نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۸۹، ص. ۱۰۳۵-۱۰۲۷

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 5, Nov-Des 2010, p. 1027-1035

بررسی رابطه بین شیب منحنی رطوبتی و بعضی از ویژگی‌های فیزیکی کیفیت خاک

حجت امامی [۱*] - امیر لکزیان [۲] - مهدی مهاجرپور [۳]

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۲
تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۲۱

چکیده

تعاریف مختلفی برای کیفیت خاک ارائه شده است و ویژگی‌های مختلف خاک به عنوان شاخص‌های کیفیت خاک توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه تحقیقات انجام شده در زمینه رابطه بین شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف آن (شاخص S) با پارامترهای فیزیکی خاک بسیار اندک است، این تحقیق به منظور بررسی رابطه بین شاخص S و سایر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک انجام شد. بدین منظور ۳۵ نمونه خاک جمع‌آوری و بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها اندازه‌گیری شد. همچنین مقادیر رطوبت آنها در مکش‌های ۰ ، ۱/۵، ۲/۵، ۵/۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ kpa اندازه‌گیری شد، و با استفاده از نرم‌افزار RETC پارامترهای معادله وان‌گن‌اختن (۱۹۸۰) تعیین و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف تعین و به عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS رابطه بین این شاخص و ویژگی‌های فیزیکی خاک تعیین شد. با توجه به مقدار شاخص S و مقاومت فروروی (PR)، کیفیت فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه مناسب است. همچنین همبستگی معنی‌داری بین شاخص S با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، درصد رس، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد ماده آلی، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، محدوده حداقل دامنه آب (LLWR)، آب قابل استفاده گیاه (AWC) و مقاومت فروروی (PR) خاک وجود داشت ($p<0.01$). علاوه براین همبستگی بین شاخص S با جرم مخصوص ظاهری و درصد کربنات کلسیم معادل نیز در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار بود. در بین پارامترهای مورد بررسی، همبستگی بین شاخص S با درصد رس، جرم مخصوص ظاهری، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و مقاومت فروری منفی بود و رابطه شاخص S با سایر پارامترها مستقیم بود.

واژه‌های کلیدی: کیفیت خاک، شیب منحنی رطوبتی، مقاومت فروروی، محدوده حداقل دامنه آب، آب قابل استفاده گیاه

مقدمه

کیفیت خاک یک شاخص ضروری برای مدیریت پایدار اراضی است (۱۹) و به تعداد زیادی از ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بستگی دارد. برای تعیین کیفیت خاک انتخاب شاخصهایی که به انواع عملیات مدیریتی بسیار حساس باشند امری ضروری است (۱۵). کارلن و همکاران (۲۰) شخم‌ورزی خاک[۴] را که با تخلخل، خاکدانه‌سازی و سایر اندازه‌گیریهای ساختمانی توصیف می‌شود، به عنوان یک شاخص مفید از کیفیت فیزیکی خاک دانستند. مولینز و همکاران (۲۴) و چان (۱۰) مقاومت خاک، پایداری خاکدانه و پراکنش رس را در قابلیت شخم‌ورزی خاکهای آلفی‌سول موثر دانسته‌اند.

در مناطق نیمه‌خشک که رطوبت عامل محدود کننده رشد گیاهان است، پارامترهای فیزیکی مثل بافت، جرم مخصوص ظاهری، توزیع اندازه و پایداری خاکدانه‌ها برای تشخیص محدودیتهای فراهمی آب و رشد ریشه مورد استفاده قرارگرفته است (۲۵). بر اساس تحقیقات نوایلمیر و همکاران (۲۵) مجموع سیلت و رس در خاکهای مراتع بر پارامترهای کیفیت خاک تاثیر گذار بوده است. اسپارلینگ و اسخیپر (۲۹) هفت ویژگی خاک (pH، کربن و ازت کل، ازت قابل معدنی شدن، فسفر قابل جذب به روش اولسن، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل ماکرو) را به عنوان حداقل داده برای بررسی کیفیت خاک پذیرفته اند. شوکلا و همکاران (۲۸) عنوان کردند کربن آلی خاک باید به عنوان یک خصوصیت مهم در بررسی کیفیت خاک لحاظ شود و ویژگیهایی مثل کربن آلی خاک، جرم مخصوص ظاهری، خاکدانه‌های پایدار در آب و نفوذ تجمعی که با توجه به عملیات مدیریتی تغییر می‌کنند باید به عنوان شاخصهای دینامیک کیفیت خاک لحاظ شوند.

۱و ۲ - به ترتیب استادیار و دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email:hemami@ferdowsi.um.ac.ir)
۳- مربی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

4- Soil tilth

دکستر (۱۴) با توجه به تاثیرپذیری عمیق منحنی رطوبتی از اندازه و آرایش منافذ خاک نشان داد که شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف آن(S) می‌تواند منعکس کننده جنبه‌های مختلف کیفیت خاک از قبیل نفوذ، سخت‌شدگی و فشردگی باشد. وی شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف را شاخص کیفیت فیزیکی خاک نامید. شاخص کیفیت فیزیکی خاک برآوردی از ساختمان ریز خاک است که ممکن است بسیاری از ویژگیهای فیزیکی خاک را کنترل کند. شاخص کیفیت فیزیکی خاک که با مقدار S مشخص می‌شود، به تراکم خاک، مقدار مواد آلی و رشد ریشه بستگی دارد و آن را می‌توان به آسانی اندازه‌گیری کرد.

