سومین کارگاه فنی زهکشی
۲۳ مهر ماه ۱۳۸۳

تخمین هدایت آبی اشباع با استفاده از توابع انتقالی[۱]

مریم نوابیان[۲]، عبدالمجید لیاقت[۳]، مهدی همایی[۴]

چکیده

هدایت آبی اشباع از ویژگی‌های بنیادین خاک است که تعیین آن برای نمون‌سازی جریان آب در خاک به ویژه در حالت اشباع بسیار مهم می‌باشد. هر چند روش‌هایی برای اندازه‌گیری مستقیم این ویژگی پیشنهاد شده است، لیکن این روشها همچنان پرهزینه و زمان‌بر می‌باشند. به همین منظور تلاشهایی چند صورت گرفته تا با استفاده از ویژگی‌های زودیافت خاک بتوان این ویژگی را با دقتی قابل قبول تخمین زد. توابع انتقالی یکی از این روشهای غیرمستقیم بوده که قادر است ویژگی‌های دیریافت خاک را از ویژگی‌های زودیافت آن برآورد نماید. هدف از این پژوهش، اشتقاق معادلاتی ساده بود تا بتوان برمبنای آن هدایت آبی اشباع را از ویژگی‌های زودیافت خاک برآورد نمود. به همین منظور، تعداد ۴۵ نمونه خاک با بافت‌های متفاوت از سری خاک‌های کرج انتخاب و هدایت آبی آنها به روش صحرایی نفوذسنج گلف تعیین شد. پارامترهای زودیافت شامل جرم ویژهٔ ظاهری، جرم ویژهٔ حقیقی، رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، فراوانی نسبی ذرات خاک، قطر ذرات به دست آمده از منحنی دانه‌بندی، تخلخل مؤثر، میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک بود. این پارامترها به ترتیب به روش‌های کلوخه، پیکنومتر، دستگاه صفحات فشاری، هیدرومتری و الک خشک بدست آمدند. سه پارامتر تخلخل مؤثر، میانگین هندسی قطر ذرات خاک و انحراف معیار هندسی قطر آنها با استفاده از معادلات موجود محاسبه شدند. برای ایجاد توابع انتقالی از رگرسیون خطی چندگانه استفاده گردید. بر اساس تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته، سه معادله با پارامترهای ورودی جرم ویژهٔ ظاهری، تخلخل مؤثر، میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار

۱- برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری وآبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران- گروه آبیاری دانشگاه تهران- navabian @ ut.ac.ir

۳- استادیار گروه آبیاری وآبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران- aliaghat @ ut.ac.ir

۴- استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

آنها به دست آمد. نتایج نشان داد که دقت برآورد معادلات بدست آمده برای تخمین هدایت آبی اشباع، مناسب می‌باشد، به گونه‌ای که می‌توان از آن در تخمین اولیهٔ طراحی‌های پروژه‌های آبیاری، زهکشی و منابع آب استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای زودیافت خاک، توابع انتقالی، هدایت آبی اشباع

مقدمه

بیان کمّی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در بسیاری از مطالعات مربوط به جریان در محیطهای متخلخل که از مدل‌های عددی برای شبیه سازی حرکت آب و املاح استفاده می‌کنند، ضروری است. اندازه‌گیری مستقیم این ویژگی‌ها چه به صورت صحرایی و چه آزمایشگاهی بسیار وقت‌گیر، هزینه‌بر و دشوار می‌باشد. همچنین به دلیل تغییرات زمانی – مکانی ویژگی‌های خاک، این اندازه‌گیری‌ها نمی‌توانند نمایندهٔ واقعی خصوصیات خاک باشند مگر آنکه تعداد بسیار زیادی نمونه‌برداری انجام شود. به همین جهت، روش‌های غیرمستقیم به عنوان راهکاری مناسب برای رفع نسبی این مشکلات ارائه شده‌اند. ایجاد توابع انتقالی روشی غیرمستقیم برای برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک است که با استفاده از معادلات رگرسیونی و یا شبکهٔ عصبی مصنوعی میان پارامترهای زودیافت و دیریافت خاک ارتباط برقرار می‌کند.

