



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۴

صفحه‌های ۲۸-۲۷۷

اثر شیب بر پیاز رطوبتی خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و شبیه‌سازی با مدل HYDRUS-2D

زینب حیدری*^۱، معصومه فراساتی^۲، رسول قبادیان^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳. استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد، ایران
۴. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۷

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۱۹

چکیده

هدف این تحقیق، بررسی اثر شیب بر الگوی خیس‌شده خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و شبیه‌سازی با مدل هایدروس دوبعدی است. آزمایش‌ها برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، درون جعبه پلکسی گلاس پر شده از خاک لوم رسی سیلنتی، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. به منظور بررسی اثر شیب روی ابعاد پیاز رطوبتی، آزمایش‌ها با قطره‌چکان دارای دبی ثابت ۴ لیتر در ساعت در شیب‌های ۰، ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد با زمان آبیاری ۲ ساعت و در سه تکرار انجام شد. آزمایش‌ها برای تعیین حداکثر قطر و عمق الگوی رطوبتی در زمان‌های مختلف، بعد از شروع آبیاری، به ازای هر شیب انجام گرفت و در نهایت به مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل هایدروس دوبعدی پرداخته شد. نتایج نشان داد مدل هایدروس دوبعدی، روند تغییرات الگوی رطوبتی را در طول مدت مطالعه مشابه داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه شبیه‌سازی کرده است. حداکثر مقدار خطای به دست آمده از هایدروس دوبعدی در حداکثر عمق و عرض خیس‌شده، به ترتیب بین ۱/۴۴ و ۳/۴ درصد بوده است. با افزایش شیب میزان حداکثر خطای افزایش یافته و توانایی مدل در شبیه‌سازی الگوی رطوبتی کاهش می‌یابد. سپس با افزایش شیب، الگوی رطوبتی به سمت پایین دست گسترده شده است.

کلیدواژه‌ها: اراضی شیب‌دار، الگوی رطوبتی، عرض خیس‌شده، عمق خیس‌شده، معادله ریچاردز.

مقدمه

آبیاری قطره‌ای از روش‌هایی است که به منظور کاهش مصرف آب و افزایش بازده مصرف در مناطق خشک و نیمه‌خشک به کار برده می‌شود. کاهش تبخیر از سطح، نبود رواناب سطحی و کنترل نفوذ عمقی از عواملی است که سبب کاهش مصرف آب و در نتیجه، افزایش بازده آبیاری در این روش می‌شود. مقدار آبی که به وسیله آبیاری در سطح خاک فرو می‌رود، ممکن است به دلیل مدیریت ضعیف آبیاری به طور مستقیم در منطقه ریشه تخلیه نشود. این مشکل در اراضی شیب‌دار حادتر است. بیشتر زمین‌های کشاورزی تحت کشت در اکثر مناطق دنیا، دارای شیب بیش از ۵ درصد هستند (۳). بنابراین، به منظور توزیع یکنواخت آب آبیاری در منطقه ریشه قبل از اجرای سیستم، نیاز به دانستن الگوی خیس‌شده نیم‌رخ خاک است. از عوامل مؤثر بر آن دبی قطره‌چکان‌ها، حجم آب کاربردی، زمان آبیاری، شیب زمین، بافت، ساختمان و رطوبت اولیه خاک است. الگوی خیس‌شده خاک را می‌توان به طور مستقیم اندازه‌گیری یا با استفاده از مدل‌های مختلف شبیه‌سازی کرد. به دلیل زمان‌بر و پرهزینه بودن برآورد الگوی هندسی خیس‌شده، از مدل‌های کامپیوتری برای شبیه‌سازی نحوه توزیع رطوبت در خاک استفاده می‌شود.

در تحقیقی مدل‌های هایدروس دوبعدی^۱ و سیپ^۲ را در برآورد پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی ارزیابی شد. نتایج این ارزیابی نشان داد مدل هایدروس دوبعدی با متوسط ضریب تعیین بیشتر (به ترتیب ۸۹ و ۶۹ درصد) و میانگین ریشه مربعات خطای کمتر (به ترتیب ۱/۶۹ و ۴/۰۲ سانتی‌متر) در شبیه‌سازی ابعاد خیس‌شدگی خاک در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی عملکرد بهتری دارد (۴).

در تحقیقی حرکت آب و توزیع مجدد رطوبت در خاک را با مدل هایدروس دوبعدی/ سه‌بعدی شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که مدل، توانایی بسیاری در شبیه‌سازی میزان رطوبت خاک دارد (۲). در تحقیق دیگری، الگوی توزیع رطوبتی خاک در دبی، حجم آبیاری و فاصله‌های مختلف قطره‌چکان بررسی شد و شبیه‌سازی با مدل هایدروس انجام گرفت. نتایج نشان داد داده‌های شبیه‌سازی بسیار نزدیک به داده‌های مشاهداتی است (۱۰).

در تحقیقی از نرم‌افزار هایدروس برای ارزیابی توزیع رطوبت اطراف قطره‌چکان در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی استفاده شد. نتایج نشان داد که بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده، تطابق خوبی وجود دارد (۷). در تحقیقی تأثیر شیب زمین، دبی قطره‌چکان و زمان آبیاری روی الگوی رطوبتی بررسی شد. نتایج نشان داد که در اکثر موارد بر اثر شیب، پیاز رطوبتی به پایین دست کشیده شده است. با اندازه‌گیری ابعاد پیاز رطوبتی و اندازه‌گیری رطوبت دو رابطه تجربی برای تخمین فاصله مناسب قطره‌چکان نسبت به گیاه ارائه شده است (۶).

نتایج تحقیق دیگری با بررسی توزیع رطوبت در اراضی شیب‌دار نشان داد در دامنه‌های شیب‌دار هنگام آبیاری، مؤلفه افقی جریان که به صورت سطحی یا زیرسطحی حادث می‌شود، غالب است و مؤلفه عمودی با افزایش شیب کاهش می‌یابد (۶). در تحقیقی، روابطی تحلیلی برای جریان پایدار در مرزهای شیب‌دار ارائه شد. در روابطی که برای منبع نقطه‌ای در سطح و زیر خاک ارائه شد، فرض شد که گسترش رطوبت در جهت نیروی ثقل انجام می‌گیرد (۸). هدف از این پژوهش، بررسی اثر شیب‌های مختلف بر الگوی توزیع رطوبت در خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی، ارزیابی توانایی مدل هایدروس دوبعدی در شبیه‌سازی رطوبت و توزیع مجدد آب در خاک در اراضی شیب‌دار و مسطح است.

1. Hydrus-2D
2. SEEP/W

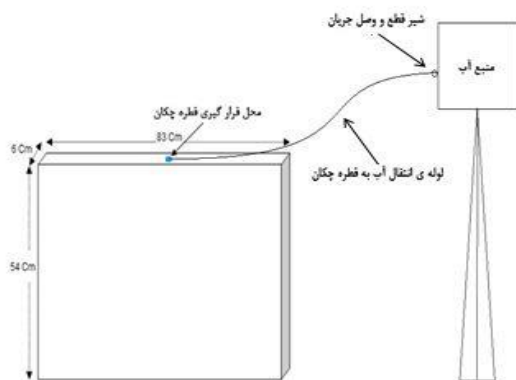
مواد و روش‌ها

ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. بافت خاک استفاده‌شده نیمه‌سنگین بود و به روش هیدرومتری و چگالی ظاهری به روش استوانه تعیین شد. نتایج خصوصیات فیزیکی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

عملیات آزمایشگاهی بر روی خاکی با بافت لوم رسی سیلتی در محل دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی، واقع در استان کرمانشاه، به مختصات ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۲۴ و ۴۵ درجه تا ۳۰ و ۴۸ درجه طول شرقی با

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی خاک درون مدل

عمق خاک (cm)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت زراعی θ_{fc}	رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم θ_{pwp}	چگالی ظاهری (gr/cm^3)
۴۵	۱۴/۲۸	۵۲	۳۳/۷۲	لوم رسی سیلتی	۰/۳۶	۰/۲۱	۱/۳۴



شکل ۱. نمای کامل مدل و محل قرارگیری قطره‌چکان

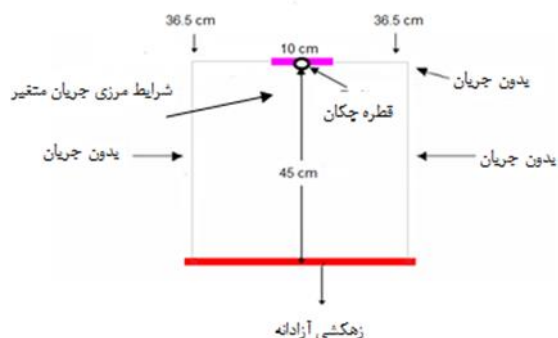
به منظور ارزیابی مدل هیدروس دوبعدی از مدل فیزیکی که شامل جعبه‌ای با دیواره شفاف (جنس پلکسی گلاس) به ابعاد ۸۳، ۶ و ۵۴ سانتی‌متر (طول، عرض، ارتفاع) بود، در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه رازی کرمانشاه استفاده شد (شکل ۱). از یک مخزن آب با ارتفاع ثابت (حدوداً ۲ متر) به عنوان منبع آب و تأمین‌کننده دبی ثابت، لوله انتقال آب به قطره‌چکان و در نهایت، قطره‌چکان با دبی ۴ لیتر بر ساعت استفاده شد. آزمایش‌ها با سه تکرار انجام شد. شیب‌های ۰، ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد اعمال شد. زمان آبیاری برای هر آزمایش ثابت و ۲ ساعت بود. اندازه‌گیری‌های پیشروی جبهه رطوبت تا ۲۴ ساعت پس از قطع جریان انجام شد. با توجه به اینکه توزیع رطوبت در مدل فیزیکی و نرم‌افزار هیدروس دوبعدی در نظر گرفته شد، با در نظر گرفتن فاصله قطره‌چکان‌ها در مزرعه (۱۰۰ سانتی‌متر) و ۶ سانتی‌متر ضخامت مدل، دبی اعمال‌شده به خاک به صورت رابطه ۱ تعیین گردید:

$$q \left(\frac{li}{hr} \right) = \frac{4 \left(\frac{li}{hr} \right) * 6 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} = 0.24 \left(\frac{li}{hr} \right) \quad (1)$$

شرح مدل هیدروس دوبعدی

هیدروس دوبعدی / سه‌بعدی نوعی مدل پیشرفته در ارتباط با حرکت دو و سه‌بعدی آب، املاح و گرما در خاک‌های اشباع و غیراشباع است که در آزمایشگاه شوری خاک آمریکا ارائه شده است. این مدل شامل حل عددی معادله ریچاردز برای بررسی حرکت آب در خاک و معادلات انتقال-انتشار برای حرکت املاح و گرما در خاک است.

مدیریت آب و آبیاری



شکل ۲. مدل تعریف شده برای هایدروس دوبعدی

پارامترهای هیدرولیکی خاک

مدل هایدروس برای مقادیر پارامترهای هیدرولیکی خاک در معادله ون گنوختن - معلم در محدوده مجاز برای بافت خاک لوم رسی سیلتی و اسنجی شد. برای واسنجی این مدل در شبیه سازی حرکت آب در خاک، از داده های به دست آمده از آزمایش مربوط به دبی ۴ لیتر بر ساعت و شیب صفر استفاده شد. بدین ترتیب که از تمامی پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایشگاه شامل درصد ذرات تشکیل دهنده خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک و رطوبت اولیه استفاده شد (جدول ۱). با استفاده از اطلاعات، داده های ورودی مورد نیاز تهیه و واسنجی انجام شد. واسنجی مدل به دو روش انجام شد: در روش اول با استفاده از حل معکوس، مقادیر بهینه همه پارامترهای هیدرولیکی خاک به دست آمد و شبیه سازی با این پارامترها انجام شد. در روش دیگر، با پارامترهایی که مدل رزتا پیش بینی کرده بود و تغییر آن ها در محدوده مجاز داده شده توسط مدل، شبیه سازی به روش سعی و خطا انجام شد.

هر بار پس از شبیه سازی، بیشترین عمق و عرض خیس شده الگوی رطوبتی شبیه سازی شده در زمان های

در مدل هایدروس دوبعدی، حرکت آب در خاک با استفاده از حل عددی معادله ریچاردز شبیه سازی شده است که با فرض خاک همگن و یکنواخت به صورت رابطه ۲ ارائه می شود:

$$(2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right]$$

که در آن θ رطوبت حجمی $(L^3 L^{-3})$ ، h پتانسیل فشاری آب موجود در خاک (L) ، t زمان (T) ، x مختصات افقی (L) ، z مختصات عمودی (L) و k هدایت آبی (LT^{-1}) است. مشخصات هیدرولیکی خاک به صورت رابطه ۳ تا ۵ تعیین شد (۱۱):

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |ah|^n)^m} h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$K(h) = K_s Se \left[1 - \left(1 - Se^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (4)$$

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad m = 1 - \frac{1}{n} \text{ for } n > 1 \quad (5)$$

که در آن Se اشباع نسبی، θ_s رطوبت حجمی اشباع، θ_r رطوبت باقی مانده در پروفیل خاک، K_s هدایت آبی اشباع و n و m پارامترهای تجربی است. شدت جریانی که در مدت آبیاری به مدل هایدروس دوبعدی وارد شد، از رابطه ۶ به دست آمد که در آن منبع تغذیه به صورت خطی و به طول ۱ سانتی متر در نظر گرفته شد.

$$q \left(\frac{cm}{min} \right) = \frac{\text{flow rate}}{\text{surface area}} \quad (6)$$

شرایط اولیه و مرزی تعریف شده برای مدل

تبخیر و تعرق در سطح خاک ناچیز فرض شد؛ بنابراین، سطح خاک بدون جریان و فقط در محل قطره چکان جریان متغیر در نظر گرفته شد. همچنین دیواره های مدل در طول و بعد از آبیاری بدون جریان و در کف مدل، زدهکشی آزاد تعریف شد (شکل ۲).

مدیریت آب و آبیاری

$$L = \frac{\sum (l_i - a_i)}{\sum a_i} \quad (7)$$

که در آن، L انحراف مرکز بیضی از محور قطره‌چکان در راستای شیب (cm)، Li فاصله محور قطره‌چکان تا مرکز بیضی در هر مقطع (cm) و ai قطر بزرگ بیضی (در مقطع موازی شیب) (cm) است.

$$L = R_s \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

که در آن، L انحراف مرکز بیضی از محور قطره‌چکان در راستای شیب (cm)، R_s شعاع خیس‌شدگی سطح در شیب صفر، α زاویه سطح شیب‌دار با افق $\alpha = \arctan(s)$.

نتایج و بحث

واسنجی و صحت‌سنجی مدل هایدروس دوبعدی

مدل هایدروس دوبعدی برای مقادیر پارامترهای هیدرولیکی خاک در مدل ون گنوختن - معلم در محدوده مجاز برای بافت خاک لوم رسی سیلتی و شیب صفر واسنجی شد. برای صحت‌سنجی مدل از داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش شیب صفر و پارامترهای هیدرولیکی واسنجی شده توسط مدل رزتا استفاده شد. بیشترین عمق و عرض خیس‌شده در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شد و نتایج شبیه‌سازی الگوی رطوبتی در شیب صفر توسط مدل هایدروس دوبعدی با آن مقایسه شد. نتایج این مقایسه در شکل ۳ نشان داده شده است.

در شکل ۳، محورهای افقی، X_o و Y_o به‌ترتیب بیشترین عمق و عرض خیس‌شده اندازه‌گیری شده و محورهای عمودی، X_e و Y_e بیشترین عمق و عرض خیس‌شده شبیه‌سازی شده توسط مدل هایدروس دوبعدی هستند. در این شکل، نمودارهای میزان هم‌بستگی بین مقادیر بیشترین عمق و عرض خیس‌شده شبیه‌سازی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده آورده شده است.

