



ارزیابی و تعیین ضرایب مدل‌های نفوذ آب به خاک در دشت اشرینان

لیلا گودرزی^{۱*}، علی محمد آخوندعلی^۲ و حیدر زارعی^۳

*^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

نویسنده مسئول مکاتبات: goodarzi.1988@gmail.com

^۲ استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

^۳ دانشجوی دکتری و عضو هیئت علمی دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۲/۱۶

چکیده

استفاده از روابط نفوذ برای مدل‌سازی جریان‌های سطحی و زیرسطحی و همچنین طراحی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی ضروری است. به علت وابستگی ضرایب این روابط به نوع خاک و شرایط سطحی، انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای برای تعیین این ضرایب امری اجتناب‌ناپذیر است. مدل‌های نفوذ متعددی برای این منظور ارائه شده است که شامل روابط پایه‌ای، فیزیکی و تجربی می‌باشند. برای انتخاب هر یک از این مدل‌ها برای اراضی و مزارع مختلف نیاز به آزمایش‌های تجربی و مقایسه آن با هر یک از روابط نفوذ است. در این تحقیق برای تخمین پارامترهای مدل‌های نفوذ و تعیین مدل مناسب برای پیش‌بینی مقادیر نفوذ تجمعی در دشت اشرینان واقع در استان لرستان، با توجه به اینکه بافت خاک سطحی منطقه به طور کلی رسی است، آزمایش‌های نفوذپذیری به روش استون‌های دوگانه در سه نقطه با بافت رسی انجام گردید و ضرایب چهار مدل (کوستیاکوف، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، فیلیپ و کوستیاکوف - لوییس) تعیین شد. ارزیابی مدل‌ها بوسیله‌ی خطای نسبی نشان داد که مدل کوستیاکوف با متوسط خطای نسبی ۸ درصد، مناسبترین مدل برای برآورد میزان نفوذ تجمعی در این اراضی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل فیلیپ؛ مدل کوستیاکوف؛ مدل کوستیاکوف-لوییس؛ نفوذپذیری

مقدمه

پایه‌ای، تجربی و فیزیکی ارائه شده‌اند. بندرت از روابط پایه‌ای و فیزیکی نفوذ استفاده می‌شود و در طراحی سیستم‌های آبیاری بیشتر روابط تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرند (رحیمی و همکاران، ۱۳۷۸). از این رو مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته است. نشاط و پاره کار (۱۳۸۶) با بررسی نفوذ بر روی سه نوع بافت خاک رسی، لومی و رسی لومی نشان دادند که مدل کوستیاکوف مناسبترین مدل برای برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ در کلیه شرایط می‌باشد. با

اطلاع از خصوصیات نفوذپذیری خاک برای طراحی و مدیریت مطلوب روش‌های مختلف آبیاری ضروری است. نفوذپذیری بستگی به ویژگی‌های خاک و شرایط سطحی مزرعه دارد. میزان نفوذپذیری در مزرعه، بر حسب مکان و زمان تغییر می‌کند. بنابراین دستیابی به رابطه نفوذ مشخصه‌ای برای یک مزرعه مستلزم انجام دادن آزمایش‌های مزرعه‌ای تحت شرایط متداول است. روابط نفوذ آب در خاک به صورت مدل‌های

افزایش طول مدت زمان آزمایش نفوذ، نتایج نشان داد که ضرایب مدل کوستیاکوف نسبت به بقیه مدل‌ها تغییرات بیشتری دارد و استفاده از ضرایب مدل‌های کوستیاکوف و هورتون که بر مبنای داده‌های تجربی در کوتاه مدت به دست آمده‌اند برای برآورد نفوذ تجمعی در دراز مدت همراه با خطای قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. ملکی و همکاران (۱۳۹۱) با انجام آزمایش‌های نفوذپذیری در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان نشان دادند که معادله کوستیاکوف تعدیل شده از کمترین خطا برخوردار است و مدل SCS مقدار نفوذ آب را کمتر از مقدار مشاهده‌ای محاسبه می‌کند. رحیمی و همکاران (۱۳۷۸) با انجام آزمایش‌های نفوذ در ۱۳ نقطه از یک منطقه ۸ هکتاری نشان دادند که مدل فیلیپ در تمامی شرایط، مناسبترین مدل برای برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ می‌باشد. داوون و همکاران (۲۰۱۱) به منظور تخمین پارامترهای پنج مدل نفوذ و تعیین مدل مناسب برای پیش بینی مقادیر نفوذ تجمعی در خاک‌های زراعی، اقدام به انجام آزمایش‌های صحرایی کردند و نشان دادند که مدل‌های سه پارامتری رابطه‌ی بهتری بین مقدار نفوذ تجمعی و زمان نشان می‌دهند. نتیجه‌ی مطالعات آگبادون و ادريس (۲۰۰۷) برای بررسی قابلیت مدل‌های نفوذ در تخمین مقدار نفوذ تجمعی در خاک‌های هیدرومورفیک در سیلاب دشت‌های روستای زانگو نشان داد که مدل کوستیاکوف و کوستیاکوف تعدیل شده تطابق بهتری با مقادیر مشاهده‌ای دارد.

از جمله مدل‌های تجربی می‌توان به مدل نفوذ کوستیاکوف، کوستیاکوف-لویس، فیلیپ سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) اشاره کرد.

مدل کوستیاکوف: کوستیاکوف (۱۹۳۲) مدل تجربی زیر را برای تعیین مقدار نفوذ آب در خاک پیشنهاد کرده است:

$$i = ct^a \quad (1)$$

که در آن t : زمان نفوذ (از شروع) بر حسب دقیقه، i : عمق آب نفوذ یافته از شروع نفوذ بر حسب سانتی متر، c و a : ضرایب تجربی که برای خاک‌های مختلف بوده و مقادیر آن‌ها به ترتیب بزرگتر از صفر و بین صفر تا یک می‌باشد. رابطه کوستیاکوف فقط تا زمانی اعتبار دارد که سرعت نفوذ از هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بیشتر باشد.

مدل کوستیاکوف-لویس: برای حل مشکل اشاره شده در مدل کوستیاکوف، اصلاحاتی روی آن انجام گرفته که منجر به مدل کوستیاکوف-لویس گردیده است که به شکل زیر ارائه شده است:

$$i = ct^a + f_0t \quad (2)$$

که در آن: f_0 : سرعت نفوذ نهایی آب در خاک می‌باشد.

مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS): کارشناسان سازمان حفاظت خاک آمریکا براساس مدل کوستیاکوف آزمایش‌های زیادی در مزارع انجام داده‌اند که در نهایت منجر به روشی در محاسبه نفوذ گردید که به مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا (۱۹۸۹) معروف است. مدل SCS به صورت زیر است:

$$i = at^b + c \quad (3)$$

که در آن: a و b و c : ضرایب رابطه سازمان حفاظت خاک می‌باشند. تفاوت ظاهری این رابطه با رابطه کوستیاکوف در ضریب c است که به آن اضافه شده است. سازمان حفاظت خاک آمریکا تعدادی منحنی شماره دار که نشان دهنده رابطه

دقت روابط نفوذ مختلف در تخمین مشخصات نفوذ آب در خاک از مقایسه عمق آب نفوذی محاسبه شده از رابطه‌های نفوذ و عمق آب نفوذی مشاهده ای و بطور معمول با استفاده از رابطه درصد خطای نسبی تعیین می‌گردد (رابطه ۵) که محققین زیادی از جمله مک کلیمنت و اسمیت، الیوت و آیزنهاور، هانسون و همکاران، عباسی و همکاران، ماهشوری و همکاران، برومند نسب و همکاران برای ارزیابی نتایج حاصل از مطالعات خود از این رابطه استفاده کردند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۱).

رابطه‌ی گفته شده به صورت زیر است:

$$EV = \left(\frac{V_{OB} - V_{CL}}{V_{OB}} \right) \times 100 \quad (5)$$

که در آن V_{OB} عمق آب نفوذی مشاهده ای و V_{CL} عمق آب نفوذی محاسبه ای از مدل‌های نفوذ می‌باشد. جدول ۱ مدل‌های نفوذ آب به خاک و پارامترهای مورد نیاز را نشان می‌دهد. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی و تخمین ضرایب مدل‌های نفوذ در سه نقطه با بافت رسی در دشت اشرینان می‌باشد.

لگاریتمی نفوذ تجمعی و زمان برای خاک‌های مختلف است ارایه نموده است و برای پیدا کردن ضرایب رابطه ابتدا باید آزمایش‌های صحرایی نفوذ انجام گرفته و نتایج این آزمایش‌ها بر روی منحنی ارایه شده پیاده شود تا مشخص گردد که نتایج حاصله با کدام یک از منحنی‌ها بیشترین مطابقت را دارد و بر این اساس شماره منحنی انتخاب و با استفاده از جداول ضرایب a و b بدست آید. در این روش ضریب c را در حالتی که نفوذ تجمعی بر حسب سانتی متر باشد برابر $0/6985$ و برای وقتی که نفوذ تجمعی بر حسب اینچ باشد $0/275$ در نظر گرفته است.

مدل فیلیپ: رابطه‌ی دیگری که تا اندازه ای پیچیده تر است رابطه‌ی فیلیپ می‌باشد. این رابطه به صورت زیر است:

$$i = st^{0.5} + k \quad (4)$$

که ضریب ثابت مربوط به قابلیت جذب آب می‌باشد که تابع مکش خاک است و K ضریب ثابت مربوط به هدایت هیدرولیکی خاک بر حسب سانتی متر بر دقیقه می‌باشد.

جدول ۱- مدل‌های نفوذ آب به خاک و ضرایب آن‌ها

نام مدل	معادله برای نفوذ	ضرایب
کوستیاکوف	$i = ct^a$	a و c
کوستیاکوف- لویس	$i = ct^a + f_0t$	a و c
فیلیپ	$i = st^{0.5} + kt$	k و S
SCS	$i = ct^a + b$	b و a

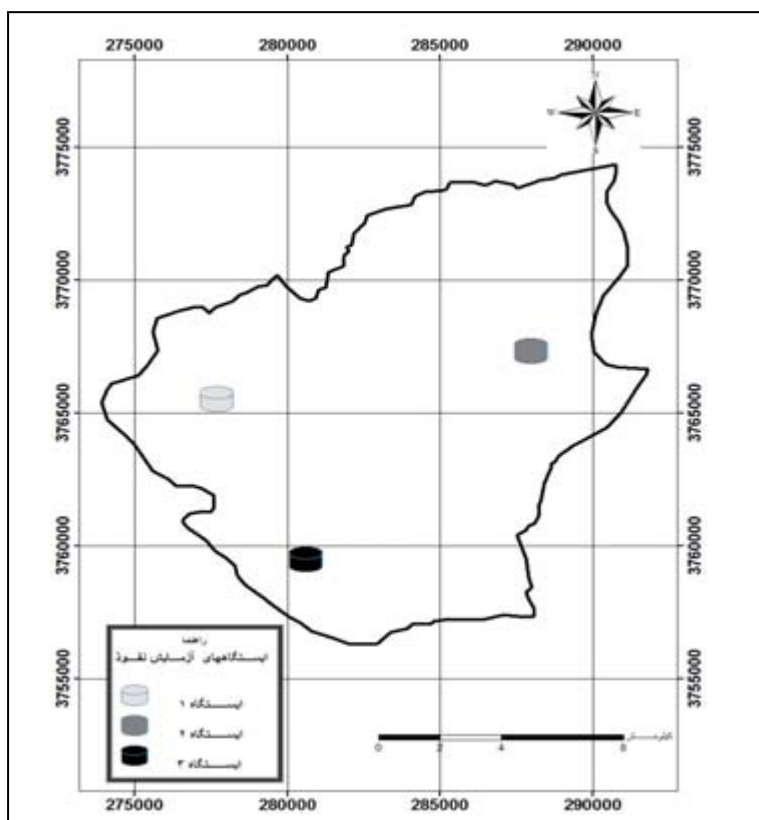
مواد و روش‌ها

در استان لرستان اراضی زیادی با استفاده از روش‌های سطحی آبیاری می‌شوند. از این نظر مطالعات نفوذپذیری در این اراضی و تعیین دقیق مشخصات نفوذ از اهمیت زیادی برخوردار است

و می‌تواند باعث بهره‌برداری بهینه از اراضی و افزایش بازده مصرف آب آبیاری شود. محدوده اشرینان یکی از بخش‌های شهرستان بروجرد واقع در استان لرستان می‌باشد که بین طول‌های $48^{\circ}27'$ تا $48^{\circ}50'$ شرقی و عرض‌های $52'$

ضرایب چهار مدل نفوذ آب به خاک (کوستیاکوف، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، فیلیپ و کوستیاکوف- لویس) با استفاده از نرم افزار SPSS تعیین گردید. در ضمن از محل‌های ذکر شده برای تعیین بافت خاک نمونه گیری شد و نتایج با داده‌های لاگ چاه‌ها مطابقت داشت. سپس دقت مدل‌ها با استفاده از رابطه درصد خطای نسبی بررسی شد. موقعیت مکان‌هایی که در آن‌ها آزمایش نفوذپذیری انجام شده در شکل (۱) نشان داده شده است.

۳۳° تا ۳۴° ۸' شمالی واقع شده است. محدوده مطالعاتی اشترینان شامل یک دشت با وسعت ۲۱۰ کیلومترمربع می‌باشد که از طریق جاده آسفالته نهاوند - بروجرد به مرکز شهرستان و در نهایت مرکز استان ارتباط دارد. در این تحقیق جهت تعیین رابطه نفوذ مناسب برای اراضی این دشت، با توجه به اینکه بافت خاک سطحی منطقه بطور کلی رسی است، آزمایش‌های نفوذپذیری به روش استونه‌های دوگانه در سه نقطه که بافت آنها با توجه به داده‌های لاگ چاه‌های حفر شده در منطقه رسی بود هریک به مدت ۱۳۲ دقیقه انجام شد و



شکل ۱- موقعیت محل‌های انجام آزمایش نفوذ پذیری

با توجه به جدول ۲، در بین ۴ مدل مورد مطالعه، مدل کوستیاکوف بیشترین و مدل SCS

نتایج و بحث
ضرایب مدل‌های نفوذ و ضریب تبیین (R^2) برای ۴ مدل نفوذ در جدول ۲ آورده شده‌اند.

قرار می‌گیرند. مقادیر خطای نسبی مدل‌های مورد مطالعه در طول آزمایش نفوذ در شکل ۲ آورده شده است.

در شکل ۲، درصد خطای نسبی مثبت نشان دهنده این است که مدل نفوذ مقدار نفوذ تجمعی را کمتر از مقدار مشاهده ای محاسبه کرده است. بنابراین این نمودار نشان می‌دهد که مدل SCS مقدار نفوذ تجمعی را در طول آزمایش نفوذ کمتر از مقدار مشاهده ای برآورد می‌کند.

کمترین ضریب تبیین را دارد. برای تعیین مدل نفوذ مناسب از رابطه‌ی درصد خطای نسبی نیز استفاده شد که نتایج حاصل از آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

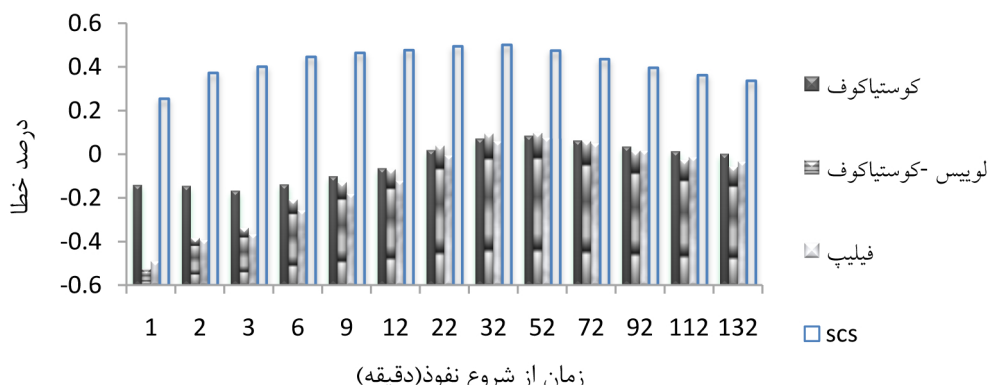
ارزیابی مدل‌ها با توجه به درصد خطای نسبی، نتیجه‌ی بدست آمده در قسمت قبل را تایید می‌کند و نشان می‌دهد که مدل نفوذ کوستیاکوف با خطای نسبی ۸ درصد، مناسبترین مدل برای پیش بینی مقدار نفوذ تجمعی در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد و مدل‌های فیلیپ، کوستیاکوف- لوییس و سازمان حفاظت خاک آمریکا به ترتیب در اولویت‌های بعد

جدول ۲- محاسبه ی ضرایب معادلات نفوذ و ضریب تبیین خاک رسی در دشت اشرینان

نام مدل	ضرایب	ضریب تبیین
کوستیاکوف	$i = 1.749t^{0.632}$	0.996
کوستیاکوف- لوییس	$i = 2.172t^{0.437} + 0.168t$	0.990
فیلیپ	$i = 2.17t^{0.5} + 0.111t$	0.994
SCS	$i = 0.445t^{0.923} + 0.6985$	0.984

جدول ۳- درصد خطای نسبی مدل‌های نفوذ در دشت اشرینان

نام مدل	درصد خطای نسبی
کوستیاکوف	۸
کوستیاکوف- لوییس	۱۵/۷
فیلیپ	۱۵/۸
SCS	۴۱/۶



شکل ۲- مقایسه درصد خطای نسبی مدل‌های نفوذ مورد استفاده در خاک‌های رسی دشت اشرینان در طول آزمایش

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مدل نفوذ کوستیاکوف با خطای نسبی ۸ درصد و ضریب تبیین ۰/۹۹۶، مناسبترین مدل برای پیش بینی مقدار نفوذ تجمعی در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد و مدل‌های فیلیپ، کوستیاکوف-لویس و سازمان حفاظت خاک آمریکا به ترتیب در اولویت‌های بعد قرار می‌گیرند. مقادیر خطای نسبی در طول آزمایش نفوذ نیز نشان می‌دهد که مدل SCS مقدار نفوذ تجمعی را در طول آزمایش نفوذ بیش از مقدار مشاهده ای برآورد می‌کند. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات ملکی و همکاران (۱۳۹۱) در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان مطابقت دارد.

منابع مورد استفاده

- ۱) رحیمی، ا.، برومند نسب، س. و کشکولی، ح. ۱۳۷۸. ارزیابی و تعیین ضرایب مدل‌های نفوذ آب به خاک. هفتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۲) رحیمی، ا. و کشکولی، ح. ۱۳۸۵. ارزیابی و تعیین ضرایب مدل‌های نفوذ آب در خاک در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد

- سنندج. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهیدچمران.
- ۳) نشاط، ع. و پاره‌کار، م. ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های تعیین سرعت نفوذ عمودی آب در خاک. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۳): ۳۲-۴۷.
 - ۴) رهنما، م. و رضایی مقدم، ح. ۱۳۸۶. تعیین ضرایب مدل‌های نفوذ و معادلات نفوذ آب در خاک در دشت‌های اطراف معدن سنگ آهن گل گهرسیرجان (دشت قطارینه)، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.
 - ۵) پاپن، پ.، گلابی، م. و کریمی، ب. ۱۳۸۷. تعیین ضرایب معادلات نفوذ در دو کلاس خاک دشت شاوور استان خوزستان، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.
 - ۶) ملکی، ع.، نامداریان، ک. و خاکسار، ص. ۱۳۹۱. تعیین ضرایب معادله‌های نفوذ و ارزیابی آن‌ها در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان. نخستین همایش منطقه‌ای توسعه پایدار منابع طبیعی غرب کشور، الشتر.
- 7) Daunt, R., and Borrelli, J. 2011. Field evaluation of infiltration models in lawn soils. *Irrigation Science*, 29: 379-389.
 - 8) Igbadun, H. E., and Idris, U. D. 2007. Performance Evaluation of infiltration models in a Hydromorphic Soil. *Journal of Soil and Environment Research*, 7 (3): 53-5.