تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۴، آذر و دی ۱۳۹۶ (ص ۷۹۷-۷۸۹) DOI: 10.22059/ijswr.2017.215985.667538

نقش مقادیر مختلف سنگریزه بر برخی شاخص‌های کیفیت فیزیکی یک خاک لوم سیلتی

حسین عسگرزاده[1]*، فرخ اسدزاده[2]، پروین خالقی[3]

۱. استادیار، گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه

۲. استادیار، گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۷- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹- تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵)

چکیده

در این پژوهش نقش مقدار سنگریزه خاک بر شکل منحنی‌های مشخصه رطوبتی و مقاومت فروروی خاک بررسی شد. همچنین ارتباط شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک با مقدار سنگریزه مورد بررسی قرار گرفت. کلاس بافت خاک مورد مطالعه لوم سیلتی با ۵ درصد وزنی سنگریزه اولیه با قطر ۵ تا ۲۰ میلی‌متر بود. از گلدان‌های بزرگ مجهز به سیستم زهکشی با ابعاد ۵۰×۴۰ و عمق ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. آزمایش با ۶ تیمار و ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه دانشگاه ارومیه انجام شد. تیمارها شامل شش سطح ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد وزنی سنگریزه با اندازه ۵ تا ۲۰ میلی‌متر بود. بعد از کشت گندم گلدان‌ها در فضای باز قرار گرفته و در طول آزمایش تمام تیمارها آب کافی از طریق آبیاری و بارندگی دریافت کردند. مقدار رطوبت خاک در نقاط مهم پتانسیلی خاک در تیمارهای مورد بررسی تفاوت معنی‌داری داشت. بیش‌ترین (۰/۳۲۲ $cm^3\ cm^{-3}$) و کم‌ترین (۰/۲۶۹ $cm^3\ cm^{-3}$) مقدار رطوبت در مکش ماتریک ۱۰۰hPa به ترتیب برای مقدار سنگریزه معادل با ۱۰ و ۳۰ درصد به دست آمد. افزایش سنگریزه باعث شد که مقاومت فروروی ۲ MPa به عنوان مقدار بحرانی برای رشد ریشه گیاهان در رطوبت‌های کمتری اتفاق بیفتد. رابطه معنی‌داری بین مقدار رطوبت در مقاومت فروروی ۲ MPa و مقدار سنگریزه بدست آمد. افزایش مقدار سنگریزه از مقدار طبیعی (۵ درصد) به ۳۰ درصد به ترتیب موجب افزایش بیش از ۱۱ و ۲۵۴ درصدی چگالی ظاهری (BD) و مدت زمان نفوذ آب در خاک (T_I) شد.

واژه‌های کلیدی: مقدار سنگریزه، منحنی مشخصه رطوبتی، منحنی مقاومت فروروی خاک، کیفیت فیزیکی خاک

مقدمه

بسیاری از خاک‌های زراعی به طور طبیعی حاوی مقادیر مختلفی از سنگریزه در افق‌های خود می‌باشند. توزیع خاک‌های سنگریزه‌ای از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت بوده و در مناطق مدیترانه‌ای و کوهستانی خاک‌ها حاوی مقادیر قابل توجهی از سنگریزه هستند (Poesen and Lavee, 1994). سنگریزه شامل تمام ذرات منفرد بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر است. اغلب خاک‌های کشاورزی حاوی مقادیر مختلفی از سنگریزه می‌باشند که می‌توانند ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار دهند. هرچند در پژوهش‌های اندکی که در خصوص تأثیر سنگریزه بر منحنی نگه‌داری رطوبتی خاک و رفتار فشردگی خاک (Rücknagel *et al*., 2012) انجام گرفته است به نقش معنی‌دار مقدار سنگریزه بر این ویژگی‌ها تأکید شده است اما در اغلب مطالعات گلدانی و گلخانه‌ای، خاک عبور داده شده از الک ۲ یا ۵ میلی‌متری به عنوان بستر آزمایش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه حذف مقادیری از سنگریزه موجود در خاک‌های طبیعی سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌شود، نتایج حاصل از این آزمایش‌ها می‌تواند متفاوت از شرایط واقعی (در حضور مقادیر مختلف سنگریزه) باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که قطعات سنگی، مقدار ذخیره آب (Cousin *et al*., 2003) و سرعت نفوذ آب در خاک (Brakensiek and Rawls, 1994; Baetens *et al*., 2009) را تحت تأثیر قرار دهند.حضور سنگریزه‌ها می‌تواند از طریق تغییر در توزیع منافذ خاک بر کیفیت فیزیکی خاک (SPQ) تأثیرگذار باشد. از شاخص‌های مختلفی برای کمی‌سازی سطح یا درجه SPQ استفاده می‌شود. شاخص S[1] Dexter, (2004a) (شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک در نقطه عطف) رابه عنوان شاخص کمی کیفیت فیزیکی

