

تخمین سرعت نفوذ نهایی و لحظه‌ای آب در خاک با استفاده از توابع انتقالی

(ن. حسینی^۱ - سید بهمن‌نصیری^۲، سید علی‌اکبر آینه نوری^۳ و مهرداد بهمن‌نصیری^۴)

تکتم فکوری^۱، حجت امامی^۱، بیژن قهرمان^۲ و مهدی مهاجرپور^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

hemami@um.ac.ir

چکیده

نفوذ یکی از پدیده‌های مهم در چرخه آبی است. تغییرات زیاد رطوبت خاک سبب تغییرات زیادی در سرعت نفوذ آب در خاک می‌شود. علاوه بر این اندازه‌گیری نفوذ وقت‌گیر و مشکل است، بنابراین استفاده از توابع انتقالی برای تخمین سرعت نفوذ آب در خاک حائز اهمیت است. در این پژوهش، سرعت نفوذ آب در خاک در سه کاربری زراعی، مرتع و باغ در شهرستان نیشابور واقع در خراسان رضوی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری نفوذ در هر کاربری به روش تک حلقه در ۵ نقطه با سه تکرار انجام شد. همچنین ویژگی‌های زودیافت خاک شامل توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری و درصد رطوبت وزنی خاک اندازه‌گیری شد. روابط بین ویژگی‌های زودیافت و میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک مورد بررسی قرار گرفت. سپس میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک با استفاده از معادلات رگرسیونی تخمین زده شد. نتایج نشان داد که میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک با ویژگی‌های زودیافت خاک همبستگی معنی‌داری داشتند و دقت معادلات رگرسیونی در تخمین میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای با گذشت زمان افزایش یافت، بطوری که بالاترین مقدار ضریب تبیین (R^2) برای سرعت نهایی نفوذ آب در خاک‌های مورد مطالعه به دست آمد. اما هیچ گونه همبستگی معنی‌داری بین ضرایب معادلات تجربی (مدل‌های فیلپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لویبیز، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا) و ویژگی‌های زودیافت خاک مشاهده نشد. با توجه به هزینه و زمان کم در اشتقاق توابع انتقالی، استفاده از آنها برای تخمین میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: توابع انتقالی، سرعت نفوذ، ویژگی‌های زودیافت خاک



تخمین سرعت نفوذ نهایی و لحظه‌ای آب در خاک با استفاده از توابع انتقالی

تکتم فکوری^۱، حجت امامی^{۲*}، بیژن قهرمان^۳، مهدی مهاجرپور^۴

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

* نویسنده رابط: Email: hemami@um.ac.ir

چکیده

نفوذ یکی از پدیده‌های مهم در چرخه آبی است. تغییرات زیاد رطوبت خاک سبب تغییرات زیادی در سرعت نفوذ آب در خاک می‌شود. علاوه بر این اندازه‌گیری نفوذ وقت‌گیر و مشکل است، بنابراین استفاده از توابع انتقالی برای تخمین سرعت نفوذ آب در خاک حائز اهمیت است. در این پژوهش، سرعت نفوذ آب در خاک در سه کاربری زراعی، مرتع و باغ در شهرستان نیشابور واقع در خراسان رضوی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری نفوذ در هر کاربری به روش تک حلقه در ۵ نقطه با سه تکرار انجام شد. همچنین ویژگی‌های زودیافت خاک شامل توزیع اندازه ذرات، ماده آلی (OM)، جرم مخصوص ظاهری (Bd) و درصد رطوبت وزنی (θ_m) خاک اندازه‌گیری شدند. روابط بین ویژگی‌های زودیافت و میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک مورد بررسی قرار گرفت. سپس میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک با استفاده از معادلات رگرسیونی تخمین زده شد. نتایج نشان داد که میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک با ویژگی‌های زودیافت خاک همبستگی معنی‌داری داشتند و دقت معادلات رگرسیونی در تخمین میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای با گذشت زمان افزایش یافت، به طوری که بالاترین مقدار ضریب تبیین (R^2) برای سرعت نهایی نفوذ آب در خاک‌های مورد مطالعه به دست آمد. اما هیچ گونه همبستگی معنی‌داری بین ضرایب معادلات تجربی (مدل‌های فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا) و ویژگی‌های زودیافت خاک مشاهده نشد. با توجه به هزینه و زمان کم در اشتقاق توابع انتقالی، استفاده از آنها برای تخمین میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: توابع انتقالی، سرعت نفوذ، ویژگی‌های زودیافت خاک