شاید نخستین تابع انتقالی توسط بریگس و مک لان (Briggs and Mclane, 1907) برای برآورد نقطهٔ پژمردگی خاک ارائه شده باشد. طی دهه‌های ۷۰ و ۸۰ میلادی نیز توابع انتقالی زیادی برای برآورد ظرفیت زراعی، نقطهٔ پژمردگی دائم و مقدار آب قابل دسترس ارائه گردید. سپس همزمان با گسترش نمون‌سازی انتقال آب و املاح در خاک، نیاز به ویژگی‌های هیدرولیکی به عنوان داده‌های ورودی این نمون‌ها آشکارتر شد. احتمالاً نخستین پژوهش در این زمینه توسط بلومن (Bloemen, 1977, 1980) صورت گرفت که پارامترهای معادلهٔ بروکس و کوری (Brooks and Corey, 1964)را با استفاده از معادلات تجربی به توزیع اندازهٔ ذرات ارتباط داد. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۹ به بعد، ایجاد توابع انتقالی بر اساس معادلات رگرسیونی و شبکهٔ عصبی مصنوعی برای برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک گسترش چشمگیری یافته است. از مهمترین این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعات آهوجا و همکاران (Ahuja et al., 1989)، وریکن و همکاران (Vereecken et al., 1990)، وستن (Wosten, 1997)، گیمنز و همکاران (Gimenez et al., 1997)، وستن و همکاران (Wosten et al., 1999)، سوبیراج و همکاران (Sobieraj, 2001) و یارویس و همکاران (Jarvis et al., 2002) اشاره کرد که با استفاده از پارامترهایی همچون تخلخل مؤثر، فراوانی نسبی ذرات خاک، مادهٔ آلی و جرم ویژهٔ ظاهری توابعی برای برآورد هدایت آبی اشباع (K_s) ارائه کرده‌اند (خداوردی لو، ۱۳۸۱ و فرخیان فیروزی، ۱۳۸۱). از آنجا که هیچ یک از ویژگی‌های خاک به تنهایی نشان دهندهٔ همهٔ عوامل موثر بر هدایت آبی نبوده و از طرفی گنجاندن همهٔ عوامل مؤثر در نمون‌ها نیز غیر ممکن است، همهٔ توابع از این نقص ذاتی برخوردار بوده و به هنگام تعمیم آنها به سایر خاکها باید احتیاط نمود.

پایه و اساس بیشتر طرحهای آبیاری و زهکشی، داشتن اطلاعات کافی از متغیرهای مؤثر بر فرآیند و تعمیم آنها می‌باشد. مهمترین ویژگی فیزیکی خاک که در امکان‌پذیر بودن فنی و اقتصادی پروژه‌های زهکشی زیرزمینی نقش عمده دارد، هدایت آبی اشباع است. هدایت آبی اشباع تحت تأثیر دو عامل ویژگی‌های هیدرولیکی سیال (گرانروی و جرم حجمی) و ویژگی‌های محیط متخلخل (خاک) قرار دارد. از ویژگی‌های محیط متخلخل می‌توان به تخلخل کل، شکل و هندسهٔ خلل و فرج و توزیع اندازهٔ خلل و فرج اشاره کرد. بنابراین، عوامل مختلفی مانند بافت، ساختمان، مقدار مادهٔ آلی و غلظت املاح که بر ویژگی‌های محیط متخلخل مؤثرند، می‌توانند هدایت آبی اشباع را تحت تأثیر قرار دهند.

با توجه به پیچیدگی اندازه‌گیری هدایت آبی در مزرعه و آزمایشگاه و همچنین تغییرپذیری مکانی – زمانی این ویژگی به ویژه هنگامی که تعداد اندازه‌گیری‌ها کم باشد، می‌توان از توابع انتقالی به عنوان راهکاری که با صرف وقت و هزینه کمتری این ویژگی را برآورد می‌کنند، استفاده نمود. توابع انتقالی توابعی هستند که ویژگی‌های زودیافت خاک (پارامترهایی که اندازه‌گیری آنها آسان، سریع و کم هزینه می‌باشند و معمولاً در مطالعات اولیه خاکشناسی رایج هستند) را به ویژگی‌های دیریافت خاک مانند منحنی رطوبتی، هدایت آبی اشباع و غیراشباع تبدیل می‌کنند. این توابع به دو گروه توابع انتقالی کلاسی و پیوسته تقسیم می‌شوند.

توابع انتقالی کلاسی توابعی هستند که میانگینی از ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را برای هر کلاس بافت خاک بیان می‌کنند. توابع انتقالی پیوسته از تعدادی معادلات رگرسیونی سادهٔ خطی و یا غیرخطی تشکیل می‌شوند که امکان برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را در سراسر مثلث بافت خاک به طور پیوسته فراهم می‌آورند.