* نویسنده مسئول : asgarzadeh8688@gmail.com

1. Dexter's index of soil physical quality

Archive of SID

www.SID.ir

خاک پیشنهاد کرد. Dexter,(2004a, b, c) شاخص S را با ویژگی‌های فیزیکی خاک مرتبط ساخت و نشان داد مقادیر بزرگ‌تر S نشان‌دهنده فراوانی منافذ ساختمانی و کیفیت فیزیکی بهتر خاک در ارتباط با رشد ریشه، خاک‌ورزی و جریان آب در خاک می‌باشد. da Silva *et al*., (1994) شاخص دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (LLWR)[1] را ارائه دادند. LLWR دامنه‌ای از رطوبت خاک است که رشد گیاه از نظر پتانسیل ماتریک، تهویه و مقاومت مکانیکی خاک با حداقل محدودیت روبرو باشد. این مفهوم سه عامل مؤثر بر رشد گیاه را در یک متغیر، تجمیع نموده و از این‌رو می‌تواند به عنوان شاخصی از کیفیت ساختمان خاک برای تولید محصول مورد استفاده قرار گیرد. این شاخص ارتباط قوی با ویژگی‌های ساختمانی خاک دارد (Asgarzadeh *et al*., 2010; 2011). پژوهشی در خصوص تاثیر مقدار سنگریزه بر مقدار S یا LLWR صورت نگرفته است. مدت زمان لازم برای نفوذ آب در خاک (T_I) از جمله ویژگی‌های مهم فیزیکی است که مقدار آن می‌تواند تحت تأثیر سطوح مختلف سنگریزه موجود در خاک قرار گیرد. Verbist *et al*., (2009) نشان دادند که حضور سنگریزه در خاک باعث افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود اما بر هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک اثر منفی دارد. Beibei *et al*., (2009) نیز اثر محتوای سنگریزه پروفیل را بر نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های لسی مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که با افزایش درصد سنگریزه تا ۴۰ درصد وزنی خاک، نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش یافته و در مقادیر بیش از ۴۰ درصد؛ نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع مجددا افزایش می‌یابند. Zhongjie*et al*.,(2008) اظهار کردند که با افزایش درصد سنگریزه سطحی تا ۲۰ درصد حجمی سرعت نفوذ ماندگار آب در خاک افزایش یافته و با بیشتر شدن سنگریزه از ۲۰ درصد سرعت یاد شده کمتر می‌شود. این پژوهشگران نتایج خود را در شرایط طبیعی خاک (درجا) و تحت پوشش جنگلی به دست آورده‌اند. طبق اظهارات Zhongjie*et al*., (2008) درمقادیر کم سنگریزه، اثر توام سنگریزه‌ها و ریشه درختان سبب ایجاد مسیرهای نفوذ ترجیحی در خاک می‌شوند در حالی که با افزایش سنگریزه تاثیر آن در کاهش سطح مقطع خاک در مقابل عبور جریان آب بارزتر شده و سرعت نفوذ کاهش می‌یابد. چگالی ظاهری[2] (BD) به عنوان شاخصی از ساختمان خاک (Reynolds *et al*., 2008) کمیتی است که معمولاً برای توصیف درجه فشردگی و وضعیت ساختمانی خاک به‌کار می‌رود و به علت ارتباط تنگاتنگ با وضعیت تهویه و مقاومت فروروی خاک، می‌تواند به عنوان شاخصی از کیفیت فیزیکی خاک به کار رود. Rucknagel (2012) *et al*., دریافتند که افزایش مقدار سنگریزه در حدود ۲۵ درصد حجمی، چگالی ظاهری خاک را افزایش می‌دهد. مقاومت فروروی خاک (Q) نیز یکی از شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک است که می‌تواند در اثر حضور سنگریزه در خاک تغییر نماید. این پارامتر بیان‌گر مقاومت خاک در برابر فروبردن یک جسم میله‌ای‌شکل به درون آن می‌باشد (Soane and van Ouwerkerk, 1994). این مشخصه می‌تواند به وسیله رطوبت، بافت و شرایط ساختمانی خاک تحت تأثیر قرار گیرد که در این بین مقدار آب خاک بیش‌ترین اهمیت را دارد (Dexter *et al*., 2007). هرچه مقاومت مکانیکی خاک در برابر فروروی ریشه افزایش یابد، میزان رشد ریشه کاهش یافته، شکل ریشه‌ها تغییر کرده و فرآیندهای مهمی که در قسمت هوایی گیاه صورت می‌گیرد، مختل می‌گردد (To and Kay, 2005). مقادیر مقاومت فروروی خاک که توسعه ریشه را در خاک محدود می‌کند در دامنه‌ای بین ۱/۵ تا ۴ مگاپاسکال گزارش شده و ۲ مگاپاسکال مقداری است که بیش‌تر مورد قبول واقع شده است (da Silva *et al*., 1994).

تمام شاخص‌های ذکر شده تحت تأثیر منحنی‌های رطوبتی و مقاومت فروروی خاک قرار می‌گیرند. لذا هر عاملی مانند مقدار سنگریزه که منحنی‌های رطوبتی و مقاومت فروروی خاک را تغییر دهد می‌تواند بر مقدار شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک موثر باشد. از این رو شناخت دقیق نقش سنگریزه در ویژگی‌های فیزیکی خاک و متعاقب آن بر کیفیت فیزیکی خاک می‌تواند از نظر مدیریت خاک بسیار سودمند باشد. بررسی اثر مقادیر مختلف سنگریزه در تغییر شکل منحنی‌های مشخصه رطوبتی و مقاومت فروروی خاک و تعیین ارتباط شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک و سرعت نفوذ آب در خاک با افزایش مقدار سنگ‌ریزه از اهداف این پژوهش بودند.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش از گلدان‌های بزرگ مجهز به سیستم زهکشی با سطح ابعاد ۵۰×۴۰ و عمق ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. آزمایش با ۶ تیمار و ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در فضای بیرونی گلخانه (محوطه رو باز) دانشگاه ارومیه انجام شد. تیمارها شامل شش سطح ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد وزنی سنگریزه با اندازه ۵ تا ۲۰ میلی‌متر بود.سنگریزه‌های با ابعاد

1. Least Limiting Water Range
2. Bulk Density

Archive of SID

www.SID.ir

مدنظر (۲۰-۵ میلی‌متر) با استفاده از الک‌های ۲۰ و ۵ میلی‌متری جدا شده و به صورت درصد وزنی قبل از اینکه خاک به گلدان‌ها منتقل شود، افزوده شدند. در این پژوهش به منظور ایجاد شرایط طبیعی برای ساختمان خاک، گندم پاییزه (رقم زرین) در گلدان‌ها کشت شد. به این صورت که پس از افزودن عناصر غذایی ماکرو NPK و میکرو Zn و Fe در حد پایه به خاک، گندم پاییزه در آبان ماه در دو ردیف به فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متر از هم در گلدان‌ها کاشته شده و در فضای باز قرار گرفتند. در طول آزمایش گلدان‌ها به طور مرتب هر دو روز یک-بار توزین شده و زمانی که رطوبت به ۰/۶ ظرفیت مزرعه‌ای می-رسید، آبیاری شده و به حد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای رسانده می‌شدند.

اندازه‌گیری زمان نفوذ آب به خاک

اندازه‌گیری زمان نفوذ آب به خاک در اواخر دوره رشد گیاه که ریشه‌ها کاملاً رشد کرده و ساختمان خاک را تثبیت نموده بودند، انجام شد. برای این منظور ابتدا گلدان‌ها با مقدار نسبتاً زیادی از آب آبیاری شده و اجازه داده شد تا آب ثقلی نمونه‌ها از طریق سیستم زهکشی زیر گلدان‌ها تخلیه شود. بعد از حصول تعادل زمان لازم برای نفوذ حجم مشخصی از آب (۲۵ لیتر) به خاک در هر یک از گلدان‌ها تعیین شد.

اندازه‌گیری چگالی ظاهری

در اواخر دوره رشد رویشی گیاه، چگالی ظاهری هر گلدان در رطوبت نزدیک ظرفیت مزرعه‌ای با برداشت نمونه‌ای از عمق ۵ تا ۱۵ سانتی‌متری با استفاده از سیلندری به حجم ۱۰۰۰ cm^3 و خشک کردن نمونه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، محاسبه شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی و برازش منحنی رطوبتی خاک

به منظور تعیین ویژگی‌های هیدرولیکی مربوط به منحنی رطوبتی، در مجموع ۱۸ نمونه دست نخورده از خاک گلدان‌ها با استفاده از سیلندرهای نمونه برداری با قطر درونی ۱۱ و ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متری از لایه ۵ تا ۱۲ سانتی‌متری سطح خاک گلدان‌ها برداشت شد.برای اندازه‌گیری مقدار نگه‌داشت آب، مکش‌های ماتریک ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰hPa با استفاده از دستگاه جعبه‌ی شن و مکش‌های ماتریک ۱۰۰، ۳۳۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ hPa با استفاده از دستگاه صفحات فشاری بر نمونه‌های دست نخورده هر گلدان اعمال شده و با اندازه‌گیری رطوبت معادل هر فشار، منحنی رطوبتی نمونه‌های خاک تعیین شد. میانگین تخلخل خاک با توجه به چگالی ظاهری خاک محاسبه و به عنوان رطوبت اشباع در نظر گرفته شد. مدل منحنی مشخصه رطوبتی ون‌گنوختن با نرم‌افزار RETC بر داده-های اندازه‌گیری‌شده نگه‌داشت آب خاک برازش داده شد. معادله (van Genuchten, 1980) به صورت زیر است:

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)[1 + (\alpha h)^n]^{[\frac{1}{n}-1]} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در این رابطه، $\theta(h)$، رطوبت حجمی خاک بر حسب $cm^3\ cm^{-3}$، h مکش ماتریک خاک بر حسب hPa، θ_r و θ_s به ترتیب رطوبت باقیمانده و اشباع خاک بر حسب $cm^3\ cm^{-3}$ و α مرتبط با عکس مکش در نقطه عطف بر حسب hPa^{-1} و n شاخص توزیع اندازه منافذ خاک می‌باشند.

اندازه‌گیری مقاومت فروروبو برازش منحنی مقاومت فروروبخاک

پس از اتمام دوره رشد و تثبیت ساختمان خاک، میانگین مقاومت فروروی خاک هر یک از گلدان‌ها در عمق ۵ تا ۱۲ سانتی‌متری سطح خاک توسط دستگاه فروسنج مخروطی مزرعه‌ای اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری در هر گلدان در طول زمان و در چند مرحله صورت گرفت، به این ترتیب که با گذشت زمان رطوبت کاهش یافته و در نتیجه مقاومت فروروی مربوط به هر رطوبت تعیین و از این طریق منحنی مشخصه مقاومت فروروی برای هر گلدان جداگانه به دست آمد. منحنی مشخصه مربوط به مقاومت فروروی در برابر رطوبت خاک با استفاده از مدل تنظیم شده van Genuchten (1980) مدل‌سازی شد:

$$Q = Q_{wet} + (Q_{dry} - Q_{wet})[1 + (\alpha_{Q\theta}\theta)^{n_{Q\theta}}]^{[\frac{1}{n_{Q\theta}}-1]} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در این رابطهQ مقاومت فروروی خاک برحسب MPa، θ رطوبت حجمی خاک بر حسب $cm^3\ cm^{-3}$، Q_{wet} و Q_{dry}، $\alpha_{Q\theta}$ و $n_{Q\theta}$ پارامترهای برازش مدل، به ترتیب مرتبط با کم‌ترین و بیش‌ترین مقاومت فروروی پیش‌بینی‌شده خاک بر حسب MPa، و پارامترهای مرتبط با نقطه عطف و شیب تابع مقاومت فروروی در برابر رطوبت خاک می‌باشند.

آب قابل دسترس برای گیاه

آب قابل دسترس گیاه (PAW) با معادله زیر محاسبه گردید:

$$PAW = \int_{h_{FC}}^{h_{PWP}} \frac{d\theta}{dh} dh = \int_{h_{FC}}^{h_{PWP}} C(\theta)\, dh \quad \text{(رابطه ۳)}$$

در این معادله FC و PWP حدود بالایی و پایینی آن و $\frac{d\theta}{dh}$ یا C(θ) گنجایش ویژه رطوبتی خاک است. برای حد بالایی

Archive of SID
www.SID.ir

PAW مکش ماتریک۱۰۰hPa و برای حد پایینی PAW، مکش ماتریک ۱۵۰۰۰ hPa در نظر گرفته شد.

محاسبه دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت

برای محاسبه دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (LLWR)، لازم است حد بالایی (UL) و حد پایینی (LL) آن مشخص شود. (da Silva *et al*, 1994) حد بالایی LLWR را میزان رطوبت در ظرفیت مزرعه‌ای ۱۰۰ hPa یا در تخلخل تهویه‌ای برابر ۱۰ درصد، هر کدام که کم‌تر باشد، و حد پایینی آن را میزان رطوبت در نقطه پژمردگی دائم یا در مقاومت فروروی خاک برابر ۲ MPa، هر کدام که بیش‌تر باشد، تعیین کرد. مراحل محاسبه LLWR به ترتیب زیر بود:

۱- تعیین رطوبت حجمی نمونه خاک در مکش ماتریک ۱۰۰ hPa با استفاده از مدل منحنی مشخصه رطوبتی خاک

۲- تعیین رطوبت حجمی نمونه خاک در تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد با استفاده از رطوبت اشباع پیش‌بینی شده توسط منحنی مشخصه رطوبتی خاک

۳- انتخاب رطوبت حجمی کم‌تر نمونه خاک در مکش ماتریک ۱۰۰ hPa یا در تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد به عنوان حد بالایی LLWR

۴- تعیین رطوبت حجمی نمونه خاک در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰hPa با استفاده از مدل منحنی مشخصه رطوبتی

۵- تعیین رطوبت حجمی نمونه خاک در مقاومت مکانیکی برابر ۲ MPa با استفاده از منحنی مشخصه مقاومت فروروی

۶- انتخاب رطوبت حجمی بیش‌تر نمونه خاک در مکش ماتریک ۱۵۰۰۰hPa یا در مقاومت فروریMPa ۲ به عنوان حد پایینی LLWR

۷- محاسبه مقدار LLWR با استفاده از رابطه زیر:

$$LLWR = UL - LL \quad \text{(رابطه ۴)}$$

باید توجه شود که مقادیر منفی برای LLWR بی‌معنی بوده و در صورت بدست آمدن مقدار منفی آن را برابر صفر می‌گیریم.

محاسبه شاخص کمی کیفیت فیزیکی خاک (S)

برای محاسبه‌ی شاخص کمی کیفیت فیزیکی خاک، S، از پارامترهای مدل ون‌گنوختن برازش داده شده بر داده‌های نگه‌داشت آب خاک به صورت زیر استفاده شد:

$$S = -n\left(\frac{\theta_s-\theta_r}{BD}\right)\left[\frac{2n-1}{n-1}\right]^{\left[\frac{1}{n}-1\right]} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

که در این رابطهθ_s و θ_r بهترتیب رطوبت حجمی اشباع و باقی‌مانده خاک بر حسب $cm^3\ cm^{-3}$، n شاخص توزیع اندازه منافذ خاک و BD چگالی ظاهری خاک بر حسب $Mg\ m^{-3}$ می‌باشد. چون مقادیر S همیشه منفی است، هنگام استفاده مقادیر قدر مطلق آن بکار می‌روند.

تجزیه و تحلیل آماری

بررسی تفاوت بین تیمارهای سنگریزه و وجود روابط خطی و غیرخطی بین سطوح مختلف سنگریزه با برخی شاخص‌های مختلف کیفیت فیزیکی خاک و نیز رسم شکل‌ها به ترتیب توسط نرم افزارهای SAS (موسسه SAS، 1996)، Sigmaplot11وMicrosoft Excel انجام شد.

نتایج و بحث

درصد رس، سیلت و شن خاک استفاده شده در این مطالعه به ترتیب برابر با ۱۵، ۵۱ و ۳۴ (لوم سیلتی) بود. همچنین این خاک به طور طبیعی دارای ۵ درصد سنگریزه‌ی با قطر ۲ تا ۵ میلی‌متر بود.واکنش و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک به ترتیب برابر ۷/۶ و $1/7\ dS\ m^{-1}$ بود که در دامنه خاک‌های عادی زراعی قرار می‌گیرد.

میانگین پارامترهای برازش مدل ون‌گنوختن برای منحنی رطوبتی خاک و مدل تنظیم شده ون‌گنوختن برای منحنی مقاومت فروروی خاک در تیمارهای مورد بررسی در جدول (۱) نشان داده شده است.

تأثیر مقادیر مختلف سنگریزه برمنحنی‌های مشخصه رطوبتی و مقاومت فروروی خاک

افزوده شدن مقدار سنگریزه باعث تغییر شکل منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک‌های مورد بررسی شد (شکل ۱-الف). تفاوت معنی‌داری بین میانگین مقدار رطوبت حجمی در مکش ماتریک ۱۰۰ (θ_{h100}) و ۳۳۰ hPa (θ_{h330}) اندازه‌گیری‌شده در سطوح مختلف سنگریزه خاک وجود داشت (جدول ۲). روابط بین درصد سنگریزه با θ_{h100} و θ_{h330} در شکل (۲) نشان داده شده است. کاهش مقدار رطوبت حجمی خاک با افزایش مقدار سنگریزه بیشتر ناشی از کاهش مقدار خاک متخلخل در واحد حجم خاک و جایگزینی آن با سنگریزه می‌باشد که قابلیت جذب و نگه‌داری آب را ندارد. شکل منحنی مشخصه رطوبتی خاک اهمیت زیادی در محاسبه LLWR و PAW (da Silva *et al*., 1994) و S (Dexter, 2004a) دارد. مقاومت فروروی خاک که تأثیر زیادی بر میزان رشد ریشه، شکل ریشه‌ها و فرآیندهای مهم صورت گرفته در قسمت هوایی گیاه دارد (To and Kay, 2005, Beutler *et al*, 2005) تحت تأثیر مقادیر مختلف سنگریزه قرار گرفت. منحنی‌های مشخصه مقاومت فروروی خاک

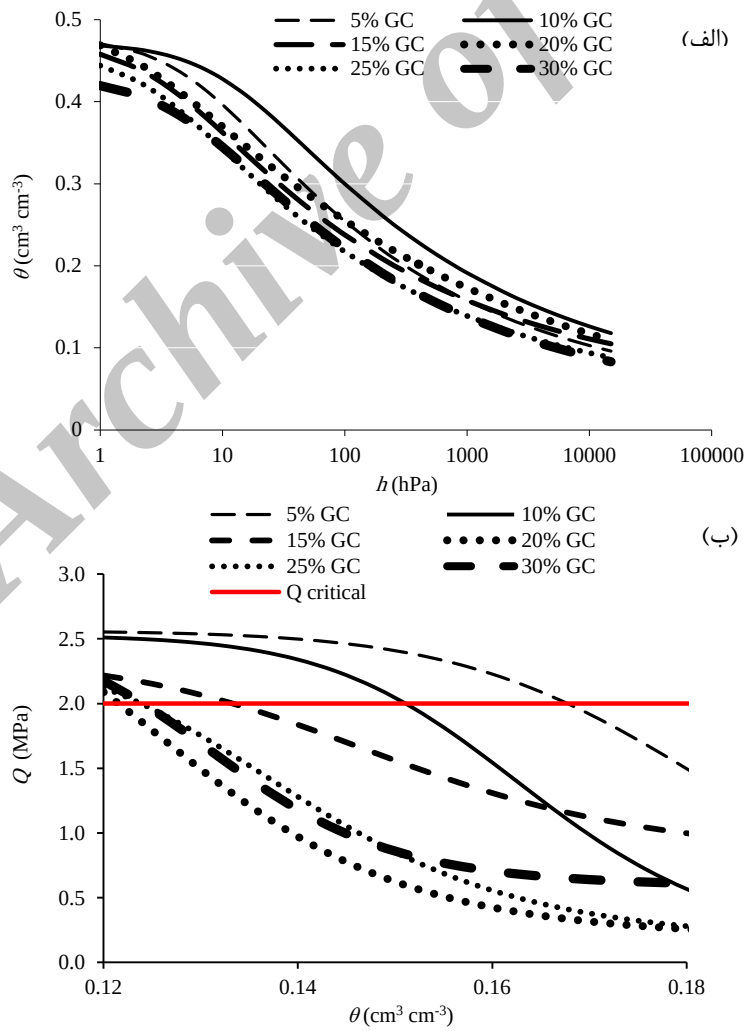
Archive of SID
www.SID.ir

بدست آمده از میانگین پارامترهای مدل تنظیم‌شده ون‌گنوختن در شکل (۱-ب) نشان داده شده است.مقدار Q بحرانی برابر MPa ۲ که در مدیریت آب خاک از اهمیت زیادی برخوردار است در رطوبت‌های متفاوتی برای خاک‌های با مقادیر متفاوت سنگریزه بدست آمد (شکل ۱-ب). روند کاهشی مقدار رطوبت در Q برابر MPa ۲ با افزایش مقدار سنگریزه در شکل (۲-ج) نشان داده شده است.

جدول ۱. میانگین پارامترهای مدل ون‌گنوختن و ون‌گنوختن تنظیم‌شده برای منحنی‌های مشخصه رطوبتی و مقاومت فروروی خاک*

$n_{Q\theta}$	$\alpha_{Q\theta}$	Q_{dry}	Q_{wet}	n	α	θ_r	θ_s	درصد
–	$cm^3\ cm^{-3}$	MPa		–	hPa^{-1}	$cm^3\ cm^{-3}$		سنگریزه
۱۳/۳۸۱	۵/۴۵۷	۲/۵۶۱	۰/۰۰۰	۱/۲۵۲	۰/۱۵۸	۰/۰۳۳	۰/۴۷۹	۵
۱۵/۷۷۳	۶/۱۳۰	۲/۵۲۸	۰/۰۹۲	۱/۲۳۵	۰/۰۷۹	۰/۰۳۵	۰/۴۷۲	۱۰
۱۱/۰۳۸	۶/۷۷۳	۲/۳۴۶	۰/۸۰۷	۱/۲۳۵	۰/۲۹۹	۰/۰۴۶	۰/۴۷۴	۱۵
۱۱/۳۵۰	۷/۸۷۳	۲/۹۸۳	۰/۱۸۴	۱/۱۶۹	۰/۴۸۷	۰/۰۰۰	۰/۴۹۴	۲۰
۱۱/۷۷۸	۷/۲۵۷	۲/۴۷۶	۰/۱۵۵	۱/۲۴۲	۰/۳۲۶	۰/۰۳۳	۰/۴۶۲	۲۵
۱۵/۰۰۰	۷/۶۱۴	۲/۵۵۵	۰/۵۸۸	۱/۲۳۷	۰/۲۰۱	۰/۰۲۲	۰/۴۲۹	۳۰

θ_r*وθ_s به ترتیب رطوبت باقیمانده و اشباع خاک و α مرتبط با عکس مکش در نقطه عطف و n شاخص توزیع اندازه منافذ خاک؛ Q_{wet}، Q_{dry}، به ترتیب مرتبط با کم‌ترین و بیش‌ترین مقاومت فروروی پیش‌بینی‌شده خاک و $\alpha_{Q\theta}$ و $n_{Q\theta}$مرتبط با نقطه عطف و شیب تابع مقاومت فروروی می‌باشند.



شکل ۱. منحنی‌های مشخصه رطوبتی (الف) و مقاومت فروروی (ب) خاک بدست آمده از میانگین پارامترهای مدل ون‌گنوختن و ون‌گنوختن تنظیم‌شده برای تیمارهای مختلف

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. مقایسه میانگین ویژگی‌های مختلف فیزیکی خاک برای تیمارهای مورد بررسی*

درصد سنگریزه	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
T_I (min)	۵۹^{c**}	۶۶^{c}	۱۳۹^{b}	۱۵۵^{b}	۲۱۳^{a}	۲۲۸^{a}
BD (Mg m^{-3})	۱/۳۱۰^{b}	۱/۳۴۱^{b}	۱/۳۴۹^{ab}	۱/۳۳۸^{b}	۱/۳۹۷^{ab}	۱/۴۹۵^{a}
θ_{2MPa} (cm^3 cm^{-3})	۰/۱۶۵^{a*}	۰/۱۴۹^{b}	۰/۱۲۸^{c}	۰/۱۲۵^{c}	۰/۱۲۲^{c}	۰/۱۲۴^{c}
θ_{h100} (cm^3 cm^{-3})	۰/۳۰۸^{ab}	۰/۳۲۲^{a}	۰/۲۸۹^{ab}	۰/۲۷۵^{b}	۰/۲۹۰^{ab}	۰/۲۶۹^{b}
θ_{h330} (cm^3 cm^{-3})	۰/۲۳۲^{ab}	۰/۲۵۱^{a}	۰/۲۱۸^{ab}	۰/۲۰۹^{ab}	۰/۲۱۹^{ab}	۰/۲۰۲^{b}
θ_{h15000} (cm^3 cm^{-3})	۰/۱۱۵	۰/۱۳۷	۰/۱۱۷	۰/۱۱۰	۰/۱۰۹	۰/۱۰۵
PAW (cm^3 cm^{-3})	۰/۱۸۱	۰/۱۷۴	۰/۱۵۶	۰/۱۴۶	۰/۱۶۷	۰/۱۵۰
LLWR (cm^3 cm^{-3})	۰/۱۲۹	۰/۱۴۸	۰/۱۴۰	۰/۱۳۰	۰/۱۵۳	۰/۱۲۸
S	۰/۰۴۹	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۱	۰/۰۴۳	۰/۰۳۷

T_I* مدت زمان نفوذ آب در خاک؛ BD چگالی ظاهری خاک؛ θ_{2MPa} رطوبت حجمی در مقاومت فروری MPa ۲؛ θ_{h100}، θ_{h330} و θ_{h15000}، به ترتیب رطوبت حجمی در مکش های ماتریک ۱۰۰،۳۳۰ و hPa ۱۵۰۰۰؛ PAW، LLWR و IWC به ترتیب آب قابل دسترس، دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت و گنجایش آب انتگرالی و S شاخص دکستر برای کیفیت فیزیکی خاک می‌باشند.

**** میانگین‌های با حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) می‌باشند.**

رابطه بین چگالی ظاهری و سطوح مختلف سنگریزه خاک

تفاوت معنی‌داری بین میانگین BD، به عنوان شاخصی از ساختمان خاک (Reynolds *et al*, 2008)، در سطوح مختلف سنگریزه خاک وجود داشت (جدول ۲). افزایش مقدار سنگریزه از مقدار طبیعی خاک مورد بررسی (۵ درصد) به ۳۰ درصد، موجب افزایش بیش از ۱۱ درصدی BD شد. علت افزایش مقدار BD خاک با افزایش درصد سنگریزه به زیاد بودن وزن مخصوص سنگریزه در مقایسه با چگالی ظاهری توده خاک بدون سنگریزه مربوط است. چنین حالتی در مقایسه BD خاک‌های ریزبافت (مقدار شن کم) با درشت‌بافت (مقدار شن زیاد) وجود دارد. Rucknagel *et al*., (2012) نشان دادند که با افزایش مقدار سنگریزه، علاوه بر افزایش BD طبیعی خاک، مقدار این ویژگی در فشارهای مختلف اعمال شده نیز بیشتر می‌شود. BD کمیتی است که معمولاً برای توصیف درجه فشردگی و وضعیت ساختمانی خاک به‌کار می‌رود، رابطه خطی بدست آمده بین مقدارسنگریزه و BD در شکل (ب ۲) نشان داده شده است.

رابطه بین زمان نفوذ آب در خاک و سطوح مختلف سنگریزه خاک

تفاوت معنی‌داری بین میانگین T_I اندازه‌گیری‌شده در سطوح مختلف سنگریزه خاک وجود داشت (جدول ۲). افزایش مقدار سنگریزه از مقدار طبیعی (۵ درصد) به ۳۰ درصد، موجب افزایش بیش از ۲۵۴ درصدی T_I شد. افزایش بیش از ۲/۵ برابری مدت زمان لازم برای نفوذ آب در خاک بدون سنگریزه در مقایسه با خاک حاوی ۳۰ درصد وزنی سنگریزه، نشان دهنده تاثیرپذیری قابل توجه این ویژگی از وجود سنگریزه در خاک است. هرچند انتظار می‌رفت افزودن سنگریزه با ایجاد مسیرهایی برای جریان ترجیحی در خاک موجب کاهش T_I شود اما افزایش چگالی ظاهری خاک باعث کاهش سطح مؤثر قابل دسترس جریان آب در خاک شده و در نتیجه موجب افزایش مقدار T_I شد. (Verbist *et al*, 2009) نشان دادند که حضور سنگریزه در خاک باعث افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود، اما بر هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک اثر منفی دارد. (Beibei *et al*, 2009) نیز اثر محتوای سنگریزه پروفیل را بر نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های لسی مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که با افزایش درصد سنگریزه تا ۴۰ درصد وزنی خاک، نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش یافته و در مقادیر بیش از ۴۰ درصد؛ نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع مجدداً افزایش می‌یابند. با توجه به دامنه‌ی سنگریزه مورد استفاده، می‌توان گفت که نتایج این تحقیق با یافته‌های (Beibei *et al*, 2009) مطابقت دارد. رابطه قوی بین مقدار سنگریزه و T_I بدست آمد که در شکل الف ۲ نشان داده شده است. با توجه به تنوع نتایج گزارش شده در زمینه تأثیر سنگریزه بر نفوذ آب به خاک و نظر به تاثیرگذاری عواملی مانند مقدار، اندازه و شکل سنگریزه‌ها و مدت زمان داده شده به خاک برای شکل‌گیری مجدد ساختمان در خاک تأثیر این ویژگی بر T_Iنیازمند تحقیقات بیشتری می‌باشد.

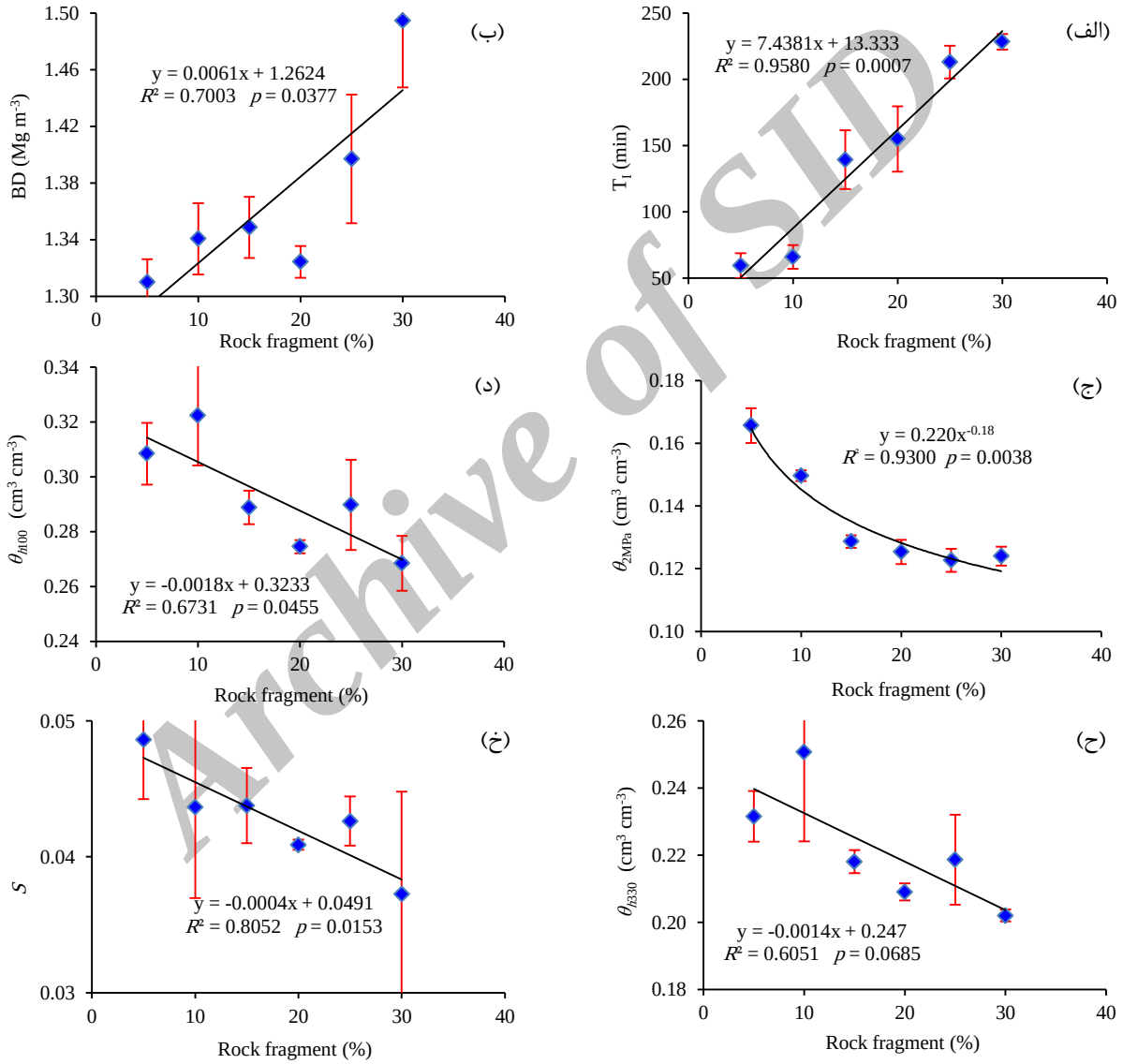
رابطه مفاهیم مختلف آب قابل استفاده و سطوح مختلف سنگریزه

میانگین مقادیر آب قابل دسترس و دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت در درصدهای وزنی مختلف سنگریزه خاک در جدول (۲) نشان داده شده است. مقدار PAW خاک با ۵ درصد سنگریزه در مقایسه با خاک با ۳۰ درصد سنگریزه ۲۴ درصد

Archive of SID

www.SID.ir

بیشتر بود با این حال تفاوت معنی‌داری بین میانگین PAW اندازه‌گیری‌شده در سطوح مختلف سنگریزه مشاهده نشد. شرایط مشابهی برای LLWR نیز مشاهده شد. از عوامل مهم عدم معنی‌دار شدن اختلاف میانگین PAW یا LLWR اختلاف زیاد بین مقادیر تکرارهای تیمارهای مختلف این مفاهیم در کنار روند کاهشی نسبتاً یکنواخت مقدار رطوبت با افزایش مکش ماتریک خاک با درصد سنگریزه متفاوت می‌باشند (شکل (الف ۱)). ویژگی‌های هر دو منحنی مشخصه رطوبتی و مقاومت فروروی خاک بر مقدار LLWR مؤثر هستند (da Silva *et al.*, 1994). با افزایش سنگریزه مقدار رطوبت در مکش ۱۰۰ hPa به عنوان حد بالایی LLWR کاهش می‌یابد که اثر منفی بر مقدار LLWR دارد و از طرفی باعث می‌شود. مقدار رطوبت در مکش ۱۵۰۰۰ hPa و مقاومت فروروی ۲ MPa به عنوان حد پایینی LLWR در رطوبت‌های کمتری اتفاق بیافتد (شکل ۱-الف و جدول ۲) که اثر مثبت بر مقدار LLWR دارد.



شکل ۲. روابط درصد سنگریزه خاک با زمان نفوذ (T_I) (الف)، چگالی ظاهری (BD) (ب)، مقدار رطوبت در مقاومت فروروی ۲ MPa (θ_{2MPa})(ج)، مقدار رطوبت در مکش ۱۰۰ hPa (θ_{h100}) (د)، مقدار رطوبت در مکش ۳۳۰ hPa (θ_{h330}) (ح) و شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) (خ)

رابطه مفاهیم مختلف آب قابل استفاده و سطوح مختلف سنگریزه

میانگین مقادیر شاخص کمی کیفیت فیزیکی خاک در درصدهای وزنی مختلف سنگریزه خاک در جدول (۲) نشان داده شده است. مقدار S خاک در خاک دارای ۵ درصد سنگریزه در مقایسه با خاک حاوی ۳۰ درصد سنگریزه ۳۲ درصد بیشتر بود. هرچند تفاوت معنی‌داری بین میانگین S اندازه‌گیری‌شده در سطوح مختلف سنگریزه مشاهده نشد.اختلاف زیاد بین مقادیر

Archive of SID
www.SID.ir

تکرارهای تیمارهای مختلف مهم‌ترین عامل عدم معنی‌داری میانگین شاخص S بود (شکل ۲-خ). این امر اهمیت اندازه (حجم) نمونه‌برداری برای تهیه نمونه‌های یکنواخت را نشان می‌دهد. رابطه خطی معنی‌داری بین مقادیر S و درصد سنگریزه خاک بدست آمد (شکل ۲-خ). مقادیر بزرگ‌تر S نشان‌دهنده کیفیت فیزیکی بهتر خاک در ارتباط با رشد ریشه، خاک‌ورزی و جریان آب در خاک می‌باشد (Dexter, 2004c). از این رو می‌توان گفت که افزایش مقدار سنگریزه از ۵ درصد وزنی به ۳۰ درصد وزنی باعث تنزل کیفیت فیزیکی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سنگریزه بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک انجام شد. یافته‌ها به روشنی نمایانگر تأثیرپذیری ویژگی‌های هیدرولیکی و همچنین شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک از محتوای سنگریزه آن است. منحنی‌های مشخصه رطوبتی و همچنین فروروی که در مدیریت آب خاک و رشد گیاهان اهمیت ویژه‌ای دارند، تحت تأثیر مقادیر مختلف سنگریزه قرار گرفتند. افزایش مقدار سنگریزه خاک باعث کاهش مقدار خاک متخلخل در واحد حجم خاک شده و در نتیجه میانگین مقدار رطوبت حجمی در تمامی مکش‌های ماتریک خاک کاهش یافت. از سوی دیگر رابطه معنی‌داری بین درصد سنگریزه با مقدار رطوبت در مقاومت فروروی ۲ MPa وجود داشت و با افزایش مقدار سنگریزه خاک مقدار Q بحرانی برابر ۲ MPa در رطوبت‌های کمتری اتفاق افتاد. حضور سنگریزه در خاک با کاهش سطح مقطع حرکت آب در خاک سبب افزایش زمان نفوذ آب به خاک شده و چگالی ظاهری خاک را نیز بالا می‌برد. هرچند تفاوت معنی‌داری بین میانگین S اندازه‌گیری‌شده در سطوح مختلف سنگریزه مشاهده نشد با این حال از نظر کمی مقدار S در خاک دارای ۵ درصد سنگریزه در مقایسه با خاک حاوی ۳۰ درصد سنگریزه ۳۲ درصد بیشتر بود.

بسیاری از مناطق کشور ما به ویژه در نواحی کوهستانی و شیب‌دار که دربرگیرنده بخش بزرگی از اراضی تحت کشت دیم هستند، دارای مقادیر متفاوتی از سنگریزه هستند. تأثیرپذیری ویژگی‌های مرتبط با مدیریت آب خاک و کیفیت فیزیکی آن از محتوای سنگریزه که در این پژوهش به‌روشنی مشاهده شد، بیانگر این نکته است که برای مدیریت صحیح این خاک‌ها نیاز است تا تأثیر سنگریزه‌ها نیز در نظر گرفته شود. یافته‌ها نشان می‌دهد که اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک دارای دشواری‌های فراوانی است که مهم‌ترین آن‌ها، تغییرپذیری ویژگی‌ها در تکرارهای مختلف اندازه‌گیری است. این امر نشان می‌دهد که حجم نمونه معرف در این گونه خاک‌ها بایستی بیشتر در نظر گرفته شود. با توجه به اثر سنگریزه بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک، پیشنهاد می‌شود که تأثیر سنگریزه بر روی پارامترهای مرتبط با رشد گیاهان نیز در پژوهش‌های آینده موردتوجه قرار گیرد.

REFERENCES

Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M. R., Mahboubi, A. A., Nosrati, A. and Dexter, A. R. (2010) Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. *Plant Soil*, 335 (1-2), 229–244.

Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M. R., Mahboubi, A. A, Nosrati, A. and Dexter, A. R. (2011) Integral energy of conventional available water, least limiting water range and integral water capacity for better characterization of water availability and soil physical quality. *Geoderma*, 166: 34–42.

Baetens, J. M., Verbist, K., Cornelis, W. M., Gabriels, D. and Soto, G. (2009) On the influence of coarse fragments on soil water retention. *Water Resources Research*, 45 (7).

Beibei, Z., Ming'an, S. and Hongbo, S. (2009) Effects of rock fragments on water movement and solute transport in a Loess Plateau soil. Comptes Rendus *Geoscience*, 341(6), 462-472.

Beutler, A. N., Centurion, J. F. and Silva, A. P. D. (2005) Soil resistance to penetration and least limiting water range for soybean yield in a haplustox from Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(6), 863-871.

Brakensiek, D. L. and Rawls, W. J. (1994) Soil containing rock fragments: effects on infiltration. *Catena*, 23, 99–110.

Cousin, I., Nicoullaud, B. and Coutadeur, C. (2003) Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil. *Catena*, 53 (2),97-114.

Da Silva, 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), 1775-1781.

Dexter, A.R. (2004a) Soil physical quality; Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120, 201–214.

Dexter, A.R. (2004b) Soil physical quality; Part II. Friability, tillage, tilth and hard- Setting. *Geoderma*, 120, 215–225.

Dexter, A.R. (2004c) Soil physical quality; Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma*, 120, 227–239.

Dexter, A.R., Czyż, E.A. and Gaţe, O.P. (2007) A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil &Tillage Research*. 93, 412–419.

Archive of SID

www.SID.ir

Poesen, J. and Lavee, H. (1994). Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena*, 23, 1-28.

Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M. and Tan, C.S. (2008) Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. *Geoderma*, 146, 466–474.

Rücknagel, J., Rücknagel, S. and Christen, O. (2012) Impact on soil compaction of driving agricultural machinery over ground frozen near the surface. *Cold Regions Science and Technology*, 70, 113–116.

Soane, B.D. and van Owerkerk, C. (1994)*Soil Compaction in Crop Production*. Amsterdam: Elsevier.

To, J. and Kay, B.D. (2005) Variation in penetrometer resistance with soil properties: the contribution of effective stress and implications for pedotransfer functions. *Geoderma*, 126, 261–276.

van Genuchten, M.Th. (1980) A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892–898.

Verbist, K., Baetens, J., Cornelis, W. M., Gabriels, D., Torres, C. and Soto, G. (2009) Hydraulic conductivity as influenced by stoniness in degraded drylands of Chile. *Soil Science Society of America Journal*, 73(2), 471-484.

Zhongjie, S., Yanhui, W., Pengtao, Y., Lihong, X., Wei, X. and Hao, G. (2008) Effect of rock fragments on the percolation and evaporation of forest soil in Liupan Mountains, China. *Acta Ecologica Sinica*, 28(12), 6090-6098.

Archive of SID

www.SID.ir