

برآورد نسبت پخشیدگی اکسیژن و گذرپذیری هوا از روی مقدار رطوبت خاک

پناه محمدی، محمدرضا نیشابوری، عباس احمدی و ناصر بالنده¹

دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ panah.m83@gmail.com

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ neyshmr@hotmail.com

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ a_ahmadi@tabrizu.ac.ir

دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز؛ naser.balandeh@gmail.com

دریافت: 91/9/6 و پذیرش: 92/4/17

چکیده

پخشیدگی یک گاز در خاک نسبت به پخشیدگی آن در اتمسفر (D_p/D_0) و نیز گذرپذیری هوا در خاک (K_a) تابع خصوصیات فیزیکی خاک مانند اندازه و پیوستگی منافذ و همچنین تخلخل تهویه‌ای است. پخشیدگی گاز در خاک نیز بر اساس خصوصیات شکل، اندازه و پیچ‌خوردگی منافذ و مقدار رطوبت خاک متفاوت می‌باشد. در این تحقیق تعداد 30 نمونه خاک از کلاس‌های بافتی مختلف بصورت دست‌نخورده با استفاده از استوانه فولادی تهیه گردید. در رطوبت‌های متعدد مقادیر D_p/D_0 با روش حالت غیرماندگار پخشیدگی گاز اکسیژن و K_a با روش بار افتان اندازه‌گیری شد. در نهایت تغییرات D_p/D_0 و K_a در رطوبت‌های متعدد و رابطه بین آنها به صورت معادله رگرسیونی بدست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان رطوبت خاک D_p/D_0 و K_a بصورت تابع لگاریتمی کاهش یافت به نحوی که حداکثر مقادیر این دو خصوصیت در رطوبت‌های پائین و حداقل آن در رطوبت‌های نزدیک اشباع بدست آمد. R^2 بدست آمده برای برآورد D_p/D_0 و K_a (به ترتیب برابر 0/75 و 0/58) نشان داد با فرض ثابت بودن سایر خصوصیات فیزیکی خاک، با اطمینان قابل توجهی می‌توان از این روابط به منظور برآورد D_p/D_0 از روی مقدار رطوبت خاک استفاده کرد و نیازی به اندازه‌گیری مستقیم این دو خصوصیت نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اکسیژن‌متر، پخشیدگی گاز، خصوصیات فیزیکی خاک، اندازه منافذ

مقدمه

گازها دارند، اما کورریه (1984) گزارش کرد که به جز در مواردی که تخلخل تهویه‌ای بالا است، چگالی ظاهری بیشترین تأثیر را در مقدار D_p در یک خاک با تخلخل تهویه‌ای مشخص دارد. همچنین پترسون و همکاران (1994) نشان دادند که مقادیر D_p تری کلرو اتیلن، تولوئن و Freon-12 حتی اگر فعالیت‌های این سه گاز کاملاً متفاوت باشند نیز نزدیک هم هستند.

نسبت پخشیدگی یک گاز در خاک به پخشیدگی آن در اتمسفر² (D_p/D_0) و گذرپذیری هوا در خاک³ (K_a) تابع رطوبت خاک و سایر خصوصیات فیزیکی مانند بافت و توزیع اندازه ذرات، تخلخل تهویه‌ای، توزیع اندازه منافذ و میزان پیوستگی آنها می‌باشند (کوری، 1957). گرابل و سایمر (1968) نشان دادند که چگالی ظاهری و اندازه خاکدانه‌ها تأثیر کمی روی پخشیدگی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

² Relative diffusivity

³ Air permeability

آمپ، 1911؛ مولدراپ و همکاران، 2001) و همچنین از آن برای پیش‌بینی خواص مهم فیزیکی دیگر خاک مانند هدایت هیدرولیکی اشباع خاک استفاده شده است (لول و همکاران، 1999؛ ایورسن و همکاران، 2003). اندازه‌گیری K_a در مزرعه (در مقایسه با اندازه‌گیری آزمایشگاهی) به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی دقیق‌تر است (ون‌گنود، 1968؛ گرین و فوردهام، 1975) اما به دلیل ساختار ناهمگن و توزیع غیریکنواخت لایه‌های سطحی خاک، تغییرات این ناحیه زیاد است (مک‌ایتایر و تانر، 1959). در حالیکه با اندازه‌گیری K_a در آزمایشگاه تصویر دقیق‌تر از شبکه منافذ را می‌توان در آزمایشگاه با در نظر گرفتن طیف گسترده‌ای از رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در پتانسیل-های ماتریک به دست آورد (مولدراپ و همکاران، 2003). گذرپذیری هوا در آزمایشگاه با استفاده از روش-های متعدد اندازه‌گیری می‌شود، اما دو روش اصلی مورد استفاده برای این منظور، روش بار ثابت (اندازه‌گیری جریان هوا) و روش بار افتان (اندازه‌گیری فشار) می‌باشد. انتخاب روش معمولاً بستگی به امکانات و راحتی روش دارد (کوری، 1986؛ بال و اسچونینگ، 2002).