مقدمه

نفوذ آب به خاک به عنوان فرآیند اولیه ورود آب از سطح خاک به داخل ناحیه غیراشباع خاک نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت ایفا می‌کند. نفوذ آب به خاک مهم‌ترین منبع تامین آب برای ادامه حیات گیاهان می‌باشد (۱۷) و کمی کردن پدیده نفوذ آب در مدیریت حوزه‌های آبخیز از اهمیت بالایی برخوردار است (۱۴). اهمیت فرآیند نفوذ سبب شده است که مدل‌های فیزیکی و تجربی گوناگونی برای کمی کردن آن ارائه شوند (۱۸). تغییرات زمانی و مکانی خاک سبب تغییرات بسیار زیادی در نفوذپذیری خاک می‌گردد (۱۳). از سوی دیگر اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی خاک از جمله نفوذپذیری هزینه‌بر و وقت‌گیر بوده و به دلیل تغییرات مکانی و زمانی فراوان آن، دشوار است (۱۹). به همین علت تلاش‌های زیادی برای تخمین برخی از ویژگی‌های هیدرولیکی به صورت غیرمستقیم انجام شده است. در روش‌های غیرمستقیم ویژگی‌های هیدرولیکی انجام نمی‌شوند، بلکه از ویژگی‌های زودیافت خاک مانند توزیع اندازه ذرات معدنی خاک، ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری و غیره برای برآورد آنها استفاده می‌شود (۱۹). تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی دیر یافت با استفاده از اطلاعات موجود خاک که معمولاً توسط معادلات رگرسیونی انجام می‌شود، توابع انتقالی خاک (Pedo transfer function) نامیده می‌شود (۱۰).

پژوهش‌های زیادی برای تخمین منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشباع و غیراشباع خاک توسط توابع انتقالی صورت گرفته است (۳، ۵، ۸، ۹، ۱۱، ۱۵). اما پژوهش‌های کمی نیز جهت تخمین پارامترهای معادلات نفوذ آب در خاک انجام شده

است. به عنوان مثال قربانی دشتکی و همایی (۱۳۸۶) به روش رگرسیون چندگانه گام به گام، توابعی را برای برآورد پارامترهای مدل‌های نفوذ آب در خاک در سه کاربری آیش، مرتع و گندم‌زار ارائه نمودند. نتایج بررسی‌های آنها نشان داد که توابع انتقالی ارائه شده در کاربری آیش نسبت به دو کاربری دیگر از دقت بالاتری برخوردار بودند. علاوه بر این کارایی توابع ارائه کننده پارامترهای مدل‌های فیلیپ، هورتوت و کوستیاکوف-لوئیز به ترتیب در کاربری‌های گندم‌زار، مرتع و آیش بالاتر بود (۸). پرجمی عراقی و همکاران (۱۳۸۹) نفوذ تجمعی آب به خاک را در زمان‌های مشخصی از آغاز فرآیند نفوذ با استفاده از ویژگی‌های زودییافت و به کمک توابع انتقالی خاک بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که تمامی توابع ارائه شده نود تجمعی را کم برآورد نموده‌اند. همچنین با افزایش زمان از آغاز آزمایش نفوذپذیری، کارایی مدل‌های رگرسیونی اشتقاق یافته افزایش یافت. قربانی دشتکی و همکاران (۱۳۸۸a) با برآورد پارامترهای نفوذ آب به خاک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و ویژگی‌های زودییافت خاک دریافتند که شبکه‌های طراحی شده برای مدل دو پارامتری فیلیپ بهترین برآورد از نفوذ تجمعی را دارا بود. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های نفوذ نیز نشان داد که شبکه‌های ایجاد شده برای پارامترهای مدل فیلیپ دارای بهترین عملکرد در برآورد نفوذ تجمعی آب به خاک بوده و شبکه‌های طراحی شده برای مدل‌های هورتون، کوستیاکوف-لوئیز و کوستیاکوف به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند.