اسپارو و همکاران (۳۰) تاثیر نوع شخم و بجا گذاشتن بقایای گیاهی بر کیفیت خاک و حفظ مواد آلی را در آلاسکا بررسی نمودند. بدین منظور ویژگیهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از جمله پایداری خاکدانه‌های خیس، جرم مخصوص ظاهری، pH، کربن و ازت آلی کل، ازت معدنی، بیومس میکروبی کربن و ازت، نسبت C/N بیومس میکروبی، نسبت میکروبی و پتانسیل معدنی شدن ازت و کربن در سیستم مدیریت شخم یا بقایا را به عنوان شاخصهای کیفیت خاک در نظر گرفتند. داسیلوا و همکاران (۱۲) محدوده حداقل دامنه آب[1] (LLWR) را به عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک برای رشد گیاهان پیشنهاد نمودند. LLWR دامنه‌ای از آب خاک است که عوامل محدود کننده رشد گیاه از قبیل پتانسیل آب، تهویه و مقاومت مکانیکی جهت نفوذ ریشه در خاک حداقل می‌باشد (۱۲، ۳۳). این پارامتر اثرات تهویه خاک، مقاومت فروروی و توان نگهداری آب توسط خاک را مجموعا نشان می‌دهد که به تغییرات ساختمان خاک (بر حسب جرم مخصوص ظاهری مشخص می‌شود) نسبت به آب قابل دسترس حساسیت بیشتری دارد (۱۲). شاخص LLWR به عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک برای دامنه وسیعی از خاکها، گیاهان و سیستمهای مدیریتی توسط بعضی از محققین ارزیابی شده است (۱۲، ۵، ۳۵). اما بر اساس اطلاعات موجود رابطه بین شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف آن، که دکستر (۱۴) آن را شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) تعریف نموده است با پارامترهای فیزیکی خاک مثل میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، مقاومت فروروی، محدوده حداقل دامنه آب و آب قابل استفاده گیاه تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است لذا این تحقیق به منظور بررسی رابطه بین شاخص S و پارامترها یا سایر شاخص‌های کیفیت خاک انجام شد.

مواد و روش ها

۳۵ نمونه خاک دست نخورده از دشت مشهد تهیه شد. انتخاب نوع خاک‌ها بر این اساس صورت گرفت که دامنه وسیعی از ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی را در بر گیرد. نمونه‌های دست خورده نیز از همان خاک‌ها از افق سطحی A (۱۰-۰ cm) برای اندازه‌گیری‌های ضروری تهیه شدند. نمونه‌های دست‌خورده پس از انتقال به آزمایشگاه هواخشک شده، به آرامی کوبیده و از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند و برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی نگهداری شدند.

بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۷)، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و با پوشش دادن کلوخه‌ها توسط پارافین (۶) در سه تکرار، آهک به روش کلسیمتری، اندازه گیری شدند. همچنین هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع به وسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی، مواد آلی به روش والکلی و بلک و نسبت جذب سدیم نمونه‌ها پس از اندازه‌گیری غلظت سدیم (میلی گرم در لیتر) با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر، و کلسیم و منیزیم (میلی اکی والان بر لیتر) به روش تیتراسیون با استفاده از معرف اریوکروم بلک تی در pH=۱۰ و تیتر کننده EDTA، تعیین شد.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نیز با انتخاب ۵ گرم ازخاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۵ میلی‌متر بر روی شش الک (۲۰۰۰، ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۰ و ۵۰ میکرون) به صورت رفت و برگشتی به مدت سه دقیقه در داخل یک سطل آب، با تعداد نوسان ۳۵ دور در دقیقه تعیین شد.

شیب نقطه عطف منحنی رطوبتی (S) به عنوان شاخصی از کیفیت فیزیکی خاک ارزیابی شد. برای به دست آوردن S از داده های منحنی رطوبتی خاک استفاده شد. بدین منظور داده های توزیع اندازه ذرات و جرم مخصوص ظاهری به همراه مقادیر رطوبت در مکشهای اندازه گیری شده (۰، ۱/۵، ۲/۵، ۵/۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ kPa) به نرم افزار RETC وارد و پارامترهای معادله وان‌گن‌اختن (۳۴) به دست آمد. با برازش داده های منحنی رطوبتی با مدل وان‌گن‌اختن (نرم افزار RETC) مقادیر n ، α و θ_r مشخص و مقدار S برای هر نمونه خاک مشخص گردید برای تعیین مقادیر S از θ_S اندازه‌گیری شده و θ_r، n و یا m تخمینی با نرم‌افزار RETC استفاده شد. سپس با استفاده از رابطه‌ی دکستر (۱۴) مقدار شیب در نقطه عطف منحنی رطوبتی یا شاخص کیفیت فیزیکی خاک محاسبه شد.

$$S = -n\left(\theta_S - \theta_r\right)\left[1+\frac{1}{m}\right]^{-(1+m)} \qquad (۱)$$

با قرار دادن m=1-1/n (دکستر ۲۰۰۴) در معادله فوق مقدار S به شکل زیر بر حسب n قابل محاسبه است.

$$S = -n\left(\theta_S - \theta_r\right)\left[\frac{2n-1}{n-1}\right]^{\left(\frac{1}{n}-2\right)} \qquad (۲)$$

در معادلات فوق θ_S و θ_r به ترتیب مقادیر رطوبت اشباع و باقی‌مانده

1- The least limiting water range

($cm^3.cm^{-3}$)، h مقدار مکش (cm)، m و n پارامترهای تجربی هستند.