همانطور که ذکر شد D_p و K_a از خصوصیات مهم فیزیکی و کاربردی در خاک بوده و مدل‌هایی که برای برآورد این دو خصوصیت ارائه شدند نیاز به ارزیابی جامع از خواص فیزیکی خاک و شرایط آزمایش دارند که باعث کاهش اعتماد در استفاده از این مدل‌ها می‌شود. این در حالی است که این دو خصوصیت وابسته به مقدار رطوبت خاک بوده و از طرف دیگر اندازه‌گیری رطوبت در مقایسه با D_p و K_a راحت و سریع‌تر می‌باشد. لذا هدف این تحقیق اندازه‌گیری D_p و K_a در رطوبت‌های متعدد (رطوبت اشباع تا هوا خشک) در نمونه‌های مختلف بافتی و بدست آوردن رابطه‌ای به منظور برآورد و تخمین نسبت پخشیدگی اکسیژن و K_a از روی مقدار رطوبت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از تمامی 12 کلاس بافت خاک به غیر از بافت سیلتی و رس‌شنی تعداد 30 نمونه خاک دست نخورده به روش استوانه فلزی تهیه شد و در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه تبریز مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها با محلول کلرید کلسیم نیم نرمال اشباع شده و با استفاده از ستون‌های آب آویزان در مکش‌های صفر، 1/5، 2/5، 5/5 کیلوپاسکال و با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در مکش‌های 10، 30، 100، 300، 1000 و 1500 کیلوپاسکال (امامی و همکاران، 1388). به حالت تعادل رسانده شدند. در هر مکش، رطوبت خاک

به هم خوردن ساختمان خاک نیز بر D_p تأثیرگذار می‌باشد (جین و جوری، 1996). در خاک دست‌نخورده ساختمان خاک پایدار است و تمامی منافذ درشت⁴ در خاک حفظ می‌شوند. طبق نتایج به دست آمده، گاز در خاک می‌تواند از میان منافذ درشت سریع‌تر حرکت کند. در نتیجه در رطوبت‌های یکسان مقدار D_p در خاک‌های دست‌نخورده بیشتر از خاک‌های دست‌خورده می‌باشد (نومونوری و میازاکی، 2005). علی‌رغم این آنان مشاهده کردند که در خاک‌های آتشفشانی اختلافی بین D_p نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده وجود ندارد. آنان اظهار کردند که احتمالاً در خاک‌های آتشفشانی به خاطر توسعه خوب و ساختار همشکل خاک تغییرات حجمی خاک بسیار کم بوده و ساختار منافذ در خاک‌های آتشفشانی دست‌خورده و دست‌نخورده شبیه هم است.

اکثر مدل‌های ارائه شده برای پیش‌بینی پخشیدگی گاز شامل پارامترهایی هستند که تابع خصوصیات فیزیکی خاک مانند تخلخل کل (میلینگتون و کوئیرک، 1961) و همچنین نوع خاک (مدل‌های کلاسیک پنمن، 1940 و ون‌باول، 1952) بوده که به خاطر فقدان اطلاعات جامع در مورد نحوه تأثیرگذاری این خصوصیات روی پارامترهای مدل، موفق به پیش‌بینی دقیق پخشیدگی گاز نشدند. در مقایسه‌ای که بین خاک خشک و مرطوب توسط کال (1957) و پاپندیک و رونکلز (1965) انجام شد، تأکید شده است که اضافه شدن رطوبت خاک بسیار بیشتر از کاهش مقدار هوای خاک حاصل از تراکم در کاهش پخشیدگی گاز تأثیرگذار است. بنابراین D_p پیش-گویی شده برای خاک مرطوب کمتر از خاک خشک خواهد بود. تغییر در شکل و اندازه منافذ پر از هوا در اثر تغییر رطوبت دلیلی برای تفاوت ذکر شده است. علاوه بر این مسدود شدن منافذ اشغال شده با هوا توسط آب تأثیر بیشتری در جلوگیری از پخشیدگی و کاهش D_p می‌گذارد (کال، 1957؛ مولدراپ و همکاران، 2001).

گذرپذیری هوا در خاک (K_a) تابع قوانین حاکم بر انتقال همرفتی هوا از طریق منافذ اشغال شده با هوا بوده و وابسته به شیب فشار کل هوای اعمال شده می‌باشد. سرعت جریان سیال و انتقال هوا از طریق خاک بر اساس قانون دارسی با اختلاف فشار بین دو طرف نمونه رابطه مستقیم و با طول ستون محیط متخلخل رابطه معکوس دارد (ماسلند و کرکهام، 1955؛ کوری، 1986). پارامتر K_a از اوایل قرن بیستم برای توصیف، تعیین و مشخص کردن سریع و راحتتر آرایش ساختاری و به هم پیوستگی فضای منافذ در خاک استفاده می‌شود (گرین و

⁴ Macropores

نهایت غلظت‌های اولیه و ثانویه اکسیژن (%) که از دستگاه قرائت شده بودند، با استفاده از معادله زیر (1) به فشار جزئی اولیه و ثانویه (P_1 و P_2) تبدیل و سپس با بکارگیری معادله 2 مقدار پخشیدگی نمونه خاک در هر رطوبت محاسبه شد.

$$P_i = \frac{CR\theta}{M_i} \quad \text{معادله 1}$$

در این رابطه P_i فشار جزئی گاز (P_a)، C غلظت گاز در واحد حجم (g/m^3)، R ثابت عمومی گاز ($J/mole K$)، θ دما بر حسب درجه کلوین و M_i جرم مولکولی گاز است.

$$\log \frac{P_a/(P_a - P_2)}{P_a/(P_a - P_1)} = \frac{D\delta_t}{2.303} \quad \text{معادله 2}$$

در این رابطه D_p پخشیدگی اکسیژن در خاک، P_a فشار جزئی اکسیژن در اتمسفر آزاد و P_1 و P_2 فشار جزئی اکسیژن داخل محفظه در زمان‌های t_1 و t_2 می‌باشد. ویژگی K_a را می‌توان به دو روش بار ثابت و بار افتان اندازه‌گیری کرد (تایلور و آشکوروفت، 1972). برای اندازه‌گیری K_a در این تحقیق به دلیل در دسترس بودن و همچنین سهولت و صرف وقت کمتر، از روش بار افتان که توسط کرکهام (1946) ارائه شده است، استفاده گردید (شکل 2).

در این روش زمان تخلیه هوای داخل مخزن از طریق نمونه خاک و افت فشار از P_1 به P_2 اندازه‌گیری شده و با کاربرد رابطه زیر مقادیر K_a محاسبه گردید (برای جزئیات بیشتر به مرجع نیشابوری و همکاران (2010) رجوع شود):

$$K_a = -2.303 \frac{V_1 \delta_s (\log P_2 - \log P_1)}{A P_a (t_2 - t_1)} \quad \text{معادله 3}$$

در این معادله V : حجم مخزن بر حسب سانتی‌متر مکعب، η ویسکوزیته هوا (سانتی پویز)، δ_s طول نمونه خاک (سانتی‌متر) A سطح مقطع خاک، (سانتی‌متر مربع) P_a فشار هوا (اتمسفر)، P_1 و P_2 فشار هوای داخل مخزن (میلی‌متر آب) در شروع و پایان اندازه‌گیری، $t_2 - t_1$ زمان افت فشار داخل مخزن (ثانیه) و K_a گذرپذیری خاک برای هوا (داریسی) است.

استوانه‌ها به روش وزنی اندازه‌گیری و مقادیر D_p و K_a نمونه‌ها با استفاده از معادلات 2 و 3 محاسبه گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها از قبیل بافت (گی، 2002)، وزن مخصوص ظاهری و حقیقی (گروسمن و ریش، 2002)، درصد کربن آلی (نلسون و سامرز، 1996)، EC و SAR (با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر) نیز در نمونه‌های دست‌خورده اندازه‌گیری شد. به منظور بدست آوردن ضریب پخشیدگی از روش حالت غیرماندگار پخشیدگی گاز اکسیژن (تایلور، 1949) و با بکارگیری دستگاه اکسیژن‌متر⁵ استفاده شد. برای انجام این کار دستگاهی (شکل 1) که شامل محفظه شیشه‌ای کاملاً درزگیری شده و دو ورودی که یکی به منظور تزریق گاز N_2 به داخل محفظه (N_2 Supply) و دیگری به منظور ورود حس‌گر اکسیژن‌متر جهت قرائت درصد اکسیژن داخل محفظه در فواصل زمانی معین است، طراحی و ساخته شد.

برای انجام آزمایش پس از سوار کردن نمونه خاک در محل تعبیه شده بر روی درپوش مخزن، دریچه⁶ در حالت بسته (حالت الف) قرار گرفته و با باز کردن شیر ورودی گاز N_2 ، این گاز را داخل محفظه تزریق و اکسیژن داخل محفظه تخلیه و بدین ترتیب شیب زیاد غلظت بین اکسیژن داخل محفظه (حدود صفر) و بیرون محفظه (حدود 21 درصد) ایجاد می‌گردد. در این حالت ورودی گاز N_2 را بسته و غلظت اولیه اکسیژن داخل محفظه با دقت 0/1 درصد (P_1)، زمان شروع آزمایش (t_1) و دمای هوای محفظه (OC) یادداشت گردید. سپس دریچه با حرکت دادن کشویی صفحه متحرک باز گردید که در این حالت (حالت ب) با توجه به اختلاف غلظت بالای دو گاز اکسیژن و نیتروژن در دو سوی نمونه، این دو گاز در خلاف جهت هم منتشر شوند. در این جابجایی اکسیژن هوا وارد محفظه و در جهت عکس آن گاز N_2 از محفظه به اتمسفر منتشر می‌گردد. بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق و همچنین افزایش سرعت آزمایشات که هم باعث افزایش دقت و هم باعث حفظ رطوبت نمونه خاک‌ها می‌گردد، فاصله زمانی 300 ثانیه به عنوان بهترین زمان جهت انتشار گاز در نظر گرفته شد. در پایان آزمایش (اتمام 300 ثانیه زمان پخشیدگی) سریعاً دریچه محفظه را به حالت بسته برگردانده و با استفاده از اکسیژن‌متر غلظت ثانویه اکسیژن داخل محفظه (P_2)، زمان (t_2) و دما (OC) از روی نمایشگر دستگاه قرائت و یادداشت گردید. در

⁵ Oxygen meter

⁶ Round hole

نتایج و بحث

برخی از خصوصیات فیزیکی (کلاس بافت، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی) و شیمیایی (درصد مواد آلی، کربنات کلسیم معادل، pH، EC و SAR) خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول 1 آورده شده است. طبق نتایج گزارش شده در جدول 1 کلاس بافت خاک-های مورد مطالعه شامل بافت‌های درشت شنی تا ریز رسی بود. دامنه تغییرات درصد شن نمونه‌های خاک بین 7/75 تا 90/08 درصد و با میانگین 42/39 درصد، درصد سیلت بین 1/37 تا 58/77 درصد و با میانگین 31/83 درصد و دامنه تغییرات درصد رس بین 5/61 تا 51/24 درصد و با میانگین 25/77 درصد می‌باشد. همچنین تغییرات EC از 0/87 تا 4/85 دسی‌زیمنس بر متر و SAR نمونه‌ها از 1/99 تا 44/4 متغیر بود.

در شکل‌های 3 و 4 منحنی تغییرات D_p/D_0 و K_a نسبت به تغییر رطوبت در برخی خاک‌ها نشان داده شده است. در این شکل‌ها مقادیر اندازه‌گیری شده D_p/D_0 و K_a در رطوبت‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که در شکل 3 مشاهده می‌کنید تغییرات نسبت پخشیدگی اکسیژن و گذرپذیری هوا در مقایسه با مقدار رطوبت تابع معادله لگاریتمی بوده و با افزایش رطوبت D_p/D_0 و K_a بصورت لگاریتمی کاهش می‌یابد. در تمامی نمونه‌ها بهترین خط برازشی بصورت لگاریتمی بدست آمد. معادله لگاریتمی و R^2 به دست آمده برای هر کدام از نمونه‌ها به طور جداگانه برای تمامی نمونه‌ها محاسبه و مثالی از این معادلات و نمودارها در شکل‌های 3 و 4 به ترتیب برای دو کلاس بافت لوم رسی سیلتی و لوم شنی نشان داده شده است. نمودار شکل 3 برای نمونه با کلاس بافت لوم رسی سیلتی را نشان می‌دهد که R^2 به دست آمده 0/97 و 0/99 به ترتیب برای K_a و D_p/D_0 می‌باشد.

نتایج بدست آمده برای نمونه با کلاس بافت لوم شنی در شکل 4 نشان داده شده است. در اینجا نیز رابطه بین مقدار D_p/D_0 و K_a با رطوبت خاک، یک رابطه لگاریتمی بوده و در اینجا نیز مقادیر بدست آمده برای این دو خصوصیت رابطه عکس با مقدار رطوبت دارد. همانطور که در شکل 4 مشاهده می‌کنید نسبت پخشیدگی اکسیژن و گذرپذیری هوا تا رطوبت حدود 15 درصد با شدت زیادی کاهش یافته اما در رطوبت‌های کمتر از این احتمالاً به خاطر اینکه اکثر منافذ خاک آب خود را از دست داده‌اند از شدت کاهش مقدار D_p/D_0 و K_a کاسته شده و شیب منحنی کم می‌شود. در این تحقیق معادله بهترین خط برازشی بین مقدار D_p/D_0 و K_a

رطوبت خاک برای مجموعه خاک‌های قرار گرفته در هر کلاس بافت بطور جداگانه در جدول 2 آورده شده است. همانطور که در جدول 2 مشاهده می‌کنید حداقل و حداکثر R^2 معادله گذرپذیری هوا بدست آمده برای هر کدام از کلاس‌های بافتی بین 0/668 تا 0/957 به ترتیب برای کلاس لوم‌رسی سیلتی و شن‌لومی و در ارتباط با نسبت پخشیدگی اکسیژن R^2 بین 0/762 تا 0/957 به ترتیب برای کلاس لوم‌شنی و لوم‌رسی بدست آمده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌کنید تغییرات مقدار K_a و D_p/D_0 با رطوبت خاک در هر کلاس بافتی تابع معادله خاصی بوده و برای هر کلاس یک معادله جداگانه بدست آمده است که به نحوی تاثیرگذاری اندازه ذرات و کلاس بافت خاک را نشان می‌دهد.

در این تحقیق به منظور بدست آوردن یک معادله واحد برای تخمین مقدار D_p/D_0 و K_a از روی مقدار رطوبت خاک، تغییرات این دو خصوصیت با مقدار رطوبت برای مجموعه نمونه‌های آزمایش شده در رطوبت‌های مختلف (در مجموع 390 نقطه) نیز بررسی و معادله بهترین خط برازشی بدست آمده در شکل‌های 4 و 5 به ترتیب برای برآورد نسبت پخشیدگی اکسیژن و گذرپذیری هوا بدست آمد.

طبق شکل 5 مشاهده می‌کنید که نسبت پخشیدگی اکسیژن رابطه عکس با مقدار رطوبت خاک داشته و با افزایش رطوبت مقدار این خصوصیت کاهش می‌یابد. روند کاهش D_p/D_0 با افزایش مقدار رطوبت بصورت لگاریتمی می‌باشد که معادله بدست آمده در زیر نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که R^2 بدست آمده برای معادله 4 (R^2 برابر 0/75) در مقایسه با تک تک کلاس‌های بافتی کمتر بوده و نشان می‌دهد که وقتی ارتباط بین D_p/D_0 و

$$D_p/D_0 = -9E - 0.4 \ln(\Theta) + 0.0034 \quad \text{معادله 4}$$

رطوبت را برای مجموع چند خاک با خصوصیات و ویژگی‌های مختلف بدست می‌آوریم تنها عامل تأثیرگذار در مقدار D_p/D_0 رطوبت نبوده و سایر ویژگی‌های خاک (بافت، چگالی و تراکم، توزیع اندازه ذرات و منافذ خاک و ...) نیز می‌توانند تأثیرگذار باشند که پیشنهاد می‌شود میزان و نحوه تأثیرگذاری هر کدام از این ویژگی‌ها روی مقدار D_p/D_0 بطور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

معادله بدست آمده برای برآورد مقدار K_a در رطوبت‌های مختلف برای مجموعه خاک‌ها در شکل 6 نشان داده شده است.

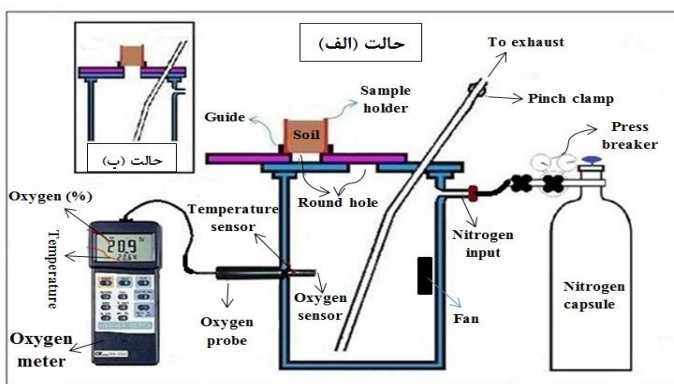
جهت بدست آوردن گذرپذیری هوا فقط به مقدار رطوبت خاک بستند کرد و لازم است در مطالعات آتی نقش سایر خصوصیات فیزیکی خاک و نحوه و میزان اثرگذاری آنها نیز بررسی شود.

بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که با توجه به R^2 بدست آمده برای برآورد D_p/D_0 از روی مقدار رطوبت، معادله 4 یک رابطه نسبتاً خوب بوده و با فرض ثابت بودن سایر خصوصیات فیزیکی خاک می‌توان با اطمینان قابل توجهی از این رابطه برای پیشگویی و برآورد D_p/D_0 بدون اندازه‌گیری مستقیم آن استفاده کرد. اما معادله 5 به منظور برآورد K_a از روی مقدار رطوبت خاک زیاد قابل اعتماد نمی‌باشد که دلیل آن را می‌توان به وابستگی K_a به خصوصیات و عوامل مختلفی غیر از رطوبت نسبت داد.

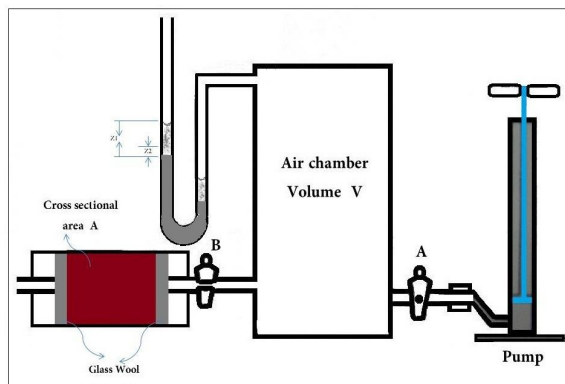
همانطور که در این شکل ملاحظه می‌کنید در این مورد هم مقدار K_a وابسته به مقدار رطوبت خاک بوده و با افزایش رطوبت خاک، K_a کاهش یافته است. معادله خطی که بهترین برازش را بین K_a و مقدار رطوبت خاک داشت معادله لگاریتمی و بصورت زیر بدست آمد.

$$K_a = -2E-07 \ln(\Theta) + 7E-07 \quad \text{معادله 5}$$

البته R^2 بدست آمده برای این معادله در مقایسه با نسبت پخشیدگی اکسیژن کمتر است ($R^2=0/58$). همچنین پراکنش داده‌ها نیز بسیار زیاد بوده و نشان می‌دهد که فقط پارامتر مقدار رطوبت ملاک و معیار مناسبی برای برآورد گذرپذیری هوا نبوده و نمی‌توان



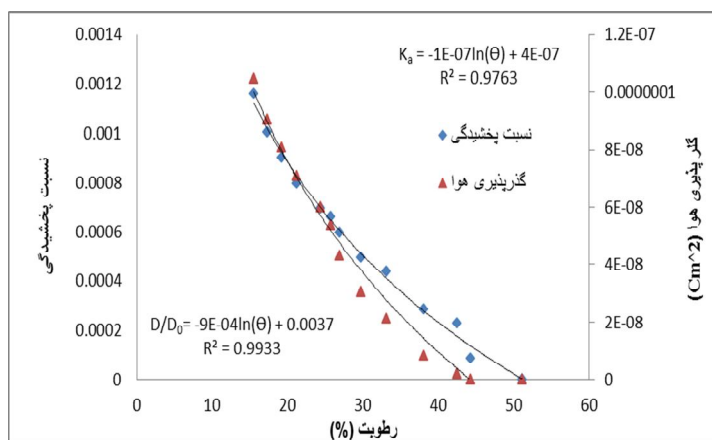
شکل 1- تصویر شماتیک از دستگاه اندازه‌گیری ضریب پخشیدگی اکسیژن



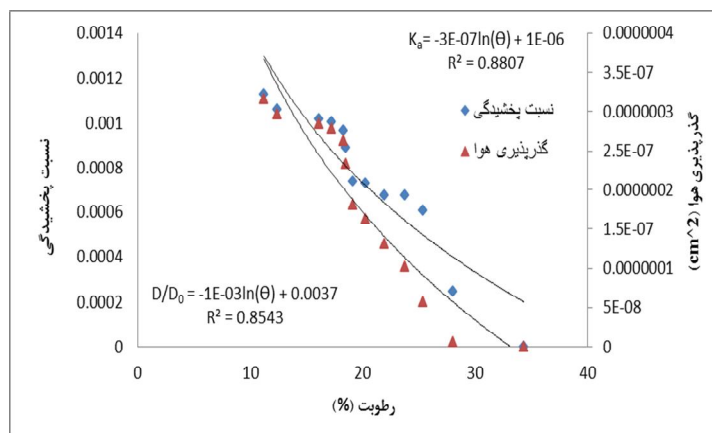
شکل 2- تصویر شماتیک دستگاه اندازه‌گیری گذرپذیری هوا

جدول 1- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های به کار رفته در این تحقیق

| CV | انحراف استاندارد | حداکثر | میانگین | حداقل | خصوصیات |
|------|------------------|--------|---------|-------|--------------------------------------|
| 0/6 | 26/9 | 90/08 | 42/3 | 7/7 | درصد شن |
| 0/5 | 16/2 | 58/7 | 31/8 | 1/3 | درصد سیلت |
| 0/5 | 14/2 | 51/2 | 25/7 | 5/6 | درصد رس |
| 0/1 | 0/1 | 1/7 | 1/4 | 1/1 | جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³) |
| 0/03 | 0/08 | 2/4 | 2/3 | 2/1 | جرم مخصوص حقیقی (g/cm ³) |
| 0/5 | 1/4 | 4/8 | 2/5 | 0/8 | EC (dS/m) |
| 0/9 | 13/9 | 44/4 | 14/7 | 1/9 | SAR |



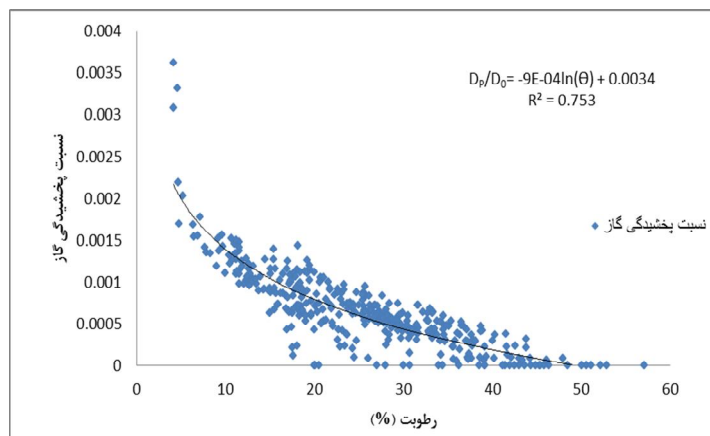
شکل 3- تصویر منحنی تغییرات نسبت پخشیدگی و گذرپذیری هوا برای نمونه‌ای با کلاس بافت لوم رسی سیلتی



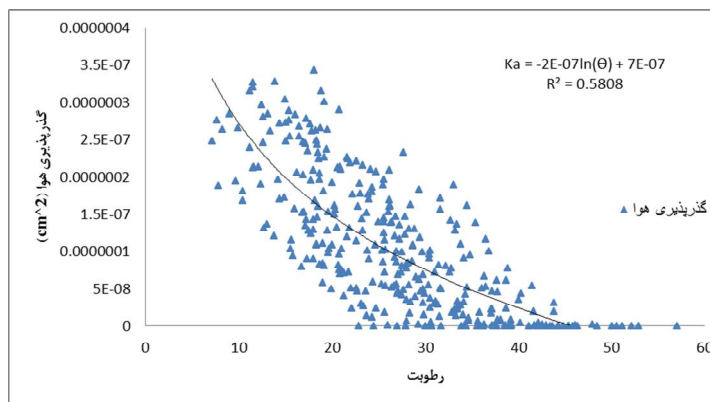
شکل 4- تصویر منحنی تغییرات نسبت پخشیدگی و گذرپذیری هوا برای نمونه با کلاس بافت لوم شنی

جدول 2- معادله برازشی بدست آمده برای مجموعه نمونه‌های هر کلاس بافتی خاک

| R2 | | معادله بدست آمده برای DP/D0 | معادله بدست آمده برای Ka | بافت |
|-------|-----|--|-----------------------------------|---------------|
| DP/D0 | Ka | | | |
| 0.8 | 0.8 | $D_p/D_0 = -8E-04\ln(\Theta) + 0.0033$ | $K_a = -3E-07\ln(\Theta) + 1E-06$ | رس سیلتی |
| 0.9 | 0.8 | $D_p/D_0 = -0.001\ln(\Theta) + 0.0051$ | $K_a = -2E-07\ln(\Theta) + 9E-07$ | لوم رسی |
| 0.9 | 0.9 | $D_p/D_0 = -0.001\ln(\Theta) + 0.0038$ | $K_a = -3E-07\ln(\Theta) + 9E-07$ | لوم |
| 0.8 | 0.9 | $D_p/D_0 = -9E-04\ln(\Theta) + 0.0036$ | $K_a = -3E-07\ln(\Theta) + 1E-06$ | شن لومی |
| 0.9 | 0.6 | $D_p/D_0 = -8E-04\ln(\Theta) + 0.0032$ | $K_a = -2E-07\ln(\Theta) + 7E-07$ | لوم رسی سیلتی |
| 0.9 | 0.8 | $D_p/D_0 = -0.001\ln(\Theta) + 0.0048$ | $K_a = -2E-07\ln(\Theta) + 9E-07$ | رس |
| 0.9 | 0.9 | $D_p/D_0 = -9E-04\ln(\Theta) + 0.0033$ | $K_a = -2E-07\ln(\Theta) + 6E-07$ | لوم رسی شنی |
| 0.7 | 0.7 | $D_p/D_0 = -9E-04\ln(\Theta) + 0.0036$ | $K_a = -3E-07\ln(\Theta) + 1E-06$ | لوم شنی |
| 0.8 | 0.8 | $D_p/D_0 = -0.001\ln(\Theta) + 0.004$ | $K_a = -3E-07\ln(\Theta) + 1E-06$ | لوم سیلتی |
| 0.8 | 0.8 | $D_p/D_0 = -0.002\ln(\Theta) + 0.0052$ | $K_a = -2E-06\ln(\Theta) + 5E-06$ | شن |



شکل 5- تغییرات نسبت پخشیدگی برای تمام نمونه‌ها



شکل 6- تصویر منحنی تغییرات گذرپذیری هوا برای تمام نمونه‌ها

فهرست منابع:

1. امامی، ح، نیشابوری، م. ر، شرفاء، م، لیاقت، ع. م. 1388. تخمین رطوبت نقطه عطف منحنی رطوبتی با استفاده از ویژگی‌های زودیافت خاک. مجله آب و خاک، ج 23. ش 2. ص 95-103.
2. Ball, B. C., and P. Schjønning. 2002. Air permeability. In J.H. Dane and G.C. Topp, Eds. *Methods of Soil Analysis, Part 4. Soil Sci. Soc. Am. J.* 5:1141–1158.
3. Call, F. 1957. Soil fumigation: V. Diff usion of ethylene dibromide through soils. *J. Sci. Food Agric.* 8:143–150.
4. Corey, A. T. 1986. Air permeability. In A. Klute, Ed. *Methods of Soil Analysis, Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI. 9: 1121–1136.
5. Corey, A. T., 1957. Measurement of water and air permeability in unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 21:7-10.
6. Currie, J. A. 1984. Gas diffusion through soil crumbs: the effect of compaction and wetting. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 35: 1–10.
7. Gee, G. W. 2002. Particle size analysis. In: H.D. Jacob and G. Clarke Topp, Co-editor (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Sci. Soc. Am. J.* 4:201-414.
8. Grable, A. R. And Siemer. E. G. 1968. Effect of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 32: 180–186.
9. Green, R. D., and S. J. Fordham. 1975. A field method for determining air permeability in soil. In *Soil Physical Conditions and Crop Production. Tech. Bull.* 29. HMSO, London. 273–288.
10. Green, W. H., and G. A. Ampt. 1911. Studies on soil physics. Part 1. The flow of air and water through soils. *J. Agric. Sci.* 4: 1–24.
11. Grossman, R. B., and Reinesch. T. G. 2002. The solid phase. In: H.D. Jacob and G. Clarke Topp, Co-editor (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Sci. Soc. Am. J.* 201-414
12. Iversen, B. V. and P. Moldrup. and P. Schjønning, and O. H. Jacobsen, 2003. Field application of a portable air permeameter to characterize spatial variability in air and water permeability. *Vadose Zone J.* 2: 618–626.
13. Jin, Y. and W. A. Jury. 1996. Characterizing the dependence of gas diffusion coefficient on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 66–71.
14. Kirkham, D. 1946. Field method for determination of air permeability of soil in its undisturbed state. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 11:93-99.
15. Loll, P. and P. Moldrup. And P.Schjønning. and H. Riley. 1999. Predicting saturated hydraulic conductivity from air permeability: application in stochastic water infiltration modeling. *Water Resour. Res.* 35:2387-2400.
16. Maasland, M., and D. Kirkham. 1955. Theory and measurement of anisotropic air permeability in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19: 395–400.
17. McIntyre, D. S. and C. B. Tanner. 1959. Anormally distributed soil physical measurements and nonparametric statistics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 88: 133–137.
18. Millington, R. J. and J. P. Quirk. 1961. Permeability of porous solids. *Trans. Faraday Soc.* 57: 1200-1207.
19. Moldrup, P. and S. Yoshikawa. And T. Olesen. And T. Komatsum. And D. E. Rolston. 2003. Air permeability in undisturbed volcanic ash soils: predictive model test and soil structure fingerprint. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 32–40.

20. Moldrup, P., and T. Olesen. And T. Komatsum. And P. Schjønning., And D. E. Rolston. 2001. Tortuosity, diffusivity, and permeability in the soil liquid and gaseous phases. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 613–623.
21. Nelson, D.W., and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: D.L. Sparks (Ed) .*Methods of Soil Analyses. Part 3. Chemical Methods.* SSSA. Madison, WI. , USA. 961-1010
22. Neyshabouri MR. and SAR. Rafiee Alavi., and H. Rezaei., and AH. Nazemi. 2010. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from air permeability. 19th World Congress of Soil Science. Brisbane Australia.
23. Papendick, R. I., and J. R. Runkles. 1965. Transient-state oxygen diffusion in soil: I. The case when rate of oxygen consumption is constant. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 100:251–261.
24. Penman, H. L. 1940. Gas and vapor movements in soil: The diffusion of vapors through porous solids. *J. Agric. Sci.* 30: 437–462.
25. Petersen, L. W. and D. E. Rolston., and P. Moldrup., and T. Yamaguchi. 1994. Volatile organic vapor diffusion and absorption in soil. *J. Environ. Qual.* 23: 799–805.
26. Taylor, S. A. 1949. Oxygen diffusion in porous media as a measure of soil aeration. *Soil Sci. Soc. Proc. J.* 14:55-61.
27. Taylor, S. and G. Ashcroft. 1972. *Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils.* W. H. Freeman and Company. Pages, 563.
28. Tomonori, F., and T. Miyazaki. 2005. Effects of bulk density and soil type on the gas diffusion coefficient in repacked and undisturbed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 170(11): 892-901.
29. Van Bavel, C. H. M. 1952. Gaseous diffusion and porosity in porous media. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:91–104.
30. Van Groenewoud, H. 1968. Methods and apparatus for measuring air permeability of the soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 106:275–279.