از آنجا که نفوذ آب در خاک در چرخه آبی، مدیریت صحیح آبیاری، ذخیره رطوبت مطلوب خاک در مناطق خشک و عملکرد زراعی قابل قبول نقش مهمی دارد. همچنین اندازه‌گیری نفوذ آب در خاک هزینه زیادی داشته و زمان بر می‌باشد و تحقیقی در زمینه برآورد میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک با استفاده از توابع انتقالی انجام نشده است و استفاده از توابع انتقالی در پیش‌بینی ویژگی‌های هیدرولیکی و به ویژه نفوذپذیری سبب صرفه جویی در وقت و هزینه می‌گردد. از سوی دیگر با توجه به اینکه نوع عملیات مدیریتی متفاوت در کاربری‌های مختلف که ممکن است سبب تغییر ساختمان فیزیکی خاک و در نتیجه نفوذپذیری خاک گردند، لذا هدف از این تحقیق امکان استفاده از توابع انتقالی برای تخمین سرعت نفوذ نهایی و لحظه‌ای آب در تعدادی از خاک‌های شهرستان نیشابور واقع در خراسان رضوی در سه کاربری باغ، مرتع و زراعی بود.

مواد و روشها

این پژوهش بر روی ۱۵ نمونه خاک شامل سه نوع کاربری کشاورزی، باغ و مرتع (پنج نمونه در هر کاربری) در شهرستان نیشابور واقع در استان خراسان رضوی انجام شد. برای هر نمونه نیز اندازه‌گیری نفوذ در ۳ تکرار انجام شد. مطابق روش لایبست و همکاران (۲۰۰۶) از استوانه تک حلقه برای اندازه‌گیری نفوذ آب در خاک استفاده شد. در روش مذکور پس از حذف پوشش گیاهی سطح خاک، استوانه را در عمقی از خاک قرار داده و در زمان صفر حجم ثابتی از آب در داخل آن ریخته می‌شود. زمان سپری شده برای نفوذ آب موجود در استوانه ثبت می‌شود. پس از نفوذ کامل حجم آب اولیه، همان حجم آب به سیلندر اضافه می‌شود و دوباره زمان لازم برای نفوذ اندازه‌گیری می‌شود، این روش ۸ تا ۱۵ سری تکرار می‌شود تا زمان نفوذ آب ثابت شود (۱۲).

میانگین بعضی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه به تفکیک سه کاربری در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱) میانگین برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه در سه کاربری

EC (dS/m)	PH	جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	درصد			ویژگی‌های فیزیکی خاک		
			رطوبت (g/g)	ماده آلی	رس	سیلت	شن	
۰/۷۳	۷/۷۸	۱/۲۱	۱/۷۷	۱/۸۷	۱۱/۳۵	۱۱/۲۹	۷۷/۳۶	زراعی
۰/۴۴	۷/۹۶	۱/۱۸	۱/۳۳	۱/۹۷	۸/۸۳	۱/۳۴	۸۹/۸۳	مرتع
۰/۹۱	۷/۹۳	۱/۲۲	۱۱/۶۸	۱/۴۵	۱۳/۸۷	۹/۸۹	۷۶/۹۳	باغ

بعد از تعیین سرعت نفوذ نهایی و لحظه‌ای، همبستگی بین آنها با ویژگی‌های زودپافت خاک (درصد شن، سیلت، رس، ماده آلی و جرم مخصوص ظاهری) با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. سپس رابطه رگرسیونی پارامترهایی که دارای همبستگی معنی‌داری با سرعت نفوذ نهایی و لحظه‌ای بودند، تعیین شد. سرانجام مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر تخمینی از معادلات رگرسیونی مقایسه شدند.

برای بررسی کارایی توابع انتقالی در برآورد مقادیر سرعت نفوذ نهایی و لحظه‌ای آب در خاک از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ضریب تبیین (R^2) و میانگین خطا (ME) استفاده شد، که رابطه هر یک از آنها در زیر ارائه شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (i(p)_j - i(m)_j)^2}{n}} \quad (۱)$$

$$ME = \frac{\sum_{j=1}^n (i(p)_j - i(m)_j)}{n} \quad (۲)$$

در معادلات فوق، $i(p)$: سرعت نفوذ اندازه‌گیری شده در زمان j و $i(m)$: سرعت نفوذ پیش‌بینی شده در زمان j است.