برای توسعهٔ توابع انتقالی از روش رگرسیون چندگانه (خطی و غیرخطی) و شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده می‌شود. تجزیهٔ رگرسیونی، روشی آماری برای بررسی و مدل‌سازی رابطهٔ بین متغیرها است. در این روش، هدف یافتن معادله‌ای است که به بهترین وجه ارتباط بین متغیرها را توجیه کند. در این روش متغیرها به سه روش گزینش پیش رونده، حذف پس رونده و رگرسیون گام به گام که ترکیبی از روشهای فوق می‌باشد، انتخاب می‌شوند. این متغیرها باید از توزیع نرمال[1] تبعیت کرده و مستقل از یکدیگر باشند. همچنین، هم‌راستایی چندگانه میان آنها وجود نداشته باشد. اگر چه وجود هم‌راستایی، تجزیهٔ رگرسیون را غیر معتبر نمی‌سازد، لیکن برای جلوگیری از مشکلاتی که ممکن است در زمینهٔ برآورد، محاسبه و تفسیر به همراه داشته باشد، تا حد ممکن از متغیرهایی که هم‌راستایی چندگانه دارند در معادلات استفاده نمی‌شود (رضایی و سلطانی، ۱۳۷۷).

برای ارزیابی و سنجش صحت معادلات به دست آمده، معمولاً میزان تطابق بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. روشهای آماری مشابهی برای سنجش اعتبار و درستی توابع انتقالی وجود دارد که از بین آنها می‌توان به ضریب تبیین چندگانه، ریشهٔ میانگین مربعات خطاها و میانگین خطا اشاره کرد.

1 - Normal Distribution

هدف از این پژوهش افزون بر ایجاد توابع انتقالی جهت تخمین هدایت آبی اشباع، وارد کردن پارامترهایی جدید بود تا به صورت کمّی اثر ساختمان خاک را بر K_s بیان کند.

مواد و روش‌ها

تعداد ۴۵ نمونه خاک با استفاده از نقشه‌های بافت خاک منطقهٔ کرج انتخاب گردید. نمونه‌ها در ۹ کلاس بافت خاک در دامنهٔ محدودی از مقدار آهک (۱۱-۶ درصد) جهت یکسان نمودن اثر آن بر K_s در نظر گرفته شدند. اندازه‌گیری هدایت آبی اشباع نمونه‌ها در عمق ۳۰ سانتیمتری و بر روی سری بافت‌های Clay Loam، Clay، Sandy Loam، Loam، Sandy Clay Loam، Loamy Clay، Sandy Silty Clay و Silty Clay Loam صورت گرفت.

از آنجا که هدف، برآورد هدایت آبی اشباع با استفاده از ویژگی‌های زودیافتی مانند جرم ویژهٔ ظاهری، جرم ویژهٔ حقیقی، فراوانی نسبی ذرات خاک، رطوبت ظرفیت زراعی، داده‌های منحنی دانه‌بندی و میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار آنها بود، از روش‌های زیر برای اندازه‌گیری پارامترهای فوق استفاده گردید:

برای اندازه‌گیری صحرایی هدایت آبی اشباع از دستگاه نفوذسنج گلف مدل KI - 2800 استفاده شد. این دستگاه بر مبنای قانون ایجاد بار ثابت در چاهک ساخته شده است. این مدل دارای قابلیت‌هایی فراوان همچون حمل آسان، استفاده از یک کاربر، زمان اندازه‌گیری کمتر نسبت به سایر روشها و نیاز به آب اندک می‌باشد (پیش نویس استاندارد وزارت نیرو). برای اندازه‌گیری جرم ویژهٔ ظاهری و حقیقی، به ترتیب از روشهای کلوخه و پیکنومتری استفاده گردید که دامنهٔ مقادیر آنها به ترتیب ۱/۹-۱/۳ و ۲/۷۱-۲/۳۱ گرم بر سانتیمتر مکعب بود. توزیع فراوانی ذرات به روش هیدرومتری، رطوبت ظرفیت نگهداری به وسیله دستگاه صفحات فشار[1] و قطر ذرات به روش دانه‌بندی الک خشک به دست آمد (افتخاریان و همکاران، ۱۳۷۷). تخلخل مؤثر با استفاده از جرم ویژهٔ ظاهری و حقیقی و رطوبت ظرفیت زراعی از رابطهٔ ($\theta_e = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} - \theta_{fc}\right)$) محاسبه شد، که در آن θ_{fc} رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، و ρ_b و ρ_s به ترتیب جرم ویژهٔ ظاهری و حقیقی خاک (gr/cm^3) می‌باشند. برای محاسبهٔ میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی ذرات خاک، شیرازی و بورسما (Shirazi and Borsema, 1984) روابطی بر مبنای فراوانی نسبی ذرات پیشنهاد کرده‌اند. لیکن، استفاده از فراوانی نسبی دو ذرهٔ خاک نیز می‌تواند برآوردی مناسب از میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی آنها بیان کند (Shiozawa and Campbell, 1991). روابط پیشنهادی شیزاوا و کمپل برای محاسبهٔ میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی که دراین پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفت، بصورت زیر است:

1- Pressure plate

$$d_g(\text{mm}) = \exp\left[5.756 - 3.454(m_t) - 7.712(m_y)\right] \quad (۱)$$

$$\delta_g(\text{mm}) = \exp\left\{\left[33.14 - 27.84(m_t) - 29.31(m_y) - \left(\ln(d_g)^2\right)\right]\right\} \quad (۲)$$

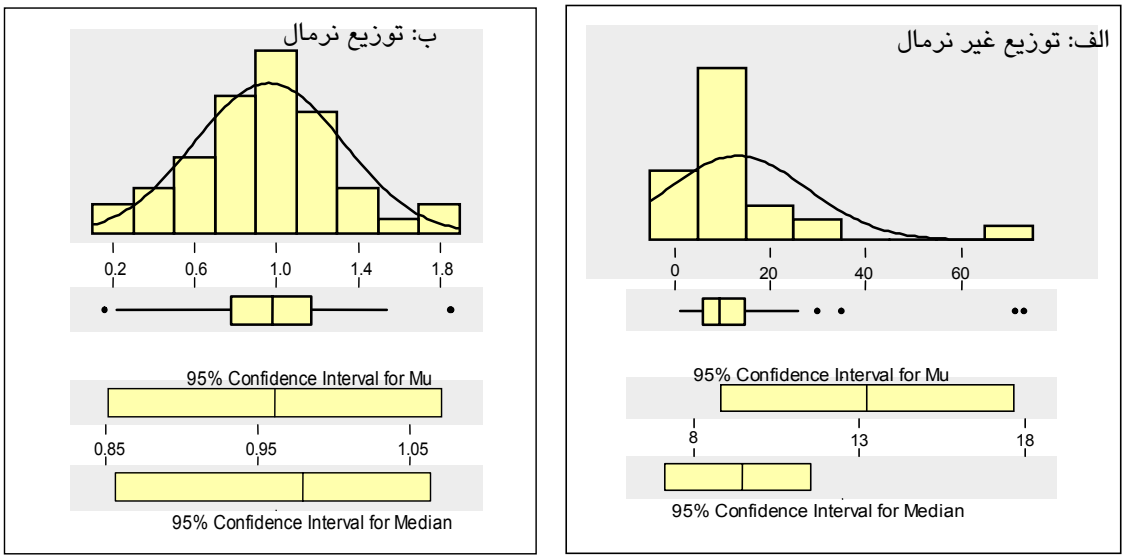
که در آن d_g میانگین هندسی قطر ذرات (mm)، δ_g انحراف معیار هندسی ذرات خاک (mm)، m_y و m_t به ترتیب فراوانی ذرات رس و سیلت می‌باشند.

پارامترهای d_g و δ_g که بازگو کنندهٔ وضعیت تخلخل خاک و مآلاً ساختمان خاک هستند، بر گرفته از فراوانی نسبی ذرات خاک می‌باشند که به طور مستقیم بر هدایت آبی اشباع تأثیر می‌گذارند. بدین گونه که با افزایش d_g یعنی میانگین هندسی قطر ذرات خاک، اندازهٔ خلل و فرج نیز افزایش، و هدایت آبی اشباع زیاد می‌شود. افزایش δ_g نیز به معنی افزایش عدم یکنواختی ذرات خاک می‌باشد که باعث کاهش تخلخل خاک گشته و هدایت آبی اشباع را کاهش می‌دهد.

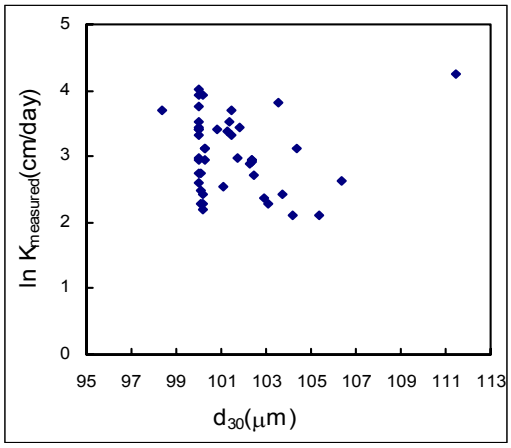
یافته‌ها

به منظور ایجاد روابط رگرسیونی بین متغیرهای مستقل شامل ویژگی‌های زودیافت خاک و متغیر وابستهٔ (K_s)، باید رگرسیون بهترین زیر مجموعهٔ متغیرهای ورودی بکار گرفته شود. متغیرهای مستقل مورد بررسی در این تحقیق شامل جرم ویژهٔ ظاهری و حقیقی، مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی، فراوانی نسبی ذرات، قطر ذرات به دست آمده از منحنی دانه‌بندی و میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار آنها بود.

تجزیه و تحلیل آماری برای برآورد متغیر وابسته یعنی هدایت آبی اشباع بر روی ۴۵ نمونه خاک از سری خاک‌های کرج صورت گرفت. نخستین گام در تجزیه و تحلیل، نرمال کردن داده‌ها می‌باشد. زیرا، آزمون‌های فرض خود بر پایهٔ نرمال بودن توزیع داده‌ها بنا شده‌اند و غیر نرمال بودن آنها این آزمون‌ها را غیر معتبر می‌سازد. آزمون نرمال بودن توسط نرم‌افزار MiniTab (Ryan and Joiner, 1994) برای همهٔ داده‌ها و مجموعه‌ای از ترکیبات آنها انجام شد. پارامترهای ظرفیت زراعی، انحراف معیار هندسی ذرات، فراوانی سیلت و رس همگی از توزیع نرمال تبعیت کردند. لیکن جرم ویژهٔ ظاهری، جرم ویژهٔ حقیقی، هدایت آبی اشباع، فراوانی نسبی شن و میانگین هندسی قطر ذرات پس از اعمال تبدیل‌های خطی کسری و لگاریتمی به صورت نرمال در آمدند. توزیع‌های غیر نرمال و نرمال میانگین هندسی قطر ذرات درشکل (۱) نشان داده شده‌اند. تبدیل‌های خطی و لگاریتمی پارامترهای d_i) $d_{i=5,\ 10,\ \ldots,\ 100}$ بدین معنا است که i درصد ذرات خاک دارای قطری کوچکتر از d_i می‌باشند و از منحنی دانه‌بندی به دست می‌آیند) به دلیل پراکندگی زیاد داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نکردند. شکل (۲) نمایشی از پراکندگی مقادیر d_{30} را برای ۴۵ نمونهٔ خاک نشان می‌دهد.



شکل ۱ – توزیع نرمال میانگین هندسی قطر ذرات (d_g) نمونه‌ها (الف)، و توزیع لوگ – نرمال میانگین هندسی قطر ذرات (d_g) log خاکها (ب).



شکل ۲ – نمایش پراکندگی یکی از قطرها (d_{30}).

از آنجا که تبدیل‌های دیگر، غیر از خطی و لگاریتمی باعث افزایش مصنوعی ضریب تبیین (R^2) معادلات ارائه شده می‌شدند، مقادیر $d_{i=5,\ 10,\ \ldots,\ 100}$ از لیست متغیرهای ورودی حذف شدند. به عبارت دیگر هیچ یک از تبدیل‌های خطی و لگاریتمی قطر ذرات نتوانستند تأثیری معنی‌دار بر هدایت آبی اشباع بگذارند. تبدیل‌های انجام شده بر پارامترهای جرم ویژهٔ ظاهری، جرم ویژهٔ حقیقی و رطوبت ظرفیت نگهداری به منظور نرمال سازی آنها نشان داد که تبدیل θ_e (تخلخل مؤثر) به دلیل دارا بودن همگی ویژگی‌های فوق از تأثیر بیشتری بر هدایت آبی اشباع برخوردار است. پس θ_e به عنوان یک پارامتر ورودی، در معادلات بکار گرفته شد.

به هنگام برقراری رگرسیون خطی چندگانه، چنانچه بین متغیرهای مستقل رابطهٔ خطی قوی مشاهده شود، هم‌راستایی چندگانه به وجود می‌آید. اگر چه نبود هم‌راستایی از فرض‌های زیربنایی رگرسیون نیست، لیکن به دلیل مشکلاتی که در تفسیر و برآورد متغیرهای وابسته ایجاد می‌کند، باید از به کار گرفتن آن خودداری نمود. آزمون هم‌راستایی میان متغیرهای مستقل تخلخل مؤثر، میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی آنها، ترکیبی از جرم ویژهٔ ظاهری و فراوانی نسبی ذرات (Bd^2-Silt-Clay) به وسیله نرم‌افزار MiniTab انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که میان ترکیب جرم ویژهٔ ظاهری و فراوانی نسبی ذرات (Bd^2-Silt-Clay) و میانگین هندسی قطر ذرات هم‌راستایی وجود دارد. به همین دلیل، ترکیب (Bd^2-Silt-Clay) که تأثیری کمتر بر هدایت آبی اشباع داشت از فهرست متغیرهای ورودی حذف گردید و پارامترهای بیان کنندهٔ تخلخل خاک (d_g و δ_g) که بر هدایت آبی اشباع تأثیر بیشتری دارند در معادلات بکار گرفته شدند. بنابراین برای اشتقاق معادلات، از رگرسیون خطی چندگانه میان متغیر وابستهٔ هدایت آبی اشباع و متغیرهای مستقل d_g، δ_g، BD و تخلخل مؤثر استفاده گردید. معادلات به دست آمده و ضرایب تبیین تعدیل شدهٔ آنها به شرح زیر است:

$$K_{S(estimated)} = 2.3\exp\left(3.52 + 0.423\log d_g - 2.19\log\delta_g + 1.42\log\theta_e\right) - 4.89 \qquad R^2=0.73 \qquad (۳)$$

$$K_{S(estimated)} = 1.02\exp\left(3.36 + 75.4/\delta_g^2 - 4.75\,BD/\theta_e\right) - 0.21 \qquad R^2=0.68 \qquad (۴)$$

$$K_{S(estimated)} = 2.85\exp\left(4.45 - 2.25\log\delta_g + 0.572\ln\theta_e\right) - 10.76 \qquad R^2=0.61 \qquad (۵)$$

در روابط فوق K_s هدایت آبی اشباع (cm/day)، d_g میانگین هندسی قطر ذرات (mm)، σ_g انحراف معیار هندسی قطر ذرات (mm)، θ_e تخلخل مؤثر (m^3m^{-3}) و BD جرم ویژهٔ ظاهری (g/cm^3) خاک می‌باشند. تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که همهٔ پارامترهای معادلات ارائه شده، در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشند.

کاوش

از نظر فیزیکی، رابطهٔ ذاتی بین هدایت آبی اشباع از یکطرف و d_g، σ_g، θ_e و BD از سوی دیگر وجود دارد. بدین ترتیب که برای یک خاک معین با افزایش میانگین هندسی قطر ذرات و تخلخل مؤثر و یا با کاهش انحراف معیار هندسی قطر ذرات و جرم ویژهٔ ظاهری باید هدایت آبی اشباع افزایش یابد. معادلات بدست آمده در این پژوهش نه تنها دربرگیرندهٔ این بنیان فیزیکی می‌باشند، بلکه هدایت آبی اشباع را با دقتی نسبتاً مناسب نیز برآورد می‌نمایند. شکل (۳) همبستگی بدست آمده بین هدایت آبی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده را بر پایهٔ معادلات (۳)، (۴) و (۵) نشان می‌دهد. ضرایب تبیین (R^2) هر معادله نیز در شکل مربوطه ارائه شده است. انحراف معیار معادلات (۳)، (۴) و (۵) به ترتیب برابر با ۰/۰،۱۴/۳۲ و ۳/۴۳ محاسبه گردید. مطابق با ضرایب تبیین ارائه شده برای معادلات، معادلهٔ (۳) نسبت به دو معادلهٔ دیگر برآوردی مناسب‌تر از هدایت آبی اشباع بیان می‌کند، به طوری که با ضریب اطمینان ۷۳ درصد هدایت آبی

اشباع را با استفاده از پارامترهای ورودی d_g، σ_g و θ_e تخمین می‌زند. برای تعیین مناسب‌ترین معادله که مقادیر برآوردی آن با مقادیر اندازه‌گیری شدهٔ هدایت آبی اشباع تطابق بیشتری داشته باشد با علم به این نکته که معادلات (۳) و (۴) به طور نسبی دارای ضرایب تبیین نزدیکی هستند، معادله‌ای که انحراف معیار کمتری دارد توصیه می‌شود. هر چند معادلهٔ (۵) ضریب تبیین کمتری نسبت به دو معادلهٔ دیگر دارد، لیکن در مواقعی که اطلاعات موجود محدود به انحراف معیار هندسی قطر ذرات و تخلخل مؤثر باشد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

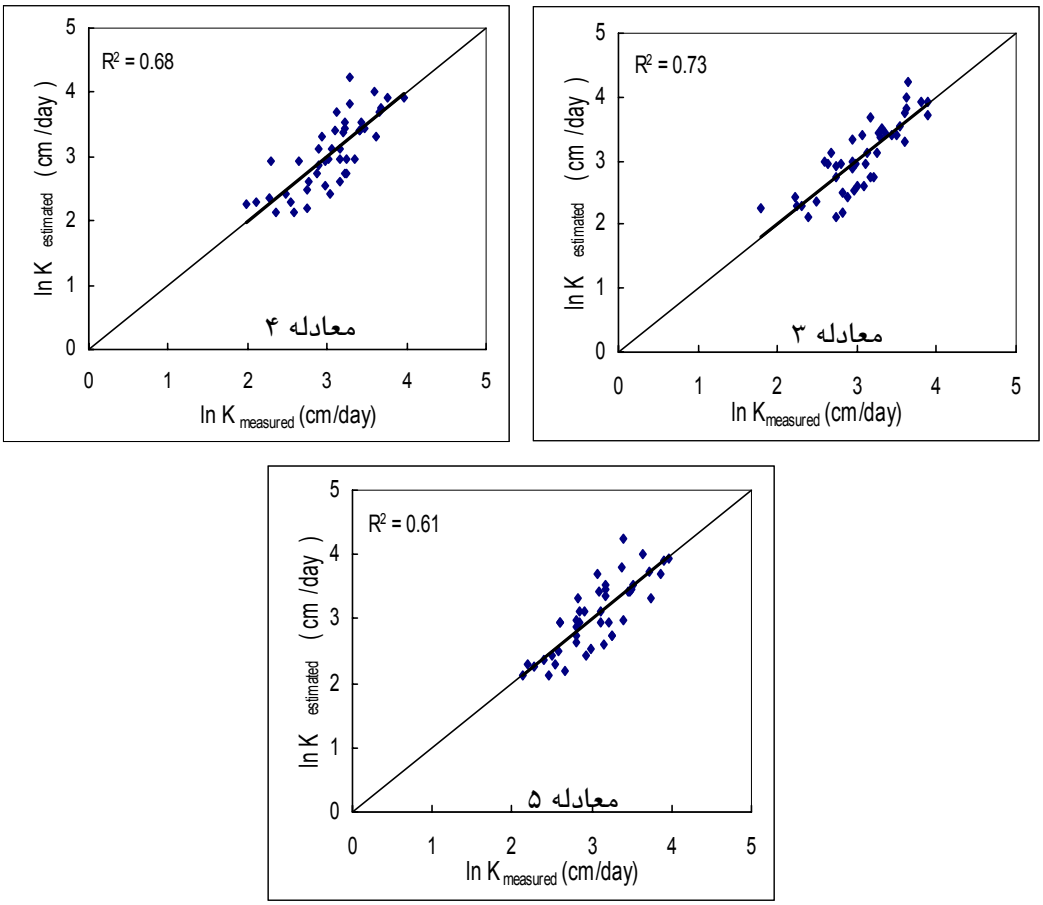
مقایسهٔ نتایج بدست آمده از این پژوهش با پژوهش‌های دیگران (جدول ۱)، نشان می‌دهد که معادلات ارائه شده در این تحقیق به دلیل استفاده از پارامترهایی که تأثیری بیشتر بر هدایت آبی اشباع دارند، نتیجهٔ مناسب‌تری ارائه می‌دهند. بدین ترتیب می‌توان از آنها به عنوان تخمینی اولیه در مطالعه و طراحی پروژه‌های آبیاری، زهکشی و منابع آب استفاده کرد. علت عدم دستیابی به مدلی با دقت بیشتر را می‌توان به ماهیت خاص هدایت آبی اشباع نسبت داد، به گونه‌ای که حتی طی چند اندازه‌گیری متوالی مستقیم نیز نمی‌توان مقداری ثابت برای بیان هدایت آبی اشباع خاک بدست آورد.

جدول ۱ – معادلات ارائه شده توسط دیگر پژوهشگران برای برآورد هدایت آبی

PTF	Input data	Output	R^2
Jarvis et al 2002	d_g	K_{10}^*	0.29
Jarvis et al 2002	d_g	K_{10}	0.29
Ahuja 1989 (clay soil)	θ_e	K_s	0.67
Ahuja 1989 (sandy soil)	θ_e	K_s	0.34
Ahuja 1989 (fine loam soil)	θ_e	K_s	0.69
Ahuja 1989 (loamy soil)	θ_e	K_s	0.45

*: K_{10}ضریب آبگذری اشباع خاک در پتانسیل ماتریک ۱۰- سانتیمتر است.

با توجه به نتایج بدست آمده در خصوص تأثیر محسوس پارامترهای d_g و σ_g به عنوان پارامترهای بیان کنندهٔ تخلخل خاک که خود بازگو کنندهٔ وضعیت ساختمان خاص هر خاک است و همچنین تأثیر پذیری زیاد هدایت آبی اشباع از ساختمان خاک، به کار گرفتن پارامترهایی که بیشتر بیان کنندهٔ ساختمان خاک باشند، دقت را افزایش داده است.



شکل ۳_ رابطهٔ هدایت آبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده بر پایهٔ معادلات (۳)، (۴) و (۵).

فهرست منابع

۱- افتخاریان، لیلا . امید تی تی دژ، بهناز خاکباز، امین سارنگ، پدرام صادقیان، رضا مهین روستا و مهدی نوار . ۱۳۷۷. آزمایشگاه مکانیک خاک. ۲۷۴ صفحه.

۲- پیش نویس استاندارد وزارت نیرو. ۲۳۳- الف . ۱۳۷۹. روش آزمایش تعین هدایت هیدرولیکی خاک غیراشباع با استفاده از دستگاه نفوذسنج گلف.

۳- خداوردی لو، حبیب و مهدی همایی. ۱۳۸۱. اشتقاق توابع انتقالی خاک به منظور برآورد منحنی مشخصهٔ رطوبتی. مجلهٔ تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۳. شمارهٔ ۱۰.

۴- فرخیان فیروزی، احمد.۱۳۸۱. اشتقاق معادلات هیدرولیکی خاکهای گچی با استفاده از توابع انتقالی. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

۵ – رضایی، عبدالمجید. افشین سلطانی. ۱۳۷۷. مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی. ۲۹۴ صفحه.

6- Ahuja L.R. , D.K. Cassel , R.R. Bruce , and B.B. Burnes .1989. Evaluation of hydraulic conductivity using effective porosity data. soil Sci. 148: 404-411.

7- Bloemen W. , 1980. Calculation of hydraulic conductivities of soil from texture and organic matter content. z. pflanzenemahr, Bodenkd,43: 581-605.

8- Briggs, L.J. and J.W. Mclane.1907 The moisture equivalent of soils. USDA Bureau of soil Bulletin 45: 1-23.

9- Brooks, R. H. and A. T. Corey. 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrology paper no.3 Colorado state unit, forth Collins, Co.

10- Gimenez D. , R.R. Allmaras, D.R. Huggins and E.A. Nater. 1997. Prediction of the saturated hydraulic conductivity – porosity dependence using fractals. Soi. Sci. Soc. Am. Vol. 61. No. 5. pp. 1285-1292.

11- Jarvis, N.J. , L. Zavattaro , K. Rajkai , W.D. Reynolds, P.A. Olsen, M.Mc Gechan, M. Mecke, B. Mohanty, P.B. Leeds-Harison, and D. Jacques. 2002. Indirect estimation of near-saturated hydraulic conductivity from readily available soil information. Geoderma, 108:1-17.

12- Ryan, B.F. and B.L. Joiner. 1994. MiniTab Handbook. Durbuy Press. 483 pp.

13- Shiozawa S. and G.S. Campbell. 1991. On the calculation of mean particle diameter and standard deviation from sand, silt and clay fractions. Soil Sci. Vol. 152, No. 6. PP 427-431.

14- Shirazi, M. A. and L.Boersma. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 142-147

15- Sobieraj J.A., H. Elsenbeer and R.A. Vertessy. 2001. Pedotransfer function for estimating saturated hydraulic conductivity: implications for modeling storm flow generation. J. Hydrology. 251. pp. 202-220.

16- Vereecken, H.J. Maes, and J. Feyen. 1990. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil property. Soil Sci. 149(I). PP 1-11.

17- Wosten, J.H.M. 1997. Pedotransfer functions to evaluation soil quality. in: Gregorich, E.G. and M.R.Carter (Eds). Soil quality for crop production and ecosystem health. Elsevier. 464 page.

18- Wosten, T.H.M., Ya.A. pachepsky and W.J. Rawls. 1999. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. J. Hydrol. 251: 123-150.

Deviation of Pedo-Transfer functions to estimate saturated hydraulic conductivity

Abstract

Determination of saturated hydraulic conductivity K_s is needed for many studies in water movement and solute transport in the soil. Although some advances are made for direct measurements of K_s, they are usually time consuming and costly. Some attempts have been made to indirectly predict the saturated hydraulic conductivity from the easily/readily obtainable parameters. The so-called pedo-transfer functions (PTF) proved to be a valuable tool to predict the K_s from the available soil data. The objective of this study was to derive some PTFs for different soil textures, requiring minimum input parameters. Consequently, 45 soil samples were taken and their K_s were directly measured, using the Geulph permeameter. The multilinear regression method was used to develop the pedo-transfer functions. The measurements were consisted of bulk density, particle density, field capacity, effective porosity (θ_e), particle size distributions, effective particle diameters, geometric mean diameter (d_g)and geometric standard deviation of soil particles (δ_g). The Normality and multicolinearity of the parameters were tested by MiniTab package. Three PTF functions were then derived, using different input parameters. The results indicated that accuracy of the derived PTFs can well predict (R^2=0.73) the K_s from θ_e, d_g and δ_g.

Key Words: Pedo-transfer functions, saturated hydraulic conductivity, soil hydraulic conductivity.