مختلف اندازه‌گیری شد و به‌وسیله پارامترهای آماری ریشه مربعات خطا،^۱ ضریب تبیین^۲ و ضریب جرم باقی‌مانده،^۳ با بیشترین عمق و عرض خیس‌شده به‌دست‌آمده از داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شد و در نتیجه، بهترین پارامترهای هیدرولیکی به دست آمد. بدین ترتیب، مدل هایدروس دوبعدی برای شبیه‌سازی الگوی رطوبتی در این بافت خاک واسنجی شد. برای انجام صحت‌سنجی، با استفاده از پارامترهای حاصل از واسنجی، برای سایر آزمایش‌ها شبیه‌سازی انجام شد تا مشخص شود که دقت مدل در شبیه‌سازی دبی‌ها و شیب‌های مختلف چگونه است.

در جدول ۲، میزان پارامترهای تخمین زده شده آورده شده است که در آن θ_s رطوبت حجمی اشباع، θ_r رطوبت باقی‌مانده در پروفیل خاک، K_s هدایت آبی اشباع، n پارامترهای تجربی مربوط به شکل و α عکس مکش ورود هوا به خاک است.

جدول ۲. پارامترهای هیدرولیکی تخمین زده شده

توسط مدل روزتا

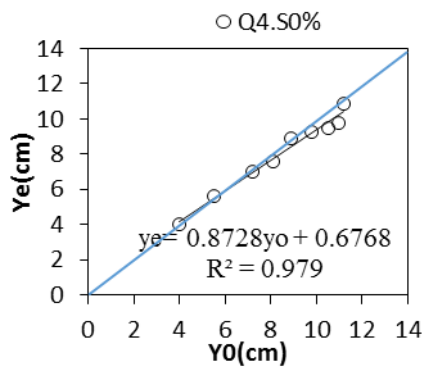
K_s (cm/hr)	θ_s	θ_r	n	α
۰/۰۱۰۳	۰/۴۷	۰/۰۸۷	۱/۵	۰/۰۰۸۷

میزان انحراف از محور قطره‌چکان

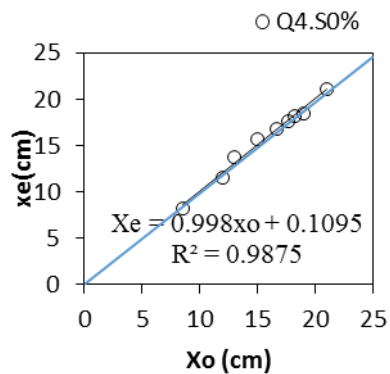
با توجه به اینکه پیاز رطوبتی در اراضی شیب‌دار، حالت بیضی به خود گرفته است و مرکز آن از محور قطره‌چکان منحرف می‌شود، میزان این انحراف با استفاده از میانگین‌گیری وزنی (رابطه ۷) و با استفاده از معادله تجربی که شریف‌نیا و همکاران (۶) به دست آورده‌اند (رابطه ۸) محاسبه شد:

1. CRM
2. R2
3. RMSE

مدیریت آب و آبیاری



(الف)



(ب)

شکل ۳. مقایسه (الف) تغییرات عمق و (ب) بیشترین عرض خیس شده شبیه سازی شده و اندازه گیری شده

عرض جبهه خیس شده را با دقت بیشتری برآورد کرده است. مقادیر پارامترهای آماری محاسبه شده برای بیشترین عمق و عرض خیس شده اندازه گیری شده و شبیه سازی شده توسط مدل هایدروس دوبعدی در جدول ۳ آورده شده است. نتایج به دست آمده با نتایج سایر محققان (۵) مطابقت داشته است.

مطابق شکل، میزان ضریب هم بستگی بین عمق های خیس شده ۹۷ درصد است. این ضریب در عرض های خیس شده ۹۸ درصد است که نشان می دهد هم بستگی فراوانی میان داده های شبیه سازی شده و اندازه گیری شده وجود دارد. همچنین شکل ۳ نشان می دهد که میزان هم بستگی بین داده های عرض خیس شده بیشتر از هم بستگی بین داده های عمق خیس شده است و مدل،

جدول ۳. پارامترهای آماری محاسبه شده برای مقادیر عمق و عرض خیس شده اندازه گیری شده و شبیه سازی شده برای شیب صفر درصد

ضریب جرم باقی مانده	ریشه مربعات خطا	ضریب تعیین (%)
۰/۰۴	۰/۸۹	۹۷
۰/۰۰۴	۰/۴۲	۹۸

خطای به دست آمده بسیار اندک است و نشان دهنده دقت مدل هایدروس دوبعدی در شبیه سازی الگوی رطوبتی و واسنجی مناسب مدل است. شکل ۴، گسترده گی الگوی رطوبتی را برای داده های شبیه سازی شده توسط مدل و داده های اندازه گیری شده در شیب صفر نشان می دهد.

ضریب جرم باقی مانده بین بیشترین عمق و عرض اندازه گیری شده و شبیه سازی شده، مقداری مثبت است. همچنین عمق و عرض های شبیه سازی شده، کمتر از عمق و عرض های اندازه گیری برآورد شده است. به طور کلی، با توجه به مقادیر ریشه مربعات خطا و ضریب جرم باقی مانده،

اثر شیب بر پیاز رطوبتی خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و شبیه‌سازی با مدل HYDRUS-2D

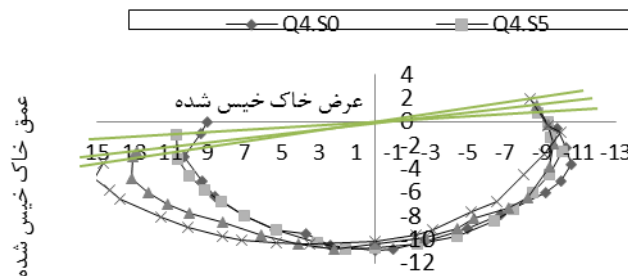


شکل ۴. مقایسه و گسترده‌گی پیاز رطوبتی در شیب صفر برای داده‌های مشاهداتی و داده‌های به دست آمده از مدل هایدروس دوبعدی

شیب به سمت پایین دست گسترده شده است و از مساحت الگوی خیس شده در بالادست شیب کاسته شده و شکل الگوی رطوبتی تقریباً به شکل بیضی بود که با نتایج سایر محققان مطابقت داشته است (۵،۳). محققان دیگر نیز این کاهش خیس شدگی در بالادست و افزایش آن را در پایین دست شیب را گزارش کرده‌اند (۹،۵،۳). اما در اراضی مسطح، پیاز رطوبتی حالت متقارن داشت و رطوبت در بالادست و پایین دست به یک اندازه گسترده شد. به همین دلیل، شکل پیاز رطوبتی در اراضی مسطح به شکل دایره بوده است (شکل ۵). همچنین نتایج نشان داد حداکثر عمق خیس شده در اراضی مسطح، بر محور قطره‌چکان منطبق است؛ اما با افزایش شیب، حداکثر عمق خیس شده روی محور قطره‌چکان کاهش اندکی یافت که با نتایج سایر محققان مطابقت داشت (۶،۳).

در شکل ۴، محور عمودی عمق خاک خیس شده و محور افقی عرض خاک خیس شده را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۴، پیاز رطوبتی در شیب صفر، حالت دایره‌ای و متقارن دارد و مدل هایدروس دوبعدی تقریباً توانسته است تغییرات الگوی رطوبتی را نشان دهد؛ اما این مدل مقادیر را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. شکل ۵، گسترده‌گی پیاز رطوبتی را در شیب‌های مختلف برای دبی ۴ لیتر بر ساعت نشان می‌دهد که محور عمودی عمق خاک خیس شده و محور افقی عرض خاک خیس شده است.

با توجه به شکل ۵، آبی که بر اثر آبیاری نفوذ کرده است، در جهت عمودی و افقی گسترش یافته است. نیروهای مکش و ثقل سبب نفوذ آب به داخل خاک شده است. نیروی مکش نیز سبب گسترده‌گی رطوبت در داخل خاک شده و نیروی ثقل این رطوبت را به سمت پایین هدایت کرده است. در اراضی شیب‌دار، رطوبت در جهت



شکل ۵. مقایسه و گسترده‌گی پیاز رطوبتی در شیب‌های مختلف برای دبی ۴ لیتر بر ساعت

مدیریت آب و آبیاری

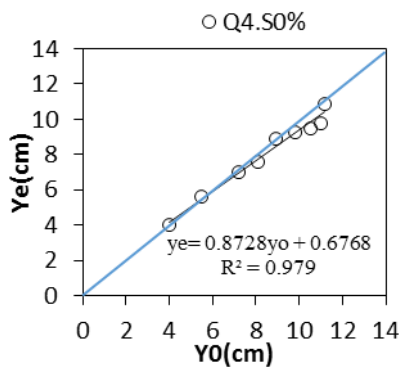
دوره ۵ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۴

(۱). علامت منفی نشان‌دهنده کاهش مساحت و علامت مثبت نشان‌دهنده افزایش مساحت در شیب‌های مختلف نسبت به شیب مسطح است. شکل‌های ۶ و ۷، نتایج مقایسه بیشتری را برای داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل هایدروس دو بعدی نشان می‌دهند.

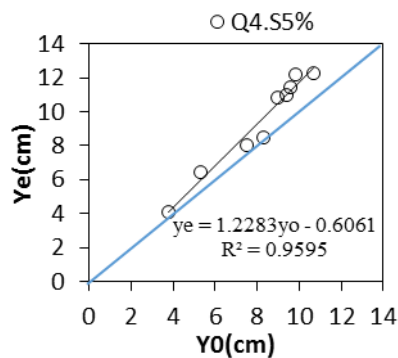
در جدول ۴، درصد مساحت پیاز رطوبتی در پایین دست و بالادست آمده است. بر اساس این جدول، الگوی رطوبتی در اراضی شیب‌دار، مساحت بیشتری را نسبت به اراضی مسطح پوشش می‌دهد و در اراضی شیب‌دار مساحت بیشتر در قسمت پایین دست قرار گرفته است. این نتیجه با نتایج سایر مطالعات مطابقت داشته است

جدول ۴. درصد افزایش و کاهش مساحت الگوی خیس شده در پایین دست و بالادست شیب‌های مختلف و زمان آبیاری ۲ ساعت

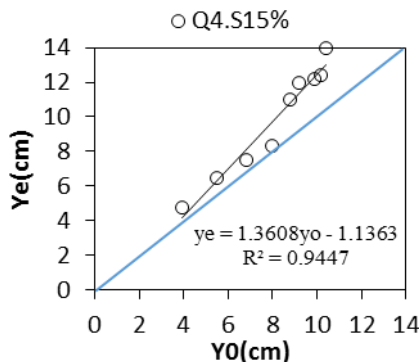
	شیب ۵٪	شیب ۱۵٪	شیب ۲۵٪
دبی ۴ لیتر بر ساعت	۵	۱۱	۲۱
و زمان آبیاری ۲ ساعت	-۹	-۱۹	-۳۲



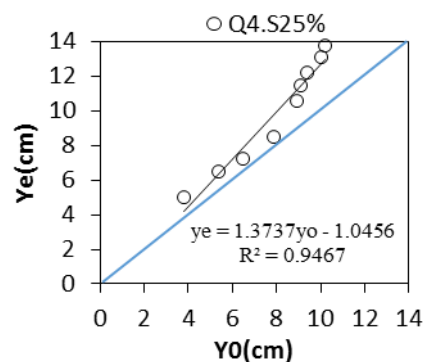
(الف) شیب صفر



(ب) شیب ۵٪



(ج) شیب ۱۵٪



(د) شیب ۲۵٪

شکل ۶. مقایسه بیشتری عمق خیس شده شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در شیب‌های مختلف، ۲۴ ساعت پس از قطع آبیاری

فراوان بین داده‌ها را نشان می‌دهد. در شیب صفر و ۵ درصد، ضریب هم‌بستگی بیشتر از شیب‌های ۱۵ و ۲۵ درصد است که نشان می‌دهد مدل در شیب‌های کمتر، بهتر عرض خیس شده را شبیه‌سازی کرده است.

جدول ۵، میزان پارامترهای آماری بیشترین عمق و عرض خیس شده اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده را برای شیب‌های مختلف در دبی ۴ لیتر بر ساعت و ۲۴ ساعت پس از آبیاری نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۵، میزان ضریب هم‌بستگی بیشترین عرض خیس شده شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در شیب‌های صفر، ۵ و ۱۵ درصد، ۹۸ درصد شده است. این ضریب در شیب ۲۵ درصد، ۹۰ درصد به دست آمد. میزان خطاها نیز در شیب‌های صفر و ۵ درصد کمتر از میزان خطا در شیب‌های ۱۵ و ۲۵ درصد به دست آمد. مقایسه بیشترین عمق خیس شده شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیز نشان داد که میزان ضریب هم‌بستگی در شیب صفر، بیشترین مقدار و ۹۷ درصد است و در سایر شیب‌ها در محدوده ۹۴ تا ۹۵ درصد. میزان خطاها نیز در شیب‌های صفر و ۵ درصد، کمتر از مقدار خطا در شیب‌های ۱۵ و ۲۵ درصد بود.

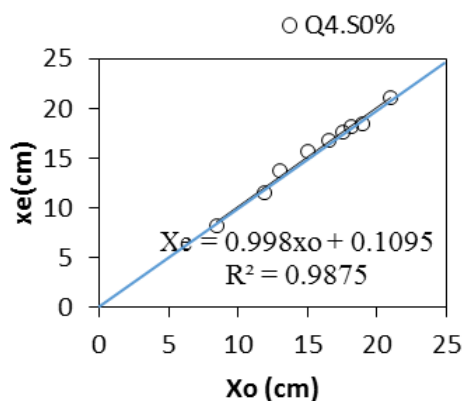
در شکل ۶، محورهای عمودی (Ye)، بیان‌کننده بیشترین عمق خیس شده شبیه‌سازی شده توسط مدل هایدروس دوبعدی و محورهای افقی (Yo) بیان‌کننده بیشترین عمق خیس شده اندازه‌گیری شده هستند. با توجه به این شکل، ضریب هم‌بستگی بین عمق‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده، بیش از ۹۴ درصد است که هم‌بستگی فراوان بین داده‌ها را نشان می‌دهد. در شیب صفر، بیشترین ضریب هم‌بستگی حدود ۹۷ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده بیشترین میزان هم‌بستگی بین عمق‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در شیب صفر است. با افزایش شیب، میزان هم‌بستگی کمتر شده است.

مقایسه بیشترین عرض خیس شده شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در شیب‌های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. در این شکل، محورهای عمودی (Xe)، بیان‌کننده بیشترین عرض خیس شده شبیه‌سازی شده توسط مدل هایدروس دوبعدی و محورهای افقی (Xo)، بیان‌کننده بیشترین عرض خیس شده اندازه‌گیری شده هستند. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، ضریب هم‌بستگی بین عرض‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده، بیش از ۹۰ درصد است که هم‌بستگی

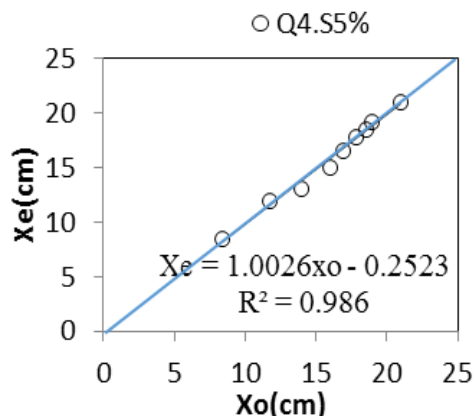
جدول ۵. پارامترهای آماری محاسبه شده برای مقادیر بیشترین عمق و عرض خیس شده

اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای شیب‌های مختلف

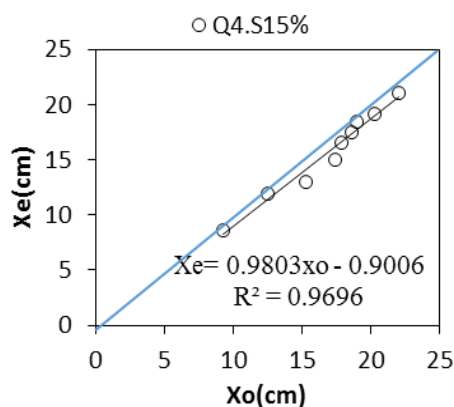
	بیشترین عرض خیس شده			بیشترین عمق خیس شده		
	ضریب تعیین (درصد)	ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب جرم باقی مانده	ضریب تعیین (درصد)	ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب جرم باقی مانده
Q4.S0	۹۸	۰/۴۲	۰/۰۰۴	۹۷	۰/۸۹	۰/۰۴
Q4.S5	۹۸	۰/۴۹	۰/۰۱	۹۵	۱/۴۵	-۰/۱۵
Q4.S15	۹۸	۱/۳۹	۰/۰۷	۹۴	۱/۸۸	-۰/۲۲
Q4.S25	۹۰	۱/۸۵	۰/۰۹	۹۴	۲/۱۷	-۰/۲۴



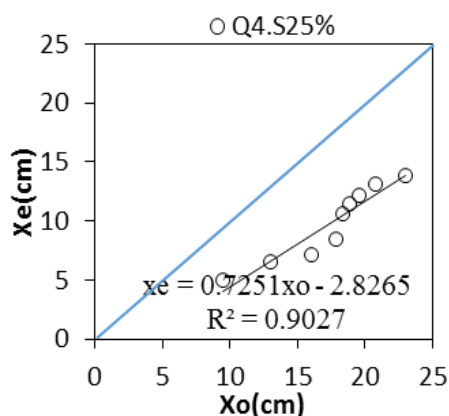
(الف) شیب صفر



(ب) شیب ۵٪



(ج) شیب ۱۵٪



(د) شیب ۲۵٪

شکل ۷. مقایسه بیشترین عرض خیس شده شبیه سازی شده و اندازه گیری شده در شیب های مختلف، ۲۴ ساعت پس از قطع آبیاری

حین آبیاری و در زمان توزیع مجدد رطوبت در اراضی مسطح و شیب دار دارد.

میزان انحراف از محور قطره چکان

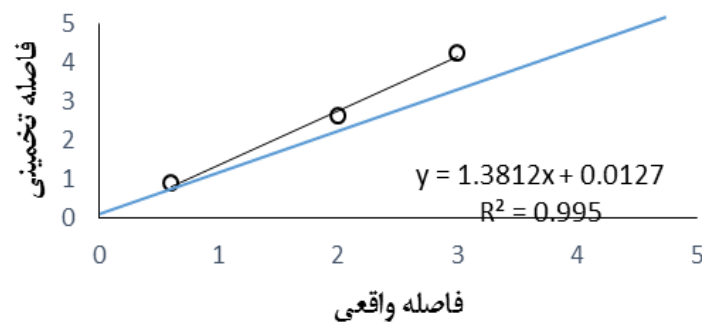
میزان انحراف از محور قطره چکان با استفاده از میانگین گیری وزنی و با استفاده از معادله تجربی شریف نیا و همکاران محاسبه شد. مقادیر به دست آمده انحراف از محور قطره چکان اندازه گیری شده و تخمین زده شده توسط فرمول شریف نیا و همکاران در جدول ۶ ارائه شده است. برای مقایسه این مقادیر از ضریب هم بستگی استفاده شد که نتایج آن در شکل ۸ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج جدول ۵، مدل در زمین های مسطح و کم شیب، پیش بینی بهتری از الگوی رطوبتی داشت. نیز با توجه به مقادیر منفی ضریب جرم باقی مانده در عمق خیس شده می توان نتیجه گرفت که مدل عمق های خیس شده را بیشتر از مقدار واقعی پیش بینی کرده است. همچنین با توجه به مقادیر مثبت ضریب جرم باقی مانده در عرض های خیس شده می توان نتیجه گرفت که مدل، عرض های خیس شده را کمتر از مقدار واقعی پیش بینی کرده است. پس به طور کلی می توان گفت مدل های دروس دوعده ای، توانایی بسیاری در شبیه سازی الگوی رطوبتی در

مدیریت آب و آبیاری

جدول ۶. مقادیر انحراف از محور قطره‌چکان اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده توسط فرمول شریف‌نیا برای شیب‌های مختلف

اندازه‌گیری شده L	L فرمول تخمین زده شده با	دبی (li/hr) ۴
۳	۴/۲۳۵	شیب ۲۵
۲	۲/۶۴	شیب ۱۵
۰/۶	۰/۸۹۷	شیب ۵



شکل ۸. مقایسه فاصله واقعی و فاصله تخمین زده شده از محور قطره‌چکان با معادله تجربی شریف‌نیا و همکاران

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، توانایی مدل هایدروس دوبعدی به‌منظور شبیه‌سازی الگوی رطوبتی بررسی و مشخص شد این مدل توانایی بسیاری در شبیه‌سازی الگوی رطوبتی در اراضی شیب‌دار و مسطح دارد. اما، نتایج شبیه‌سازی روی سطح شیب‌دار نشان داد با افزایش شیب (۵ درصد، ۱۵ درصد و ۲۵ درصد) از توانایی شبیه‌سازی مدل کاسته می‌شود. ممکن است این کاهش به این دلیل باشد که واسنجی مدل، در شرایط بدون شیب صورت گرفته است.