با استفاده از فروسنج مخروطی[1] (مدل EL 29-3739) به سطح قاعده ۶/۲۹ سانتی‌متر مربع مقاومت فروروی لایه سطحی خاک (cm ۵-۰) در صحرا اندازه گیری شد. همزمان نمونه های خاک از محل اندازه گیری جهت تعیین درصد رطوبت به آزمایشگاه منتقل شدند و درصد رطوبت آنها مشخص گردید. همچنین آب قابل استفاده (AWC) از تفاضل رطوبت نقاط ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائمی محاسبه گردید و محدوده حداقل دامنه آب (LLWR) نیز بر اساس مقادیر رطوبت در نقاط ظرفیت مزرعه (θ_{fc}) و پژمردگی دائم (θ_{wp}) ، رطوبت در مقاومت بالاتر از دو مگاپاسکال که باعث محدودیت رشد ریشه می‌شود (θ_{pr}) و تخلخل تهویه‌ای محدود کننده که کمتر از ۱۰ درصد است ،(θ_{afp}) محاسبه شد. LLWR تفاضل بین حد بالایی و پایینی رطوبت خاک است. حد بالایی رطوبت، θ_{fc} یا θ_{afp} (هر کدام که کمتر باشد) و حد پایینی، θ_{wp} یا θ_{pr} (هر کدام که بیشتر باشد) است (۱۲).

سرانجام ضریب همبستگی S با ویژگی‌های مختلف خاک با استفاده از نرم افزار SPSS۱۲ تعیین شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ دامنه، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی ۳۵ نمونه خاک مورد مطالعه نشان داده شده است. نتایج به دست آمده در این بررسی نشان داد که میانگین مقدار S در خاک‌های مورد مطالعه ۰/۱۳۳ و دامنه آن در محدوده ۰/۱۷۰-۰/۱۰۳ بود که بر اساس طبقه‌بندی دکستر (۱۴) این نوع خاکها شاخص کیفیت فیزیکی و ساختمان خوبی دارند. دکستر (۱۴) بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از خاک‌های هفت کشور که مقادیر رس آنها بین ۴ تا ۷۳ درصد بود کلاسهای زیر را برای شاخص کیفیت فیزیکی خاک پیشنهاد کرد: S <۰/۰۲۰ خیلی ضعیف، ۰/۰۳۵> S >۰/۰۲۰ ضعیف و S >۰/۰۳۵ خوب.

علاوه براین در این خاک‌ها حداکثر مقدار مقاومت فروروی ۰/۳۴ مگا پاسکال است که این مقدار در یک نمونه خاک با رطوبت حجمی ۸ درصد می‌باشد (جدول ۱). در منابع مختلف عنوان شده است در صورتی که مقدار مقاومت خاک در مقابل نفوذ ریشه بیش از ۲ مگا پاسکال باشد باعث محدودیت رشد ریشه و جوانه زنی و کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (۳۲). گرونولت و همکاران نیز (۱۸) عنوان کرده‌اند که مقدار مقاومت فروروی بیشتر از ۲/۵ مگاپاسکال باعث محدودیت شدید رشد ریشه می شود. چون در هیچ یک از این خاک‌ها مقدار مقاومت فروروی بیشتر از دو مگا پاسکال نیست لذا مقادیر مقاومت فروروی همانند شاخص S نشان می‌دهد که این خاک‌ها دارای شرایط فیزیکی خوبی می باشند. از نقطه نظر مدیریت خاک، هر چه مقاومت فروروی خاک زیاد باشد آن خاک دارای شرایط نامناسبی برای جوانه زنی، رشد ریشه گیاه و شخم ورزی و بالعکس هر چه شاخص کیفیت فیزیکی خاک بیشتر باشد دارای وضعیت مطلوب و مناسبی می‌باشد.

نتایج تجزیه آماری نیز نشان داد که همبستگی بالایی بین شاخص S با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، درصد رس، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد ماده آلی، رطوبت حجمی، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، محدوده حداقل دامنه آب، آب قابل استفاده گیاه و مقاومت فروروی خاک (p=0.01) وجود داشت و همچنین همبستگی بین شاخص S با جرم مخصوص ظاهری و درصد کربنات کلسیم معادل در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار بود که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. در بین پارامترهای مورد بررسی، همبستگی بین شاخص S با درصد رس، جرم مخصوص ظاهری، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و مقاومت فروری منفی بود و رابطه شاخص S با سایر پارامترها مستقیم بود. روند کاهش مقادیر شیب منحنی رطوبتی (شاخص) با افزایش مقدار رس توسط دکستر (۱۴) و امامی و همکاران (۱) گزارش شده است. وجود رس زیاد در خاک باعث می‌شود نسبت منافذ بافتی به منافذ ساختمانی افزایش یابد، در نتیجه باعث کاهش شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف و شاخص S می‌شود. علاوه بر این رحیمی و همکاران (۲۶) عنوان کردند که با افزایش بار منفی ذرات رس، نیروی دافعه بین آنها زیاد شده و باعث پراکنش آنها می‌شود. لذا یکی دیگر از دلایل وجود همبستگی منفی بین مقدار رس و شاخص S احتمالا وجود دافعه بین ذرات رس می‌باشد که باعث ناپایداری ساختمان و کاهش شاخص S می‌شود.

