



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره ششم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.14945.3009

## ارزیابی شاخص S با استفاده از سه مدل منحنی مشخصه رطوبتی خاک در پنج کاربری مختلف در جنوب کرمان

فهیمة امیری میجان<sup>۱</sup>، حسین شیرانی<sup>۲</sup>، عیسی اسفندیارپور<sup>۳</sup>، \*علی اصغر بسالت‌پور<sup>۴</sup> و حسین شکفته<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان (عج)، استاد گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان (عج)،

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان (عج)، <sup>۳</sup> مؤسسه مدیریت یکپارچه منابع آب، برلین، آلمان

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۷

### چکیده

**سابقه و هدف:** یکی از راه‌های بیان رفتارهای فیزیکی خاک، توصیف ساختمان خاک می‌باشد. از آن‌جا که اندازه‌گیری کیفیت فیزیکی خاک به‌طور مستقیم امکان‌پذیر نیست، به همین دلیل از خواص ویژه‌ای که به‌عنوان شاخص تعریف می‌شوند، برای بیان کیفیت فیزیکی خاک استفاده می‌کنند. از شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص S برای بیان کیفیت فیزیکی خاک که شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک در نقطه عطف می‌باشد استفاده می‌شود. به‌نظر می‌رسد که پژوهش‌های کمی در خصوص اثر کاربری بر شاخص S انجام شده است، بنابراین هدف از این پژوهش، مقایسه نتایج شاخص S با سه مدل مختلف منحنی مشخصه رطوبتی خاک (شامل مدل ون‌گونوختن، مدل بروکس-کوری و مدل گرونولت-گران) در پنج کاربری مختلف در شهرستان جیرفت بود.

**مواد و روش‌ها:** به همین منظور ۳۵۰ نمونه دست‌خورده و ۳۵۰ نمونه دست‌نخورده از کاربری‌های مختلف (کاربری مرکبات، کاربری نخیلات، زراعی، جنگل و ترکیبی) برداشت شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، شامل درصد شن، درصد سیلت، درصد رس، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، چگالی ظاهری، درصد تخلخل کل و درصد مواد آلی اندازه‌گیری شدند. همچنین با استفاده از دستگاه صفحات فشاری، مقدار رطوبت خاک در مکش‌های ۰، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال تعیین شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که در منطقه مورد بررسی، بهترین کیفیت فیزیکی خاک در کاربری نخیلات دیده شد. همه کاربری‌ها، به‌جز کاربری جنگل، دارای کیفیت فیزیکی مناسبی بودند. زیاد بودن مقدار شاخص S در کاربری‌های مرکبات، نخیلات و زراعی می‌تواند بیانگر مدیریت بهتر خاک در شروع کشت و کار باشد. در کاربری ترکیبی، به‌دلیل کشت توأمان یونجه و خرما، یونجه سبب برگشت مواد آلی بیشتر به خاک می‌شود و در نتیجه ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد که در زیاد بودن مقدار شاخص نمایان می‌شود. در کاربری‌هایی که ساختمان خاک وضعیت بهتری داشت و یا عملیات مدیریتی مناسب اعمال شده بود، شاخص S زیادتر بود.

\* مسئول مکاتبه: [a.besalatpour@vru.ac.ir](mailto:a.besalatpour@vru.ac.ir)

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی، با وجود اختلاف ناچیز کاربری‌های مرکبات، نخیلات و زراعی در مقدار شاخص S، کاربری نخیلات دارای میانگین شاخص S بالاتری بود. به‌طوری‌که مقدار آن در مدل ون‌گنوختن، بروکس-کوری و گرون‌ولت-گرانیت به‌ترتیب برابر با ۰/۰۶، ۰/۰۶ و ۰/۰۴ بود. نتایج این پژوهش نشان داد که دقت مدل ون‌گنوختن در برآورد و ارزیابی کیفیت خاک، به‌دلیل تمایز بیشتر بین خاک‌های با کیفیت فیزیکی نزدیک بهتر بود زیرا برازش منحنی مشخصه رطوبتی دارای  $R^2$  بالاتر بود ( $R^2=0/92$ ). هر چند به‌دلیل اختلاف کم با دو مدل دیگر، به‌ویژه مدل بروکس و کوری ( $R^2=0/87$ )، به‌نظر می‌رسد مدل مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف متفاوت می‌باشد. بنابراین ضروری است که این شاخص و سایر شاخص‌های ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک در اقلیم‌های مختلف بیش‌تر بررسی گردد.

