، برای روش آبیاری غلام گردشی محاسبه نماید. در این مقاله با استفاده از معادله موازنه آبی و با در نظر گرفتن حجم ذخیره سطحی و محاسبه آن، حجم نفوذ جمعی در زمانهای مختلف محاسبه و بر اساس آن پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف- لوئیس تعیین می‌گردد.

کلمات کلیدی: معادله موازنه آبی، ذخیره سطحی، نفوذ، آبیاری غلام گردشی.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استادیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

## مقدمه

روش آبیاری سطحی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های آبیاری است که به علت کم بودن هزینه اولیه آن (در مقایسه با روش 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 حلهٔ اول نیاز به تعیین معادله نفوذ می‌باشد. هر چه این معادله دقیق‌تر ارزیابی گردد، بهتر می‌توان سیستم آبیاری مورد نظر را ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی نمود (۲). 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 شیپار با دقت خوبی تخمین زده شوند. در صورتیکه پارامترهای معادله نفوذ با دقت مناسب و نزدیک به شرایط مزرعه-ای 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 (۱). برای سیستم‌های استاندارد نظیر آبیاری شیاری، کرتی و نواری روش‌های متعددی جهت تعیین پارامترهای معادله نفوذ وجود دارند. از آن جمله می‌توان به روش‌های استوانه‌های نفوذسنج، شیپار مسدود شده، نفوذ سنج گردش‌ی<sup>۱</sup> و بیلان حجم<sup>۲</sup> اشاره نمود (۳). روش استوانه‌های نفوذسنج برای روش‌های آبیاری کرتی، نواری و بارانی کاربرد دارد و معادله به دست آمده معمولاً نیاز به تعدیل سازی دارد (۳). سایر روش‌های تعیین نفوذ ذکر شده در بالا برای آبیاری شیاری کاربرد دارند که از بین آن‌ها، روش بیلان حجم و روش نفوذ سنج گردش‌ی 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 شیپار صورت می‌گیرد، از دقت خوبی برخوردار هستند (۴ و ۳).

روش بیلان حجم برای اولین بار توسط کریستیانسن و همکاران (۱۹۶۶) معرفی گردید. در تحقیقات به عمل آمده این روش به مراتب ساده‌تر و دقیق‌تر از سایر روش‌هاست (۳، ۴ و ۸). این روش با داشتن دقت زیاد در آبیاری غلام گردش‌ی کاربرد ندارد، زیرا در این روش آبیاری فرضیات روش بیلان حجم نظیر یکنواخت بودن جریان، یکنواخت بودن مقطع شیپار و یکنواخت بودن شیب شیپار صادق نمی‌باشند.

نانسی و لامبرت (۱۹۷۰) برای اولین بار دستگاه اندازه‌گیری نفوذ آب به شیپار، در حالتی که رواناب انتهایی شیپار به یک منبع آب برگردانده می‌شود را ابداع نمودند و مالانو (۱۹۸۲) این دستگاه را تکمیل نمود (به نقل از ۶). این روش دارای معایب و محدودیتهایی می‌باشد که از آن جمله مقدار ذخیره سطحی در طی آزمایش در محاسبه پارامترهای معادله نفوذ لحاظ نمی‌شود و برای طول کوتاهی از شیپار (معمولاً ۶ تا ۱۲ متر) به کار می‌رود که در برخی مزارع نمی‌تواند شرایط نفوذ در کل شیپار را ارائه نماید (۴). در آبیاری غلام گردش‌ی نیاز به استفاده از طول زیادی از شیپار است که با افزایش طول شیپار و افزایش زمان آزمایش،

1- Recycling furrow infiltrometer

2- Volume balance method

تجهیزات مورد استفاده باید در اندازه‌های بزرگتری به کار گرفته شود در عین حال خطای حاصل از در نظر نگرفتن ذخیره سطحی افزایش می‌یابد.

هدف از تحقیق حاضر ارائه روشی برای تعیین پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکف<sup>۱</sup> و کوستیاکف-لوئیس<sup>۲</sup> برای آبیاری غلام گردشی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

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

معادله موازنه (تعالی) آبی برای سیستم آبیاری سطحی در حال آبیاری که دارای رواناب باشد به صورت زیر 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:

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

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

### ۱- محاسبه حجم آب ورودی و حجم آب خروجی

حجم آب ورودی در زمان  $t$  برابر است با مساحت زیر هیدروگراف ورودی از زمان صفر تا زمان  $t$  که با قانون دوزنقه یا سایر روش‌ها قابل محاسبه می‌باشد. حجم آب خروجی در زمان  $t$  نیز همانند حجم آب ورودی با استفاده از هیدروگراف خروجی قابل محاسبه است.

