محور مقاله: فیزیک خاک و رشد گیاه

قابلیت زهکشی خاک‌ها و تاثیر عمق مطالعه بر زمان و مقدار تخلیه آب

احسان قزلباش[۱*]، مهدی شرفا[۲]، محمد حسین محمدی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

[۲] استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

[۳] دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

چکیده

زهکشی آب از خاک در کنار تاثیر بر بسیاری از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی در رابطه با نحوه رابطه آب و خاک تعیین کننده است. متقابلاً ویژگی‌های فیزیکی خاک نحوه انجام زهکشی را کنترل می‌کنند. از طرفی توان نگهداری آب در خاک تابع مستقیم الگوی زهکشی است و بنابراین این پژوهش برای آگاهی از تاثیر عمق خاک بر زهکشی و به دنبال آن توان نگهداری آب در خاک انجام شد. سه ستون خاک لوم رسی، لومی و شنی به ارتفاع ۳۰۰ سانتی‌متر تهیه و در سه عمق ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۸۰ سانتی‌متر خروجی زهاب تعبیه شد. منحنی‌های زهکشی برای هر سه عمق ستون-های خاک اشباع از محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم اندازه‌گیری شد. زهاب خروجی تا زمانی که قابل اندازه‌گیری باشد جمع‌آوری و شدت زهکشی در فواصل زمانی متناوب محاسبه شد. شدت نهایی زهکشی نیز در تمامی مراحل آزمایش محاسبه شد که در دامنه ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر در روز در بین خاک‌ها و عمق‌های مورد مطالعه تغییر نشان داد. در این پژوهش نحوه زهکشی خاک با هدف دستیابی به ظرفیت مزرعه و پویایی جریان عمودی آب در خاک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

کلمات کلیدی: شدت نهایی زهکشی، توان نگهداری آب، عمق خاک.

مقدمه

زهکشی خاک یک فرایند طبیعی است که در آن آب از میان خلل و فرج خاک گذر کرده و در نتیجه نیروی گرانش از آن خارج می‌شود (Hillel and Hatfield, 2005). زهکشی خاک می‌تواند در انتخاب گیاه مناسب برای کشت موثر باشد. بسیاری از خاک‌های کشاورزی برای توسعه، تولید پایدار و یا مدیریت ذخایر آب به زهکشی خوب نیاز دارند (Haroun, 2004). زهکشی بر توان نگهداری آب و فراهمی آن برای گیاه موثر است (Twarakavi et al., 2009) و به عبارتی زهکشی و توان نگهداری آب در خاک ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند. یکی از شاخص‌های مهم برای بیان توان ذخیره آب در خاک ظرفیت مزرعه[۱] (FC) است (Aschonitis et al., 2013). به طور کلی FC مقدار رطوبتی است که پس از تخلیه آب قابل زهکشی در خاک باقی می‌ماند و در این وضعیت جریان رو به پایین آب در خاک به شدت کاهش می‌یابد (Veihmeyer and Hendrickson, 1931). بررسی تعاریف زهکشی خاک و FC نشان می‌دهد که این دو خصوصیت تا چه اندازه نزدیک هستند و با تعیین منحنی زهکشی خاک می‌توان به تخمین یا محاسبه ظرفیت مزرعه پرداخت. از طرفی با محاسبه FC توان نگهداری آب در خاک و چگونگی انتقال و تخلیه آب قابل بررسی خواهد بود و همچنین امکان استفاده از FC به عنوان حد بالای رطوبت قابل استفاده مورد سنجش قرار می‌گیرد. محققین مختلف شدت زهکشی خاک در وضعیت FC را با توجه به ویژگی‌های خاک و شیوه‌ای که مورد استفاده قرار داده‌اند معادل با مقادیر مختلفی از جمله ۰/۰۵ میلی‌متر در روز (Nachabe, 1998)، ۰/۱ میلی‌متر در روز (Twarakavi et al., 2009; Sun and Yang, 2013) و بین ۰/۰۱ تا ۱ میلی‌متر در روز در نظر گرفتند (Meyer and Gee, 1999). با این وجود، هیچکدام از مقادیر مذکور برای همه شرایط و خاک‌ها جامعیت ندارد و مقدار FC باید با توجه به الگوی زهکشی خاک‌ها و زمان لازم برای کاهش قابل ملاحظه شدت زهکشی برای هر خاک به صورت منحصر بفرد مورد اندازه‌گیری و محاسبه قرار گیرد (Assouline and Or, 2014). این پژوهش با هدف تعیین منحنی‌های زهکشی در سه عمق مختلف ستون‌های خاک سبک، متوسط و سنگین بافت تدوین شدتا اولاً در رابطه با زمان

