

برآورد شاخص کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از ویژگی‌های زودیافت خاک در تعدادی از خاک‌های شور و آهکی

حجت امامی*^۱، مهدی شرفا^۲، محمد رضا نیشابوری^۳ و عبدالمجید لیاقت^۴
۱، ۲، ۴، دانشجوی سابق دکتری، استادیار و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۳، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(تاریخ دریافت: ۸۶/۲/۱۸ - تاریخ تصویب: ۸۶/۷/۱۸)

چکیده

ظرفیت خاک برای تولید در اکوسیستم و کاربری اراضی برای حفظ باروری بیولوژیکی، کیفیت محیط زیست و تقویت سلامتی گیاه و حیوان، کیفیت خاک نام دارد که ارزیابی دقیق آن برای مدیریت پایدار خاک ضروری است. چون نمی‌توان کیفیت خاک را مستقیماً اندازه‌گیری کرد، باید آن را از شاخصهای کیفیت استنتاج نمود. شاخصهای کیفیت خاک ویژگیهای قابل اندازه‌گیری خاک هستند. با توجه به پیچیدگی کیفیت خاک و اهمیت آن، معرفی یک شاخص کمی برای تعیین کیفیت خاک (S) و برآورد شاخص S با استفاده از توابع انتقالی و ویژگیهای زودیافت خاک از اهداف تحقیق حاضر بوده است. بدین منظور ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی ۸۴ نمونه خاک (۲۷ نمونه خاک شور و ۵۷ نمونه خاک آهکی) از قبیل توزیع اندازه ذرات، مواد آلی، جرم مخصوص ظاهری، کربنات کلسیم معادل، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) اندازه‌گیری شد. همچنین منحنی رطوبتی آنها در مکشهای ۰، ۱/۵، ۲/۵، ۵/۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ kPa اندازه‌گیری شد. با استفاده از نرم‌افزار Rosetta پارامترهای معادله وان‌گن‌اختن (۱۹۸۰) تعیین شد و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف تعیین و به عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از توابع انتقالی و نرم‌افزار SPSS رابطه رگرسیونی بین این شاخص و ویژگیهای زودیافت خاک تعیین شد. نتایج نشان داد همبستگی معنی‌داری بین شاخص S و درصد رس، سیلت و کربنات کلسیم معادل در هر سه نوع خاک شور، آهکی و شور-آهکی وجود دارد (p=0.01). همچنین بین شاخص S و جرم مخصوص ظاهری در خاکهای شور و آهکی به ترتیب در سطوح ۵٪ و ۱٪ همبستگی معنی‌داری مشاهده شد. نتایج نشان داد که رابطه رگرسیونی قوی بین مقادیر شاخص S اندازه‌گیری شده از منحنی رطوبتی و برآورد شده با استفاده از صفات زودیافت خاک برقرار است و ضریب همبستگی بین این دو در خاکهای شور، آهکی و شور-آهکی به ترتیب ۰/۸۵۵، ۰/۹۲۸ و ۰/۹۱۹ بود.

واژه‌های کلیدی: کیفیت خاک، توابع انتقالی، منحنی رطوبتی خاک، نقطه عطف، ویژگیهای زودیافت خاک، خاک‌های شور، خاک‌های آهکی

مقدمه

معمولاً از سه جنبه شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی مورد توجه قرار می‌گیرد. کیفیت خاک برای ارزیابی میزان تخریب اراضی یا اصلاح و تعیین نوع فعالیتهای مدیریتی برای

کیفیت خاک یکی از موضوعاتی است که از جنبه مدیریت خاک به آن توجه زیادی می‌شود. کیفیت خاک

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 (۱۰، ۱۳، ۱۴). از منحنی رطوبتی و بخصوص ارزیابی تغییرات شیب آن نیز به عنوان شاخص پایداری استفاده شده است (۲). مقایسه بین این شاخصهای پایداری برای تعداد محدودی از خاکها توسط صادقان و همکاران (۱۳۸۶) نیز به عمل آمده است.

گوبریف و همکاران (۲۰۰۱) تخلخل خاک را به دو بخش ساختمانی و بافتی تقسیم کردند. تخلخل ساختمانی شامل شکافهای میکرو، منافذ زیستی و ساختمانی ماکرو است که در اثر خاک‌ورزی به وجود می‌آیند. نامبردگان تخلخل ساختمانی را بسیار حساس به مدیریت خاکهای زراعی دانسته‌اند. دکستر (۲۰۰۴a) با توجه به تاثیرپذیری عمیق منحنی رطوبتی از اندازه و آرایش منافذ خاک و با تمرکز به این مسئله طی تحقیقات پایه‌ای جالب نشان داد که شیب منحنی رطوبتی (S) در نقطه عطف آن می‌تواند منعکس کننده جنبه‌های مختلف از کیفیت خاک از قبیل نفوذ، سخت‌شدگی و فشردگی باشد.