در رابطه با همبستگی منفی بین شاخص S و جرم مخصوص ظاهری می‌توان گفت که کاهش جرم مخصوص ظاهری به معنای افزایش تخلخل خاک است اما نشان‌دهنده توزیع اندازه منافذ خاک نیست و احتمالا با افزایش جرم مخصوص ظاهری در این خاک‌ها میزان تخلخل میکرو و بافتی نسبت به منافذ ساختمانی افزایش یافته است و به همین دلیل بین شاخص S و جرم مخصوص ظاهری در این خاک‌ها همبستگی منفی وجود دارد، زیرا منافذ ساختمانی میکرو باعث کاهش شاخص S می‌شود. چنین نتایجی توسط دکستر (۱۴) نیز به دست آمد. بر اساس تحقیقات وی در یک نمونه از خاکهای اسپانیا که حاوی ۲۷ درصد رس و ۱۲/۵ درصد سیلت بود مشاهده شد که با افزایش درجه تراکم و در نتیجه افزایش جرم مخصوص ظاهری، مقدار شاخص S به طور خطی کاهش می یابد (۱۴). امامی و همکاران (۱) نیز بین شاخص S و جرم مخصوص ظاهری در ۸۴ نمونه از خاک‌های دشت کرج و ورامین همبستگی منفی مشاهده نمودند.

1- Cone Penetrometer

جدول ۱- پارامترهای آماری تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مرتبط با شاخص S در خاک‌های مورد مطالعه

ویژگیها یا پارامترهای خاک	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
درصد رس	۱۹/۰۰	۵۰/۱۶	۳۶/۹۷	۷/۴۴	۲۰/۱۳
درصد سیلت	۲۶/۸۴	۴۸/۷۲	۳۷/۰۰	۵/۵۴	۱۴/۹۸
درصد شن	۱۰/۵۰	۳۹/۳۶	۲۶/۰۳	۶/۹۶	۲۶/۷۵
درصد ماده آلی	۰/۵۰	۲/۴۰	۱/۵۹	۰/۵۸	۳۶/۸۴
جرم مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	۱/۱۶	۱/۶۳	۱/۴۶	۰/۱۲	۸/۰۶
قابلیت هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	۰/۵۷	۱۵/۱۷	۴/۴۴	۴/۴۵	۱۰۰/۱۹
SAR	۰/۱۴	۲۳/۸۳	۷/۲۱	۶/۶۶	۹۲/۳۵
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)	۰/۱۹۲	۱/۳۰۳	۰/۷۳۴	۰/۲۴	۳۳/۸۸
درصد آهک	۵/۸۲	۲۰/۲۷	۱۲/۰۷	۳/۱۶	۲۶/۱۶
رطوبت (cm^3cm^{-3})	۰/۰۶	۰/۲۰	۰/۱۲	۰/۰۳	۲۶/۱۶
شاخص S	۰/۱۰۳	۰/۱۷۰	۰/۱۳۳	۰/۰۱۷	۱۲/۸۶
مقاومت فروروی (MPa)	۰/۱۰	۰/۳۴	۰/۱۹	۰/۰۶	۳۰/۷۴
محدوده حداقل دامنه آب (cm^3cm^{-3})	۰/۲۴	۰/۴۰	۰/۳۳	۰/۰۴	۱۲/۲۹
رطوبت قابل استفاده (cm^3cm^{-3})	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۰۲	۱۳/۸۱

به طور کلی درصد سدیم تبادلی بیشتر از ۱۵، ویژگیهای هیدرولیکی و ساختمانی خاک را تحت تاثیر قرار می دهد. بر اساس تحقیقات کریسیمانو و همکاران (۱۱) اگر مقدار کاتیونها کم باشد خطر تخریب کیفیت خاک حتی در درصدهای سدیم تبادلی خیلی کم نیز وجود دارد، زیرا افزایش سدیم تبادلی باعث تخریب خاکدانه ها می شود (۲). بنابراین وجود همبستگی منفی و معنی دار بین شاخص S و SAR به علت اثرات سوء سدیم بر ساختمان خاک می باشد که نشان می‌دهد با افزایش مقدار SAR مقادیر شاخص کیفیت فیزیکی خاک یا شیب منحنی رطوبتی کاهش یافته است. امامی و همکاران (۱) رابطه معکوس بین شاخص S و SAR در ۸۴ نمونه از خاک‌های دشت کرج و ورامین را گزارش نمودند. باگارلو و همکاران (۳) نیز عنوان کردند که کیفیت خاک در مناطق خشک و نیمه خشک جهان اغلب در نتیجه سدیم تبادلی زیاد کاهش می‌یابد. به اعتقاد آنها سدیم باعث وارفتن[1] و پراکنش رس می‌شود. بررسی‌های برزگر و همکاران (۴) مشخص نمود که با افزایش مقدار SAR، پراکنش رس افزایش یافته که نتیجه آن تخریب ساختمان و شاخص S می‌باشد.

