

بررسی برخی خصوصیات خلل و فرج خاک با استفاده از روش رنگ آمیزی فلورسنت

آیدا بخشی^۱، احمد حیدری^۲، محمدحسین محمدی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران

چکیده

تخلخل خاک در پیدایش و کنترل فرایندهای مختلف خاکی نقش اصلی را بر عهده دارد. تخلخل خاک با پیچیدگی‌های زیادی ناشی از خصوصیات ناهمگن اجزاء تشکیل دهنده آن همراه است که در تحقیقات انجام شده، با اعمال یک سری فرضیات از این پیچیدگی‌ها صرف نظر می‌شود. در این مطالعه، به منظور غلبه بر این پیچیدگی‌ها، بر اساس روش‌های میکرومورفولوژیکی و مشاهده مستقیم حفرات، نمونه‌های دست نخورده خاک با ماده فلورسنت مخلوط با پلی‌استر رزین رقیق شده با استون تلقیح شدند و پس از خشک شدن نمونه‌ها، با استفاده از روش تصویر برداری متوالی زیر نور فرابنفش، تعداد ۴۰ تصویر دیجیتال از هر نمونه تهیه شد. تصاویر تهیه شده وارد نرم‌افزار Image Tool شدند و بر اساس مساحت، محیط و گردشدگی در کلاس‌های مختلف با رنگ‌های متفاوت از هم تفکیک شدند. نتایج نشان داد که می‌توان بر اساس این روش به خوبی حفرات با مشخصات متفاوت را شناسایی و تفکیک کرد.

واژه‌های کلیدی: تخلخل خاک، میکرومورفولوژی، نور فرابنفش.

مقدمه

کیفیت و پایداری ساختمان خاک یکی از مهم‌ترین خصوصیات پویای خاک است که نحوه‌ی رخداد بسیاری از پدیده‌های مهم در تشکیل خاک به آن وابسته است. به عبارتی بین خصوصیات ساختمان خاک و آنچه در خاک روی می‌دهد برهم‌کنش‌های مستقیم و غیرمستقیمی وجود دارد که موجب بروز تغییرات در ویژگی‌های خاک و رفتار آن در فرایندهای مختلف می‌شود (Schoonover, 2015). حفرات مهم‌ترین بخش ساختمان خاک به حساب می‌آیند که در فرایندهای نگهداری و انتقال آب و املاح، توسعه‌ی ریشه در عمق پروفیل، تنفس جمعیت میکروبی و واکنش خاک نقش مهمی بر عهده دارند (Tuller and Or, 2004).

مورفولوژی و ارتباط حفرات با یکدیگر از گذشته مورد توجه محققین بوده است. رفتار هر گروه از اشکال مختلف حفرات در رابطه با پدیده‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد و اطلاع از آن تناسب خاک مورد مطالعه را برای اهداف مختلف مشخص می‌سازد (Zdravkov et al., 2007). عمده‌ترین طبقه‌بندی‌های حفرات خاک مربوط به اندازه و شکل آن‌ها است. حفرات خاک از نظر اندازه به سه دسته‌ی حفرات درشت (macropores)، حفرات متوسط (mesopores) و حفرات ریز (micropores)، تقسیم‌بندی می‌شوند (Nimmo, 2004). حفرات درشت اندازه‌ای درشت‌تر از ۷۵ میکرون دارند و در نتیجه‌ی شکاف برداشتن خاک تحت تاثیر رشد ریشه و ریزجانداران و شکستن خاکدانه‌ها تشکیل می‌شوند. این حفرات در ظرفیت مزرعه پر از هوا هستند. حفرات متوسط اندازه‌ای بین ۳۰ تا ۷۵ میکرون دارند و در ظرفیت مزرعه پر از آب هستند. این حفرات معروف به حفرات ذخیره‌ای هستند، زیرا آب را در خود نگه و به راحتی در اختیار گیاه قرار می‌دهند. حفرات ریز کوچکتر از ۳۰ میکرون هستند و در نقطه پژمردگی دائم پر از آب هستند. وجود این حفرات از نظر فعالیت جمعیت میکروبی بی‌هوازی در خاک حائز اهمیت است (Perret, 1999).