دکستر (۲۰۰۴b) بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از خاک در هفت کشور که مقادیر رس آنها بین ۴ تا ۷۳ درصد بود کلاسهای زیر برای شاخص کیفیت فیزیکی خاک پیشنهاد کرد: $S < 0.020$ خیلی ضعیف، $0.020 < S < 0.035$ ضعیف و $S > 0.035$ خوب. با وجود دامنه وسیع رس در بررسیهای به عمل آمده توسط دکستر (۲۰۰۴b) بعضی از خاکهای شنی ممکن است از طبقه‌بندی فوق مستثنی باشند. رسم نقشه خطوط هم‌تراز S، برای نشان دادن مناطقی که مدیریت خاصی را لازم دارند، مفید می‌باشد. همچنین تغییرات کیفی خاکها با گذشت زمان با استفاده از شاخص S و طبقه‌بندی فوق‌الذکر قابل ارزیابی است. بنابراین شاخص S می‌تواند یک ابزار ارزشمند در کمی‌سازی تخریب فیزیکی خاک یا بهبود آن و در ارزیابی کیفیت فیزیکی منابع جهانی خاک باشد (۶).

برای محاسبه سریع شاخص S نیاز به مشخص بودن معادله منحنی رطوبتی است. مدل وان‌گن‌اخن (۱۹۸۰) در جهان به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد و توابع

کاربری پایدار، مهم است (۵). کیفیت فیزیکی خاک به شکلهای مختلفی مشخص می‌شود. هنگامی که خاکها یک یا چند مورد از خصوصیات زیر را نشان دهند کیفیت فیزیکی ضعیفی دارند: قابلیت کم نفوذ آب در خاک، رواناب سطحی، سخت‌شدگی، تهویه ضعیف، قابلیت ریشه‌دوانی ضعیف و کارکردن ضعیف^۱ در خاک (۵).

کیفیت خاک به صورت " ظرفیت خاک برای تولید در اکوسیستم و کاربری اراضی برای حفظ باروری بیولوژیکی، کیفیت محیط زیست و تقویت سلامتی گیاه و حیوان تعریف شده است" (۷). توابع و رفتارهای که کیفیت خاک را مشخص می‌سازند عبارتند از توانایی خاک در: (۱) پذیرش، نگهداری و آزادسازی عناصر غذایی و سایر ترکیبات شیمیایی، (۲) پذیرش، نگهداری و آزادسازی آب مورد نیاز گیاهان، کاهش رواناب سطحی و تقویت آب زیرزمینی، (۳) تقویت و حفظ رشد ریشه، (۴) حفظ زیستگاه موجودات زنده خاک و (۵) واکنش به عملیات مدیریتی و مقاومت در مقابل تخریب خاک (۱۲). شاخصهای کیفیت خاک ویژگیهای قابل‌اندازه‌گیری خاک هستند که ظرفیت خاک برای تولید محصول یا عملکرد زیست محیطی را تحت تاثیر قرار می‌دهند و به تغییر کاربری اراضی، مدیریت یا عملیات حفاظتی حساس می‌باشند (۳). حفظ یا بهبود کیفیت خاک می‌تواند باعث ایجاد استمرار در باروری خاک، افزایش کارایی عناصر غذایی و آفت‌کشها، بهبود کیفیت آب و هوا و کاهش انتشار گازهای گل‌خانه‌ای شود (۱۹).

به خاطر اهمیت کیفیت خاک، ارزیابی کمی آن برای تعیین پایداری سیستمهای مدیریت اراضی و کمک به سازمانهای دولتی برای ایجاد کشاورزی پایدار و کاربری صحیح اراضی، ضروری است (۸). تحقیق در مورد کیفیت خاک متفاوت با مدیریت خاک است زیرا کیفیت خاک شامل ویژگیهای مختلف خاک می‌باشد و لازم است به جنبه‌های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی خاک به طور همزمان توجه شود (۲۱). با این وجود کیفیت خاک به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست و باید از شاخصهای کیفیت خاک استنتاج شود. از دهه ۱۹۵۰ ویژگیها یا رفتارهای

1. Poor Workability

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad (7)$$

اگر ثابت معلم (۱۹۷۶) یعنی $m=1-1/n$ را در معادله فوق قرار دهیم، مقدار S به شکل زیر به دست می‌آید:

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[\frac{2n-1}{n-1} \right]^{\left(\frac{1}{n}-2\right)} \quad (8)$$