وجود همبستگی مثبت بین شاخص S و مواد آلی و کربنات کلسیم معادل نشان‌دهنده نقش این دو عامل در تشکیل و پایداری ساختمان خاک است. به طور کلی افزایش مواد آلی به خاک باعث افزایش پایداری ساختمان خاک می‌شود زیرا مواد آلی از یک طرف باعث اتصال ذرات خاک به یکدیگر و از طرف دیگر باعث افزایش سریع جمعیت میکروبی خاک می‌شود (۲). افزایش مقدار S با افزایش مواد آلی توسط دکستر (۱۴) در دو نوع خاک شن لومی و لوم سیلتی انگلستان نیز گزارش شده است. دکستر (۱۳) علت ناپایداری ساختمان خاکهای مناطق نیمه خشک و نامناسب بودن آنها برای کشاورزی را مقدار کم مواد آلی عنوان کرده است. البته وی اعتقاد دارد که اضافه کردن مواد آلی به خاک از طریق کودهای دامی الزاما پایداری ساختمان خاک را افزایش نمی‌دهد، زیرا پایداری ساختمان خاک به محل قرار گرفتن مواد آلی در داخل خاکدانه‌ها بستگی دارد. در بررسی‌های انجام شده توسط ایشان مشخص شد که MWD (Mean Weight Diameter) دارای همبستگی مثبت با کربن آلی است. رحیمی و همکاران (۲۶) عنوان کرده اند که مواد آلی با کاتیون‌های جذب سطحی شده پیوند یافته و مقاومت خاکدانه‌ها را در مقابل تخریب افزایش داده، در نتیجه باعث افزایش پایداری خاکدانه ها می‌شود. نوایلمیر و همکاران (۲۵) بر نقش کربن آلی در بهبود ویژگیهای مختلف خاک تاکید و عنوان نموده‌اند که کیفیت خاک منعکس کننده کربن خاک و شرایط ساختمانی و فیزیکی خاکهای مراتع می‌باشد. محققان دیگر (۷) نیز عنوان کردند که مواد آلی خاک باعث پایداری خاکدانه‌ها در مقابل عوامل تخریب مثل ورقه ورقه شدن می‌شود که این کار از طریق افزایش نیروی هم‌چسبی[2] خاکدانه‌ها و با پیوند ذرات معدنی با پلی‌مرهای آلی ایجاد می‌شود. بر این اساس می‌توان انتظار داشت که باید بین مقدار ماده آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها رابطه مستقیمی وجود داشته باشد که چنین رابطه‌ای در اینجا مشاهده شد. در واقع هم MWD و هم شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (شاخص S) ساختمان خاک را توصیف می‌کنند و از دهه ۱۹۵۰ ویژگی‌ها یا رفتارهای مختلف خاک به عنوان شاخص‌های کیفی مورد استفاده قرار گرفته است. شاید مهم‌ترین آنها MWD باشد که اساسا برای توصیف کمی ساختمان خاک به کار می‌رود (۲۲ و ۲۳).

1- Slaking

2- Cohesion Force

جدول ۲- ماتریس همبستگی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه (n=35)

	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	Bd ($g.cm^{-3}$)	OM (%)	$CaCO_3$ (%)	SAR	EC (dS/m)	MWD (mm)	PR (Mpa)	S index	LLWR (cm^3cm^{-3})	AWC (cm^3cm^{-3})
رس (٪)	–												
سیلت (٪)	-۰/۴۶**	–											
شن (٪)	-۰/۷۱**	-۰/۳۱ns	–										
Bd ($g.cm^{-3}$)	۰/۲۱ns	-۰/۰۹ns	-۰/۱۵ns	–									
OM (%)	-۰/۳۱ns	۰/۰۳ns	۰/۳۰ns	-۰/۲۶ns	–								
$CaCO_3$ (%)	-۰/۳۵*	۰/۴۱*	۰/۰۵ns	۰/۳۴*	۰/۱۶ns	–							
SAR	۰/۲۴ns	۰/۲۲ns	-۰/۴۴**	۰/۲۴ns	-۰/۶۲**	-۰/۰۵ns	–						
EC (dS/m)	۰/۱۱ns	۰/۳۸*	-۰/۴۲*	۰/۲۵ns	-۰/۴۶**	۰/۲۷ns	۰/۸۷**	–					
MWD (mm)	-۰/۱۴ns	-۰/۱۲ns	۰/۲۴ns	-۰/۱۵ns	۰/۵۳**	۰/۲۹ns	-۰/۶۳**	-۰/۴۸**	–				
PR (Mpa)	۰/۳۶*	-۰/۱۳ns	-۰/۲۹ns	۰/۳۱ns	-۰/۴۷**	-۰/۳۸*	۰/۶۱**	۰/۴۱*	-۰/۶۴**	–			
S index	-۰/۴۸**	۰/۲۵ns	۰/۳۱ns	-۰/۴۲*	۰/۶۸**	۰/۴۲*	-۰/۷۲**	-۰/۵۰**	۰/۶۰**	-۰/۸۳**	–		
LLWR (cm^3cm^{-3})	-۰/۴۷**	۰/۱۳ns	۰/۴۰*	-۰/۵۸**	۰/۵۲**	۰/۳۴*	-۰/۶۲**	-۰/۴۸**	۰/۴۶**	-۰/۷۹**	۰/۸۵**	–	
AWC (cm^3cm^{-3})	-۰/۳۸*	۰/۱۰ns	۰/۳۳ns	۰/۲۱ns	۰/۵۶**	۰/۴۰*	-۰/۵۵**	-۰/۳۶*	۰/۵۰**	-۰/۷۵**	۰/۷۹**	۰/۶۹**	–

ns معنی‌دار نیست. * معنی‌دار در سطح ۵ درصد. ** معنی‌دار در سطح یک درصد

Bd: جرم مخصوص ظاهری، OM: درصد ماده آلی، $CaCO_3$: درصد آهک، SAR: نسبت جذب سدیم، EC: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، PR: مقاومت فروروی، S Index: شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف آن، LLWR: محدوده حداقل دامنه آب، AWC: مقدار آب قابل استفاده گیاه