1- Kostiakov

2- Kostiakov-Lewis

## ۲- 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 زیر قابل محاسبه است:

$$V_{ss} = V_{out(t_{cut}-t_{end})} + V_{inf(t_{cut}-t_{end})} \quad (۳)$$

که در آن:

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

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

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

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

۲-۱- محاسبه  $V_{out(t_{cut}-t_{end})}$ : حجم آب خارج شده در نقطه خروجی در مدت زمان  $t_{cut} - t_{end}$  که برابر است با سطح زیر منحنی هیدروگراف خروجی از زمان  $t_{cut}$  تا  $t_{end}$  که با روش نوزنقه‌ای قابل محاسبه است.

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

$$V_{inf(t_{cut}-t_{end})} = \frac{(t_{cut} - t_{end}) \times f_o}{۲} \quad (۴)$$

که در آن:

$f_o$  = سرعت نفوذ نهایی خاک بر حسب مترمکعب بر دقیقه

برای محاسبه نفوذ نهایی می‌توان از هیدروگراف‌های جریان ورودی و جریان خروجی کمک گرفت. با فرض اینکه زمان تداوم آبیاری در حدی باشد که منطقه مورد آزمایش به نفوذ نهایی برسد، نفوذ نهایی در طول شیار برابر است با:

$$f_o = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \quad (۵)$$

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

$L$  = طول شیار بر حسب متر

### ۳- محاسبه حجم آب نفوذ کرده

پس از محاسبه حجم جریان ورودی، حجم جریان خروجی و ذخیره سطحی، نهایتاً با استفاده از رابطه (۲) حجم آب نفوذی برای زمان‌های مختلف محاسبه می‌گردد که بر حسب مترمکعب خواهد بود. با تقسیم حجم نفوذ کرده بر کل طول شیاری، حجم آب نفوذی بر حسب مترمکعب بر متر به دست می‌آید.

### ۴- محاسبه پارامترهای معادلات کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیس

برای محاسبه ضرایب معادلات فوق با داشتن ارقام جدول (۱) یعنی ارقام  $t$  و  $Z$  می‌توان از نرم‌افزار Excel یا روش دو نقطه استفاده نمود.

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایش نفوذ

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

### اجرای آزمایش عملی در پارک کوهستانی صفه

برای بررسی و آزمایش روش بیان شده در این مقاله در عمل، یک سیستم غلام گردشی در جنوب اصفهان انتخاب و آزمایش تعیین معادله نفوذ برای آن انجام شد. سیستم مورد نظر به طول ۲۸۵ متر در دامنه کوه صفه قرار گرفته است. دبی آبیاری یعنی دبی آب ورودی به شیاری تا حدی متغیر و طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده، حداکثر حدود ۱/۷ لیتر در ثانیه بود. شیب در جهت طولی شیاری متغیر و به طور متوسط حدود ۸/۷ درصد می‌باشد. بستر شیاری در محدوده قوس‌ها، سنگریزه و در سایر نقاط خاکی بود.

برای انجام آزمایش، ۳۰ متر اول شیاری انتخاب شد. برای اندازه‌گیری دبی ورودی به شیاری و دبی خروجی از محدوده مشخص شده شیاری، از دو پارشال فلوم استفاده شد که رابطه دبی و ارتفاع فلوم قبلاً ت‌گردیده بود. 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.

