مجله تحقیقات آب و خاک ایران (۴۰) ۱، ۱۳۸۸ (۴۲-۳۵)

تعیین حداقل طول ستون خاک برای تعیین تابع ضریب پخشیدگی هیدرولیکی به روشی ساده

علی شعبانی*[۱] و علیرضا سپاسخواه[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد و [۲]استاد بخش آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

چکیده

بررسی حرکت آب و املاح در خاک نیازمند اطلاعات دقیق از ویژگی های هیدرولیکی خاک می‌باشد. یکی از خصوصیات هیدرولیکی خاک ضریب پخشیدگی هیدرولیکی در حالت غیر اشباع است. یکی از روشهای تعیین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک روش ساده ای است که در آن نیازی به اندازه گیری توزیع رطوبت در طول ستون خاک نیست و تنها با اندازه گیری توام فاصله جبهه نفوذ افقی از ابتدای ستون خاک، نفوذ تجمعی و عکس شدت نفوذ لحظه ای، می توان ضریب پخشیدگی هیدرولیکی را در مقادیر مختلف رطوبت خاک بدست آورد. اما در این روش طول ستون خاک که برای تعیین تابع ضریب پخشیدگی هیدرولیکی بکار می‌رود بر صحت نتایج مؤثر می‌باشد. در پژوهش حاضر بر اساس آزمایش نفوذ افقی یک بعدی آب در خاک حداقل طول ستون خاک لازم برای تعیین معادلات ضریب پخشیدگی هیدرولیکی نسبت به رطوبت حجمی برای سه بافت مختلف خاک سبک، متوسط و سنگین با استفاده از روش ساده بدست آمده است. بر این اساس مشخص شد که هر چه بافت خاک سبک تر باشد طول ستون خاک باید بیشتر شود بطوریکه برای خاکهای سنگین حداقل طول ۸ سانتی متر، خاک های متوسط ۱۵ سانتی متر و برای خاکهای سبک باید از ۶۰ سانتی متر بزرگتر باشد. مقادیر میانگین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی در رطوبتهای مختلف اولیه برای خاکهای مختلف در شرایط نفوذ آب و تبخیر آب ارائه گردید. میانگین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک مانند ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک در سه نوع خاک به ترتیب از خاک سبک به خاک سنگین کاهش می‌یابد.

واژه های کلیدی: نفوذ تجمعی افقی، شدت نفوذ افقی، ضریب پخشیدگی هیدرولیکی، جبهه نفوذ افقی

مقدمه

با توسعه امور مدیریت آب خاک و تلاش در جهت به حداقل رساندن آلودگی آبهای زیر زمینی از مواد شیمیایی بکار رفته، تعیین شدت نفوذ آب در خاک و توزیع مجدد آن بسیار با اهمیت است. حل معادله های انتقال آب در خاک و جریان در ناحیه ریشه جهت پیش بینی کمی رفتار هیدرودینامیکی سیستم آب و خاک نیازمند اطلاعات کامل و درست از خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌باشد. یکی از این خصوصیات هیدرولیکی ضریب پخشیدگی هیدرولیکی در خاک است. روش های آزمایشگاهی و مزرعه ای زیادی برای تعیین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی در خاک (D) ارائه شده که از جمله روش Bruce and Klute (۱۹۵۶)، روش Meyer and Warrick (۱۹۹۰)، روش Gardner (۱۹۵۶)، روش Ashcraft et al. (۱۹۶۲)، روش Baruah and Hasegava (۲۰۰۱)، روش Hillel et al. (۱۹۷۲) و Kashefipour and Sepaskhah (۱۹۹۵) می باشد که اکثر این روشها بر اساس روش Bruce and Klute (۱۹۵۶) استوار است. در روش Bruce and Klute (۱۹۵۶) توزیع رطوبت حجمی در طول ستون خاک به منظور تخمین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی اندازه گیری می‌شود. یکی از مشکلات این روش، اندازه گیری مقدار رطوبت در ستون خاک و اندازه گیری شیب منحنی توزیع رطوبتی در هنگام محاسبه است. Wang et al. (۲۰۰۴) روش ساده‌ای ارائه کردند که در آن بر خلاف روش Bruce and Klute (۱۹۵۶) نیاز به اندازه گیری توزیع رطوبت در طول ستون خاک نیست. در این روش با استفاده از معادلات ارائه شده تنها ازطریق اندازه‌گیری توام فاصله جبهه نفوذ افقی از ابتدای ستون خاک، نفوذ تجمعی و عکس شدت نفوذ لحظه ای می‌توان ضریب پخشیدگی هیدرولیکی را در مقادیر مختلف رطوبت حجمی خاک بدست آورد. اما در روش ارائه شده توسط Wang et al. (۲۰۰۴) طول ستون خاک که برای تعیین تابع ضریب پخشیدگی هیدرولیکی بکار می‌رود بر صحت نتایج مؤثر می‌باشد که محققین مذکور این مساله را فقط برای یک بافت خاک مورد بررسی قرار دادند و حداقل طول ستون خاک لازم برای این روش را ۸ سانتی متر گزارش نمودند. بنابراین در این پژوهش بجای یک بافت، سه بافت خاک مختلف سبک، متوسط و سنگین مورد آزمایش قرار گرفت. حداقل طول ستون خاک لازم جهت استفاده از روش Wang et al. (۲۰۰۴) برای تعیین معادلات ضریب پخشیدگی

* پست الکترونیک مکاتبه کننده: Shabani&ali@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

هیدرولیکی نسبت به رطوبت حجمی برای بافت های مختلف محاسبه گردید.