در رابطه با تاثیر کربنات کلیسم بر تشکیل خاکدانه و ساختمان خاک، امرسون و گرین لند (۱۶) عنوان کردند که کربنات‌ها به عنوان منبع یون Ca^{+2} عمل نموده و به فولکوله شدن ذرات رس و پایداری کمپلکس تبادلی کمک می‌کنند. علاوه بر این کربنات کلسیم با خنثی نمودن اسیدهای ایجاد شده توسط قارچ‌ها، میکروارگانیسم‌ها و ریشه‌ها باعث فولکوله شدن ذرات رس در سطح خاکدانه‌ها می شود. بولینگر- وبر و همکاران (۹) نیز بر نقش کربنات کلسیم فعال که ریزترین بخش کربنات کلسیم کل است در تشکیل پیوند مواد آلی و اجزائ معدنی تاکید نمودند. آنها در بررسیهایشان همبستگی منفی بین مقدار شن درشت و کربنات کلسیم فعال مشاهده کرده و آن را علت ناپایداری خاکدانه‌ها در این کلاس بافتی عنوان کردند. رابطه مثبت بین کربنات کلسیم خاک و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف توسط امامی و همکاران (۱) نیز مشاهده شده است. محققان دیگر مثل برونیک و لال (۸) و سو و همکاران (۳۱) مقدار رس، سیلت، ماده آلی و کربنات کلسیم را مهم‌ترین پارامترها یا عوامل پیوندی در تشکیل خاکدانه های نواحی خشک ذکر کرده اند. البته سو و همکاران (۳۱) در بررسی‌هایشان دریافتند که تاثیر کربن آلی و کربنات کلسیم بر مقدار خاکدانه های الک تر و پایداری آنها بیشتر از سیلت، رس و اکسیدهای آهن و آلومینیوم است. با توجه به آهکی بودن بیشتر خاکهای ایران و نقش کربنات کلسیم در خاکدانه‌سازی و تشکیل ساختمان خاک لازم است این پارامتر نیز مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به اینکه املاح موجود در محلول خاک باعث افزایش پایداری ساختمان خاک گشته و به تشکیل خاکدانه ها کمک می‌کنند لذا انتظار می‌رود با افزایش EC، شاخص S نیز افزایش یابد. ولی در این خاکها همبستگی منفی بین شاخص S و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع این خاکها وجود داشت (جدول ۲). همبستگی مثبت یا منفی بین شاخص S و مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی بستگی به نوع یون‌ها یا نوع نمک دارد. اگر نمک موجود در خاک از نوع سدیم باشد این همبستگی منفی است و اگر از نوع کلسیم و منیزیم باشد همبستگی مثبت خواهد بود. به نظر می‌رسد نمک‌های موجود در خاک‌های مورد مطالعه از نوع سدیمی بوده است. علاوه‌بر این مقادیر EC در این خاکها نسبتا کم بود (۴/۴۴dS/m) بود و به عبارتی فقط خاکهای با شوری کم و متوسط مورد مطالعه قرار گرفتند به طوری‌که در ۲۳ نمونه از ۳۵ خاک مورد مطالعه (۶۶ درصد) EC کمتر از dS/m ۴ بود. از سوی دیگر بین شاخص S و مقادیر SAR نیز همبستگی منفی وجود داشت، بنابراین احتمالا این همبستگی منفی بین EC و شاخص S ناشی از اثرات سوء سدیم در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد که باعث به وجود آمدن چنین رابطه‌ای شده است.

بر اساس جدول ۲ رابطه بین شاخص S و مقاومت فروروی در سطح یک درصد معنی‌دار است. با افزایش مقاومت فروروی، مقدار S به شدت کاهش یافته است. این دو پارامتر عکس همدیگر عمل می کنند. نتایج تحقیقات محققین مختلف نشان دهنده این موضوع می‌باشد. به عنوان مثال مولینز و همکاران (۲۴) نیز علت سخت شدگی خاکها را تخریب خاکدانه‌ها در هنگام خیس شدن عنوان کرده‌اند. به اعتقاد آنها در هنگام خیس شدن بخش زیادی از ماکروپورها از بین رفته و پس از خشک شدن خاک مقاومت آن افزایش می‌یابد که این امر ناشی از افزایش تنش داخلی در اثر افزایش تخلخل میکرو می‌باشد. کمپر و همکاران (۲۱) نیز عنوان کردند که در فرآیند تخریب خاکدانه ها، رس پراکنش یافته و به سمت نقاط تماس ذرات بزرگتر حرکت نموده و در تشکیل پیوندهای جدید بین ذرات شرکت می‌کند. در حین این فرآیند، ابتدا رس غیر فعال شده ولی در هنگام خشک شدن دوباره فعال و باعث افزایش مقاومت خاک و ایجاد سله می شود.

علاوه بر ویژگیهای فوق همبستگی بین شاخص S و محدوده حداقل دامنه آب (LLWR) نیز در این خاکها بررسی شد. LLWR دامنه‌ای از آب خاک است که عوامل محدود کننده رشد گیاه از قبیل پتانسیل آب، تهویه و مقاومت مکانیکی جهت نفوذ ریشه در خاک حداقل می‌باشد (۱۲، ۳۳). ترکیب تهویه، مقاومت و پتانسیل ماتریک آب خاک برای رشد گیاه در قالب LLWR بیان می‌شود و LLWR به تغییرات ساختمان خاک (بر حسب جرم مخصوص ظاهری مشخص می‌شود) نسبت به آب قابل دسترس حساسیت بیشتری دارد (۱۲). مطابق جدول ۲ بین شاخص S و LLWR در این خاکها همبستگی مثبت وجود داشت ($p=0.01$). با توجه به اینکه LLWR به عنوان شاخصی از کیفیت ساختمان خاک جهت تولید محصول در نظر گرفته شده است (۱۲) و همانگونه که قبلا گفته شد شاخص S نشان دهنده کیفیت ساختمان خاک (۱۴) می‌باشد، به همین علت بین این دو پارامتر همبستگی مثبت مشاهده شده است، لذا همبستگی مثبت بین شاخص S و LLWR منطقی می‌باشد.