نتایج

در جداول ۲ ضرایب همبستگی سرعت نفوذ نهایی و لحظه‌ای آب با ویژگی‌های زودپافت در خاک‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. مطابق جدول ۲ همبستگی معنی‌داری بین میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک بابرخی از ویژگی‌ها در خاک‌های مورد مطالعه وجود دارد. سرعت نهایی نفوذ با درصد ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری، درصد رس، سیلت و شن در سطح یک درصد همبستگی معنی‌داری دارد. در ابتدای نفوذ آب در خاک، فقط ماده آلی با میانگین سرعت نفوذ آب در خاک دارای همبستگی معنی‌داری در سطح آماری پنج درصد می‌باشد. اما به تدریج و با گذشت زمان (مثلاً در زمان ۱۱/۸۷ دقیقه) علاوه بر اینکه ضریب همبستگی بین میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای با ماده آلی افزایش یافته و در سطح یک درصد معنی‌دار شده است، ضرایب همبستگی آن با سایر پارامترهای خاک مثل جرم مخصوص ظاهری و درصد شن نیز افزایش یافته و در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است. ضریب همبستگی بین میانگین سرعت نفوذ با ویژگی‌های زودپافت خاک در طی زمان روند تقریباً افزایشی دارد، به طوری که پس از زمان ۱/۴۴ دقیقه همبستگی آن با اکثر ویژگی‌های زودپافت خاک (ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری، درصد رس، و شن) در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین درصد سیلت نیز از این زمان به بعد با میانگین سرعت نفوذ در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. تنها پارامتری که با میانگین سرعت نفوذ همبستگی معنی‌داری ندارد درصد رطوبت خاک می‌باشد که درباره آن بحث خواهد شد.

جدول ۲- ضرایب همبستگی سرعت نفوذ نهایی و لحظه‌ای آب با ویژگی‌های زودپافت خاک

سرعت نفوذ لحظه‌ای در زمان (min)								ویژگی‌های زودپافت خاک
نهایی	۹۷/۶۷	۴۸/۷۴	۴۰/۹۷	۳۱/۲۷	۲۱/۴۴	۱۱/۸۷	۳/۶۲	
ماده آلی (/)	۰/۸۶۲**	۰/۸۲۳**	۰/۸۱۹**	۰/۸۵۸**	۰/۸۷۳**	۰/۸۸۵**	۰/۸۲۰**	۰/۵۶۹*
جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	۰/۸۵۲**	۰/۸۵۰**	۰/۸۳۵**	۰/۸۵۵**	۰/۷۸۸**	۰/۶۶۴**	۰/۵۲۳*	۰/۳۹۲ ^{ns}
درصد رطوبت وزنی	-۰/۳۹۳ ^{ns}	-۰/۵۰۰ ^{ns}	-۰/۴۸۶ ^{ns}	-۰/۵۴۳ ^{ns}	-۰/۴۷۵ ^{ns}	-۰/۳۶۱ ^{ns}	-۰/۳۲۸ ^{ns}	-۰/۲۳۸ ^{ns}
درصد رس	-۰/۷۷۰**	-۰/۸۱۵**	-۰/۸۰۳**	-۰/۷۸۶**	-۰/۷۳۸**	-۰/۶۴۹**	-۰/۵۰۳ ^{ns}	-۰/۵۱۱ ^{ns}
درصد سیلت	-۰/۶۶۰**	-۰/۵۳۴*	-۰/۵۱۸*	-۰/۵۵۴*	-۰/۵۱۹*	-۰/۴۹۵ ^{ns}	-۰/۴۶۲ ^{ns}	-۰/۳۴۶ ^{ns}
درصد شن	۰/۸۱۲**	۰/۷۴۰**	۰/۷۲۴**	۰/۷۴۲**	۰/۶۹۶**	۰/۶۴۰*	۰/۵۵۲*	۰/۴۷۲ ^{ns}

** : معنی دار در سطح یک درصد، * : معنی دار در سطح پنج درصد، ns : فاقد تفاوت معنی دار

روابط رگرسیونی میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک به همراه آماره‌های RMSE و R² در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- روابط رگرسیونی و مقادیر RMSE و R² بین مقادیر اندازه‌گیری شده و معادله رگرسیونی میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی

زمان (دقیقه)	معادله رگرسیونی	RMSE	R ²	ME
۳/۶۲	Y = 0.339 + 0.193 OM	۰/۰۳۱	۰/۳۲*	۰/۰۰۰۲
۱۱/۸۷	Y = 0.137 + 0.178 OM	۰/۰۱۴	۰/۶۷**	-۰/۰۰۰۴
۲۱/۴۴	Y = 0.107 + 0.158 OM	۰/۰۰۹	۰/۷۸**	۰/۰۰۰۴
۳۱/۲۷	Y = -1.572 + 0.102OM + 1.42 Bd	۰/۰۰۶	۰/۸۶**	-۰/۰۰۰۳
۴۰/۹۷	Y = -1.895 + 0.08 OM + 1.691 Bd	۰/۰۰۵	۰/۹۱**	-۰/۰۰۱
۴۸/۷۴	Y = -1.732 + 1.552 Bd + 0.067OM	۰/۰۰۶	۰/۸۵**	۰/۰۰۰۸
۹۷/۶۷	Y = -1.809 + 1.615 Bd + 0.066 OM	۰/۰۰۵	۰/۸۷**	۰/۰۰۰۱
نهایی	Y = -1.373 + 0.08 OM + 1.108 Bd + 0.003 Sand	۰/۰۰۸	۰/۹۴**	-۰/۰۰۲۸

** : معنی دار در سطح یک درصد، * : معنی دار در سطح پنج درصد

Y: سرعت نفوذ (cmmin⁻¹), OM: درصد ماده آلی، Bd: جرم مخصوص ظاهری (gcm⁻³), Sand: درصد شن

با توجه به مقادیر RMSE و R² که در جدول ۳ ارائه شده است، مشاهده می‌شود که میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای به دست آمده با استفاده از توابع انتقالی از زمان ۲۱/۴۴ دقیقه به بعد دارای R² بالای ۸۵ درصد و مقادیر RMSE نیز کمتر از ۰/۰۰۹ می‌باشد. به عبارت دیگر به کمک ویژگی‌های زودپافت خاک ۸۵ تا ۹۴ درصد از تغییرات میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای قابل پیش‌بینی است و خطای برآورد میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای نیز پایین است. مطابق جدول ۳، بیشترین مقدار R² (۰/۹۴) برای سرعت نفوذ نهایی آب در خاک به دست آمده است. با توجه به مقادیر ME مشاهده می‌شود که خطای برآورد مدل‌های رگرسیونی نیز بسیار پایین است و در بعضی زمان‌ها مدل‌های ارائه شده بیش‌برآورد و در بعضی دیگر کم‌برآورد می‌باشند و به طور کلی با گذشت روند مشخصی ندارند.

بحث

با توجه به نتایج مشاهده شد که ویژگی‌هایی که اندازه‌گیری آنها راحت و کم هزینه است با سرعت نفوذ دارای همبستگی بالایی بودند. از مهم‌ترین این ویژگی‌ها می‌توان به درصد ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری و درصد شن و رس اشاره نمود. یکی از

عوامل موثر بر سرعت نفوذ به ویژه در ابتدای زمان نفوذ، رطوبت خاک است (۴) و همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود همبستگی بین سرعت نفوذ آب در خاک و رطوبت اولیه منفی است ولی این همبستگی معنی‌دار نیست. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که مقادیر رطوبت خاک در هنگام اندازه‌گیری نفوذ در دو کاربری مرتع و کشاورزی بسیار کم و نزدیک به خاک هوا خشک بود و تنها خاک‌های کاربری باغ دارای مقداری رطوبت بودند. بنابراین با اینکه همبستگی منفی بین درصد رطوبت و سرعت نفوذ در تمامی زمان‌های مورد بررسی مشاهده گردید، ولی چون دامنه رطوبت در اکثر خاک‌های مورد مطالعه کم بود و از سوی دیگر تعداد خاک‌ها نیز کم بود، این همبستگی معنی‌دار نشده است.