*ایمیل نویسنده مسئول: ehsanghezelbash@ut.ac.ir

[1] Field Capacity

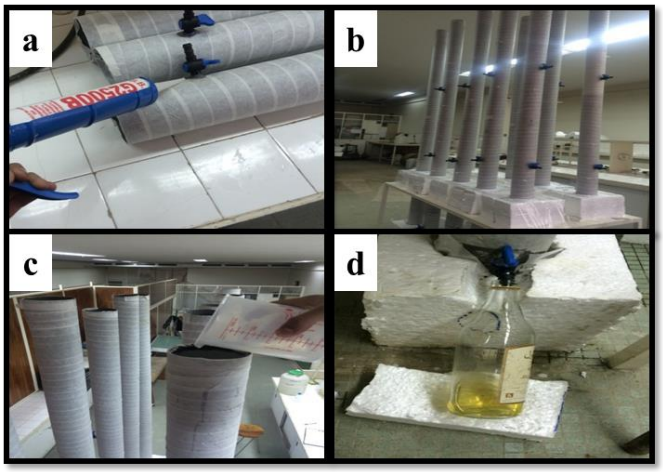
حصول ظرفیت مزرعه، توان نگهداری آب در خاک و تصمیم‌گیری درباره نحوه تعیین آب قابل استفاده برای گیاه اظهار نظر کرد و ثانیاً تاثیر عمق مطالعه بر هریک از این ویژگی‌ها را مطالعه نمود.

مواد و روش‌ها

در تابستان سال ۱۳۹۴ نمونه‌های خاک با بافت سبک، متوسط و سنگین از دشت‌های جنوبی استان البرز واقع در شهرهای هشتگرد و نظرآباد تهیه شده و به آزمایشگاه فیزیک و حفاظت خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شد. توزیع اندازه‌ای ذرات خاک (PSD[2]) که به روش (Gee and Or, 2002) اندازه‌گیری شد نشان داد نمونه‌های خاک در دسته بافت‌های لوم رسی، لوم و شن قرار می‌گیرند. همچنین منحنی مشخصه آب خاک (SWC[3]) ترسیم و پارامترهای مدل ون‌گنوختن[4] (۱۹۸۰) برای نمونه‌های خاک مورد محاسبه قرار گرفت. به منظور تهیه ستون‌های خاک، نمونه‌های جمع‌آوری شده پس از هواخشک شدن، از الک با قطر توری ۴ میلی‌متر عبور داده شد. در ادامه سه عدد لوله PVC با طول و قطر به ترتیب ۳۰۰ و ۱۱ سانتی سانتی‌متر فراهم و در سه عمق ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۸۰ سانتی‌متری شیر خروجی با قطر دهانه نیم اینچ تعبیه شد و برای جلوگیری از خروج خاک نیز در ورودی شیرها توری نازکی قرار داده شد. سپس نمونه‌های خاک لوم رسی، لوم و شنی به آهستگی و با دقت به طوری که ذرات آن توجیه نشود به ترتیب در ستون‌های (۱)، (۲) و (۳) تخلیه شد. برای اطمینان از تخلیه یکنواخت خاک درون ستون‌ها، با مه‌پاشی توسط آبفشان خاک‌ها کمی نم‌دار شد. همچنین در حد فاصل شیرهای خروجی نیز به جای نمونه خاک، شن درشت اضافه شد تا به عنوان یک عایق هیدرولیکی مانع از جریان عمودی رو به بالا در حین آزمایش شود.