همچنین بین شاخص S و AWC همبستگی مثبت در سطح یک درصد وجود داشت (جدول ۲)، مشابه LLWR، آب قابل استفاده گیاه نیز شاخصی از کیفیت فیزیکی خاک است و هرچه آب قابل استفاده گیاه بیشتر باشد باید شاخص S آن نیز بالا باشد، که وجود رابطه مثبت بین این دو پارامتر بیانگر این موضوع می‌باشد.

علاوه بر این با استفاده از نرم‌افزار SPSS12 و رگرسیون گام به گام، مدل‌هایی برای شاخص S از ویژگیهای زودیافت خاک به دست آمد. جهت محاسبه شاخص S دو مدل ارئه شد. در مدل اول (معادله ۳) فقط از ویژگی‌های متداول خاک که در اغلب تحقیقات و آزمایشگاه‌های خاکشناسی اندازه‌گیری می‌شوند و مطابق جدول ۲ با شاخص S همبستگی معنی‌داری داشتند به عنوان متغییر مستقل استفاده گردید. این ویژگی‌ها شامل درصد رس، جرم مخصوص

ظاهری، درصد ماده آلی و آهک، SAR، EC و MWD بودند. در مدل دوم (معادله ۴) علاوه بر ویژگی‌های فوق از مقاومت فروروی، محدوده حداقل دامنه آب و آب قابل استفاده گیاه نیز که با شاخص S همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند (جدول ۲) به عنوان متغییر مستقل استفاده شد و رابطه رگرسیونی برای شاخص S به دست آمد.

$$S = 0.106 - 0.001\ SAR + 0.002\ CaCO_3 + 0.009OM \qquad r = 0.85^{**} \qquad (۳)$$

$$S = 0.067 + 0.155\ LLWR + 0.127\ AWC + 0.007\ OM - 0.086\ PR \qquad r = 0.93^{**} \qquad (۴)$$

روابط ۳ و ۴ نشان می‌دهند که در مدل اول (معادله ۳) پارامترهای SAR، درصد آهک و ماده آلی در مقایسه با سایر ویژگی‌های جدول ۲ تاثیر بیشتری بر شاخص S داشته و ۷۲ درصد تغییرات شاخص S توسط سه ویژگی نسبت جذب سدیم، درصد آهک و ماده آلی بیان می‌شود. در مدل دوم (معادله ۴) نیز پارامترهای محدوده حداقل دامنه آب، آب قابل استفاده گیاه، درصد ماده آلی و مقاومت فروروی تاثیر بیشتری بر مقدار شاخص S داشته به طوریکه ۸۷ درصد تغییرات شاخص S توسط این چهار پارامتر قابل توجیه است.

سپاسگزاری

هزینه‌های انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح تحقیقاتی مصوب شماره ۳۲۹پ مورخ ۸۸/۸/۱۶ تامین شده است که بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه فردوسی مشهد سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

۱- امامی، ح.، شرفاء م.، نیشابوری م.ر. و لیاقت ع.ا. ۱۳۸۷. برآورد شاخص کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از ویژگیهای زودیافت خاک در تعدادی از خاکهای شور و آهکی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران). دوره ۳۹، شماره ۱، ۴۶- ۳۹.

۲- برزگر ع. ۱۳۸۰. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. صفحات ۱۵۰-۱۶۷.

3- Bagarelloa V., Iovino M., Palazzolo E., Panno M., Reynolds W.D. 2006. Field and laboratory approaches for determining sodicity effects on saturated soil hydraulic conductivity. Geoderma, 130:1 –13.

4- Barzegar, A.R., Oades, J.M., Rengasamy, P., Giles, L., 1994. Effect of sodicity and salinity on disaggregation and tensile strength of an Alfisol under different cropping system. Soil Till. Res., 32:329-345.

5- Betz, C.L., Allmaras R.R., Copeland S.M., and Randall G.W. 1998. Least limiting water range: traffic and long-term tillage influences in a Webster soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 62:1384– 1393.

6- Blake G.R., and Hartge, K.H.1986. Bulk density. In: Methods of soil analysis. Part1-Physical and mineralogical methods. Seconds edition. Agronomy No.9. America Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA.

7- Blanco-Canqui H., and Lal, R. 2007. Regional assessment of soil compaction and structural properties under no-tillage farming. Soil Sci. Soc. Am. J., 71:1770-1778.

8- Bronick C.J., and Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma, 124:3-22.

9- Bullinger-Weber, G., Le Bayon, R., Guenat, C., and Gobat, J.M. 2007. Influence of some physicochemical and biological parameters on soil structure formation in alluvial soils. European Journal of Soil Biology., 43:57-70.

10- Chan K.Y. 1995. Strength characteristics of a potentially hardsetting soil under pasture and conventional tillage in the semi-arid region of Australia. Soil Till. Res. 34:105-113.

11- Crescimanno G., Iovino M., Provenzano G. 1995. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics. Soil Sci. Soc. Am. J., 59:1701–1708.

12- DA Silva, A.P., Kay B.D., and Perfect E. 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1775– 1781.

13- Dexter A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. Soil Till. Res., 11:199–238.

14- Dexter A.R. 2004. Soil physical quality. Part I: Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, 120:201-214.