مواد و روش ها

اصول نظری

اصول نظری این آزمایش بر گرفته از روش ارائه شده توسط Wang et al. (۲۰۰۴) می‌باشد. پخشیدگی هیدرولیکی در خاک را می‌توان به فرم تابع توانی از رطوبت شبیه معادله Brooks and Corey (۱۹۶۴) بصورت زیر بیان کرد:

$$D = D_s\left(\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r}\right)^L \qquad (۱)$$

که در آن:

D:ضریب پخشیدگی هیدرولیکی در خاک (cm^2min^{-1})

D_s: ضریب پخشیدگی هیدرولیکی در خاک در حالت اشباع (cm^2min^{-1})

θ: رطوبت حجمی (cm^3cm^{-3})

θ_r: رطوبت باقیمانده(cm^3cm^{-3})

θ_s: رطوبت حالت اشباع(cm^3cm^{-3})

L: پارامتر معادله است

بر اساس تحلیل های Wang et al. (۲۰۰۴) D_s و L به صورت زیر بیان می‌شود:

$$D_s = \frac{\frac{a}{(\theta_s-\theta_i)}}{\left(\frac{\theta_s-\theta_i}{b}-1\right)} \qquad (۲)$$

$$L = \left(\frac{1}{\left(\frac{\theta_s-\theta_r}{b}-1\right)}\right)-1 \qquad (۳)$$

که در آنها a و b از معادله های زیر تعیین می شود:

$$i = \frac{a}{x_f} \qquad (۴)$$

$$I = bx_f \qquad (۵)$$

که در آنها:

i: شدت نفوذ لحظه‌ای($cm\ min^{-1}$)

I: مقدار نفوذ تجمعی (cm)

x_f: فاصله جبهه نفوذ از ابتدا ستون خاک (cm) می باشد.

بر اساس اصول نظری ارائه شده توسط Wang et al. (۲۰۰۴) ضرایب a و b از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$a = \frac{K_s h_d}{m-1} \qquad (۶)$$

$$b = (\theta_s-\theta_i)\left[\frac{1}{1+\frac{n}{m-1}}\right] \qquad (۷)$$

که در آنها:

K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع ($cm\ min^{-1}$)

h_d: مکش ورود هوا (cm آب)

h: مکش ماتریک خاک (cm آب)

m: نمای معادله ضریب هدایت هیدرولیکی Brooks and Corey (۱۹۶۴) نسبت به مکش آب خاک (معادله ۸)

$$K(h) = K_s\left(\frac{h_d}{h}\right)^m \qquad (۸)$$

h: مکش ماتریک خاک (cm آب)

n: نمای معادله منحنی مشخصه آب خاک (معادله ۹) در مدل Brooks and Corey (۱۹۶۴) می‌باشد.

$$\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r} = \left(\frac{h_d}{h}\right)^n \qquad (۹)$$

روش آزمایش

برای انجام این آزمایش از یک لوله شفاف از جنس فایبرگلاس با قطر ۷/۵ سانتی متر، طول ۶۰ سانتی متر و ضخامت دیواره ۴ میلی متر استفاده شد. در یک طرف این لوله تور سیمی به شکل دایره در فاصله ۱ سانتی‌متری از ابتدای لوله نصب شد تا فضای خالی قبل از خاک جهت ایجاد شرایط مرزی اشباع در ابتدای ستون خاک بوجود آید. ضخامت این فضای خالی برابر ۱ سانتی متر است و ابتدای لوله با یک صفحه مربع شکل از جنس پلکسی گلاس به ابعاد ۸×۸ سانتی‌متر مربع بسته شد. در روی این صفحه دو لوله کوچک شیشه‌ای به قطر داخلی ۷ میلی متر نصب شد که یکی جهت ورود آب و دیگری جهت خروج هوای داخل محفظه می‌باشد. به انتهای هر یک از لوله های شیشه‌ای یک لوله پلاستیکی انعطاف پذیر متصل شد. از این دو یکی که مربوط به ورود آب می‌باشد به استوانه ظرف ماریوت متصل شد (شکل ۱). از استوانه مدرج به عنوان ظرف ماریوت استفاده شد تا مقدار آب ورودی به خاک قابل اندازه گیری باشد. جهت ایجاد حالت مکش در ورودی خاک، دهانه ورودی آب به ستون خاک به اندازه دو سانتی متر بالاتر از لوله ورود هوا در لوله ظرف ماریوت قرار داده شد (شکل۱). رطوبت اولیه خاک با استفاده از خشک کردن مقداری از نمونه در آون بدست آمد. مقادیر آن در