پس از آماده‌سازی و استقرار ستون‌های خاک شیرهای خروجی در حالت باز قرار گرفته و آب به آهستگی از بالا اضافه شد تا ستون خاک به خوبی اشباع شده و جریان ماندگار آب در آن ایجاد شود. به منظور جلوگیری از پخشیدگی رس و بروز مشکلات ناشی از آن از محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم برای اشباع کردن خاک ستون‌ها استفاده شد. پس از ایجاد جریان ماندگار در عمق ۲۸۰ سانتی‌متر شیر مربوط به آن در حالت بسته قرار گرفت و این شیوه تا اشباع کامل ستون خاک و برقراری جریان ماندگار آب در شیر ۱۰۰ سانتی‌متر ادامه پیدا کرد. پس از ایجاد حالت اشباع ستون خاک به مدت یک شبانه روز به حال خود رها شد. در این مدت و نیز در کل مراحل آزمایش ابتدای ستون با درپوش پلاستیکی پوشانده شد تا مانع از تبخیر آب در آن ناحیه شود. پس از ۲۴ ساعت و با اطمینان از اشباع شدن ستون خاک، شیر ۱۰۰ سانتی‌متر در حالت باز قرار گرفت و بلافاصله زمان ثبت و حجم آب خروجی اندازه‌گیری شد و این شیوه تا زمانی که خروج آب از شیر ۱۰۰ سانتی‌متر متوقف شود ادامه پیدا کرد. به این صورت منحنی‌های زهکشی به ترتیب برای عمق‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۸۰ سانتی‌متر در طی سه مرحله اشباع کردن ستون خاک تعیین و ترسیم شد. شکل (۱) تصاویری از مراحل تهیه ستون خاک، اشباع کردن آن و جمع‌آوری زهاب و تعیین منحنی‌های زهکشی را نشان می‌دهد.

[2] - Particle Size Distribution
[3] - Soil Water Characteristic Curve
[4] - Van Genuchten



شکل ۱. مراحل مختلف انجام پژوهش a) تعبیه شیر خروجی در لوله‌های PVC، b) استقرار ستون‌های خاک، c) اشباع کردن ستون‌های خاک، d) جمع‌آوری زهاب و تعیین منحنی زهکشی

نتایج و بحث

جدول (۱)، برخی ویژگی‌های خاک شامل بافت، درصد نسبی ذرات اولیه و پارامترهای شکل SWC را نشان می‌دهد. سه خاک مورد مطالعه علاوه بر اختلاف کافی در بافت، از نظر درصد رس و خصوصیات هیدرولیکی کاملاً متمایز هستند و این امکان مقایسه منحنی‌های زهکشی در خاک‌های متفاوت را فراهم نمود.

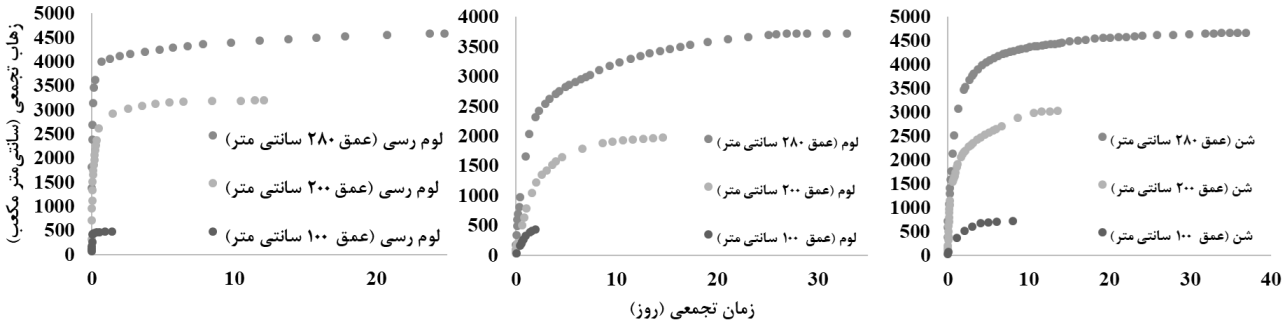
جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