بر اساس نتایج تحقیقات دامنه‌دار دکستر (۲۰۰۴a)، شاخص S در ارزیابی تاثیرپذیری خاک از تیمارهای مختلف بویژه از جنبه خاک‌ورزی و مدیریت آبیاری بسیار سودمند می‌باشد. طبق تعریف ارائه شده برای شاخص کیفیت فیزیکی خاک (دکستر ۲۰۰۴a) و با توجه به گستردگی خاکهای شور و آهکی و نیاز به مدیریت مناسب آنها و نیز ارزیابی کمی دقیق نتایج آن، تحقیق حاضر با اهداف زیر انجام شد: (۱) اندازه‌گیری شاخص کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از داده‌های منحنی رطوبتی و (۲) برآورد شاخص کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از ویژگیهای زود یافت خاک.

مواد و روش‌ها

تعداد ۸۴ نمونه دست‌خورده و ۸۴ نمونه دست‌نخورده از عمق ۱۰-۳۰ سانتیمتری خاکهای منطقه کرج و ورامین انتخاب شد که شامل ۲۷ نمونه خاک شور (دشت ورامین) و ۵۷ نمونه خاک آهکی (دشت کرج) بود. نمونه‌های دست‌خورده در مجاورت هوای آزاد خشک و پس از کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و آزمایشهای زیر بر روی اجزای کوچکتر از ۲ میلی‌متر انجام شد.

ابتدا فراوانی نسبی ذرات خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری و کلاسه‌های بافت خاک تعیین شد (۱۱). کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری (۱۶) و جرم مخصوص ظاهری نمونه‌های دست‌نخورده به روش پارافین اندازه‌گیری شد (۱۱). علاوه بر این هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت‌سنج و غلظت سدیم در عصاره اشباع خاک توسط دستگاه فلیم فتومتر و غلظتهای کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون توسط EDTA تعیین و نسبت جذب سدیم با استفاده از رابطه $SAR=Na/(Ca+Mg)^{1/2}$

انتقالی متعددی نیز برای تخمین پارامترهای آن وجود دارند. معادلات زیر مقدار شیب در نقطه عطف منحنی رطوبتی را به عنوان شاخصی از کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از پارامترهای معادله وان‌گن‌اختن (۱۹۸۰) نشان می‌دهند:

$$\theta = (\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{-m} + \theta_{res} \quad (1)$$

در معادله فوق θ_{sat} و θ_{res} به ترتیب مقادیر رطوبت اشباع و باقی‌مانده ($cm^3 \cdot cm^{-3}$)، h مقدار مکش (cm)، α تقریباً معادل عکس پتانسیل در نقطه ورود هوا و m و n پارامترهای تجربی هستند. اگر منحنی رطوبتی را بر حسب مقادیر θ و $\ln(h)$ رسم کنیم دارای یک نقطه عطف خواهد بود و شیب منحنی رطوبتی عبارت است از:

$$S = \frac{d\theta}{d \ln(h)} = \frac{d\theta}{dh} \frac{dh}{d \ln(h)} \quad (2)$$

شیب منحنی رطوبتی بر اساس معادله وان‌گن‌اختن به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{d\theta}{d \ln(h)} = -mn(\theta_{sat} - \theta_{res}) \alpha^n h^n \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{-m-1} \quad (3)$$

و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف آن عبارت است از:

$$\frac{d^2\theta}{d \ln h^2} = -mn(\theta_{sat} - \theta_{res}) \alpha^n \left\{ nh^{n-1} \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{-m-1} + h^n (-m-1) \alpha^n nh^{n-1} \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{-m-2} \right\} h = 0 \quad (4)$$

بنابراین پتانسیل آب در نقطه عطف عبارت است از:

$$h_i = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{1}{m} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

با جایگزینی مقدار h_i در معادله ۱، مقدار رطوبت در نقطه عطف به دست می‌آید:

$$\theta_i = (\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-m} + \theta_{res} \quad (6)$$

با جایگزینی معادله ۵ در معادله ۳ شیب در نقطه عطف منحنی رطوبتی به دست می‌آید:

داده‌های سایر محققین به دست آورده بود 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. برعکس رس، بین شاخص S و درصد‌های سیلت، کربنات کلسیم معادل و جرم مخصوص ظاهری همبستگی مثبت در خاکهای شور مشاهده شد. با توجه به آهکی بودن بیشتر خاکهای ایران و نقش کربنات کلسیم در خاکدانه‌سازی و تشکیل ساختمان خاک چنین نتیجه‌ای منطقی به نظر می‌رسد و لازم است همبستگی این پارامتر با شاخص کیفیت فیزیکی خاک بررسی شود و در ارایه توابع انتقالی خاک به عنوان یک متغیر مستقل لحاظ شود. همانطور که در بالا اشاره شد، بین جرم مخصوص ظاهری و شاخص S همبستگی مثبت وجود داشت. علت آن وجود همبستگی منفی بین شاخص S با درصد رس است، زیرا با کاهش رس، جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد، بنا براین بین جرم مخصوص ظاهری و شاخص S رابطه مثبت وجود دارد. از سوی دیگر مقدار آهک و شوری این خاکها زیاد بود (جدول ۱) و این دو عامل باعث بهبود ساختمان خاک و افزایش تخلخل ساختمانی و ماکرو گشته، در نتیجه مقدار شاخص S افزایش و جرم مخصوص ظاهری کاهش یافته است. اگرچه دکستر $2004a$ رابطه منفی بین شاخص S و جرم مخصوص ظاهری در یک نوع خاک با درجات مختلف تراکم مشاهده نمود اما وی نیز عنوان کرده است که افزایش دانسیته خاک می‌تواند باعث افزایش شاخص S شود.

ویژگیهای فوق (درصد رس، سیلت و کربنات کلسیم معادل و جرم مخصوص ظاهری) به عنوان متغیر مستقل و شاخص S به عنوان متغیر وابسته در روش رگرسیون گام به گام، لحاظ شدند و رابطه رگرسیونی آن به دست آمد. در زیر رابطه رگرسیونی و آماره‌های آن بین شاخص S و بعضی از ویژگیهای خاکهای شور نشان داده شده است.

$$S = 0.111 + (0.002Silt) - (0.002Clay)$$

$$r = 0.855 \quad R^2 = 0.731$$

$$R^2_{Adj} = 0.708 \quad MSE = 0.0003$$

تعیین شد (۱۶). در جدول ۱ دامنه تغییرات ویژگیهای اندازه‌گیری شده خاکهای شور، آهکی و مجموع آنها به تفکیک آمده است. منحنی رطوبتی خاک با استفاده از قیف هنز در مکشهای ۱۵، ۲۵ و ۵۵ سانتی‌متر و همچنین توسط دستگاه صفحات فشاری با اعمال مکش های ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوپاسکال بدست آمد.

با استفاده از داده‌های جرم مخصوص ظاهری، فراوانی نسبی ذرات خاک (شن، سیلت و رس) و رطوبتهای اندازه‌گیری شده در ۱۳ نقطه از منحنی رطوبتی و به کمک نرم‌افزار ROSETTA (نسخه ۵/۱) پارامترهای معادله وان‌گن‌اختن (۱۹۸۰) تعیین شد. از معادله ۷ یا ۸ شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) محاسبه گردید. ضرایب همبستگی شاخص S با ویژگیهای زودیافت خاک تعیین و معادله رگرسیونی آن توسط نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید. برای مقایسه نتایج، خاکها بر اساس مقدار EC و محل نمونه‌برداری در سه گروه خاکهای شور، آهکی و شور-آهکی قرار داده شدند.

نتایج و بحث

خاکهای شور

نتایج به دست آمده در این بررسی نشان داد که میانگین مقدار S در خاکهای شور $0/120$ و دامنه آن در محدوده $0/069-0/188$ بود که بر اساس طبقه‌بندی دکستر این نوع خاکها شاخص کیفیت فیزیکی و ساختمان خوبی دارند. همچنین ضریب تغییرات و انحراف معیار S در این خاکها به ترتیب 24% و $0/029$ بود. نتایج تجزیه آماری نیز نشان داد که همبستگی بالایی بین شاخص S و درصد‌های رس، سیلت و کربنات کلسیم معادل خاک ($p=0.01$) وجود داشت و همچنین همبستگی بین شاخص S و جرم مخصوص ظاهری در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار بود که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. علاوه بر این همبستگی بین درصد رس و شاخص S منفی بود. روند کاهش مقادیر شیب منحنی رطوبتی (شاخص) با افزایش مقدار رس توسط دکستر ($2004a$) بر اساس نتیجه‌ای که از

جدول ۱- دامنه تغییرات ویژگی‌های اندازه‌گیری شده و میانگین آنها (داخل پرانتز) برای ۸۴ خاک مطالعه شده

محدوده داده‌ها		ویژگی‌های خاک	
تمام خاکهای مورد مطالعه	خاکهای آهکی	خاکهای شور	درصد رس
۱۸/۸۰-۵۸/۰۰ (۳۹/۷۳)	۲۲/۰۰-۵۶/۰۰ (۴۱/۹۱)	۱۸/۸۰-۵۸/۰۰ (۳۵/۱۳)	درصد سیلت
۸/۶۴-۵۷/۰۸ (۳۳/۱۳)	۸/۶۴-۴۶/۹۲ (۳۰/۰۴)	۱۶/۰۰-۵۷/۰۸ (۳۹/۶۶)	درصد شن
۵/۰۰-۶۲/۳۲ (۲۷/۱۴)	۱۱/۰۸-۶۲/۳۲ (۲۸/۰۵)	۵/۰۰-۶۱/۴۴ (۲۵/۲۱)	جرم مخصوص ظاهری (g.cm ⁻³)
۱/۲۱-۱/۶۵ (۱/۴۸)	۱/۲۱-۱/۶۴ (۱/۴۸)	۱/۳۸-۱/۶۵ (۱/۵۰)	EC(dS/m)
۰/۵۸-۸/۴۰ (۲/۸۵)	۰/۵۸-۳/۸۲ (۱/۴۲)	۲/۱۹-۸/۴۰ (۵/۸۸)	SAR
۰/۱۰-۱۵/۷۴ (۴/۸۴)	۰/۱۰-۱۰/۲۲ (۳/۲۱)	۳/۸۶-۱۵/۷۴ (۸/۲۸)	درصد ماده آلی
۰/۲۹-۴/۷۳ (۲/۱۹)	۰/۲۹-۴/۷۳ (۲/۲۳)	۱/۲۶-۴/۳۷ (۲/۰۹)	درصد کربنات کلسیم معادل
۴/۵۰-۱۸/۴۰ (۱۱/۵۱)	۴/۵۰-۱۶/۴۰ (۱۰/۱۵)	۶/۸۳-۱۸/۴۰ (۱۴/۴۰)	

سپس نتایج به دست آمده از رابطه رگرسیونی (تابع انتقالی) با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شدند که نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است. مقایسه مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده شاخص S نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین این دو بالا است ($r=0.855$).

خاک‌های آهکی

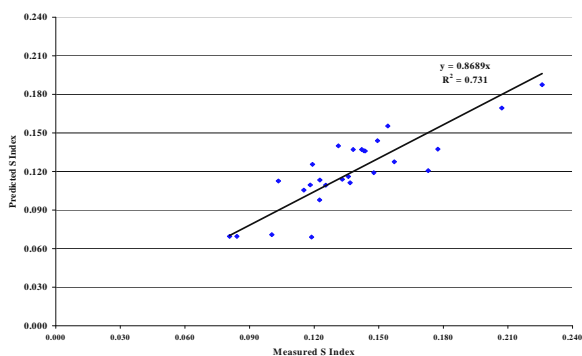
نتایج به دست آمده از خاکهای آهکی نشان داد که میانگین مقدار S در این خاکها ۰/۰۴۹ و دامنه آن در محدوده ۰/۰۳۰-۰/۰۶۹ بود که بر اساس طبقه‌بندی دکستر این نوع خاکها نیز شاخص کیفیت فیزیکی و ساختمان خوبی دارند. همچنین ضریب تغییرات و انحراف معیار S در این خاکها به ترتیب ۲۰٪ و ۰/۰۱۰ بود. نتایج تجزیه آماری نیز نشان داد که بین شاخص S با درصد‌های رس، سیلت، درصد مواد آلی و کربنات کلسیم معادل و همچنین جرم مخصوص ظاهری این نوع خاکها همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همبستگی بین شاخص S و جرم مخصوص ظاهری منفی بود ($p=0.01$)، که چنین نتایجی توسط دکستر (۲۰۰۴a) نیز به دست آمد. بر اساس تحقیقات وی در یک نمونه از خاکهای اسپانیا که حاوی ۲۷٪ رس و ۱۲/۵٪ سیلت بود مشاهده شد که با افزایش درجه تراکم و در نتیجه افزایش جرم مخصوص ظاهری، مقدار شاخص S به طور خطی کاهش یافت (۵). کاهش جرم مخصوص ظاهری به معنای افزایش تخلخل خاک است اما نشان‌دهنده توزیع اندازه منافذ خاک نیست و احتمالاً با افزایش جرم مخصوص ظاهری در این خاکها میزان تخلخل میکرو و