## نتایج و بحث

با مقایسه حجم آب نفوذ کرده حاصل از اختلاف کل حجم آب ورودی به شیار و کل حجم آب خروجی از آن که توسط هیدروگراف‌های ورودی و خروجی به دست آمد، مقدار نفوذ محاسبه شد. برای این منظور کل طول شیار آزمایشی به فواصل ۵ متری، ایستگاه گذاری شد و دو فلوم، یکی در ابتدا و یکی در انتهای شیار نصب گردید. سپس ارتفاع آب در فلوم‌های ورودی و خروجی در زمان‌های مختلف در طول آبیاری یادداشت شد. زمان رسیدن جریان آب به هر ایستگاه (پیشروی) در مرحله آبیاری و همچنین ناپدید شدن آب از هر ایستگاه (پسروی) پس از پایان آبیاری ثبت گردید. فرصت نفوذ در هر ایستگاه برابر با اختلاف زمان پیشروی و پسروی در آن ایستگاه می‌باشد. با قرار دادن فرصت نفوذ هر ایستگاه در معادله نفوذ، مقدار عمق آب نفوذ کرده در آن ایستگاه محاسبه شد.

محاسبات مربوط به مقادیر نفوذ در زمان‌های مختلف در جدول (۱) ارائه شده است. جدول (۲) حجم کل آب ورودی و حجم کل آب خروجی را نشان می‌دهد که تفاوت آن، حجم آب نفوذ کرده در کل شیار است. همچنین حجم کل آب نفوذ کرده در کل شیار با استفاده از فرصت نفوذ و معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف- لوئیس در این جدول ارائه شده است. مقایسه نتایج به دست آمده از جدول (۲) نشان می‌دهد که روش ارائه شده از دقت خوبی در تعیین پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف- لوئیس در روش آبیاری غلام گردشی برخوردار است.

جدول ۲- محاسبه نفوذ به روش‌های مختلف

$V_{in}$	$V_{out}$	$V_{inf}$	Z کوستیاکف مترمکعب	Z کوستیاکف- لوئیس مترمکعب
۱۱/۱۰	۳/۹۳	۷/۱۷	۷/۷۵	۷/۱۳

نتایج نشان می‌دهد که حجم نفوذ محاسبه شده با استفاده از معادلات نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف- لوئیس به ترتیب ۲/۹ و ۷/۶ درصد با مقدار محاسبه شده توسط هیدروگراف‌های ورودی و خروجی تفاوت داشته، که این خطا قابل اغماض و ناشی از خطای انسانی در انجام آزمایشات و خطاهای اندازه‌گیری می‌باشد.

## تشکر و قدردانی

این پروژه تحقیقاتی با شماره ۱۳۳۲ و 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 صحرائی، صمیمانه قدردانی می‌شود.

## منابع

- ۱- سقائیان‌نژاد اصفهانی، س.ح. ۱۳۷۴. تأثیر محیط خیس شده بر روی پارامترهای معادلات نفوذ در آبیاری شیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۲- مروج الاحکامی، ب. ۱۳۸۳. مقایسه پارامترهای هیدرولیکی آبیاری شیاری با آبیاری شیاری گردشی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۳- مصطفی‌زاده، ب و س. ف. موسوی. ۱۳۷۵. آبیاری سطحی: تئوری و عمل (ترجمه). نوشته دلیو. آر. واکر و گ. وی. اسکوگربو، انتشارات فرهنگ جامع، ۴۸۹ صفحه.
- ۴- مصطفی‌زاده، ب و س. ف. موسوی. ۱۳۷۰. تعیین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس با استفاده از معادله بیلان حجم در یک مزرعه شیاری در اصفهان. مجله علوم و صنایع کشاورزی، جلد ۵، شماره (۱)، صفحات ۱۱۲-۱۰۱.
- ۵- مصطفی‌زاده، ب، ر. فتاحی و س. ف. موسوی. ۱۳۷۵. کاربرد مدل موج جنبشی در ارزیابی سیستم آبیاری شیاری. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۲۷، شماره (۳)، صفحات ۵۴-۴۴.
- ۶- مصطفی‌زاده، ب و س. ف. موسوی. ۱۳۶۸. مقایسه نفوذ آب به شیار تحت روش‌های سرچ و سنتی در آبیاری شیاری در سه مزرعه در اصفهان. مجله علوم و صنایع کشاورزی، جلد ۳، شماره (۲)، صفحات ۳۵-۴۴.

- 7- Christiansen, J. E, A. A. Bishop, F.W. Kiefer, Jr. and Y. S. Fok. 1966. Evaluation of intake rate constants as related to advance of water in surface irrigation. Trans. ASAE 9(2): 671-674.
- 8- Lai, R. and A. C. Pandya. 1977. Volume Balance method for computing infiltration in surface irrigation. Trans. ASCE 15(1): 67-72.