Archive of SID

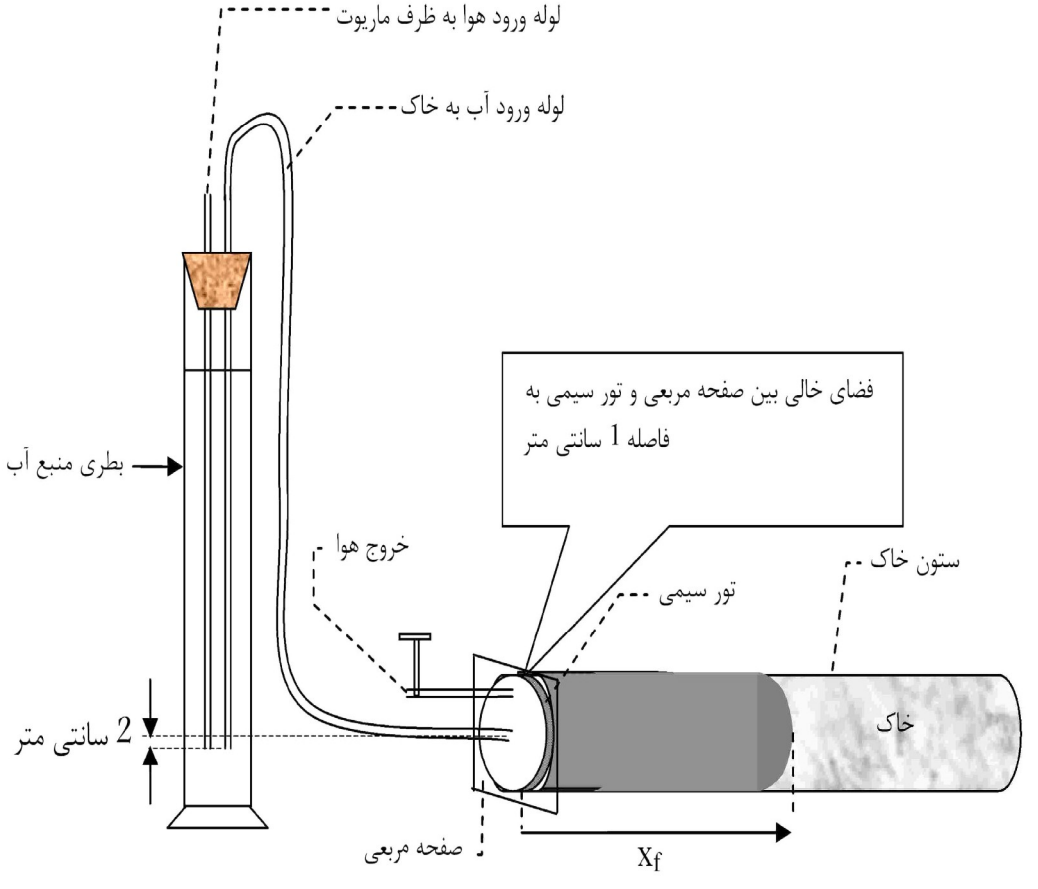
www.SID.ir

جدول ۱ آمده است. آزمایش با سه نوع بافت خاک مختلف انجام شد که به شرح زیر می‌باشد:

۱- خاک با بافت سنگین، خاک سری دانشکده از سری خاکهای دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز که در منطقه باجگاه در شمال شرقی شهر شیراز قرار دارد. ۲- خاک با بافت متوسط، خاک سری کوی اساتید واقع در همان منطقه قبلی. ۳- خاک با بافت سبک، خاک ایستگاه تحقیقاتی و پخش سیلاب کوثر واقع در منطقه گربایگان از توابع شهرستان فسا در استان فارس.

مشخصات هر یک از خاک ها بطور خلاصه در جدول ۱ آمده است.

جهت فراهم کردن شرایط نزدیک به شرایط طبیعی خاک، لوله با خاک الک شده بوسیله الک با اندازه سوراخ های دو میلی متر پر شد. سعی شد خاکهای برداشته شده از مزرعه تحت فشار و کوبیدگی قرار نگیرد تا خاکدانه های آن تا حدودی سالم باقی بماند. همچنین پر کردن لوله با خاک به صورت لایه لایه توسط قیف و لوله‌ای پلاستیکی که به انتهای لوله قیف وصل شده انجام شد تا یکنواختی تا حدودی در طول لوله ایجاد شود. هر بار پس از اضافه کردن هر لایه خاک با ضربه زدن به انتهای لوله سعی شده تا خاک متراکم گردد. انتهای لوله با پلاستیک به نحوی بسته شد که مانع از خروج خاک وجابجایی خاک در لوله شود و از طرفی از خروج هوا در حین نفوذ آب در خاک در طول آزمایش جلوگیری نکند. جهت برقراری جریان آب، از طریق لوله ورود هوا در ظرف ماریوت، هوا وارد ظرف شده و در اثر فشار اندک ناشی از ورود هوا، آب به لوله شفاف محتوی خاک وارد شده و هوایی که بین تور سیمی و صفحه مربعی وجود داشته از طریق لوله خروج هوا که در ابتدای لوله شفاف نصب گردید خارج شد. پس از خروج هوا این لوله محکم بسته شده تا مانع از خروج آب یا ورود هوا شود. ویژگی های شیمیایی آب بکار رفته در جدول ۲ آمده است. با توجه به مقادیر موجود در جدول ۲ خصوصیات شیمیایی آب از نظر شوری و سدیمی بودن سبب پراکندگی ذرات خاک و بالتبع تغییر ساختمان و خصوصیات فیزیکی خاک نمی‌شود.



شکل ۱- نمای کلی از وسایل آزمایش

www.SID.ir

جدول ۱- مشخصات خاکهای مورد استفاده در آزمایش

اسم خاک	بافت خاک	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	چگالی ظاهری * ($g\ cm^{-3}$)	رطوبت حجمی اولیه (cm^3cm^{-3})	رطوبت حجمی اشباع (cm^3cm^{-3})
منطقه گربایگان	لوم شنی	۷۱	۱۹	۱۰	۱/۵۷	۰/۰۱۲	۰/۳۷
سری کوی اساتید	لوم	۴۰	۴۷	۱۳	۱/۲۰	۰/۰۱۰	۰/۵۲
سری دانشکده	لوم رسی	۳۵	۳۵	۳۰	۱/۱۸	۰/۰۴۱	۰/۵۴

* چگالی ظاهری ارائه شده مربوط به خاک داخل لوله می باشد.