جدول ۲- ضرایب همبستگی خطی (r) بین شاخص کیفیت فیزیکی (S) و ویژگی‌های زود یافت خاک

ضریب همبستگی (r)			ویژگی‌های خاک
تمام خاکهای مورد	خاکهای آهکی	خاکهای شور	درصد رس
-۰/۵۴۳**	-۰/۳۷۲**	-۰/۶۷۷**	درصد سیلت
۰/۶۶۳**	۰/۵۴۶**	۰/۷۰۹**	درصد شن
-۰/۱۰۱ns	-۰/۱۱۲ns	۰/۰۶۴ns	جرم مخصوص ظاهری
۰/۰۳۶ns	-۰/۷۸۰**	۰/۴۱۳*	EC(dS/m)
۰/۶۹۴**	۰/۰۶۹ns	-۰/۳۳۸ns	SAR
۰/۴۹۱**	۰/۰۱۸ns	-۰/۳۷۵ns	درصد ماده آلی
-۰/۰۲۸ns	۰/۴۴۸**	-۰/۰۹۲ns	درصد کربنات کلسیم
۰/۶۴۹**	۰/۲۶۷*	۰/۵۶۳**	

ns معنی‌دار نیست. * معنی‌دار در سطح پنج درصد

** معنی‌دار در سطح یک درصد



شکل ۱- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده شاخص S در خاک‌های شور

$$S = 0.111 + (0.002\text{Silt}) - (0.002\text{Clay})$$

$$R = 0.855 \quad R^2 = 0.731$$

$$R^2_{\text{Adj}} = 0.708 \quad \text{MSE} = 0.0003$$

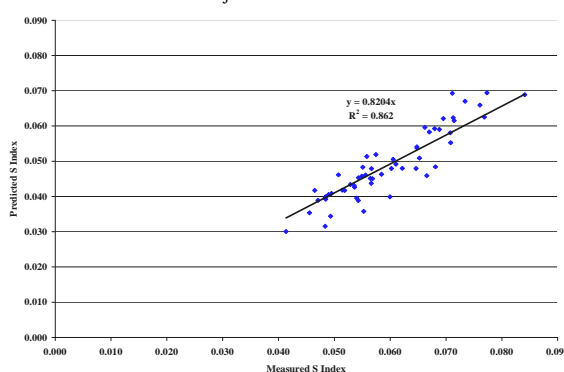
دکستر این نوع خاکها نیز شاخص کیفیت فیزیکی و ساختمان خوبی دارند. همچنین ضریب تغییرات و انحراف معیار S در این خاکها به ترتیب ۵۵٪ و ۰/۳۶ بود. علت بالا بودن ضریب تغییرات در این خاکها به خاطر تنوع خاکها و دامنه وسیع ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاکهاست (جدول ۱) که از دو منطقه متفاوت جمع‌آوری شده‌اند. نتایج تجزیه آماری نیز نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین شاخص S و درصد‌های رس، سیلت، و کربنات کلسیم معادل در این خاکها وجود داشت ($p=0.01$)، که در بین پارامترهای فوق تنها درصد رس همبستگی منفی با شاخص S داشت، اما همبستگی بین شاخص S و مقادیر سیلت و کربنات کلسیم معادل مثبت بود. با افزایش کربنات کلسیم و قابلیت هدایت الکتریکی، مقدار S افزایش می‌یابد زیرا این دو پارامتر باعث بهبود ساختمان خاک می‌شوند. در خاکهای آهکی و به ویژه خاکهای شور بر خلاف آنچه که انتظار داشتیم همبستگی معنی‌داری بین شاخص S و EC مشاهده نشد که امکان دارد به خاطر تعداد کم نمونه در خاکهای شور (۲۷ نمونه) باشد و لازم است در مورد خاکهای شور بررسیهای بیشتری انجام شود. اما در خاکهای آهکی چون مقدار EC کم (میانگین ۱/۴۲) و تنها در ۷ درصد موارد EC خاکها بیشتر از ۳ (دامنه EC بین ۰/۵۸ تا ۳/۸۲ جدول ۱) بود، لذا EC نتوانسته است تاثیر معنی‌داری بر ساختمان خاک و در نتیجه شاخص S داشته باشد. اما بین شاخص S و EC در تمامی ۸۴ نمونه خاکها ضریب همبستگی معنی‌داری مشاهده می‌شود که نمی‌توان به معنی‌دار بودن آن اعتماد کرد زیرا وقتی پراکنش داده‌ها را در دو حالت شامل ۲۷ نمونه خاک شور و ۵۷ نمونه خاک آهکی را نگاه می‌کنیم همبستگی بین آنها دیده نمی‌شود ولی وقتی این دو نوع داده را روی هم می‌گذاریم به دلیل متفاوت بودن مقدار EC در دو گروه داده فوق (EC خاکهای آهکی بین ۳/۸۲ - ۰/۵۸ و خاکهای شور بین ۲/۱۹-۸/۴ دسی‌سیمنز بر متر) داده‌ها در راستای هم قرار گرفته و بطور اتفاقی ضریب همبستگی افزایش یافته است که قابل قبول نمی‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که این معنی‌دار بودن فقط برای همین خاکها صادق بوده و نمی‌تواند چنین نتیجه‌ای برای سایر خاکها گرفته شود. بین

بافتی 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.

اما بین شاخص S و درصد سیلت و ماده آلی ($p=0.01$) و همچنین درصد کربنات کلسیم معادل ($p=0.05$) همبستگی مثبت مشاهده شد، که نشان‌دهنده نقش مواد آلی و کربنات کلسیم در تشکیل و پایداری ساختمان خاک است. افزایش مقدار S با افزایش مواد آلی توسط دکستر (۲۰۰۴a) در دو نوع خاک شن لومی و لوم سیلتی انگلستان نیز گزارش شده است. مشابه آنچه که در بخش قبلی در مورد خاکهای آهکی گفته شد به روش رگرسیون گام به گام معادله رگرسیونی بین شاخص S و ویژگیهای زود یافت تعیین شد. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بین مقادیر تخمینی رابطه رگرسیونی و مقادیر اندازه‌گیری شده بالا بود ($r=0.928$) که در شکل ۲ نشان داده شده است. در زیر رابطه رگرسیونی و آماره‌های آن بین شاخص S و بعضی از ویژگیهای خاکهای آهکی نشان داده شده است.

$$S = 0.129 - (0.046Bd) - (0.001Clay) + (0.00049Silt) + (0.00047CaCO_3) \quad r=0.928$$

$$R^2=0.862 \quad R^2_{Adj}=0.851 \quad MSE=0.00002$$



شکل ۲- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده شاخص S در خاکهای آهکی

خاکهای شور و آهکی

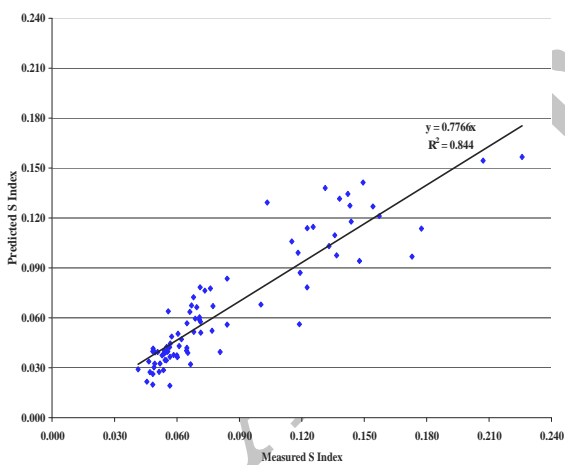
نتایج به دست آمده از ۸۴ نمونه خاک شور و آهکی نشان داد که میانگین مقدار S در این خاکها ۰/۶۵ و دامنه آن در محدوده ۰/۱۵۷-۰/۱۹ بود که بر اساس طبقه‌بندی

بر ویژگی‌های ساختمانی و هیدرولیکی خاک تاثیر می‌گذارد (۱۸)، بنابراین با توجه به مقدار کم SAR در این خاکها، اثرات منفی SAR را نمی‌توان بر ساختمان خاک و در نتیجه شاخص S مشاهده نمود.

مشابه بخشهای قبلی به روش رگرسیون گام به گام معادله رگرسیونی بین شاخص S و ویژگی‌های زود یافت تعیین شد. مقایسه آنها نشان داد که ضریب همبستگی بین مقادیر تخمینی رابطه رگرسیونی و مقادیر اندازه‌گیری شده بالا بود ($r=0.919$) که در شکل ۳ نشان داده شده است. به طور کلی نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد توابع انتقالی به عنوان یک روش مفید و کارآمد در تعیین شاخص کیفیت فیزیکی خاکهای آهکی، شور و شور-آهکی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در زیر رابطه رگرسیونی و آماره‌های آن بین شاخص S و بعضی از ویژگی‌های زود یافت ۸۴ نمونه خاک نشان داده شده است.

$$S = 0.060 + (0.006EC) + (0.001Silt) - (0.002Clay) + (0.003CaCO_3) \quad r=0.919$$

$$R^2=0.844 \quad R^2_{Adj}=0.867 \quad MSE=0.0003$$



شکل ۳- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده شاخص S در خاکهای شور - آهکی