15- Elliott E.T. 1994. The potential use of soil biotic activity as an indicator of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R., Grace, P.R. (Eds.), Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems. CSIRO, Melbourne, pp. 250–256.

16- Emerson, W.W., and Greenland, D.J. 1990. Soil aggregates-formation and stability, in: De Boodt, M.F., Hayes, M.H.B., and Herbillon, A. (Eds.), Soil Colloids and Their Associations in Aggregates, Plenum Press, New York, pp. 485-511.

17- Gee G.W., and Bauder, J.W. 1986. Methods of soil analysis. Part1-Physical and mineralogical methods. Seconds edition. Agronomy No.9. America Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA.

18- Groenevelt P.H., Grant C.D., and Semesta S. 2001. A new procedure to determine water availability. Aust. J. Soil Res., 39:577–598.
19- Herrick J.E. 2000. Soil quality: an indicator of sustainable land management? Appl. Soil Ecol., 15:75–83.
20- Karlen D.L., Eash, N.S., and Unger, P.W. 1992. Soil and crop management effects on soil quality indicators. Am. J. Alternative Agric., 7:48-55
21- Kemper W.D., Rosenau R.C., and Dexter A.R. 1987. Cohesion development in disrupted soils as affected by clay and organic matter content and temperature. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:860-867.
22- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology, Eur. J. Soil Sci., 47:425-437.
23- Lovey, G.J., and Miller V.P. 1997. Aggregate stabilities of some south eastern U. S. soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 67:1176-1182.
24- Mullins, C.E., MacLeod, D.A., Northcote, K.H., Tisdall, J.M., and Young, I.M. 1990. Hard-setting soils: behaviour, occurrence, and management. In: Lal, R., Stewart, B.A. (Eds.), Soil Degradation. Adv. Soil Sci., vol. 11. Springer-Verlag, New York, pp. 37– 108.
25- Noellemeyer E., Quiroga, D., Estelrich, A.R. 2006. Soil quality in three range soils of the semi-arid Pampa of Argentina. Journal of Arid Environments, 65:142–155.
26- Rahimi H., Pazira E., and Tajik, F. 2000. Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates. Soil Till. Res., 54:145-153.
27- Sarah, P. 2005. Soil aggregation response to long- and short-term differences in rainfall amount under arid and Mediterranean climate conditions. Geomorphology, 70:1 –11.
28- Shukla, M.K., Lal R., and Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil Till. Res., 87:194–204.
29- Sparling G.P., and Schipper, L. A. 2002. Soil Quality at a National Scale in New Zealand J. Environ. Qual., 31:1848–1857.
30- Sparrow S.D., Lewis, C.E., and Knight, C.W. 2006. Soil quality response to tillage and crop residue removal under subarctic conditions. Soil Till. Res., 91:15–21.
31- SU, Y.Zh., Wang, F., Zhang, Zhi-H., and Du, M.W. 2007. Soil Properties and Characteristics of Soil Aggregate in Marginal Farmlands of Oasis in the Middle of Hexi Corridor Region, Northwest China. Agricultural Sciences in China., 6(6): 706-714.
32- Taylor, H.M., Roberson, G.M., and Parker, J.J. 1966. Soil Strength root penetration relations for medium and coarse-textured soil materials. Soil Sci., 102:18-22.
33- Tormena, C.A., Da Silva, A.P., and Libardi, P.L. 1999. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. Soil Til. Res. 52:223-232.
34- Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892–898.
35- Wu, L., Feng, G., Letey, J., Ferguson, L., Mitchell, J., Mccullough-Sanden, B., and Markegard, G. 2003. Soil management effects on the nonlimiting water range. Geoderma, 114:401–4.

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 5, Nov-Des 2010, p. 1027-1035

نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۸۹، ص. ۱۰۳۵-۱۰۲۷

Study of the Relationship between Slope of Retention Curve and Some Physical Properties of Soil Quality

H. Emami [1]*- A. Lakzian [2]- M. Mohagerpour [3]

Received: 23-5-2010
Accepted: 27-11-2010

Abstract

Different definitions have been proposed for soil quality. Various soil properties have been suggetsted as soil quality indices by researchers. This research was conducted to study the relationship between slope of retention curve at its inflection point (S index) and other soil physical quality indices, because the reserches between S index and soil physical properties are little. Thirty five soil samples were collected and some physical and chemical properties measured . The moisture contents were measured at 0, 1.5, 2.5, 5.5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 kpa pressure heads. The parameters of Van Genuchten equation (1980) were determined by using of RETC software. The slope of retention curve at the inflection point were determined and it was considered as soil physical quality index (S). Then the relationship between S index and soil physical properties was determined by SPSS software. According to the S index and penetration resistance (PR), It seems that the physical quality of studied soil samples was suitable for accesssing. Also there was a significant correlation between S index with mean weight diameter (MWD), clay percentage, sodium absorption ratio (SAR), organic matter percentage, electrical conductivity (EC), least limiting water range (LLWR), available water content (AWC), and penetration resistance ($p<0.01$). In addition the correlation between S index with bulk density and calcium carbonate was significant at $p<0.05$. Among the studied parameters, the correlation between S index with clay percentage, bulk density, EC, and penetration resistance was negative and S index had a direct relation with other soil properties.

Keywords: Soil quality, Slope of retention curve, Penetration resistance, Least limiting water range, Available water content

1 ,2- Assistant Prof. and Associate Prof., College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively
(*-Corresponding author Email: hemami@ferdowsi.um.ac.ir)
3- instructor, Dept., of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad