

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

بهروز مصطفی زاده فرد^۱ و آذرخش عزیزی^۲

^۱دانشیار 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 شبیه سازی 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 می شدند، تعیین گردید. اطلاعات جمع آوری شده شامل مشخصات فیزیکی مزارع آزمایشی از قبیل طول نوار، عرض نوار، شیب نوار، بافت خاک و ارقام اندازه گیری شده پیشروی، پسروی، دبی ورودی و خروجی نوار می باشند. با داشتن اطلاعات ورودی مدل آبیاری سطحی شامل پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف لوئیس، مدل در شرایط مختلف مزرعه ای مورد مطالعه قرار گرفت و نیمرخ های رطوبتی خاک رسم گردید. نتایج پیش بینی مدل با ارقام اندازه گیری شده در نوارهای آزمایشی مشابهت خوبی داشتند.

واژه های 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 می دهد.

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 شبیه سازی سیستم های آبیاری نواری ایفاء می کند. هر قدر این معادله دقیق تر ارزیابی گردد، بهتر می توان سیستم آبیاری نواری را ارزیابی، طراحی و یا شبیه سازی نمود. روش های متعددی برای تعیین معادله نفوذ آب در نوار

آبیاری نواری از روش های آبیاری سطحی است که بعد از آبیاری جویچه ای به طور متداول در مزارع کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد. این روش شامل مزارع طویل یا دارای خطوط تراز یکنواخت، شیب طولی و بدون شیب عرضی و جریان آزاد آب از انتهای مزرعه می شود. 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 می رسد. وقتی جریان ورود آب به نوار قطع می شود، آب از ابتدا به طرف انتها پس نشینی می کند. نوارهای با شیب منظم تقریباً برای هر نوع گیاهی مناسب می باشند بجز آنهایی که احتیاج به غرقابی شدن طولانی مدت دارند. خاک ها می توانند دارای سرعت جذب آب متوسط تا کم باشند اما نباید به سادگی سله ببندند. میزان

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

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

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

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

σ_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)

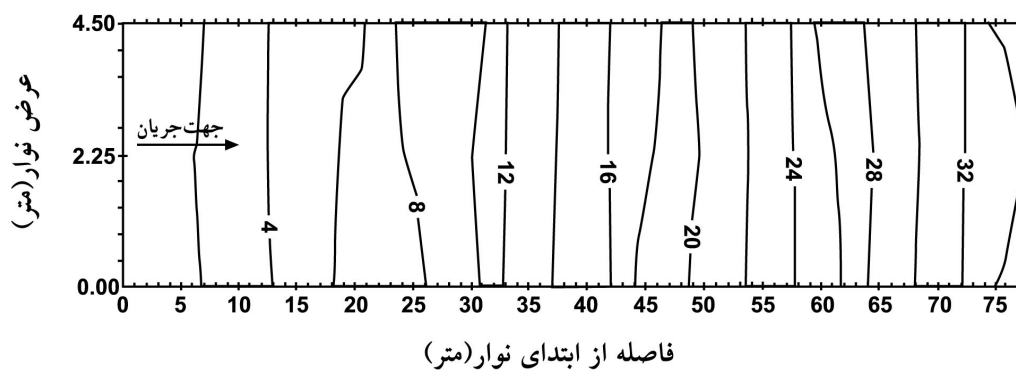
t = زمان نفوذ بر حسب دقیقه

سپس با استفاده از روش دو نقطه‌ای معادله بیلان حجم برای دو نقطه پیشروی یعنی پیشروی آب تا وسط نوار و پیشروی 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.

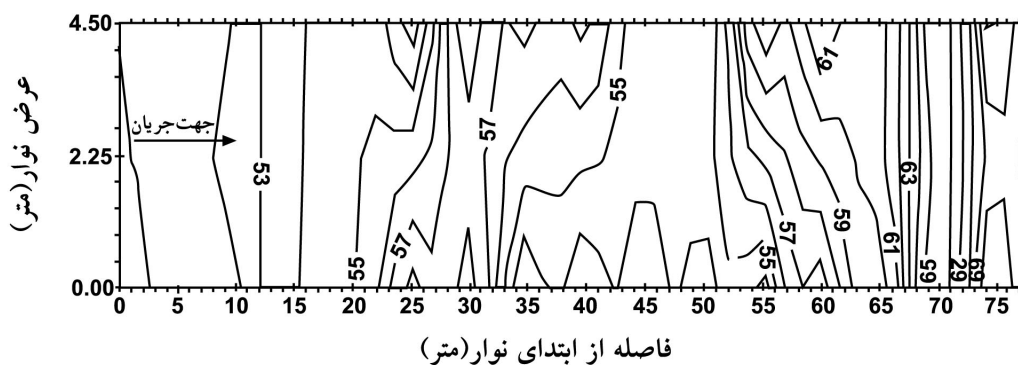
نتایج و بحث

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

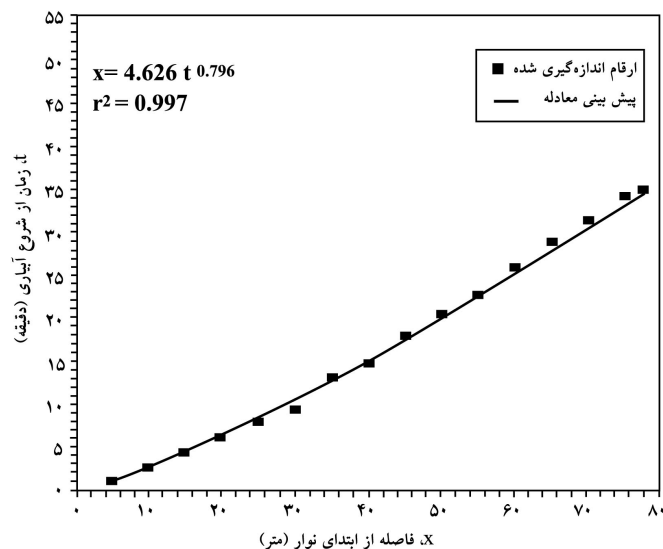
مشخص‌کننده توزیع یکنواخت آب در سطح نوار است. در شکل ۲ خطوط پیشروی در فاصله ۶۵ تا ۷۵ متری از ابتدای نوار موازی هستند که نشان‌دهنده یکنواختی پیشروی جبهه آب در انتهای نوار است ولی در بقیه نوار خطوط پیشروی به طور یکنواخت نمی‌باشند. در شکل ۳ منحنی‌های پیشروی و معادله‌نمایی مربوطه برای یکی از نوارهای آزمایشی مزرعه دانشگاه ارائه شده است. از مقایسه ارقام اندازه‌گیری شده با پیش‌بینی معادله مشاهده می‌گردد که معادله‌نمایی 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 پیشروی و پیشروی برای یکی از نوارهای آزمایشی مزرعه دانشگاه نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، فاصله بین منحنی پیشروی و منحنی پیشروی، 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.



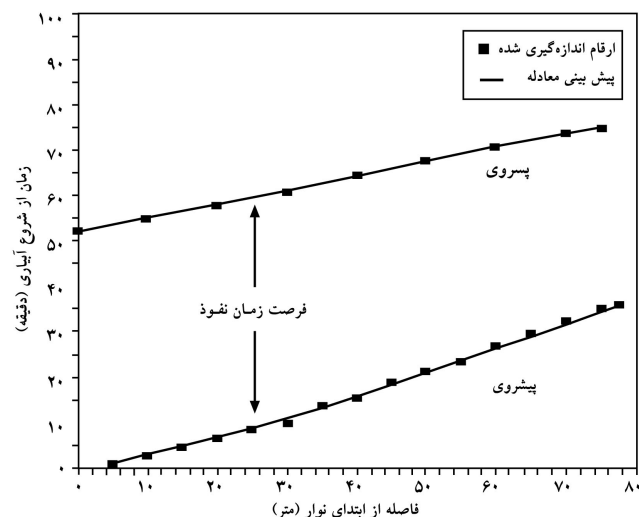
شکل ۱- خطوط تراز جبهه پیشروی برای مزرعه آزمایشی دانشگاه.



شکل ۲- خطوط تراز جبهه پیشروی مزرعه آزمایشی دانشگاه.



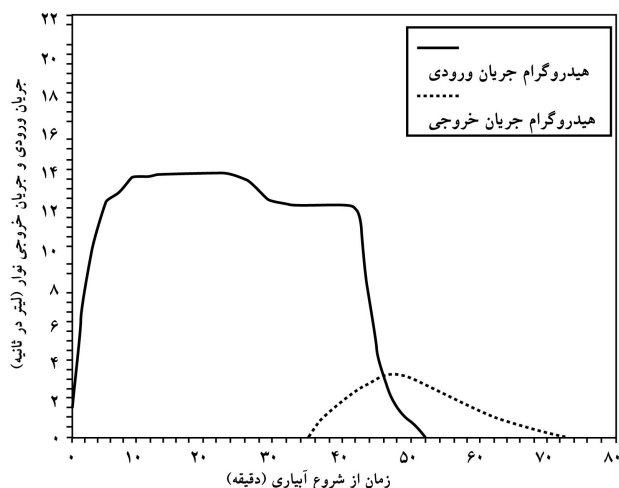
شکل ۳- پیشروی برای مزرعه آزمایشی دانشگاه.



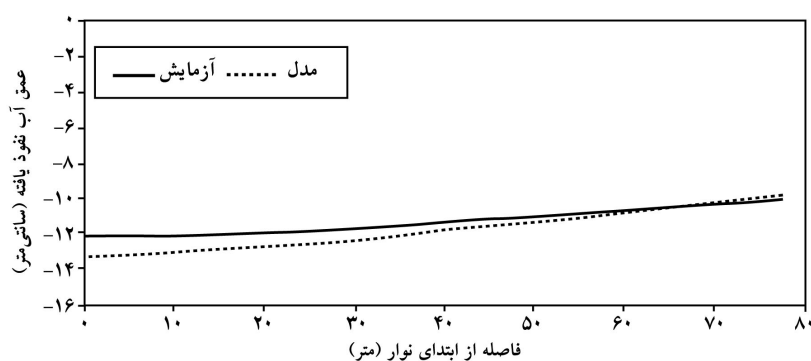
شکل ۴- پیشروی و پسروی برای مزرعه آزمایش دانشگاه.

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-Fard¹ and A. Azizy²

¹Associate Prof. and Former Graduate Student, respectively, ²College 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