شاخص S و فاکتورهائی چون EC و SAR در خاکهای شور و همچنین آهکی همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد که احتمالا در خاکهای شور به خاطر تعداد کم نمونه (درجه آزادی پایین) می‌باشد و لازم است تحقیقات بیشتری در خاکهای شور انجام شود. در خاکهای آهکی نیز احتمالا مقدار کم SAR عامل مهمی در عدم همبستگی بین شاخص S و SAR است زیرا SAR تمامی خاکهای آهکی کمتر از ۱۳ (مرز تخریب ویژگی‌های ساختمانی و هیدرولیکی) و تنها در ۱۰/۵٪ نمونه‌ها مقادیر SAR بین ۷ تا ۱۰/۲۲ بود (جدول ۱). در اینجا باید متذکر شد که دلیل ذکر شده در رابطه با EC در این مورد هم صادق است. یعنی به علت پراکنده بودن مقادیر SAR در دو دسته خاکهای شور و آهکی (در خاکهای شور SAR بین ۳/۸۶-۱۵/۷۴ و در خاکهای آهکی بین ۱۰/۲۲ - ۰/۱) وقتی داده‌ها هر کدام جداگانه بررسی می‌گردند پراکنش آنها نشان می‌دهد که همبستگی بین آنها وجود ندارد ولی وقتی داده‌ها کنار یکدیگر گذاشته می‌شوند در راستای هم قرار گرفته و بطور اتفاقی ضریب همبستگی افزایش می‌یابد که فقط در مورد این نمونه‌ها چنین اتفاقی می‌افتد و نمی‌توان در سایر موارد چنین نتیجه‌ای گرفت.

بطور کلی همبستگی مثبتی بین شاخص S و نسبت جذب سدیم وجود ندارد زیرا سدیم موجود در کمپلکس تبادل اثر منفی بر ساختمان و پایداری خاکدانه‌ها دارد (۱). همچنین سدیم باعث تورم و یا پراکنش ذرات رس و ورقه‌ای شدن خاکدانه‌های غیرپایدار می‌شود. تورم و پراکنش با افزایش ESP و کاهش غلظت کاتیونهای محلول، افزایش می‌یابد (۴)، چون میانگین مقدار SAR در خاکهای مورد مطالعه کم (۴/۷۴) بود و تنها در یک نمونه از این خاکها مقدار SAR بیشتر از ۱۳ بود (۱۵/۷۴) و ESP بیشتر از ۱۵

REFERENCES

1. Abu-Sharar, T.M., F.T. Bingham and D. Rhoades. 1987. Stability of soil aggregates as affected by electrolyte concentration and composition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:309-314.
2. Bybord, M. 2003. *Soil physics*, University of Tehran. press. 671 pages.
3. Bredja, J.J., T.B. Moorman, D.L. Karlen and T.H. Dao. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 64:2115-2124.
4. Cass, A. and M.E. Sumner. 1982. Soil pore structure stability and irrigation water quality. I. Empirical sodium stability model, II. Sodium stability data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:503-512.

5. 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.
6. Dexter, A.R. 2004b. Soil physical quality. Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma*. 120:227-239.
7. Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality p. 3–21. In J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (ed.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Spec. Publ. 35. SSSA, Madison, WI.
8. Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1996. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. p. 25–37. In J.W. Doran and A.J Jones (ed.) *Methods for assessing soil quality*. SSSA Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
9. Guerif, J., G. Richard, C. Durr, J.M. Machet, S. Recous and J. Rogrestrade. 2001. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. *Soil Tillage Res.* 61:13-32.
10. Kemper, W.D. and R.C. Rosenau, 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A. (ed), *Methods of soil analysis. Part1. Agronomy monographs, 9. America Society of Agronomy, Madison, WI.*
11. Klute A. (ed.). 1986. *Methods of soil analysis. Part1-Physical and mineralogical methods. Second edition. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA.*
12. Larson, W.E. and F.J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. P.175-203. In *Evaluation for sustainable and management in the developing world. Vol. 2. IBSRAM Proc. 12 (2). Bangkok, Thailand. Int. Board Soil Res. Manage., Bangkok, Thailand.*
13. Le Bissonnis, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science.* 47:425-435.
14. Lovey, G.J. and V.P. Miller. 1997. Aggregate stabilities of some south eastern U. S. soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1176-1182.
15. Mualem, Y. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 12:513–522.
16. Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. (eds.). 1982. *Methods of soil analysis. Part2-Chemical and Microbiological methods. Second edition. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA.*
17. Sadeghian, N., M. R. Neishaboori, N. Safaralizadeh, Sh. Ostan & M. Ghorchi. 2008. (In print). The effect of some soil properties on aggregate resistance index. *Agricultural Science Journal, Tabriz Univ. Iran.*
18. U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Saline and Alkali soils. USDA Agric. Handb. 60. U. S. Gov. Print. Office, Washington DC.*
19. USDA, Economic Research Service. 1997. *Agricultural resources and environmental indicators, 1996-1997. Agric. Handb. 712. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.*
20. 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.
21. Wander, M.M. and G. A. Bollero. 1999. Soil Quality Assessment of Tillage Impacts in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:961–971