همبستگی بین درصد ماده آلی و شن با میانگین سرعت نفوذ در زمان‌های مختلف مثبت و معنی‌دار بود. ماده آلی یکی از عوامل پیوندی و مهم در تشکیل خاکدانه‌ها و ساختمان خاک است. بنابراین با افزایش ماده آلی، تشکیل منافذ بین خاکدانه‌ای در نتیجه بهبود ساختمان خاک و تشکیل خاکدانه‌ها بیشتر شده و سرعت نفوذ آب در خاک افزایش می‌یابد، که چنین روندی در این تحقیق نیز مشاهده شد. قربانی دشتکی و همایی (۱۳۸۶) با اندازه‌گیری نفوذ تجمعی در سه کاربری مرتع، آیش و گندم‌زار دریافتند که مقادیر نفوذ تجمعی در کاربری مرتع بیشتر از دو کاربری دیگر بود، آنها دلیل این امر را به بیشتر بودن ماده آلی در اراضی مرتعی در مقایسه با دو کاربری دیگر نسبت دادند. نتایج جدول ۱ نیز بیانگر ماده آلی بیشتر در کاربری مرتع نسبت به دو کاربری دیگر در این تحقیق است. وجود ماده آلی بالا در مراتع و شرایط مدیریتی حاکم بر آن موجب تکوین ساختمان خاک در مراتع نسبت به اراضی آیش و گندم‌زار می‌گردد. لذا نفوذپذیری خاک که بیشتر تحت تاثیر منافذ درشت و پایدار خاک است در مراتع بیشتر از اراضی آیش و گندم‌زار است (۲۰).

در بین اجزاء معدنی خاک، ذرات شن درشت‌ترین ذرات بوده و هرچه ذرات شن بیشتر باشند سرعت حرکت آب در بین ذرات خاک و سرعت نفوذ آب در خاک نیز افزایش می‌یابد. وجود همبستگی مثبت بین ذرات شن و میانگین سرعت نفوذ آب در خاک در این تحقیق نشان دهنده این موضوع می‌باشد. بر عکس ذرات شن، ذرات رس دارای همبستگی معنی‌داری با میانگین سرعت نفوذ بودند که وجود رس بالا در خاک به علت خاصیت جذب بالای آب و تشکیل منافذ ریز سبب کاهش سرعت حرکت و سرعت نفوذ آب در خاک می‌شوند. شارور و همکاران (۲۰۰۲) عنوان کرد که ساختمان متراکم خاک در اراضی آیش موجب می‌شود که نفوذپذیری خاک بیشتر متاثر از منافذ ریز ناشی از فراوانی نسی ذرات خاک باشد. بنابراین قابلیت نفوذ آب به خاک در این اراضی کمتر از مراتع و گندم‌زارهاست. با توجه به بیشتر بودن ذرات شنی و بافت درشت خاک‌های مورد مطالعه در این تحقیق نتایج نیز نشان دهنده‌ی تاثیر ذرات معدنی خاک به ویژه ذرات شن بر میانگین سرعت نفوذ آب در خاک است، که علاوه بر وجود همبستگی بین ذرات معدنی و میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای، درصد ذرات شن به عنوان یکی از پارامترهای مهم در معادله سرعت نفوذ نهایی آب در خاک لحاظ شده است.

نتایج حاصل از معادلات رگرسیونی در پیش‌بینی میانگین سرعت نفوذ آب در خاک نشان می‌دهد که این معادلات در اکثر مواقع قادر به برآورد میانگین سرعت نفوذ آب در خاک با دقت قابل قبولی می‌باشند. مطابق جدول ۳ از آغاز نفوذ تا زمان ۲۱/۴۴ دقیقه، با وجود اینکه بین میانگین سرعت نفوذ برآورد شده و اندازه‌گیری شده همبستگی معنی‌داری وجود داشتند، اما از ضریب تبیین (۰/۳۲-۰/۷۸) کمتر و RMSE (۰/۰۰۹-۰/۳۱) بیشتری برخوردار بودند. اما از این زمان به بعد مقادیر R^2 افزایش و RMSE کاهش یافته است و این مدل‌ها توانسته‌اند با دقت بسیار خوبی میانگین سرعت نفوذ را برآورد نمایند، به طوری که مقدار R^2 برای سرعت نفوذ نهایی به ۰/۹۴ افزایش یافته است. پرچمی عراقی و همکاران (۱۳۸۹) نفوذ تجمعی آب در خاک را در ۲۱۰ خاک آهکی از زمان ۵ تا ۲۷۰ دقیقه با استفاده از توابع انتقالی و به کمک متغیرهای درصد شن، رس، تخلخل، انحراف معیار و میانگین هندسی قطر ذرات، کربن آلی، رطوبت نقاط ظرفیت زراعیو پژمردگی دائم برآورد نمودند و نتیجه گرفتند که توابع پی‌ریزی شده مقادیر نفوذ تجمعی را کم‌برآورد نموده‌اند. همچنین با گذشت زمان مقدار میانگین مربعات خطا افزایش یافت و ضریب کارایی مدل در تمامی توابع مثبت و با گذشت زمان دارای روند افزایشی بود.

علاوه بر مدل‌های تجربی نفوذ آب در خاک (مدل‌های فیلپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا) با مقادیر اندازه‌گیری شده سرعت نفوذ آب در خاک برازش داده شد و پارامترهای آنها تعیین گردید. سپس سعی شد که ضرایب این مدل‌های تجربی نیز به کمک توابع انتقالی تخمین زده شود. اما هیچ گونه همبستگی معنی‌داری بین

ضرایب معادلات تجربی و ویژگی‌های زودیافت خاک مشاهده نشد. به نظر می‌رسد دلیل این امر احتمالاً دامنه بسیار کم ضرایب مدل‌های مذکور در خاک‌های مورد مطالعه باشد (داده‌ها در اینجا ارائه نشده‌اند).

جلالی و همایی (۱۳۹۰) هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را با استفاده از توزیع اندازه ذرات، رطوبت اشباع، هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک، درصد مواد آلی، آهک، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی و به روش K -نزدیک‌ترین همسایه تخمین زدند و عنوان کردند که روش مذکور توانمندی قابل قبولی در تخمین هدایت هیدرولیکی خاک داشته و استفاده از آن برای پیش-بینی سایر ویژگی‌های خاک پیشنهاد نمودند. البته ضریب همبستگی بین مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده ($r = 0/8$)، در تحقیق جلالی و همایی (۱۳۹۰) کمتر از تحقیق حاضر بود. علاوه بر این مقادیر RMSE و ME نیز بسیار بالاتر از این پژوهش بود (۲).

قربانی دشتکی و همکاران (۱۳۸۸a) با استفاده از ویژگی‌های زودیافت خاک شامل؛ رطوبت اولیه خاک، جرم مخصوص ظاهری، توزیع اندازه ذرات معدنی خاک، ماده آلی، درصد سنگریزه، مقدار آهک، رطوبت ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم و به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی پارامترهای نفوذ آب به خاک را برای دو لایه از خاک‌های اریدی سول، اینسپتی سول، انتی-سول و مالی سول واقع در استان‌های اردبیل، زنجان، فارس، اصفهان و بوشهر برآورد نمودند و دریافتند که شبکه‌های طراحی شده برای مدل دو پارامتری فیلیپ بهترین برآورد از نفوذ تجمعی را دارا بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک با ویژگی‌های زودیافت خاک همبستگی معنی‌داری داشتند و دقت معادلات رگرسونی در تخمین میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای با گذشت زمان افزایش یافت، به طوری-که بالاترین مقدار ضریب تبیین (R^2) برای سرعت نهایی نفوذ آب در خاک‌های مورد مطالعه به دست آمد. اما هیچ گونه همبستگی معنی‌داری بین ضرایب معادلات تجربی (مدل‌های فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا) و ویژگی‌های زودیافت خاک مشاهده نشد علاوه بر این دقت مدل‌های رگرسیونی ارائه شده در این تحقیق برای برآورد میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای بیشتر از مدل‌هایی است که توسط پرچمی عراقی و همکاران (۱۳۸۹) و قربانی دشتکی و همایی (۱۳۸۶) و قربانی دشتکی و همکاران (۱۳۸۸a، ۱۳۸۸b) برای برآورد نفوذ تجمعی آب در خاک ارائه نمودند. با توجه به هزینه و زمان کم در اشتقاق توابع انتقالی، استفاده از آنها برای تخمین میانگین سرعت نفوذ لحظه‌ای و نهایی آب در خاک توصیه می‌شود.