توصیف دقیق حفرات از جمله شکل حفرات مشکل به نظر می‌رسد و نیازمند آن است که برخی فرضیات در آن دخیل شود (Alaoui, 2011). به همین دلیل مطالعه‌ی سیستم حفرات خاک در مقایسه با مطالعه‌ی ذرات آن، پیچیدگی‌های خاص خود را دارد. در مطالعه و تجزیه و تحلیل سیستم حفرات خاک سلاقی متفاوتی به کار برده می‌شود و تاکنون روش یکپارچه و جامعی برای مطالعه‌ی حفرات خاک ارائه نشده است. از این رو، برخی محققین حتی به این نتیجه رسیده‌اند که باید از تلاش برای درک دقیق سیستم حفرات و اندازه‌ی آن‌ها صرف نظر کرد. با وجود نظریه‌های با ارزشی که در رابطه با رفتار سیستم آب-خاک-هوا وجود دارد، مفاهیم به کار رفته در این سیستم هنوز جامعیت کافی ندارند (Nimmo, 2004).

تعیین خصوصیات حفرات و آنالیز آن‌ها به منظور تعیین رفتارهای خاک همواره با محدودیت‌های مختلفی روبرو بوده است که منشاء این محدودیت‌ها دانش ناکافی و فقدان ابزار مناسب برای مطالعه است (Passoni et al., 2014). مطالعات میکرومورفولوژیکی، روش‌های نوین مطالعه‌ی حفرات خاک هستند که موجب مشاهده و مطالعه‌ی مستقیم حفرات و تعیین اندازه، شکل، اتصال منافذ به یکدیگر و توزیع آن‌ها از نظر اندازه و شکل به صورت دقیق می‌شوند. اگر محقق دانش کافی از سرشت حفرات خاک و روش‌های میکرومورفولوژیکی داشته باشد می‌تواند با بهره‌گیری از ابزار موجود به اغلب محدودیت‌های موجود در مسیر مطالعه‌ی حفرات غلبه کند (Cooper et al., 2016). میکرومورفولوژی شاخه‌ای از علوم خاک است که به توصیف و تفسیر فرایندها و اندازه‌گیری اجزا، ویژگی‌ها و خواص خاک در بعد میکروسکوپی می‌پردازد (Fitz Patrick, 1993). مطالعه‌ی میکروسکوپی زیر نور فرابنفش، از روش‌هایی است که برای بررسی اجزای خاک در نمونه‌های دست نخورده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Cooper et al., 2016).

(Passoni et al., 2014) و (Cooper et al., 2016) تلاش کردند با استفاده از روش‌های میکرومورفولوژی حفرات را مشاهده و کلاس‌بندی کنند. (Russ (2011), Schoeneberger et al., (2012) و Hirmas et al., (2016) موفق شدند پارامترهای قطر خاکدانه را با استفاده از تجزیه و تحلیل تصویر تعیین نمایند اما هیچ‌گونه کلاس‌بندی در این رابطه انجام ندادند. هدف از پژوهش حاضر، کلاس‌بندی حفرات خاک به کمک خصوصیات هندسی بازگو کننده‌ی پارامترهای کمی اندازه و شکل آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Image Tool است. تعیین توزیع اندازه و شکل حفرات و مقایسه الگوی توزیع آن‌ها در خاک‌های مختلف و در اعماق مختلف یک خاک و ارتباط آن با برخی خصوصیات هیدرولیکی از اهداف دیگر این مطالعه است.

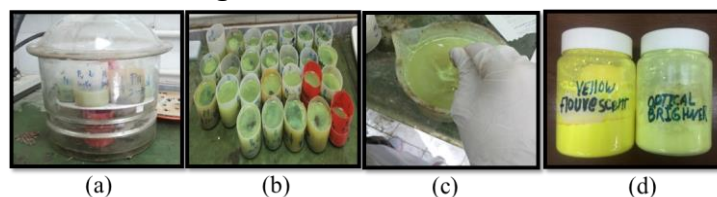
مواد و روش‌ها

مختصات جغرافیایی پروفیل‌های مورد مطالعه در جدول ۱ مشاهده می‌شود. رژیم حرارتی خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه ترمیک و رژیم رطوبتی آن اریدیک هم مرز با زیریک است. مواد مادری خاک مورد مطالعه رسوبات آبرفتی ریز بافت واقع بر روی رسوبات قطعات درشت (قلوه سنگ) با عمق متغیر بین ۱۰۰ تا ۱۷۰ سانتی متر است. کاربری اراضی در دهه‌های گذشته زراعی بوده و اخیراً (طی ۷-۸ سال گذشته) در اغلب قسمت‌ها به کشت درختان زینتی و احداث باغ بوتانیک تغییر یافته است.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی پروفیل‌های نمونه‌برداری شده

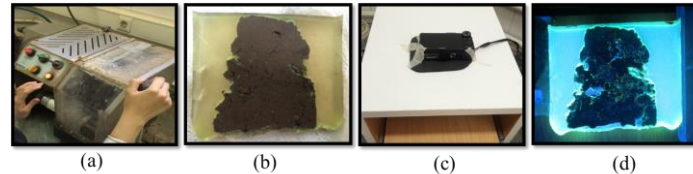
شماره‌ی پروفیل	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
پروفیل ۱	۳۵° ۴۸' ۴۳/۱"	۵۰° ۵۷' ۵۶/۰"
پروفیل ۵	۳۵° ۴۸' ۳۷/۹"	۵۰° ۵۸' ۰۲/۳"
پروفیل ۶	۳۵° ۴۸' ۳۵/۳"	۵۰° ۵۸' ۰۸/۱"

نمونه‌های دست نخورده برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک و همچنین مطالعات میکرومورفولوژی تهیه شدند. قبل از انتقال نمونه‌های دست نخورده به کارگاه تلقیح، ابتدا آزدایی آن‌ها در آون تحت دمای ۴۰ درجه‌ی سلسیوس و به مدت سه هفته انجام گرفت تا تغییرات وزن آن‌ها ثابت شود. سپس نمونه‌های دست نخورده از استوانه‌ها جدا و به ظروف پلاستیکی با اندازه‌ی مناسب منتقل شدند و با مخلوط پلی‌استر رزین باضافه استون به نسبت مساوی به همراه کاتالیست سخت‌کننده و ماده فلورسنت به مقدار مناسب در دسیکاتور خلاء تلقیح شدند. کاتالیست به مقداری اضافه شد که فرایند سخت شدن حدود شش هفته را سپری کند. اگر مشاهده شد که نمونه‌ها در زمان کمتری سخت می‌شوند باید با استفاده از گرما و تکان دادن مکانیکی این زمان را به تعویق انداخت (Ringrose-Voase, 1996). شکل (۱) مراحل تلقیح نمونه‌های خاک دست نخورده را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مراحل تهیه‌ی مایه تلقیح و کاربرد آن در نمونه‌های دست نخورده

پس از سخت شدن نمونه‌ها، ظروف پلاستیکی از آن‌ها جدا و نمونه‌ها برش داده شدند. در مواردی که تلقیح کامل انجام نشده بود نمونه‌ها مجدداً تلقیح شدند تا اطمینان حاصل شود که تمام حفرات با رزین پر شده‌اند. بلوک‌های تهیه شده در دستگاه سایش قرار داده و سطح آنها کاملاً صاف و صیقلی شد. در این مرحله بلوک در جایگاه ثابت و در اتاقک تاریک مجهز به لامپ‌های فرابنفش قرار داده شد (Geyger and Beckmann 1967) و تصویر دیجیتالی از نمونه تهیه شد. استفاده از ماده فلوروسنت در مایه تلقیح سبب می‌شود که حتی ریزترین حفرات در زیر نور فرابنفش درخشندگی کافی ایجاد کنند. شکل (۲) مراحل برش‌زنی و تهیه‌ی بلوک‌ها و تصویربرداری از آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۲- برش‌زنی، تهیه‌ی مقاطع نازک و تصویر برداری آن‌ها

در مطالعه‌ی حفرات موجود در مقاطع نازک، اجزای تصویر به دو دسته‌ی حفرات و بخش معدنی خاک تقسیم می‌شوند و از این رو می‌توان از تصاویر سیاه و سفید برای تجزیه و تحلیل حفرات بهره برد. تصاویر سیاه و سفید در مرحله‌ی بعد آستانه‌بندی می‌شوند و مرز بین حفرات و بخش معدنی خاک به وضوح در آن‌ها با رنگ‌های تیره و روشن (سیاه و سفید) مشخص می‌شود. تصاویر تهیه شده توسط نرم‌افزار Image tool مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در نهایت خصوصیات هندسی حفرات خاک کلاس‌بندی و فراوانی هر کلاس به صورت دقیق تعیین شد. با استفاده از نرم‌افزار Image tool پارامترهای گردی و قطر معادل برای حفرات تعیین شد. بعلاوه کلاس‌بندی هر یک از این پارامترها انجام گرفت و فراوانی هر یک از کلاس‌ها به دست آمد. داشتن چنین اطلاعاتی از خصوصیات هندسی حفرات خاک می‌تواند پیچیده‌ترین ویژگی‌های ساختمانی آن را برای محقق آشکار سازد. کسب چنین اطلاعات با ارزشی تنها از طریق مشاهده‌ی مستقیم منافذ در خاک امکان‌پذیر است.

نتایج و بحث

کلاس‌بندی حفرات خاک‌ها بر اساس سه عامل مساحت، محیط و گردش‌دگی و تعیین کمی این خصوصیات هندسی انجام شد. جدول ۲ این سه عامل را به همراه محدوده‌های طبقه‌بندی در هر کلاس نشان می‌دهد. با کمی دقت در جدول ۲ مشاهده می‌شود که حفرات موجود در هر کلاس بیش‌ترین شباهت را دارا هستند. تعداد حفرات شناسایی شده در ابعادی کوچک بسیار چشم‌گیر است و این نشان دهنده دقت و توانایی بالای روش رنگ آمیزی فلوروسنت با استفاده از نرم‌افزار Image tool در مطالعه حفرات است.

جدول ۲- محدوده‌های مورد استفاده در کلاس‌بندی حفرات خاک بر اساس خصوصیات آنها

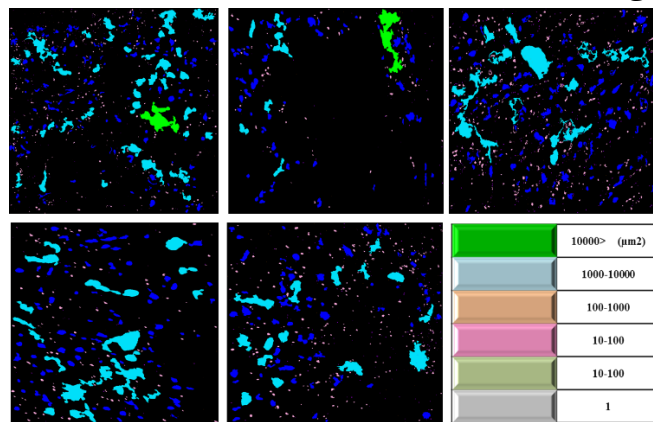
کلاس‌بندی بر اساس گردش‌دگی	کلاس‌بندی بر اساس محیط (میکرومتر)	کلاس‌بندی بر اساس مساحت (میکرومتر مربع)
پروفیل ۱	Fine- loamy, mixed, superactive, thermic, Xerofluentic Haplocambids	۱
پروفیل ۵	Fine, mixed, semiactive, thermic, Xerofluentic Haplocambids	۱-۱۰
پروفیل ۶	Fine- loamy, mixed, active, thermic, Xeric Haplocambids	۱۰-۱۰۰
		۱۰۰-۱۰۰۰
		۱۰۰۰-۱۰۰۰۰
		۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰

همانگونه که در جدول ۲ قابل مشاهده است خاک‌های مورد مطالعه در رده آریدی‌سول با یک افق کمبیک (Cambids) و فاقد سایر افق‌های مشخصه بوده و لذا در گروه بزرگ (Haplocambids) قرار گرفته‌اند. با توجه به هم‌مرز بودن خاک‌ها بین اقلیم

اریدیک با اقلیم زریک با توجه به خصوصیات لایه‌بندی خاک در زیرگروه‌های (دارای خصوصیات فلوننتیک (Xerofluventic) و یا فاقد خصوصیات فلوننتیک (Xeric)) قرار گرفتند. از نظر کلاس توزیع اندازه ذرات خاک‌ها در کلاس Fine-loamy یا Fine می‌باشند که دارای فعالیت تبادل کاتیونی active, semiactive و superactive هستند.

این شیوه کلاس‌بندی حفرات منجر به تعیین فراوانی حفرات و درصد هر یک از کلاس‌های حفرات از تخلخل کل می‌شود (شکل ۳ و جدول ۳). سایر مطالعات کلاس‌بندی حفرات مانند آنچه (Cooper et al., 2016) و (Passoni et al., 2014) انجام داده‌اند، همواره به صورت کیفی انجام گرفته‌است و حفرات را در سه دسته‌ی ریز، درشت و متوسط و یا گرد، حد وسط و کشیده تقسیم‌بندی کرده‌اند.

نرم‌افزار Image tool اطلاعات خروجی کلاس‌بندی حفرات را به دو صورت در اختیار محقق قرار می‌دهد. حالت اول اطلاعات تصویری است که در آن حفرات موجود در هر کلاس با رنگی متفاوت از سایرین مجزا شده است و محقق می‌تواند به صورت مشاهده‌ای تغییرات حفرات را در تصویر دنبال کند. نمونه‌ای از کلاس‌بندی تصویری مساحت حفرات خاک در اعماق مختلف پروفیل ۱ در شکل ۳ مشاهده می‌شود. در این شکل حفرات موجود در هر کلاس مساحت با رنگ‌های مجزا قابل تشخیص هستند.



شکل ۳- نمونه‌ای از کلاس‌بندی مساحت حفرات خاک عمق‌های مختلف پروفیل ۱ به صورت تصویری

جدول ۳- فراوانی (تعداد و درصد) هر یک از کلاس‌های پارامترهای مختلف حفرات در پروفیل شماره ۱

عمق CM فراوانی کلاس	۱۰-۰		۳۰-۲۰		۶۰-۵۰		۱۰۰-۹۰		تعداد	درصد
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد		
مساحت (میکرومتر مربع)*										
< ۱	۲۷۶	۰/۱۶	۴۷	۰/۱۱	۲۷۳	۰/۳۲	۵۳	۰/۰۶	۱۰۳	۰/۱۶
۱-۱۰	۳۸۷	۱/۰۸	۶۳	۰/۷۶	۵۳۳	۳/۰۴	۶۲	۰/۳۱	۲۱۳	۱/۶۲
۱۰-۱۰۰	۳۳۵	۷/۲۳	۸۰	۶/۷۲	۳۴۲	۱۳/۱۴	۱۱۶	۵/۶۶	۲۳۵	۱۱/۹۲
۱۰۰-۱۰۰۰	۱۳۰	۲۷/۸۸	۶۳	۴۶/۵۴	۱۰۹	۳۸/۱۹	۹۱	۳۴/۸۸	۷۲	۳۹/۱۴
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	۳۸	۵۳/۸۰	۶	۲۱/۰۶	۱۷	۴۵/۲۹	۲۰	۵۹/۰۷	۱۵	۴۷/۱۴
۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	۱	۹/۸۲	۱	۲۴/۷۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
محیط (میکرومتر)**										
۱۰-۱	۵۹۷	۷/۲۸	۹۷	۴/۴۹	۶۹۵	۱۰/۶۹	۱۰۵	۲/۶۱	۲۸۴	۸/۴۰
۲۰-۱۰	۲۲۷	۸/۷۰	۴۸	۶/۶۸	۲۷۱	۱۱/۷۲	۴۰	۳/۲۸	۱۵۱	۱۲/۲۲
۵۰-۲۰	۱۸۴	۱۵/۱۸	۵۵	۱۷/۰۹	۱۷۱	۱۶/۷۶	۱۰۳	۱۸/۷۷	۱۲۳	۲۰/۸۷
۱۰۰-۵۰	۷۳	۱۳/۵۸	۳۵	۲۲/۳۱	۸۱	۱۷/۸۲	۵۴	۲۲/۱۴	۴۰	۱۶/۶۹
۱۰۰۰-۱۰۰	۸۴	۴۸/۱۲	۲۴	۳۸/۲۵	۵۶	۴۳	۳۹	۴۷/۴۷	۴۰	۴۱/۸۲
۱۰۰۰۰<	۲	۷/۱۲	۱	۱۱/۱۵	۰	۰	۱	۵/۷۳	۰	۰
گردشگی (بدون واحد)**										
< ۰/۵	۱۱۸	۱۰/۱۱	۳۸	۱۴/۶۱	۱۷۸	۱۳/۹۷	۴۲	۱۲/۲۸	۶۰	۹/۴۰
۰/۱-۵	۷۲۴	۶۲/۰۳	۱۷۴	۶۶/۹۲	۷۴۱	۵۸/۱۶	۲۵۰	۷۳/۱۰	۴۱۷	۶۵/۳۶
۲-۱	۱۹۲	۱۶/۴۵	۲۷	۱۰/۳۸	۱۸۷	۱۴/۶۸	۲۵	۷/۳۱	۱۰۳	۱۶/۱۴
۵-۲	۲۲	۱/۸۸	۴	۱/۵۳	۲۴	۱/۸۸	۳	۳/۸۸	۸	۱/۲۵
۱۰-۵	۱۱۱	۹/۵۱	۱۷	۰/۵۳	۱۴۴	۱۱/۳۰	۲۲	۶/۴۳	۵۰	۷/۸۴

* درصد بر مبنای تعداد کل حفرات تعیین شده است.

** درصد بر مبنای تخلخل کل تعیین شده است.



خروجی دوم نرم‌افزار Image Tool نتایج کمی کلاس‌بندی حفرات به صورت فایل Excel است. نمونه‌ای از کلاس‌بندی حفرات تشکیل دهنده‌ی خاک در عمق‌های مختلف پروفیل شماره‌ی ۱ در جدول ۳ ارائه شده است. این نتایج به خوبی نمایانگر توانایی روش رنگ آمیزی فلورسنت و نرم‌افزار Image tool در مشاهده‌ی حفرات و کلاس‌بندی آن‌هاست. تفاوت این روش با سایر کلاس‌بندی‌ها به منظور تفکیک حفرات مختلف قابل توجه است. حفرات خاک در نمونه‌های تهیه شده از اعماق مختلف همه پروفیل‌های مورد مطالعه با استفاده از روش رنگ آمیزی فلورسنت کلاس‌بندی شدند، در این مقاله جهت اختصار نتایج پروفیل شماره ۱ ذکر شده است (جدول ۳).

نتایج نشان داد نرم‌افزار Image tool قادر به مشاهده و تعیین حفرات با قطر $1/13$ تا 350 میکرومتر است. حفراتی با ابعاد $1/13$ میکرومتر مکشی حدود $2/6$ بار ایجاد می‌کنند. بنا به نظر (Tuller and Or, 2003) منحنی رطوبتی خاک تا مکش ۱ بار مربوط به بخش حفرات ساختمانی است و در مکش‌های بیش‌تر که ناشی از حفرات ریزتر هستند، منحنی رطوبتی به بافت خاک مربوط است.

باید توجه شود که بر اساس رابطه‌ی پوآزوی، دبی جریان با توان چهارم شعاع منافذ رابطه‌ی مستقیم دارد و در نتیجه افق‌هایی از خاک که دارای منافذ با قطر (از طریق مساحت حفره تعیین می‌شود) مساوی یا بیش‌تر از 150 میکرون هستند قادرند حداقل تا 5 برابر خاک‌هایی که بزرگ‌ترین قطر حفره‌ی آن‌ها 100 میکرون است آب و املاح را جابه‌جا کنند. همچنین با توجه به قانون پوآزی خاکی که دارای یک حفره‌ی 200 میکرونی است قادر است به اندازه‌ی $1/5$ میلیارد حفره‌ی 1 میکرونی آب و املاح را انتقال دهد. از این رو تعیین حفرات با قطر درشت در خاک حتی اگر تعداد آن‌ها خیلی کم باشد بسیار حائز اهمیت است، زیرا منجر به جریان ترجیحی آب و املاح در خاک می‌شوند. چنین حفراتی منجر به ایجاد خطا در تعیین هدایت هیدرولیکی و مکش ورود هوا می‌شوند و درک منشا این خطا راهی جز مشاهده‌ی مستقیم این حفرات باقی نمی‌گذارد.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که روش تصویربرداری با رنگ آمیزی فلورسنت و استفاده از نرم‌افزار Image tool با توجه به رزولوشن تصاویر تهیه شده علاوه بر حفرات ساختمانی بخشی از حفرات وابسته به بافت را نیز شناسایی می‌کند. افزایش رزولوشن تصاویر و استفاده از پردازش‌گرهای توانمند می‌تواند به نتایج دقیق‌تری در این زمینه منتهی شود. (Cooper et al., 2016) کلاس‌بندی مساحت حفرات را با استفاده از نرم‌افزار ¹ SPIA انجام دادند. در کلاس‌بندی آن‌ها تفکیک حفرات دارای مساحت کم‌تر از 156 میکرومتر مربع امکان‌پذیر نشد، در حالی که در تحقیق حاضر با توجه به استفاده روش رنگ آمیزی فلورسنت و نرم‌افزار Image tool حفرات با اندازه‌ی 1 میکرومتر مربع قابل مشاهده بودند. این نتایج نشان می‌دهد که روش رنگ آمیزی فلورسنت و نرم‌افزار Image tool قابلیت بالاتری در مشاهده‌ی حفرات کوچک دارد.

جدول ۳ درصد و فراوانی هر یک از کلاس‌های محیط حفرات پروفیل ۱ را نیز نشان می‌دهد. تعیین محیط حفرات ضمن ارائه برآوردی از سطوح تماس حفرات با بخش سیال خاک می‌تواند شکل هندسی واقعی حفرات را نیز مشخص کند. بدین ترتیب لزومی به فرض کروی بودن همه حفرات نخواهد بود.

از نتایج قابل توجه در جدول ۳ فراوانی زیاد حفرات موجود در کلاس‌های با مساحت و محیط کوچک است که به صورت واضح و آشکار توانایی بالای روش مورد استفاده را در مشاهده‌ی حفرات ریز نشان می‌دهد. تصور می‌شود که عوامل اصلی افزایش قدرت مشاهده در روش مورد استفاده‌ی این پژوهش نسبت به مطالعات (Cooper et al., 2016) و (Passoni et al., 2014)، یکی استفاده از ماده‌ی رنگی فلورسنت و تصویربرداری با استفاده از نور فرابنفش (UV²) است که منجر به درخشندگی و قابلیت مشاهده‌ی ریزترین حفرات می‌شود و دیگری استفاده از نرم‌افزار Image tool است که اختصاصاً برای مطالعه‌ی محیط‌های متخلخل تهیه شده است.

همانگونه که قبلاً ذکر شد میزان گردش‌گی بین ۰ و ۱ متغیر است و هرچه عدد بزرگ‌تر باشد نشان دهنده گردش‌گی بیشتر است و عدد ۱ نشان دهنده دایره کامل است. جدول ۳ نتایج حاصل از آنالیز تصاویر را برای گردش‌گی حفرات نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود تقریباً بیش از 55 درصد حفرات در تمامی اعماق مطالعه شده دارای شاخص گردش‌گی $0/1-0/5$ است.



هستند. حفرات با گردشگری زیاد حداقل فراوانی را نشان می‌دهند که باز هم می‌تواند فرض کروی بودن حفرات را مورد تردید قرار دهد. (Cooper et al., 2016) کلاس‌بندی گردشگری حفرات را نیز به صورت کیفی انجام دادند، در حالی که مشاهده می‌شود که روش مورد استفاده در این تحقیق توانایی تعیین کمی کلاس گردی حفرات را دارد و نشان می‌دهد که در خاک مورد مطالعه چه تعداد از حفرات با گردشگری مشخص وجود دارد.

(Russ, 2011) و (Schoeneberger et al., 2012) برای کسب اطلاعاتی در رابطه با ساختمان خاک، گردشگری را برای خاک‌دانه‌ها تعیین کردند. تعیین این پارامترها برای حفرات تشکیل دهنده‌ی خاک می‌تواند توصیف بهتری از ساختمان خاک ارائه دهد. در تحقیقی که (Passoni et al., 2014) انجام دادند، گردشگری حفرات به صورت کیفی تعیین شد. در آن تحقیق تعداد حفرات با کشیدگی و گردشگری زیاد کمتر مشاهده شد و این در حالی است که در پژوهش حاضر علاوه بر این که گردشگری و کشیدگی حفرات به صورت کمی تعیین و تعداد قابل ملاحظه‌ای از حفرات دارای کشیدگی و گردشگری زیاد مشاهده شده است. در تحقیق حاضر نشان داده شد که می‌توان با بکارگیری روش رنگ آمیزی فلورسنت و یک نرم‌افزار مناسب همچون Image tool اصلی‌ترین جزء ساختمان خاک یعنی حفرات را به صورت کمی مورد مطالعه قرار داد و کلاس‌بندی کرد. شایان توجه است که برای تمامی پروفیل‌های مورد مطالعه کلاس‌بندی حفرات با استفاده از نرم‌افزار Image tool انجام گرفت و در همه‌ی موارد، روش رنگ آمیزی فلورسنت کارایی لازم را در مطالعه و تفکیک حفرات از یکدیگر داشت.

منابع

- Alaoui, A., Lipiec, J., & Gerke, H. H. (2011). A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. *Soil and Tillage Research*, 115, 1-15.
- Cooper, M., Boschi, R. S., Silva, V. B. D., & Silva, L. F. S. D. (2016). Software for micromorphometric characterization of soil pores obtained from 2-D image analysis. *Scientia Agricola*, 73(4), 388-393.
- FitzPatrick, E. A., & Fitzpatrick, E. A. (1993). *Soil microscopy and micromorphology* (p. 304). Chichester: John Wiley & Sons.
- Beckmann, W., & Geyger, E. V. (1967). Entwurf einer Ordnung der natürlichen Hohlraum-, aggregat- und Strukturformen im Boden. *Die Mikromorphometrische Bodenanalyse*, 165-188.
- Hirmas, D. R., Giménez, D., Mome Filho, E. A., Patterson, M., Drager, K., Platt, B. F., & Eck, D. V. (2016). Quantifying Soil Structure and Porosity Using Three-Dimensional Laser Scanning. In *Digital Soil Morphometrics* (pp. 19-35). Springer International Publishing.
- Manual of Image Tool. (2001). UTHSCSA.
- Nimmo, J. R. (2004). Porosity and pore size distribution. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 3, 295-303.
- Passoni, S., Borges, F. D. S., Pires, L. F., Saab, S. D. C., & Cooper, M. (2014). Software Image J to study soil pore distribution. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2), 122-128.
- Perret, J., Prasher, S. O., Kantzas, A., & Langford, C. (1999). Three-dimensional quantification of macropore networks in undisturbed soil cores. *Soil Science Society of America Journal*, 63(6), 1530-1543.
- Ringrose-Voase A. (1996). Measurement of soil macropore geometry by image analysis of sections through impregnated soil. CSIRO Division of Soils, GPO Box 639, Canberra, ACT 2601, Australia, *Plant and Soil* 183: 27-47
- Russ, J. C. (2011). Processing binary images. *The Image Processing Handbook*, 4, 410-412.
- Schoonover, J. E., & Crim, J. F. (2015). An introduction to soil concepts and the role of soils in watershed management. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 154(1), 21-47.
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., & Benham, E. C. (2012). *Field book for describing and sampling soils, Version 3.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 36.
- Tuller, M., & Or, D. (2004). Retention of water in soil and the soil water characteristic curve. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 4, 278-289.
- Zdravkov, B., Čermák, J., Šefara, M., & Janků, J. (2007). Pore classification in the characterization of porous materials: A perspective. *Open Chemistry*, 5(2), 385-395.

Characterizing soil pores using fluorescent dye method

A. Bakhshi¹, A. Haidari² and M. H. Mohammadi³

1, 2, 3 respectively, Master Graduate, Professor and Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Iran

Abstract



پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

محور مقاله: پیدایش و رده‌بندی خاک

۶ تا ۸ شهریور ۱۳۹۶



Soil porosity plays a major role in the soil formation and control of soil processes. Due to the heterogeneity of soil which mainly is ignored by considering some assumptions for simplification, the studies on soil porosity were faced with several complexities. In this study, in order to overcome these complexities, based on micromorphological methods and direct observation of pores, undisturbed soil samples were impregnated with a mixture of fluorescent dye and diluted polyester resin by acetone. After drying, the samples were cut and 40 digital images were taken from each sample using a digital camera under ultraviolet light. The images were transferred to Image tool software and on the basis of area, perimeter, and roundness were in different classes and with different colors separated. The results showed that based on this method can be well identified and separated pores with different characteristics.

Key words: micromorphology, soil porosity, ultraviolet light.