

## تعیین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف - لوئیس به روش بیلان حجم برای آبیاری نواری

بهرز مصطفی زاده فرد<sup>۱</sup> و آذرخش عزیزی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان  
تاریخ دریافت: ۸۲/۳/۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۴/۶/۹

### چکیده

به منظور ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی آبیاری نواری تعیین معادله نفوذ آب در نوار که بیانگر وضعیت طبیعی نوار باشد، ضروری است. در این تحقیق پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف - لوئیس به روش بیلان حجم برای مزارع آزمایشی دانشگاه صنعتی اصفهان، لورک و خزانه که به طریق نواری آبیاری می‌شدند، تعیین گردید. اطلاعات جمع‌آوری شده شامل مشخصات فیزیکی مزارع آزمایشی از قبیل طول نوار، عرض نوار، شیب نوار، بافت خاک و ارقام اندازه‌گیری شده پیشروی، پسروی، دبی ورودی و خروجی نوار می‌باشند. با داشتن اطلاعات ورودی مدل آبیاری سطحی شامل پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف لوئیس، مدل در شرایط مختلف مزرعه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت و نیمرخ‌های رطوبتی خاک رسم گردید. نتایج پیش‌بینی مدل با ارقام اندازه‌گیری شده در نوارهای آزمایشی مشابهت خوبی داشتند.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری نواری، روش بیلان حجم، معادله نفوذ

### مقدمه

دبی در واحد عرض نوار باید به اندازه کافی زیاد باشد، بخصوص در آبیاری اول تا آب به سرعت سراسر مزرعه را فرا گیرد. سرعت پیشروی آب در نوار بستگی به پارامترهایی نظیر دبی جریان، نفوذپذیری خاک، شیب مزرعه، ضریب زبری مزرعه و... دارد. سرعت پیشروی آب در نوار چگونگی توزیع رطوبت در طول نوار و رواناب انتهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

همیشه تعیین معادله نفوذ آب در نوار مورد توجه متخصصین و طراحان سیستم آبیاری سطحی بوده است. معادله نفوذ آب به نوار نقش مهمی در ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی سیستم‌های آبیاری نواری ایفاء می‌کند. هر قدر این معادله دقیق‌تر ارزیابی گردد، بهتر می‌توان سیستم آبیاری نواری را ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی نمود. روش‌های متعددی برای تعیین معادله نفوذ آب در نوار

آبیاری نواری از روش‌های آبیاری سطحی است که بعد از آبیاری جویچه‌ای به طور متداول در مزارع کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش شامل مزارع طویل یا دارای خطوط تراز یکنواخت، شیب طولی و بدون شیب عرضی و جریان آزاد آب از انتهای مزرعه می‌شود. آب در هر نوار از طریق نهر اصلی مزرعه وارد شده و با اختلاف ارتفاعی که در دو سر مزرعه وجود دارد، به انتهای آن می‌رسد. وقتی جریان ورود آب به نوار قطع می‌شود، آب از ابتدا به طرف انتها پس‌نشینی می‌کند. نوارهای با شیب منظم تقریباً برای هر نوع گیاهی مناسب می‌باشند بجز آنهایی که احتیاج به غرقابی شدن طولانی مدت دارند. خاک‌ها می‌توانند دارای سرعت جذب آب متوسط تا کم باشند اما نباید به سادگی سله ببندند. میزان

مصرف انرژی را کاهش دهند، تلاش زیادی به عمل آورده‌اند که از جمله این تلاش‌ها مطالعات تاکر (۲۰۰۳) و سایر مطالعات انجام شده در زمینه آبیاری موجی و آبیاری کابلی می‌باشد. بطور مثال، آلازبا و فانگمیر (۱۹۹۶) به منظور توزیع یکنواخت‌تر رطوبت در طول نوار و در نتیجه افزایش راندمان آبیاری، تأثیر شکل آنمود جریان ورود آب به نوار را بر راندمان کاربرد آب با استفاده از مدل اینرسی-صفر شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد که راندمان کاربرد آب تحت تأثیر شکل آنمود جریان ورود آب به نوار قرار دارد.