بافت خاک	شن (در صد)	سیلت (در صد)	رس (در صد)	n (بدون واحد)	α (بدون واحد)	θ_S (در صد)	θ_r (در صد)
لوم رسی	۲۵	۴۵	۳۰	۱/۲۱	۰/۰۷۵	۵۲	۸
لوم	۵۰	۳۶	۱۴	۱/۷	۰/۰۱۲	۴۱	۹
شن	۸۷/۵	۸	۴/۵	۲/۶۱	۰/۱۴۶	۳۲	۰

n و m پارامترهای شکل منحنی مشخصه آب خاک

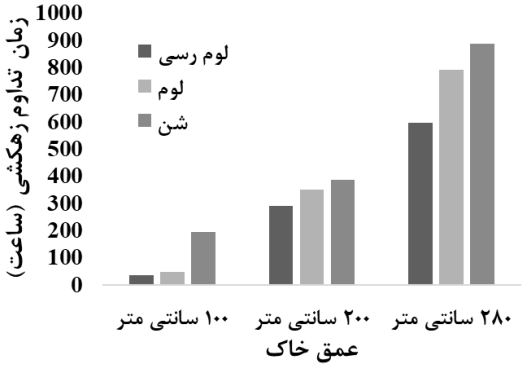
θ_S و θ_r به ترتیب رطوبت اشباع و رطوبت باقی مانده در منحنی مشخصه رطوبتی

شکل (۲) منحنی‌های زهکشی تجمعی مربوط به ستون خاک شماره (۱) را در سه عمق ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۸۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد که حاوی خاک لوم رسی است. منحنی های زهکشی حاصل از سه عمق مورد مطالعه نشان داد افزایش عمق خاک بر حجم آب زهکشی شده و زمان تداوم زهکشی بسیار اثرگذار است. یکی از عوامل مهمی که در این زمینه تاثیرگذار است اختلاف حجم آب دریافتی متفاوت بین هریک از عمق‌های مورد مطالعه است. به عبارت دیگر ارتفاع خاک و آب موجود در بالای عمق ۲۸۰ سانتی‌متر (عمق سوم) بیش‌تر از عمق ۲۰۰ سانتی‌متر (عمق دوم) و عمق ۱۰۰ سانتی‌متر (عمق اول) است و بنابراین طبیعی است که حجم آب زهکشی و زمان تداوم زهکشی در عمق سوم بیش‌تر از عمق‌های بالایی باشد. اما بررسی شیب منحنی‌های زهکشی (شدت زهکشی) در نواحی مختلف منحنی‌های شکل (۲) نشان می‌دهد که افزایش عمق خاک به طور قابل توجهی شدت زهکشی ابتدایی را افزایش داده است و در ساعات اولیه پس از اشباع مقدار بسیار قابل ملاحظه‌ای زهاب از سطح مقطع ستون خاک در عمق سوم خارج شده است.