منابع

۱. پرچمی عراقی، ف.، میرلطیفی، س.م.، قربانی دشتکی، ش. و مهدیان، م.ح. ۱۳۸۹. برآورد نفوذ تجمعی آب به خاک با استفاده از توابع انتقالی در خاک‌های آهکی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۷(۳): ۲۵-۴۴.
۲. جلالی، و.ر. و همایی، م. ۱۳۹۰. ارائه مدلی غیرپارامتریک برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از روش K -نزدیک-ترین همسایه. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵(۲): ۳۵۵-۳۴۷.
۳. خداوردیلو، ح. و همایی، م. ۱۳۸۱. اشتقاق توابع انتقالی خاک به منظور برآورد منحنی مشخصه رطوبتی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۳(۱۰): ۳۵-۴۶.
۴. رفاهی، ح. ۱۳۷۸. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۵۵۱ ص.
۵. فرخیان فیروزی، ا. و همایی، م. ۱۳۸۱. اشتقاق توابع انتقالی خاک‌های گچی به منظور برآورد نقطه‌ای منحنی رطوبتی. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران. رشت، ایران.
۶. قربانی دشتکی، ش. همایی، م. و مهدیان، م.ح. ۱۳۸۸a. برآورد پارامترهای نفوذ آب به خاک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۳(۱): ۱۸۵-۱۹۸.
۷. قربانی دشتکی، ش. همایی، م. و مهدیان، م.ح. ۱۳۸۸b. برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک با استفاده از توابع انتقالی. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران. رشت، ایران.

۸. قربانی دشتکی، ش. و همایی، م. ۱۳۸۶. برآورد پارامترهای برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک با استفاده از توابع انتقالی. ۱۳۸۶. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱(۱): ۲۱-۳۹.
۹. مطلبی، ا.، همایی، م.، زارعی، ق. و محمودی، ش. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر آهک بر ویژگی‌های رطوبتی خاک‌های سری گرمسار با استفاده از توابع انتقالی. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۴(۳): ۴۲۶-۴۳۹.
10. Bouma, J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Adv. Soil Sci.* 9: 177-213.
11. Jarvis, N.J., Zavattaro, L., Rajkai, K., Reynolds, W.D., Olsen, P.A., McGechan, M., Mecke, M., Mohanty, B., Leeds-Harrison, P.B., and Jacques, D. 2002. Indirect estimation of near-saturated hydraulic conductivity from readily available soil information. *Geoderma*, 108: 1-17.
12. Lassabatere, L., Angulo-Jaramillo, R., Soria Ugalde, J.M., Cuenca, R., Braud, I., and Haverkamp, R. 2006. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments-Best. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 521-532.
13. Machiwal, D., Jha, M.K. and Mal, B.C. 2006. Modelling Infiltration and quantifying Spatial Soil Variability in a Wasteland of Kharagpur, India. *Biosystems Engineering*, 95: 4. 569-582.
14. Mukheibir, P. 2008. Water resources management strategies for adaptation to climate-induced impacts in South Africa. *Water Resour Manage.* 22: 1259-1276. Argyrokastritis, I. and Kerkides, P. 2003. A note to the variable sorptivity infiltration equation. *Water Resour. Manage.* 17: 133-145.
15. Salchow, E., Lal, R., Fausey, N.R., and Ward, A. 1996. Pedotransfer functions for variable alluvial soils in southern Ohio. *Geoderma*. 73: 165-181.
16. Shaver, T.M., Peterson, G.A., Ahuja, L.R., Westfall, D.G., Sherrod, L.A., and Dun, G. 2002. Surface soil physical properties after twelve years of dryland no-till management. *Soil Sci. Soc. Of Am. J.*, 66: 1296-1303.
17. Turner, E.R. 2006. Comparison of infiltration equations and their field validation with rainfall simulation. M.Sc. Thesis, University of Maryland, USA, 202p.
18. Weiler, M. 2005. An infiltration model based on flow variability in macropores development, sensitivity analysis and applications. *J. Hydrol.* 310: 294-315.
19. Wosten, J.H.M., Pachepsky, Y.A., and Rawls, H.T. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *J. Hydrol.* 251: 123-150.
20. Wuest, S.B., Williams, J.D., and Gollany, H.T. 2006. Pedotransfer functions on ponded infiltration for seven semi-arid loess soils. *J. of Soil and Water Cons.*, 61: 218-223.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.