**واژه‌های کلیدی:** بروکس-کوری، شاخص S، کیفیت فیزیکی خاک، گرون‌ولت-گرانیت، مدل ون‌گنوختن

### مقدمه

مفهوم کیفیت خاک از موضوعاتی می‌باشد که با کیفیت محصولات کشاورزی مرتبط است (۲۶). به‌دلیل اهمیت و نقش کیفیت خاک در توسعه کشاورزی پایدار تحت شرایط حفاظت شده محیطی و همچنین به‌دلیل برهمکنش خاک با محیط اطراف (خاک-گیاه-اتمسفر) و اقدامات انسان، موضوع کیفیت فیزیکی خاک از دیرباز مورد توجه پژوهشگران و کشاورزان بوده است (۲۶). اما تاکنون تعریف واحدی برای کیفیت فیزیکی خاک ارائه نشده است (۳۷). از آن‌جا که اندازه‌گیری کیفیت فیزیکی خاک به‌طور مستقیم امکان‌پذیر نیست، به همین دلیل از خواص ویژه‌ای که به‌عنوان شاخص تعریف می‌شوند، برای بیان کیفیت فیزیکی خاک استفاده می‌کنند (۴۱). حدود ۷۰٪ از شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی کیفیت خاک، شاخص‌های فیزیکی هستند که بیش‌ترین کاربرد را توزیع اندازه ذرات، پایداری خاکدانه‌ها و چگالی ظاهری دارند (۴۱). نکته قابل‌تامل در شاخص‌های بیان‌کننده کیفیت فیزیکی خاک این است که آن‌ها عموماً تابعی از فضای منفذی خاک می‌باشند. در دهه اخیر، دکستر (۱۲، ۱۳ و ۱۴) برای ارزیابی کیفیت فیزیکی و ساختمان خاک از

شیب در نقطه عطف منحنی رطوبتی، شاخص S، استفاده نموده است. بر اساس تئوری‌های جدید، شاخص S همان مقدار ریز ساختمان<sup>۱</sup> می‌باشد که بسیاری از خواص فیزیکی خاک را کنترل می‌کند (۲۷). مزیت اصلی شاخص S نسبت به سایر پارامترهایی که در بررسی کیفیت خاک استفاده می‌شوند این است که در خاک‌های مختلف، معنی مشابهی دارد. بنابراین برای ارزیابی عملیات مدیریتی در خاک به‌کار می‌رود. دکستر و سیز (۲۰۰۷) و اولگا و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند چون منحنی مشخصه رطوبتی خاک بیانی از ساختمان خاک است، بنابراین می‌توان شیب در نقطه عطف آن را برای بیان کیفیت فیزیکی، پیش‌بینی خواص فیزیکی خاک و جنبه‌های رفتاری خاک استفاده کرد (۱۶ و ۲۷). سانتوس و همکاران (۲۰۱۱) توضیح دادند که در منحنی نگهداشت آب در خاک، بیان مقدار آب بر اساس مقدار حسابی نسبت به بیان آن به‌صورت لگاریتمی نتایج متفاوتی را می‌دهد. در مطالعات دکستر (۲۰۰۴) و دکستر و برد (۲۰۰۱)، مقیاس لگاریتمی منحنی رطوبتی برای به‌دست آوردن شاخص S مورد استفاده قرار گرفت (۱۲ و ۱۵). به‌طورکلی مقدار شاخص S

1- Measure of soil microstructure

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مطالعاتی شامل بخش‌هایی از اراضی زراعی و باغی شهرستان جیرفت، واقع در جنوب شرقی ایران می‌باشد که در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ۵۵۰۱۴۴ تا ۳۲۳۹۶۹۷ شمالی و طول‌های جغرافیایی ۳۱۲۴۵۳ تا ۵۰۰۸۰۱ شرقی واقع شده است (شکل ۱). از نظر فیزیوگرافی، منطقه مزبور، دشت دامنه‌ای است. آب و هوای منطقه از نوع گرم و خشک است. میانگین بارندگی و دمای سالیانه منطقه مورد مطالعه در یک دوره آماری ۲۸ ساله، به ترتیب، ۱۵۹ میلی‌متر و ۳۲/۹ درجه سلسیوس می‌باشند. این منطقه یکی از مناطق مهم کشاورزی در ایران بوده و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر این اساس، منطقه مورد مطالعه شامل کاربری‌های مختلف از جمله کاربری مرکبات (پرتقال رقم والنسیا)، نخیلات، زراعی (سیب‌زمینی)، ترکیبی (خرما- یونجه) و جنگل انارشیطان (*Tecomella Undulata*) می‌باشد.