شکل ۲. منحنی زهکشی تجمعی برای سه عمق ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۸۰ سانتی‌متر ستون‌های خاک مورد مطالعه

شکل (۳) به صورت منحنی‌های ستونی اختلاف بین سه خاک مورد مطالعه و نیز سه عمق متفاوت را از نظر تداوم زمان زهکشی نشان می‌دهد. نوع خاک به وضوح تداوم زهکشی را تحت تاثیر قرار داده است و این اثر با افزایش عمق مطالعه تشدید شده است. خاک شنی در همه عمق‌های مورد مطالعه اختلاف قابل ملاحظه‌ای با دو خاک دیگر نشان داد. در حالی که، دو خاک لومی و لوم رسی در عمق اول کم‌تر از ۱۲ ساعت از نظر تداوم زهکشی اختلاف دارند و با افزایش عمق خاک اختلاف بین آن‌ها افزایش پیدا کرده است. با این که از دیدگاه آمار اختلاف معنی‌دار از نظر زمان تداوم زهکشی در بین سه خاک مورد مطالعه وجود ندارد اما منحنی‌های شکل (۳) نشان می‌دهد هرچه بافت خاک سبک‌تر شود مقدار بیش‌تری آب از دست می‌دهد تا به FC برسد و این از نظر خاکشناسی و مدیریت ذخایر آب بسیار مهم است و به همین دلیل در تمامی مطالعات مرتبط از انجام مقایسات آماری اجتناب شده است (Nachabe, 1998, Twarakavi et al., 2009, Assouline and Or, 2014). با این حال، این منحنی‌ها برای نتیجه‌گیری درباره زمان رسیدن به FC کافی نیست زیرا با توجه به تعریف برای ایجاد وضعیت ظرفیت مزرعه باید شدت زهکشی از خاک تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد (Veihmeyer and Hendrickson, 1931). این حد زهکشی قابل چشم‌پوشی توسط محققین مختلف مقادیر متفاوتی به خود اختصاص داده است (Nachabe, 1998; Meyer and Gee, 1999; Twarakavi et al., 2009; Sun and Yang, 2013) و تاکنون مقدار ثابت و یکسانی برای آن گزارش نشده است و اخیراً روش‌هایی برای محاسبه مقدار مختص FC برای هر خاک مجزا ارائه شده است (Assouline and Or, 2014).



شکل ۳. اثر نوع خاک و عمق مطالعه بر زمان تداوم زهکشی

جدول (۲) شدت زهکشی نهایی اندازه‌گیری شده را برای ستون‌های خاک در سه عمق مورد مطالعه به همراه مقادیر میانگین مربوط به هر کلاس بافت و عمق خاک، نشان می‌دهد. نکته بسیار قابل توجه این است که علی‌رغم تلاش برای تهیه منحنی‌های زهکشی کامل، در هیچکدام از مطالعات و اندازه-گیری‌های انجام گرفته شدت زهکشی نهایی به حدود FC که توسط محققین معرفی شده (Nachabe, 1998; Meyer and Gee, 1999; Twarakavi et al., 2009; Sun and Yang, 2013) نرسیده است. حتی مشخص است که فاصله قابل توجهی برای رسیدن شدت زهکشی به حدود تعیین شده ازجمله ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۱ میلی‌متر در روز باقی است و باید روزهای طولانی برای رسیدن به ظرفیت مزرعه صرف می‌شد. چنین اختلاف و خلاء قابل ملاحظه‌ای ناشی از دو عامل است. عامل اول این است که هیچ‌کدام از این حدود تعیین شده مبتنی بر قوانین هیدرولیکی و فیزیک خاک نیست و بر اساس تجربه و سلیقه ارائه شده است (Assoiline and Or, 2014; VanLier, 2017) و بنابراین برای همه خاک‌ها و شرایط صادق نیست.