در ادامه باید گفت میزان ضریب هم‌بستگی بیشترین عرض خیس شده شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در شیب‌های صفر، ۵ و ۱۵ درصد، برابر ۹۸ درصد بود؛ ولی در شیب ۲۵ درصد، به ۹۰ درصد کاهش یافت. میزان خطاها نیز در شیب‌های صفر و ۵ درصد کمتر از میزان خطا در شیب‌های ۱۵ و ۲۵ درصد به دست آمد.

شکل ۸، مقایسه فاصله اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده را با معادله تجربی شریف‌نیا و همکاران از محور قطره‌چکان در اراضی شیب‌دار نشان می‌دهد. محور افقی، فاصله اندازه‌گیری شده و محور عمودی، فاصله تخمین زده شده از محور قطره‌چکان را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، ضریب هم‌بستگی ۹۹/۵ درصد به دست آمده است. این نتیجه، نشان‌دهنده هم‌بستگی خوب بین مقادیر تخمین زده شده از معادله و مقادیر اندازه‌گیری شده است و با تحقیقات سایر محققان مطابقت دارد (۹). همچنین با توجه به مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب جرم باقی‌مانده که به ترتیب ۰/۰۵۶ و ۰/۹۲- به دست آمد، میزان خطا ناچیز است و به دلیل منفی بودن مقدار ضریب جرم باقی‌مانده، مقادیر برآوردی توسط فرمول بیشتر از مقادیر واقعی به دست آمد.

مدیریت آب و آبیاری

۴. شریف نیا ر، میرزایی ف، و لیاقت ا (۱۳۹۱) بررسی مساحت خیس شده و حجم خیس شده در آبیاری قطره‌ای در زمین‌های شیبدار. آبیاری و زهکشی. ۱۸۲-۱۹۲:۴(۲)

۵. قربانیانم، منجزی م س، ابراهیمیان چ، و لیاقت ا (۱۳۹۳) ارزیابی مدل‌های HYDRUS-2D و SEEP/W به منظور تخمین جبهه رطوبتی آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. مجله آب و خاک. علوم کشاورزی و تکنولوژی. (۱)۲۸: ۱۷۹-۱۸۹.

6. Hovver J (1985) Evaluation of flow pathway in a sloping soil cross section. American Society Agricultural and Biology. 28(5):1471-1475.

7. Maziar M, and Kandelous JS (2010) Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. Journal of Agricultural Water Management. 97(7): 1070-1076.

8. Philip J, and Knight JK (1997) Steady infiltration flow with sloping boundaries. Water Resource Research. 33(8): 1833-1841.

9. Sharifbayanalghagh MH (1997) Moisture distribution in the soil profile of the point source at inclined surfaces. MS Thesis, Faculty of Agriculture, University of Technology.

10. Shan Y, Wang Q, and Wang C (2011) Simulated and measured soil wetting patterns for overlap zone under double points sources of drip irrigation. African Biotechnology. 10(63):13744-13755.

11. Van Genuchten M. TH (1980) A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, soil science society of America Journal, 44(5):892-898.

بر اساس مقایسه بیشترین عمق خیس شده شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده، میزان ضریب هم‌بستگی در شیب صفر بیشترین مقدار و برابر ۹۷ درصد و در سایر شیب‌ها در محدوده ۹۴ تا ۹۵ درصد بوده است. میزان خطاها نیز در شیب‌های صفر و ۵ درصد کمتر از مقدار خطا در شیب‌های ۱۵ و ۲۵ درصد بود. مقایسه عرض و عمق خیس شده مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد میزان ضریب هم‌بستگی بین عمق‌های خیس شده ۹۷ درصد و در عرض‌های خیس شده ۹۸ درصد است. این مقادیر، نشان‌دهنده هم‌بستگی فراوان میان داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده است. همچنین بر اساس نتایج، با افزایش شیب، گستردگی جبهه رطوبتی به دلیل وجود نیروی ثقل، در پایین دست بیشتر شد و در بالادست گستردگی پیاز رطوبتی نسبت به حالت بدون شیب کاهش پیدا کرد. این الگوی رطوبتی در اراضی مسطح به صورت دایره‌ای، متقارن و در امتداد قائم بود. با افزایش شیب، عمق نفوذ کاهش و گستردگی در جهت شیب ادامه یافت.

منابع

۱. خان‌محمدی ن، علیزاده ا و انصاری چ (۱۳۹۲) شبیه‌سازی حرکت آب و توزیع رطوبت در آبیاری قطره‌ای با استفاده از هایدروس دو بعدی. علوم کشاورزی و تکنولوژی. (۴)۲۷: ۱۵-۲۷

۲. خرمیم، علیزاده ا، انصاری چ (۱۳۹۲) شبیه‌سازی حرکت آب و توزیع رطوبت تحت سیستم آبیاری قطره‌ای. دانشگاه فردوسی. مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ۱۴۷ صفحه.

۳. محمدی ع و بیگلویی م ح و خالدیانم ر و مریدنژاد ع و رجبی ج (۱۳۹۲) بررسی ابعاد پیاز رطوبتی در اراضی شیبدار. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (۶۶)۱۷: ۱۰۹-۱۲۰

مدیریت آب و آبیاری