هدف از مطالعه حاضر تعیین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف - لوئیس به روش بیلان حجم برای سه مزرعه مختلف آبیاری نواری است.

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در سه مزرعه آزمایشی آبیاری نواری لورک، دانشگاه و خزانه، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. در جدول ۱ بعضی از خصوصیات مزارع آزمایشی ارائه شده است. در مزرعه دانشگاه ۱۸ آزمایش در سه نوار، در مزرعه خزانه ۱۲ آزمایش در دو نوار و در مزرعه لورک چهار آزمایش در دو نوار انجام شد (عزیزی، ۱۳۷۶).

وسایلی که برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت عبارت بودند از: فلوم‌های اندازه‌گیری دبی ورودی و دبی خروجی نوارها، قوطی‌های نمونه‌برداری خاک، کرنومتر، میخ چوبی و متر اندازه‌گیری. در هر مزرعه قبل

وجود دارند که دقیق‌ترین آنها روش بیلان حجم می‌باشد. در این روش نفوذ آب در نوار تحت شرایط طبیعی نوار اندازه‌گیری می‌شود و کل نوار به عنوان یک نفوذسنج مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعات انجام شده توسط بالی و همکاران (۲۰۰۱)، مالانو و پاتو (۱۹۸۶)، اسمردان و گلاس (۱۹۶۵) و توماس و کین کید (۱۹۸۹) نشان داده است که در آبیاری نواری عملکرد هیدرولیکی، اتلاف آب آبیاری و در نتیجه راندمان آبیاری به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر پارامترهای معادله نفوذ آب در نوار قرار دارند. فرونشست عمقی در ابتدای نوار، چگونگی توزیع رطوبت خاک در طول نوار و رواناب انتهای نوار تحت تأثیر نفوذ آب در نوار قرار دارند. با تعیین دقیق معادله نفوذ آب در نوار و کاربرد آن در آبیاری نواری، به همراه در نظر گرفتن سایر عوامل نظیر مدت زمان لازم برای آبیاری، فرونشست عمقی و رواناب انتهایی کاهش می‌یابد و توزیع رطوبت در طول نوار یکنواخت‌تر می‌شود.

روش‌های آبیاری تحت فشار، معمولاً توزیع یکنواختی رطوبت را افزایش می‌دهند، اما به کارگیری این روش‌ها مستلزم تأمین انرژی و سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً زیادی است. در شرایط فعلی از نظر اقتصادی نیاز به روش‌های آبیاری سطحی برای کاهش سرمایه‌گذاری اولیه و صرفه‌جویی در انرژی امری ضروری به نظر می‌رسد. به دلیل وضعیت خاص انرژی در جهان و در راستای پایداری اقتصادی مزارع آبی، محققان برای اصلاح، توسعه، بهبود و ابداع روش‌هایی که ضمن نیاز به سرمایه کمتر، بتوانند از نیروی ثقل برای آبیاری استفاده نمایند و

جدول ۱- خصوصیات مربوط به مزارع آزمایشی.

مزرعه آزمایشی	طول نوار (m)	عرض نوار (m)	شیب زمین (%)	بافت خاک
دانشگاه	۷۷/۵	۴/۵	۰/۵	لوم رسی شنی
خزانه	۶۹	۴/۷	۰/۷	لوم رسی
لورک	۲۵۵	۴/۵	۰/۳	لوم رسی

با استفاده از دو معادله فوق، معادله موازنه حجم در هر زمان را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$q_0 \cdot t = \sigma_y \cdot A_0 \cdot x + \sigma_z \cdot k \cdot t^a \cdot x + \frac{f_0 \cdot t \cdot x}{1+r} \quad (3)$$

که در آن:

$A_0$  = سطح مقطع جریان ورودی در واحد عرض نوار بر حسب مترمربع بر متر که معادل با عمق آب بر حسب متر است

$q_0$  = دبی جریان ورودی در واحد عرض نوار بر حسب مترمکعب در دقیقه بر متر

$t$  = زمان پس از شروع آبیاری بر حسب دقیقه

$\sigma_y$  = فاکتور شکل ذخیره سطحی که ثابت بوده و برابر با ۰/۷ تا ۰/۸ می‌باشد.

$\sigma_z$  = فاکتور شکل ذخیره رطوبتی خاک که بستگی به پارامترهای  $a$  و  $r$  دارد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\sigma_z = \frac{a+r(1-a)+1}{(1+a)(1+r)} \quad (4)$$

همچنین سطح مقطع جریان ورودی با استفاده از معادله زیر تعیین می‌گردد:

$$A_0 = C_1 \left( \frac{q_0 \cdot n}{60 \sqrt{S_0}} \right)^{C_2} \quad (5)$$

که در آن:

$n$  = ضریب زبری مانینگ

$S_0$  = شیب نوار در واحد طول

$C_1$  و  $C_2$  = پارامترهای معادله که در آبیاری نواری  $C_1=1$  و  $C_2=0/6$  می‌باشند.

در روش بیلان حجم با استفاده از هیدروگرام‌های جریان ورودی و جریان خروجی سرعت نفوذ نهایی محاسبه می‌گردد:

$$f_o = \frac{q_0 - q_{out}}{L} \quad (6)$$

که در آن:

$q_{out}$  = دبی جریان خروجی در واحد عرض نوار بعد از رسیدن به مقدار ثابت بر حسب مترمکعب در دقیقه

$L$  = طول نوار بر حسب متر

از آبیاری اول برای یادداشت زمان‌های پیشروی و پسروی جبهه آب، نوارها به فواصل ۵ متر ایستگاه‌بندی و میخ‌کوبی شد و نیز شیب نوارها توسط دوربین نقشه‌برداری به دست آمد. قبل از هر آبیاری از عمق حدود ۳۰ سانتی‌متری خاک در سه جای متفاوت مزرعه نمونه‌های خاک برداشت شد تا به روش وزنی رطوبت اولیه خاک و همچنین بافت خاک تعیین گردد. در ابتدا و انتهای نوارهای آزمایشی فلوم‌های اندازه‌گیری آب ورودی به نوار و آب خروجی از نوار نصب شدند. فلوم‌های مورد استفاده W. S. C شماره ۳ بودند که معادله واسنجی آنها از قبل تعیین شده بود.

برای تجزیه و تحلیل ارقام مزرعه و تعیین معادله نفوذ از روش بیلان حجم استفاده شد که شرح آن در زیر آمده است (مصطفی‌زاده و موسوی، ۱۳۷۵). در این روش معادله پیشروی آب در نوار به صورت زیر است:

$$x = P (t_a)^r \quad (1)$$

که در آن:

$x$  = مسافت پیشروی در زمان  $t_a$  بر حسب متر

$t_a$  = زمان پیشروی بر حسب دقیقه

$P$  و  $r$  = پارامترهای تجربی معادله

و معادله نفوذ آب به خاک به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$Z = kt^a + f_0 t \quad (2)$$

که در آن:

$Z$  = حجم آب نفوذ یافته در واحد طول و عرض نوار پس از زمان نفوذ  $t$  بر حسب متر مکعب بر متر مربع که برابر است با عمق آب نفوذ یافته بر حسب متر

$f_0$  = سرعت نفوذ نهایی خاک در واحد طول و عرض نوار بر حسب مترمکعب بر مترمربع در دقیقه که برابر است با متر در دقیقه

$k$  = پارامتر معادله بر حسب مترمکعب بر متر بر دقیقه به توان  $a$

$a$  = نمای معادله (بدون بعد)

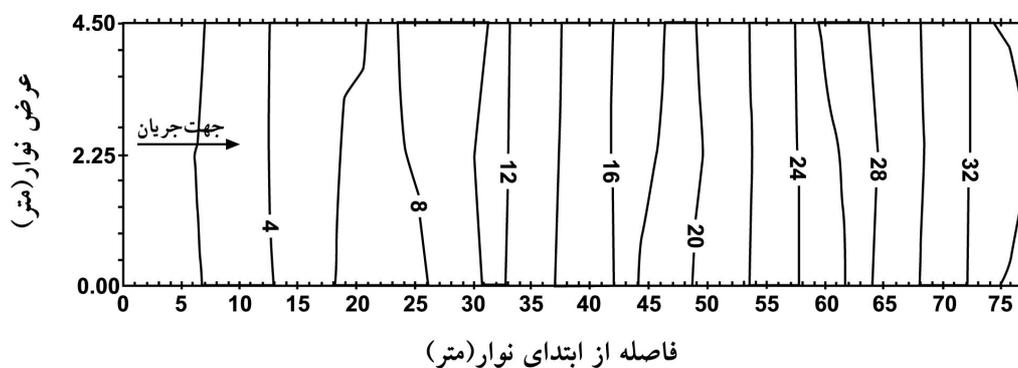
$t$  = زمان نفوذ بر حسب دقیقه

مشتخص‌کننده توزیع یکنواخت آب در سطح نوار است. در شکل ۲ خطوط پسروری در فاصله ۶۵ تا ۷۵ متری از ابتدای نوار موازی هستند که نشان‌دهنده یکنواختی پسروری جبهه آب در انتهای نوار است ولی در بقیه نوار خطوط پسروری به طور یکنواخت نمی‌باشند. در شکل ۳ منحنی‌های پسروری و معادله نمایی مربوطه برای یکی از نوارهای آزمایشی مزرعه دانشگاه ارائه شده است. از مقایسه ارقام اندازه‌گیری شده با پیش‌بینی معادله مشاهده می‌گردد که معادله نمایی با ضریب همبستگی ( $r^2$ ) بالایی که مقدار آن در شکل نشان داده شده است قادر به پیش‌بینی ارقام اندازه‌گیری شده می‌باشد. در شکل ۴ منحنی پسروری و پسروری برای یکی از نوارهای آزمایشی مزرعه دانشگاه نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، فاصله بین منحنی پسروری و منحنی پسروری، فرصت زمان نفوذ است که با استفاده از آن می‌توان زمان نفوذ و نهایتاً میزان آب نفوذ یافته در هر نقطه از طول نوار را محاسبه نمود.

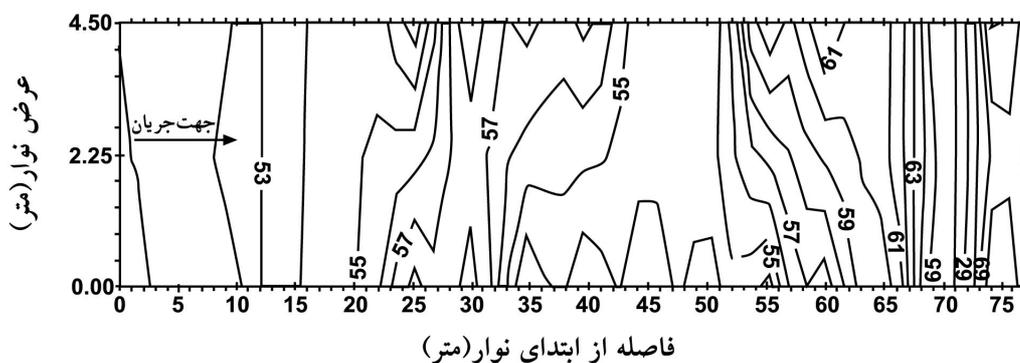
سپس با استفاده از روش دو نقطه‌ای معادله بیلان حجم برای دو نقطه پسروری یعنی پسروری آب تا وسط نوار و پسروری آب تا انتهای نوار حل گردید و مجهولات معادلات که پارامترهای  $k$  و  $a$  هستند تعیین شدند. با داشتن پارامترهای معادله نفوذ و اطلاعات دیگر نظیر دبی جریان در واحد عرض نوار، طول نوار، شیب مزرعه و ضریب زبری، مدل آبیاری سطحی (مالانو، ۱۹۸۶) برای شرایط نوارهای آزمایشی اجرا گردید و نتایج شبیه‌سازی مدل با نتایج آزمایش‌های عملی از نظر نیم‌رخ رطوبت خاک مقایسه گردید.