عامل دوم وابستگی مطالعات زهکشی بر مقیاس است و نمی‌توان در ستون‌های خاک با حجم محدود شدت‌های زهکشی ناچیز را مشاهده و اندازه‌گیری کرد و برای این منظور مطالعات میدانی با حجم خاک زیاد مورد نیاز است. شدت زهکشی نهایی در هر سه خاک مورد مطالعه با افزایش عمق تغییر کرده است و در ستون شماره (۳) به صورت تصاعدی افزایش نشان می‌دهد. نکته قابل ملاحظه در ستون شماره (۳) که حاوی خاک شنی است مقادیر زیاد شدت زهکشی نهایی در عمق‌های دوم و سوم است و این نشان می‌دهد الگوی زهکشی در خاک‌های شنی تعادل مناسبی ندارد و به صورت پله‌ای[5] پیش می‌رود. همین عامل تعیین حد ظرفیت مزرعه در خاک‌های شنی را دشوار می‌کند و نمی‌توان به سادگی از طریق شدت زهکشی نسبت به حصول FC در چنین خاک‌هایی اظهار نظر کرد.

جدول ۲. شدت زهکشی نهایی در سه عمق متفاوت ستون‌های خاک مورد مطالعه

کلاس بافت خاک	شدت زهکشی نهایی (سانتی‌متر بر روز)			
	عمق ۱۰۰ سانتی‌متر	عمق ۲۰۰ سانتی‌متر	عمق ۲۸۰ سانتی‌متر	میانگین سه عمق
لوم رسی	۹/۹۵	۱۶/۷۲	۱۶/۰۶	۱۴/۲۴
لوم	۱۲/۴۷	۲۰/۷۶	۱۹/۶	۱۷/۶۱
شن	۳/۷۶	۳۱/۸۴	۴۹/۰۵	۲۸/۲۲
میانگین سه کلاس بافت	۸/۷۲	۲۳/۱۱	۲۸/۲۴	

اگر حدود شدت زهکشی نظیر FC را، که توسط محققین مختلف (Nachabe, 1998; Meyer and Gee, 1999; Twarakavi et al., 2009; Sun and Yang, 2013) معرفی شده است، به صورت حدودی صحیح در نظر بگیریم خاک‌های مورد مطالعه حداقل چندین روز دیگر تا رسیدن به ظرفیت مزرعه زمان لازم داشته‌اند. بنابراین در کم‌ترین زمان تداوم زهکشی اندازه‌گیری شده، که متعلق به عمق اول خاک لوم رسی است، حداقل بیش‌تر از ۳ روز زمان لازم است تا خاک به وضعیت FC برسد و چنین نتیجه‌ای بلافاصله امکان استفاده از ظرفیت مزرعه به عنوان حد بالای رطوبت قابل استفاده را علی‌رغم تحقیقات مهمی که بر این اساس انجام گرفته (DaSilva et al., 1994; Groenevelt et al., 2001; Minasny and McBratney, 2003) رد می‌کند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش بر تاثیر توام نوع خاک و عمق مطالعه بر خصوصیات هیدرولیکی شامل الگوی زهکشی و توان نگهداری آب در خاک تاکید کرد. خاک‌های سبک بافت پس از آبیاری و بارندگی به سرعت حجم قابل توجهی از آب دریافتی را تخلیه می‌کنند و قبل از رسیدن با وضعیت ظرفیت مزرعه مقدار چشم‌گیری آب از دست می‌دهند. در حالی که با افزایش درصد رس جریان پویای آب در خاک و زهکشی آن کنترل شده و بخش بیش‌تری از آب دریافتی ذخیره می‌شود. در این مطالعه افزایش تصاعدی شدت، مقدار و تداوم زمان زهکشی با افزایش عمق خاک به وضوح مشاهده شد. با افزایش عمق مطالعه شدت نهایی زهکشی هم تحت تاثیر قرار گرفت و این ثابت می‌کند ظرفیت مزرعه یک ویژگی وابسته به مکان است و از تغییرات مکانی تبعیت می‌کند و حتی در یک خاک منحصربفرد نمی‌توان یک مقدار و حد ثابت برای FC تعریف نمود. این نتیجه با دانش بر اینکه برای حصول ظرفیت مزرعه روزهای طولانی نیاز است استفاده از ظرفیت مزرعه به عنوان حد بالای رطوبت قابل استفاده را ناممکن می‌کند.