روش نمونه‌برداری: در ابتدا نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. پس از پیاده کردن محدوده مطالعاتی بر روی این نقشه و اسکن نمودن آن، با استفاده از نرم‌افزار ایلویس (نسخه ۳/۴)، منطقه مزبور زمین مرجع شد. سپس ۳۵۰ نقطه به صورت شبکه‌ای، به عنوان نقاط مطالعاتی انتخاب شدند. از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری هر نقطه مشاهداتی، ۳۵۰ نمونه دست‌خورده با استفاده از بیلچه و ۳۵۰ نمونه دست‌نخورده با استفاده از سیلندرهایی به ارتفاع ۵/۵ و قطر ۴/۵ سانتی‌متر برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. لازم به ذکر است در هر کاربری ۷۰ نمونه دست‌خورده و ۷۰ نمونه دست‌نخورده برداشت شد. فواصل نمونه‌برداری بر اساس تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و وسعت کاربری مورد نظر به صورت منظم تعیین شد (کاربری زراعی ۲۵۰ متر، کاربری جنگل، مرکبات و نخیلات ۱۰۰ متر، کاربری ترکیبی متغیر (۱۰۰۰ متر)).

همیشه منفی است، اما برای راحتی کار نتایج به صورت قدرمطلق آن مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۶). دکستر شاخص S را به عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک به صورت توصیفی به فرم زیر تقسیم‌بندی نمود (۱۴).

$S > 0/05$  کیفیت فیزیکی خیلی خوب،

$0/05 < S < 0/35$  کیفیت فیزیکی خوب

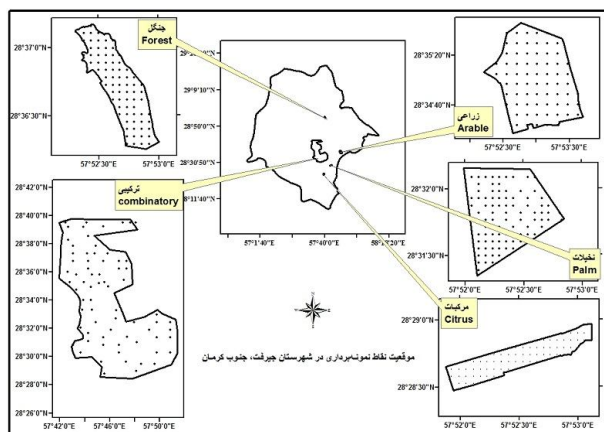
$0/35 < S < 0/7$  کیفیت فیزیکی ضعیف

$S < 0/7$  کیفیت فیزیکی خیلی ضعیف

برای مرز کیفیت فیزیکی خوب و بد، مقدار ۰/۳۵ معرفی شده است (۱۴). در مورد عوامل مؤثر بر شاخص S، دکستر (۲۰۰۴) نشان داد وقتی خاکی متراکم می‌شود ابتدا منافذ درشت (منافذ ساختمانی) از بین می‌روند این وضعیت سبب تغییر در توزیع اندازه منافذ می‌شود. از آنجا که تغییر در توزیع اندازه منافذ ویژگی‌های نگهداشت آب خاک را تغییر می‌دهد، این تغییرات در شیب منحنی نگهداشت قابل مشاهده است (۱۲). کالگو و روسولوم (۲۰۱۰ و ۲۰۱۱) نشان دادند که تناوب زراعی و شخم مناسب سبب بهبود کیفیت فیزیکی خاک شده و شاخص S را به بیش از ۰/۳۵ افزایش می‌دهد. چون مدل‌های مختلفی برای برازش منحنی رطوبتی ارائه شده است (ون‌گنوختن، کمپل، بروکس- کوری و گرون‌ولت- گرانث)، مقایسه بین مدل‌ها و به دست آوردن مدل بهتر در تخمین وضعیت کیفی خاک، لازم و ضروری می‌نماید. همچنین به نظر می‌رسد که پژوهش‌های چندانی در خصوص اثر کاربری بر شاخص S انجام نشده است. بنابراین در پژوهش حاضر، با هدف بررسی و ارزیابی شاخص S در ۵ کاربری مرکبات، نخیلات، زراعی، جنگل و ترکیبی (یونجه- خرما) با استفاده از سه مدل ون‌گنوختن، بروکس- کوری و گرون‌ولت- گرانث، از شیب در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی خاک در بیان وضعیت کیفیت فیزیکی خاک استفاده شد.