### نتایج و بحث

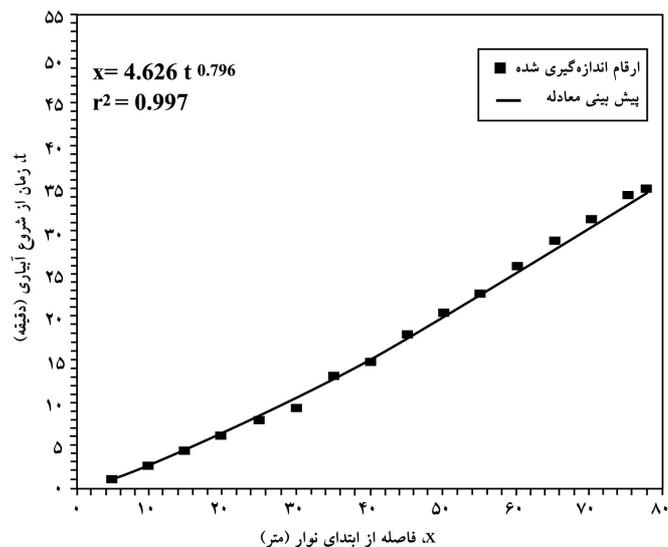
در شکل‌های ۱ و ۲ خطوط تراز جبهه پسروری و پسروری برای یکی از نوارهای آزمایشی مزرعه دانشگاه نشان داده شده است. اعداد روی هر منحنی مشخص‌کننده زمان پسروری و یا پسروری بر حسب دقیقه می‌باشند. در شکل ۱ موازی بودن خطوط تراز جبهه پسروری نشان دهنده یکنواختی پسروری جبهه آب می‌باشد که



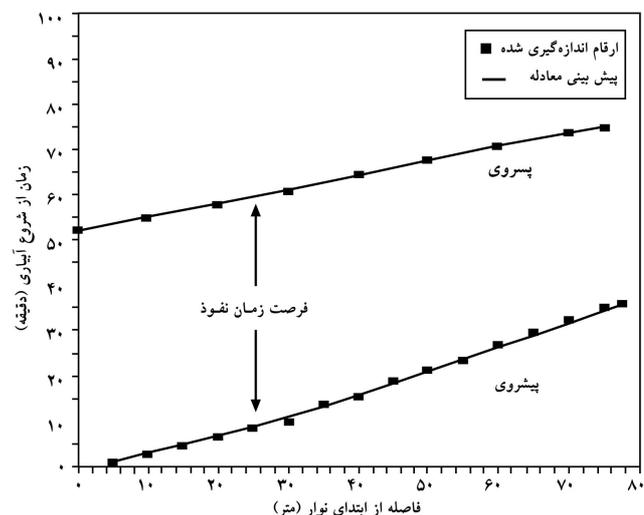
شکل ۱- خطوط تراز جبهه پسروری برای مزرعه آزمایشی دانشگاه.



شکل ۲- خطوط تراز جبهه پسروری مزرعه آزمایشی دانشگاه.



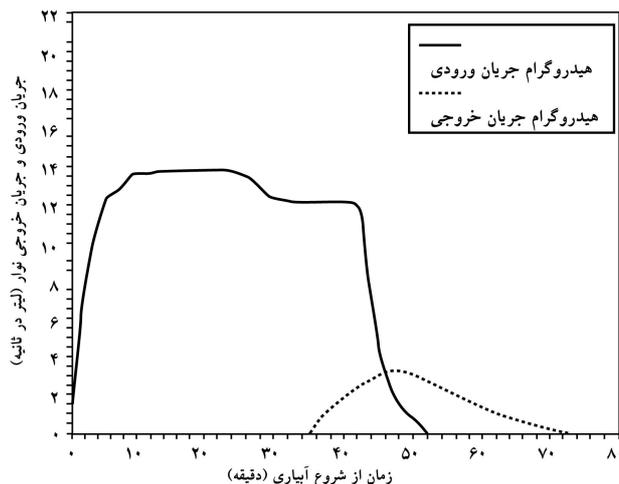
شکل ۳- پیشروی برای مزرعه آزمایشی دانشگاه.