منابع

Aschonitis, V.G., Antonopoulos, V.Z., Lekakis, E.H., Litskas, V.D., Kotsopoulos, S.A. and Karamouzis, D.N., 2013. Estimation of field capacity for aggregated soils using changes of the water retention curve under the effects of compaction. *European journal of soil science*, *64*(5), pp.688-698.

[5] - Step Function

Assouline, S. and Or, D., 2014. The concept of field capacity revisited: Defining intrinsic static and dynamic criteria for soil internal drainage dynamics. *Water Resources Research*, *50*(6), pp.4787-4802.

daSilva, A.P., Kay, B.D. and Perfect, E., 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal*, *58*(6), pp.1775-1781.

Gee, G.W. and Or, D., 2002. 2.4 Particle-size analysis. *Methods of soil analysis. Part*, *4*(598), pp.255-293.

Groenevelt, P.H., Grant, C.D. and Semetsa, S., 2001. A new procedure to determine soil water availability. *Soil Research*, *39*(3), pp.577-598.

Haroun, O.R.M., 2004. *Soil evaluation systems as a guide to identify an economical feasibility study for agricultural purposes in El-Fayoum Province, Egypt* (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Fac. of Agric., El-Fayoum Cairo University, Egypt).

Hillel, D. and Hatfield, J.L. eds., 2005. *Encyclopedia of Soils in the Environment* (Vol. 3). Amsterdam: Elsevier.

Meyer, P.D. and Gee, G.W., 1999. Flux-based estimation of field capacity. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *125*(7), pp.595-599.

Minasny, B. and McBratney, A.B., 2003. Integral energy as a measure of soil-water availability. *Plant and Soil*, *249*(2), pp.253-262.

Nachabe, M.H., 1998. Refining the definition of field capacity in the literature. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *124*(4), pp.230-232.

Sun, H. and Yang, J., 2012. Modified numerical approach to estimate field capacity. *Journal of Hydrologic Engineering*, *18*(4), pp.431-438.

Twarakavi, N.K., Sakai, M. and Šimůnek, J., 2009. An objective analysis of the dynamic nature of field capacity. *Water Resources Research*, *45*(10).

Van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, *44*(5), pp.892-898.

Van Lier, Q.D.J., 2017. Field capacity, a valid upper limit of crop available water?. *Agricultural Water Management*, *193*, pp.214-220.

Veihmeyer, F.J. and Hendrickson, A.H., 1931. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. *Soil Science*, *32*(3), pp.181-194.

Topic for submission: Soil Physics and Plant Growth

Soil drainage capability and the effect of the depth of study on the period and amount of water depletion

Ehsan Ghezelbash[1*] , Mahdi Shorafa[2], Mohammad Hossein Mohammadi[3]

1, 2, 3 respectively, Ph.D student, Professor and Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Iran

Abstract

Drainage of water from the soil, along with its impact on many physical, chemical and biological properties, is decisive in water and soil relations. On the other hand, soil physical properties controlling the drainage process. Also, soil water storage capacity is a direct function of drainage pattern and therefore, this research was conducted to determine the effect of soil depth on drainage and consequently soil water retention capacity. Three columns of clay loam, loam and sandy soils with a height of 300 cm were prepared and in three depths of 100, 200 and 280 cm the drainage outputs were installed. Drainage curves were measured for each three depths of saturated soil columns from 0.01 molar calcium chloride solution. Drained water is calculated as long as it can be measured and the drainage rate is calculated at intermittent intervals. The final drainage rate was calculated at all stages of the experiment, which varied between 10 to 50 cm/day between the studied soils and depths. In this research, soil drainage was analyzed to achieve field capacity and vertical water flow dynamics in soil.

Keywords: Final drainage Rate, Water Retention Capacity, Soil Depth.

* Corresponding author, Email: siroosjafari@yahoo.com