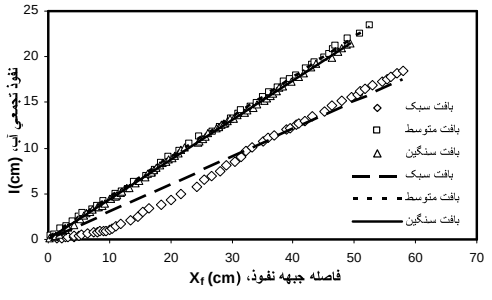
جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب بکار رفته در آزمایش.

EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-
		($meq\ l^{-1}$)						
۰/۶	۷/۹۵	۱/۷	۰/۷۶	۰/۰۱۵	۲/۹	۵/۲	۰/۰	۷/۴

اندازه گیری فاصله جبهه نفوذ نسبت به زمان، روی لوله شفاف با کاغذ مدرجی که بر روی آن نصب شد انجام گرفت.در حین آزمایش طول جبهه نفوذ آب در ستون خاک از ابتدای لوله از روی کاغذ مدرج به صورت چشمی مشاهده و نسبت به زمان ثبت شد. همین طور جهت تعیین مقدار نفوذ تجمعی آب و شدت نفوذ لحظه‌ای، میزان آب خروجی از استوانه مدرج نسبت به زمان قرائت گردید. بعد از پایان آزمایش کل ستون خاک در آب قرار داده شد تا اشباع گردد. مجموع لوله و خاک اشباع، توزین گردید و با مشخص بودن وزن خاک خشک، وزن لوله شفاف و حجم داخلی لوله درصد رطوبت اشباع خاک بدست آمد. چون نتایج حاصل از آزمایش در سه نوع بافت خاک روند تغییرات منطقی را نشان داده است لذا از بکار بردن تکرار خودداری گردید.

نتایج و بحث

برای بدست آوردن ضریب پخشیدگی هیدرولیکی در خاک غیر اشباع رابطه بین مقدار جبهه نفوذ نسبت به زمان، نفوذ تجمعی و شدت نفوذ لحظه‌ای تعیین گردید. رابطه بین نفوذ تجمعی و جبهه نفوذ در خاکهای سری دانشکده، سری کوی اساتید و خاک منطقه گربایگان در شکل ۲ آمده است. نمودارهای مربوط به نفوذ تجمعی آب نسبت به فاصله جبهه نفوذ دارای R^2 بالاتر از ۰/۹۵ می‌باشد (جدول ۳).



شکل ۲- رابطه بین نفوذ تجمعی و فاصله جبهه نفوذ

جدول ۳- مقادیر شیب رابطه بین نفوذ تجمعی آب و فاصله جبهه نفوذ تا نقطه ورود آب (b) در سه خاک مختلف.

ضریب تعیین	b ($cm\ cm^{-1}$)	بافت خاک
۰/۹۶۶۹*	۰/۳۰۲۹	لوم شنی
۰/۹۹۹۳*	۰/۴۴۴۸	لوم
۰/۹۹۹۵*	۰/۴۳۷	لوم رسی

*: در سطح احتمال ۰/۰۰۱ مقادیر ضریب تعیین معنی دار می باشد.

درصورتیکه b را با استفاده از مقادیر m و n ارائه شده توسط Rawls et al. (۱۹۸۲) و بر اساس معادله ۷ محاسبه شود مقدار آن به ترتیب در خاک‌های لوم شنی، لوم و لوم رسی برابر ۰/۳، ۰/۴۵ و ۰/۴۴ می‌شود که با مقادیر اندازه‌گیری شده همخوانی دارد. مقادیر b اندازه گیری شده توسط Wang et al. (۲۰۰۴) برای خاک‌های شنی، لومی و لوم سیلتی به ترتیب برابر ۰/۲۹، ۰/۳۹ و ۰/۴۲ می‌باشد. تفاوت اندک بین یافته این محققین و پژوهش حاضر (جدول ۳) ناشی از تفاوت بافت خاک و رطوبت های اولیه و اشباع خاک می‌باشد.

همچنین رابطه بین نفوذ لحظه‌ای و عکس فاصله جبهه نفوذ در سه نوع خاک در شکل ۳ نشان داده شده است. مطا بق معادله ۶ مقدار شیب این منحنی (مقادیر a در جدول۴) برابر $\frac{h_d K_s}{m-1}$ می‌باشد که برای خاک سبک بافت بیشترین مقدار می‌باشد. علت این امر می‌تواند بدلیل بالا بودن K_s (معادله ۶) باشد. در عوض در خاکهای سنگین بافت و متوسط که K_s کمتر می‌شود مقدار شیب هم کاهش می‌یابد.

درصورتیکه مقدار a را بر اساس معادله ۶ و با استفاده از مقادیر K_s، h_d و m ارائه شده توسط Rawls et al. (۱۹۸۲) محاسبه شود مقدار a برای سه نوع خاک لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب برابر ۰/۶۱، ۰/۵ و ۰/۱۳ می‌باشد که تفاوت این مقادیر با مقادیر اندازه گیری شده در این پژوهش را می‌توان ناشی از دست خورده بودن خاک بکار رفته دانست چراکه بر اساس معادله ۶ مقدار a به K_s و h_d بستگی دارد که این دو پارامتر به ساختمان خاک وابسته می‌باشد. از آنجاییکه خاک

Archive of SID

www.SID.ir

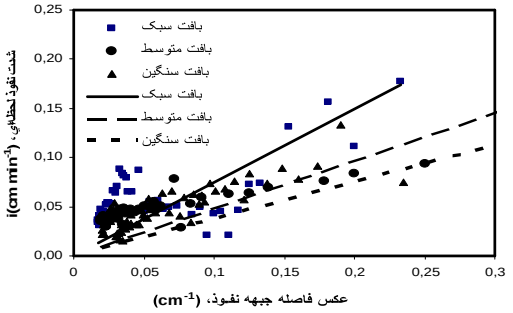
مورد استفاده دست خورده بود مقدار K_s در این خاک‌ها بیشتر از خاک دست نخورده می‌باشد که همین امر سبب بیشتر بودن مقادیر a اندازه‌گیری شده نسبت به محاسبه شده با معادله ۶ به خصوص برای خاک سنگین بافت می‌باشد. مقادیر a اندازه‌گیری شده توسط وانگ و همکاران برای خاک‌های شنی، لومی و لوم سیلتی به ترتیب برابر ۱/۰۳، ۰/۳۸ و ۰/۲۲ می‌باشد. تفاوت بین یافته این محققین و پژوهش حاضر (جدول ۴) ناشی از تفاوت در توزیع اندازه ذرات اولیه، ساختمان خاک و هدایت هیدرولیکی اشباع می‌باشد. اما روند تغییرات در هر دو آزمایش یکسان است.

با استفاده از مقادیر a و b موجود در جداول ۳ و ۴ و رطوبت حجمی اشباع و رطوبت حجمی اولیه که در جدول ۱ آمده است و با استفاده از معادلات ۲ و ۳، مقادیر ضریب پخشیدگی هیدرولیکی اشباع (D_s) و نمای معادله پخشیدگی هیدرولیکی (L) مورد نیاز در معادله ۱ جهت تعیین تابع ضریب پخشیدگی محاسبه شده و در جدول ۵ آمده است. مقدار D_s به ترتیب از خاک سبک به خاک سنگین کاهش می‌یابد و L از خاک سبک به سنگین افزایش می‌یابد که با یافته های وانگ و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. تفاوت مقدار D_s بین خاک سبک با خاک متوسط نسبت به تفاوت بین خاک متوسط با خاک سنگین زیاد است که می‌تواند به دلیل تاثیر پذیری بیشتر آن از پارامتر a باشد که بر اساس معادله ۶ تحت تاثیر ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع بالای مربوط به خاک سبک می‌باشد. با استفاده از معادله ۱ تابع ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک نسبت به درجه اشباع نسبی $s_e = \left(\frac{\theta - \theta_i}{\theta_s - \theta_i}\right)$ محاسبه شده و در شکل ۴ نشان داده شده است. چون مقدار ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک در رطوبتهای پایین کم می‌باشد بنابراین جهت نمایش بهتر تغییرات در این منحنی‌ها مقادیر ضریب پخشیدگی بصورت لگاریتم طبیعی آنها بکار رفته است. با توجه به شکل ۴ مقدار ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک در سه نوع خاک به ترتیب از خاک سبک به خاک سنگین کاهش می‌یابد. همچنین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک اندازه گیری شده در سه نوع بافت خاک با ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک گزارش شده توسط Cox et al. (۱۹۹۴) برای خاک های لوم رسی و لوم شنی و Kool et al. (۱۹۸۵) برای خاک لوم مطابقت دارد (شکل های ۵ الی ۷).

جدول ۴- مقادیر شیب رابطه بین تغییرات نفوذ لحظه‌ای و عکس فاصله جبهه نفوذ (a) در سه خاک مورد آزمایش.

ضریب تعیین	a ($cm^2\ min^{-1}$)	بافت خاک
۰/۷۴*	۰/۷۵	لوم شنی
۰/۷۴۹*	۰/۴۸	لوم
۰/۷۰۰*	۰/۳۷	لوم رسی

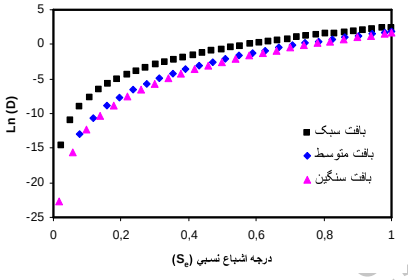
*: در سطح احتمال ۰/۰۰۱ مقادیر ضریب تعیین معنی دار می باشد.



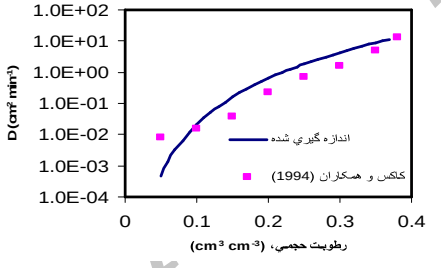
شکل ۳- رابطه بین شدت نفوذ لحظه ای و عکس فاصله جبهه نفوذ

جدول ۵- مقادیر L و D_s محاسبه شده در سه خاک مورد آزمایش.

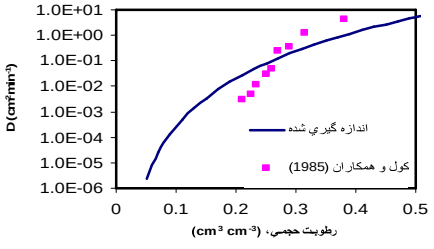
D_s ($cm^2\ min^{-1}$)	L	بافت خاک
۱۱/۵۲	۴/۵	لوم شنی
۶/۴۲	۵/۸۲	لوم
۵/۲۳	۶/۰۵	لوم رسی



شکل ۴- رابطه بین لگاریتم طبیعی ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک نسبت به درجه اشباع نسبی در سه خاک مورد آزمایش.



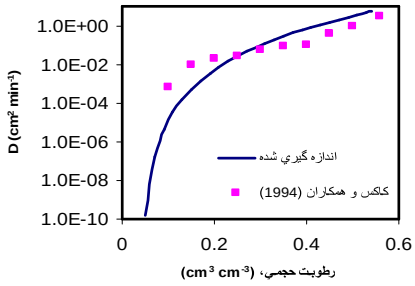
شکل ۵- مقادیر ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک اندازه گیری شده و گزارش شده توسط Cox et al. (۱۹۹۴) نسبت به رطوبت حجمی خاک لوم شنی.



شکل ۶- مقادیر ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک اندازه گیری شده و گزارش شده توسط Kool et al. (۱۹۸۵) نسبت به رطوبت حجمی خاک لوم.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷- مقادیر ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک اندازه گیری شده و گزارش شده توسط Cox et al. (۱۹۹۴) نسبت به رطوبت حجمی خاک لوم رسی.

میانگین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی

با استفاده از معادله ۱۰ و ۱۱ که توسط Crank (۱۹۵۶) به ترتیب برای محاسبه میانگین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک برای نفوذ آب و تبخیر آب از سطح خاک بیان شده می‌توان با مشخص بودن تابع ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک نسبت به رطوبت حجمی مقدار میانگین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک را بین محدوده های مختلفی از رطوبت حجمی اولیه و رطوبت حجمی اشباع بدست آورد.

$$\bar{D} = \frac{1.667}{(\theta_s - \theta_i)^{1.667}} \int_{\theta_i}^{\theta_s} D(\theta)(\theta - \theta_i)^{0.667} d\theta \qquad (۱۰)$$

$$\bar{D} = \frac{1.85}{(\theta_s - \theta_i)^{1.85}} \int_{\theta_i}^{\theta_s} D(\theta)(\theta - \theta_i)^{0.85} d\theta \qquad (۱۱)$$

در این پژوهش با استفاده از معادله ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک نسبت به رطوبت حجمی (معادله ۱) و ضرایب معادله ارائه شده درجدول ۵ و با حل انتگرال رابطه ۱۰ و ۱۱ بازای دو محدوده رطوبت حجمی اولیه و رطوبت حجمی اشباع، متوسط ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک برای سه نوع خاک بدست آمد. نتایج محاسبات به ترتیب برای حالت تبخیر و نفوذ در جدول ۶ بر اساس رطوبت حجمی اولیه مختلف آمده است. همانطور که در جدول ۶ مشخص است متوسط ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک به ترتیب از خاک سبک به خاک سنگین کاهش می‌یابد که مشابه روند تغییرات ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک نسبت به رطوبت حجمی بافتهای مختلف می‌باشد (شکل ۴). همچنین متوسط ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک برای نفوذ آب کمتر از متوسط ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک برای تبخیر آب از سطح خاک می‌باشد که این تفاوت به دلیل ضرایب روابط ۱۰ و ۱۱ می‌باشد که در معادله ۱۰ ضرایب آن کمتر از ضرایب معادله ۱۱ می‌باشد. متوسط ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک برای حالت نفوذ آب با استفاده از رابطه ۱۰ و بر اساس نتایج گزارش شده توسط Cox et al. (۱۹۹۴) و Kool et al. (۱۹۸۵) بازای رطوبتهای حجمی اولیه ۰/۱۵ و ۰/۳۵ که رطوبت های حجمی معمول مزرعه می باشد محاسبه گردید که مقدار آن بترتیب برابر ۳/۱۴ و ۹/۰۱ سانتی متر مربع بر دقیقه برای خاک لوم شنی، ۱/۲۴ و ۳/۶۵ سانتی متر مربع بر دقیقه برای خاک لوم و ۰/۶ و ۱/۰۱ سانتی متر مربع بر دقیقه برای خاک لوم رسی شده است که با نتایج این پژوهش برای خاک های با بافت مشابه که در جدول ۶ آمده در رده یکان عددی تقریبا برابر است. همچنین متوسط ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک برای حالت تبخیر آب از سطح خاک با استفاده از رابطه ۱۱ و بر اساس نتایج گزارش شده توسط همین محققین بازای رطوبتهای حجمی اولیه ۰/۱۵ و ۰/۳۵ محاسبه گردید که مقدار آن بترتیب برابر ۳/۲۸ و ۹/۱۵ سانتی متر مربع بر دقیقه برای خاک لوم شنی، ۱/۳۵ و ۳/۷۱ سانتی متر مربع بر دقیقه برای خاک لوم و ۰/۶۵ و ۱/۰۷ سانتی متر مربع بر دقیقه برای خاک لوم رسی شده است که با نتایج این پژوهش برای خاک های با بافت مشابه که در جدول ۶ آمده در رده یکان عددی تقریبا برابر است.

جدول ۶- میانگین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک ($cm^2\ min^{-1}$) در شرایط نفوذ و تبخیر از سطح خاک در سه خاک مختلف بازای مقادیر مختلف رطوبت اولیه.

رطوبت اولیه ($cm^3 cm^{-3}$)	گربایگان (لوم شنی)		سری کوی استادیدلوم)		سری دانشکده (لوم رسی)	
	نفوذ	تبخیر	نفوذ	تبخیر	نفوذ	تبخیر
۰/۰۵	۳/۴۳	۳/۶۸	۱/۵۴	۱/۶۶	۱/۳۸	۱/۵
۰/۱	۳/۹۵	۴/۲۲	۱/۷۰	۱/۸۳	۱/۵۲	۱/۶۵
۰/۱۵	۴/۶۳	۴/۹	۱/۸۹	۲/۰۳	۱/۶۹	۱/۸۳
۰/۲۰	۵/۵۲	۵/۸	۲/۱۳	۲/۲۸	۱/۹۰	۲/۰۵
۰/۲۵	۶/۷۴	۶/۹۹	۲/۴۴	۲/۵۹	۲/۱۶	۲/۳۱
۰/۳۰	۸/۳۵	۸/۵۳	۲/۸۲	۲/۹۷	۲/۴۹	۲/۶۴
۰/۳۵	۱۰/۴۹	۱۰/۵۵	۳/۳۱	۳/۴۷	۲/۹۲	۳/۰۸
۰/۴۰	----	----	۳/۹۷	۴/۰۹	۳/۴۸	۳/۶
۰/۴۵	----	----	۴/۸۱	۴/۹	۴/۲۰	۴/۲۹
۰/۵۰	----	----	۵/۸۹	۵/۹۳	۵/۱۵	۵/۱۹

حداقل طول ستون خاک

Wang et al. (۲۰۰۴) ضریب پخشیدگی را بازای طول های مختلف فقط برای یک خاک با بافت شنی محاسبه نمودند و حداقل طول ستون خاک لازم برای این روش را ۸ سانتی متر بیان کردند. در این پژوهش با فرض اینکه طول ستون خاک متغییر می باشد برای هر خاک محاسبات جداگانه انجام گردید. یعنی اگر طول کل ستون خاک ۶۰ سانتی متر بوده است محاسبات با استفاده از داده های آزمایش، تا زمانی که فاصله جبهه نفوذ تا ابتدای ستون خاک به ۸، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۵۰ سانتی متر برسد انجام گردید. با تعیین

Archive of SID

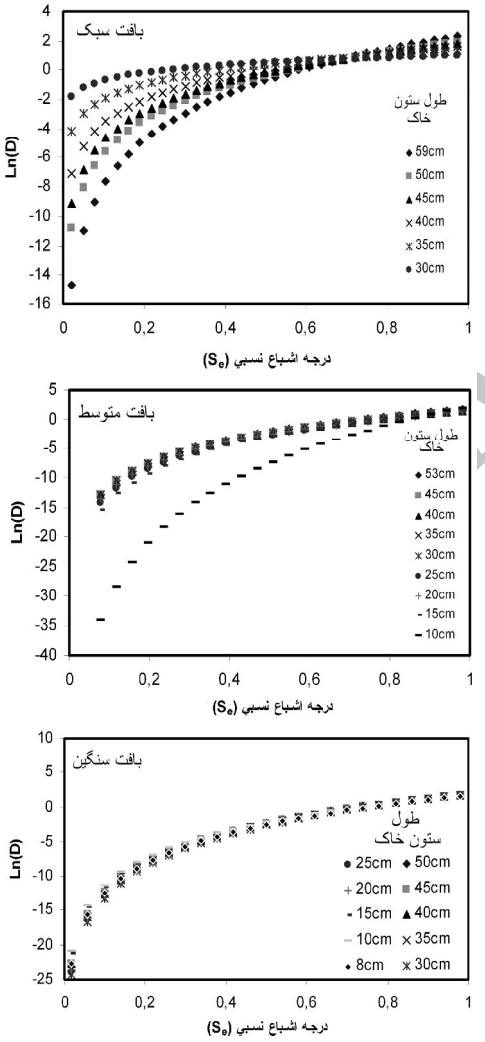
www.SID.ir

پارامترهای مورد نیاز تابع ضریب پخشیدگی (D_s و L) مقدار لگاریتم طبیعی ضریب پخشیدگی نسبت به درجه اشباع نسبی به ازای طول های مختلف برای هریک از خاکها جداگانه رسم گردید. با مقایسه نمودارها حداقل طول ستون خاک مورد نیاز برای اطمینان از درستی نتایج برای هر نوع بافت خاک (سبک، متوسط و سنگین) تعیین گردد. نتایج محاسبات در شکل ۸ ارائه شده است. با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌گردد که در خاک با بافت سنگین سری دانشکده برای همه طولها تا ۸ سانتی متر تابع ضریب پخشیدگی تقریبا یکسان بدست می‌آید و در خاک با بافت متوسط سری کوی اساتید تا طول ۱۵ سانتی متر تابع ضریب پخشیدگی تقریبا یکسان هستند ولی در طول کمتر از ۱۵ سانتی متر تفاوت چشمگیر است. در خاک سبک بافت تمامی طول‌ها دارای جوابهای متفاوت می‌باشند. بر این اساس مقدار ضریب پخشیدگی حاصل در طول‌های مختلف خاک سبک با هم متفاوت می‌باشند. هر چقدر بافت خاک سبک تر باشد اعداد حاصل از آزمایش در طول های کم ستون خاک تفاوت بیشتری با یکدیگر داشته و بنابراین نتایج محاسبات هم متفاوت خواهد بود ولی هرچه طول ستون خاک بزرگتر باشد یا به عبارت دیگر فاصله جبهه نفوذ از ابتدا بیشتر باشد نتایج محاسبات به یک مقدار ثابت منجر خواهد شود. بنابراین هرچه بافت خاک سبک تر باشد باید طول ستون خاک بیشتر در نظر گرفته شود تا جواب حاصل از این روش دقیقتر باشد.

نتیجه گیری

در بررسی حرکت آب در خاک یکی از پارامترهای مورد نیاز برای حل معادلات حرکت آب ضریب پخشیدگی هیدرولیکی است. بر اساس روش ارائه شده توسط Wang et al. (۲۰۰۴) تنها با اندازه گیری مقدار نفوذ تجمعی، شدت نفوذ لحظه‌ای و فاصله جبهه نفوذ می‌توان مقدار ضریب پخشیدگی هیدرولیکی را بدست آورد. آزمایشی برای سه نوع بافت خاک سبک (لوم شنی)، بافت متوسط (لوم) و بافت سنگین (لوم رسی) جهت تعیین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی خاک با این روش انجام شد و معادله ضریب پخشیدگی هیدرولیکی برای این سه نوع خاک بدست آمد. مقادیر ضریب پخشیدگی هیدرولیکی در سه نوع خاک برای خاک سبک بیشترین و برای خاک سنگین کمترین مقدار بوده است. با انجام محاسبات تعیین ضریب پخشیدگی هیدرولیکی برای طول های مختلف ستون خاک در سه نوع خاک بر خلاف نظر Wang et al. (۲۰۰۴) که طول ستون خاک برابر ۸ سانتی متر را برای بافت خاک شنی ارائه کردند مشخص شد که هر چه بافت خاک سبک تر باشد جهت افزایش دقت در محاسبات طول ستون خاک باید بیشتر شود بطوریکه برای خاکهای سنگین حداقل طول ۸ سانتی متر و برای خاک های متوسط ۱۵ سانتی متر کافی می‌باشد ولی برای خاکهای سبک باید از ۶۰ سانتی متر هم بزرگتر باشد.

مقادیر میانگین ضریب پخشیدگی در شرایط نفوذ و تبخیر از سطح خاک با استفاده از روابط Crank (۱۹۵۶) به ازای مقادیر مختلف رطوبت اولیه برای سه نوع خاک دیگر که توسط محققین دیگری گزارش شده بدست آمد. نتایج نشان دادند که میانگین ضریب پخشیدگی از خاک سبک به خاک سنگین کاهش می‌یابد. این مقادیر با روند تغییرات ضریب پخشیدگی هیدرولیکی بافتهای مختلف حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد.



شکل ۸- تغییرات لگاریتم طبیعی ضریب پخشیدگی هیدرولیکی نسبت به درجه اشباع نسبی به ازای طولهای مختلف ستون خاک.

Archive of SID

www.SID.ir

REFERENCES

Ashcraft, G., Marsh, D.D., Evans, D.D. and Boersma, L. (1962). Numerical method for solving the diffusion equation: Horizontal flow in semi-infinite media. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 26, 522-525.

Baruah, T. C. and Hasegava, S. (2001). In- situ measurement of soil evaporation from a volcanic ash soil by TDR technique using soil water diffusivity. *Geoderma.*, 102, 317-328.

Brooks, R.H. and Corey, A.J. (1964). *Hydraulic properties of porous media, Hydrol*. Paper 3, Colo. State Univ. Fort Collins, Co.

Bruce, R.R. and Klute, A. (1956). The measurement of soil diffusivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 20, 458-462.

Cox, C. L., Jones, W. F., Quisenberry, V. L. and Yo, F. (1994). One-dimensional infiltration with moving finite elements and improved soil water diffusivity. *Water Resource Research*, 30 (5), 1431-1438.

Crank, J. (1956). *The mathematics of diffusion.* Oxford Univ. Press, New York.

Gardner, W.R, (1956). Calculation of capillary conductivity from pressure plate outflow data. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 20, 317-320.

Hillel, D., Krentos, V.K. and Stylianou, Y. (1972). Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. *Soil Sci.*, 114, 395-400.

Kashefipour, S. M. and Sepaskhah, A. R. (1995). Determination of unsaturated hydraulic conductivity by internal drainage assuming a uniform soil water profile. *Iran Agric. Res.*, 14, 203-216.

Kool, J. B., Parker, J. C. and van Genuchten, M. Th. (1985). Determining soil hydraulic properties from one-step outflow experiments by parameter estimation: I. theory and numerical studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 1348-1354.

Meyer, J.J. and Warrick, A.W. (1990). Analytical expression of soil water diffusivity derived from horizontal infiltration experiment. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54, 1547-1552.

Rawls, W.J., Barkensiek, D.L. and Saxton, K.E. (1982). Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE.*, 25, 1316-1320

Wang, Q., Shao, M. and Horton, R. (2004). A simple method for estimating water diffusivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68, 713-718.

Archive of SID

www.SID.ir