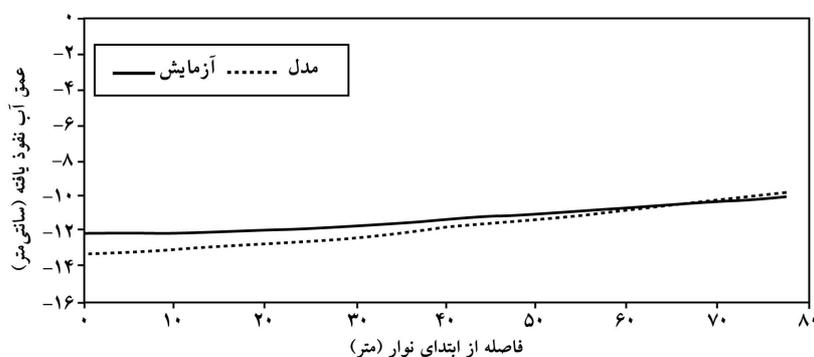
شکل ۴- پیشروی و پسروی برای مزرعه آزمایش دانشگاه.

مزارع آزمایشی در جدول ۲ ارائه شده است. در جدول ۲ همچنین نتایج حاصل از محاسبات پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس به روش بیلان حجم ارائه شده است. در ستون دوم جدول ۲ رطوبت قبل از آبیاری ارائه شده است که منظور متوسط رطوبت حجمی خاک در عمق ۳۰ سانتی متری می باشد. به دلیل کوتاه بودن زمان آبیاری در بعضی از نوارهای آزمایشی بعضی از هیدروگرام های جریان خروجی به یک حد ثابت نرسیده و همین مسأله باعث شد که مقدار  $f_0$  بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده شود که خود سبب می گردد پارامتر  $a$  معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس در بعضی از معادلات حاصله کمتر از

هیدروگرام های جریان ورودی و جریان خروجی برای یکی از نوارهای آزمایشی مزرعه دانشگاه در شکل ۵ ارائه شده است. در هیدروگرام های جریان ورودی و جریان خروجی، سطح زیر منحنی هیدروگرام جریان ورودی بیانگر حجم آب ورودی و سطح زیر منحنی هیدروگرام جریان خروجی بیانگر حجم رواناب انتهایی است. اختلاف این دو حجم مشخص کننده حجم آب نفوذ یافته به خاک در مدت زمان آبیاری می باشد. سپس با توجه به دبی های تقریباً ثابت این نمودارها و استفاده از معادله ۶ سرعت نفوذ نهایی خاک که در روش بیلان حجم کاربرد دارد محاسبه گردید که نتایج آن برای بعضی از نوارهای



شکل ۵- هیدروگرام جریان ورودی و جریان خروجی برای مزرعه آزمایشی دانشگاه.



شکل ۶- مقایسه پیش‌بینی مدل با ارقام آزمایشی برای عمق آب نفوذ یافته در طول نوار برای مزرعه آزمایشی دانشگاه.

دیگر مطالعات مشابه با این تحقیق انجام پذیرد و سپس براساس اطلاعات ورودی به مدل و یا مدل‌های مشابه آبیاری سطحی مطالعات شبیه‌سازی طراحی آبیاری نواری به منظور حصول راندمان بیشتر انجام پذیرد.

با توجه به نتایج فوق ملاحظه می‌گردد که با استفاده از روش بیلان حجم می‌توان پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس را تحت شرایط مزرعه‌ای با جریان طبیعی آب در نوار تعیین نمود. کاربرد پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس در ارزیابی، طراحی و شبیه‌سازی سیستم‌های آبیاری نواری به منظور کاهش اتلاف آب آبیاری و افزایش راندمان آبیاری خواهد بود که در مطالعات بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

صفر (منفی) باشد. با توجه به اینکه هر سه پارامتر معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس یعنی پارامترهای  $k$ ،  $a$  و  $f_0$  در میزان آب نفوذ یافته نقش دارند و با تغییر یک پارامتر، پارامترهای دیگر تغییر می‌یابند، با منفی شدن پارامتر  $a$  به دلیل تغییر دو پارامتر دیگر در میزان آب نفوذ یافته تغییری حاصل نخواهد شد.

در شکل ۶ مقایسه پیش‌بینی مدل آبیاری سطحی با ارقام اندازه‌گیری شده برای توزیع رطوبت خاک در طول نوار برای یکی از نوارهای آزمایشی مزرعه دانشگاه نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که مدل قادر است ارقام اندازه‌گیری شده را با دقت خوبی پیش‌بینی کند. چون پیش‌بینی مدل بستگی به پارامترهای معادله نفوذ و سایر اطلاعات ورودی مدل دارد پیشنهاد می‌گردد برای مناطق

## منابع

۱. عزیز، آ. ۱۳۷۶. تأثیر زمان قطع جریان آب به نوار بر روی عملکرد هیدرولیکی سیستم آبیاری نواری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۴۵ ص.
۲. مصطفی‌زاده، ب.، و موسوی، ف. ۱۳۷۵. آبیاری سطحی: تئوری و عمل (ترجمه). نوشته و. آر. واکر و گ. وی. اسکوگر. انتشارات فرهنگ جامع. ۴۹۶ ص.
3. Alazba, A.A., and Fangmeier, D.D. 1995. Hydrograph shape and border irrigation efficiency. *J. Irrig. And Drain. Engrg.*, ASCE 121(6): 452-457.
4. Bali, K.M., Grismer, M.E., and Tod, I.C. 2001. Reduced-runoff irrigation of alfalfa in Imperial Valley, California. *J. Irrig. and Drain. Eng.*, ASCE 127(3): 123-130.
5. Malano, H.M. 1986. Surface Irrigation Design Program. Utah State University, Logan, Utah.
6. Malano, H.M., and Patto, M. 1992. Automation of border irrigation in southeast Australia. *Irrigation and drainage system*. 6: 9-23., Kluwer Academic Publisher.
7. Smerdon, E.T., and Glass, L.J. 1965. Surface irrigation water distribution efficiency related to soil infiltration. *Trans. ASAE* 8(1): 76-78, 82.
8. Tacker, P. 2003. Border irrigation good alternative. Available at:  
<http://deltafarmpress.com/ar/arming-border-irrigation-good/>.
9. Thomas, J.T., and Kincaid, D.C. 1989. Border cablegation system design. *Trans. ASAE* 32(4):1185-1192.

---

---

## **Determination of the Kostiakov - Lewis infiltration equation parameters for border irrigation using volume balance method**

**B. Mostafazadeh-Fard<sup>1</sup> and A. Azizy<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Associate Prof. and Former Graduate Student, respectively, <sup>2</sup>College of Agriculture, Isfahan, University of Technology, Isfahan, Iran

---

---

### **Abstract**

To evaluate, design or simulate border irrigation it is necessary to determine infiltration equation that represents natural field conditions for border irrigation. In this research, the parameters of the Kostiakov-Lewis infiltration equation for border irrigation in experimental farms of Isfahan University of Technology, Lavark and Khazaneh were determined using volume balance method. Field data collected including border length, border width, border slope, soil texture and measured data of advance time, recession time and border inflow and outflow. Using surface irrigation model input data including infiltration equation parameters, the surface irrigation model was studied for different field conditions and the sub-surface infiltrated water profiles were plotted. The results showed a good agreement between experimental data and model prediction.

**Keywords:** Border irrigation; Volume balance method; Infiltration equation