خشتی‌سازی با اسید کلریدریک (۳)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع توسط دستگاه EC متر (۲۹)، چگالی حقیقی به روش پیکنومتر (۱) و pH گل اشباع توسط دستگاه pH متر (۲۹) اندازه‌گیری شدند.

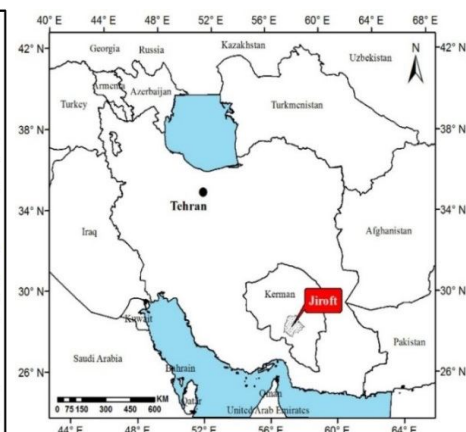
اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: نمونه‌های دست‌خورده بعد از هواخشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس بافت خاک به روش هیدرومتری (۴)، مواد آلی خاک به روش والکی و بلک (۳۹)، کربنات کلسیم معادل به روش



ب

ب. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شهرستان جیرفت

Figure 1. A. Location of the Jiroft city in south of Kerrman.



الف

شکل ۱- الف. موقعیت شهرستان جیرفت در جنوب کرمان، ایران.

B. Location of Sampling points in Jiroft city

که در تمامی مراحل پژوهش مقدار رطوبت در واحد حجمی مورد استفاده قرار گرفته است و بیان شده است.

مدل ون‌گنوختن: یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های برازش منحنی مشخصه رطوبتی خاک، معادله ون‌گنوختن است که تاکنون توسط بسیاری از پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته است. این معادله به شکل زیر است (۳۶):

$$\theta = (\theta_{sat} - \theta_{res}) [1 + (\alpha h^n)]^{-m} + \theta_{res} \quad (2)$$

که در آن،  $\theta$  مقدار آب در مکش  $h$  ( $\text{Kg.Kg}^{-1}$ )،  $\theta_{res}$  مقدار رطوبت باقی‌مانده ( $\text{Kg.Kg}^{-1}$ )،  $\theta_{sat}$  مقدار رطوبت در حالت اشباع ( $\text{Kg.Kg}^{-1}$ ) و  $\alpha$  فاکتور

چگالی ظاهری به روش سیلندر (۱) و منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری، بر روی نمونه‌های دست‌نخورده اندازه‌گیری شدند. تخلخل خاک (F) نیز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. BD چگالی ظاهری و PD چگالی حقیقی خاک می‌باشند.

$$F = 1 - \frac{BD}{PD} \quad (1)$$

محاسبه شاخص S: با استفاده از دستگاه صفحات فشاری، رطوبت خاک در مکش‌های ۰، ۳۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوپاسکال تعیین شد. در ادامه منحنی رطوبتی بر حسب لگاریتم مکش برای ۳۵۰ نمونه خاک ترسیم شد. لازم به ذکر است

$$S = \lambda \frac{\rho_w}{\rho_b} (\theta_{sat} - \theta_{res}) \quad (5)$$

مدل گرونولت - گرانٹ: معادله برازش منحنی مشخصه رطوبتی که به وسیله گرونولت - گرانٹ (۲۰۰۴) ارائه شد، به صورت زیر است:

$$\theta = \theta_{sat} - (\theta_{sat} - \theta_{res}) \exp \left[ - \left( \frac{k}{h} \right)^r \right] \quad (6)$$

به طوری که،  $k$  و  $r$  پارامترهای برازش بوده و  $k$  دارای بعد مشابه با  $h$  می باشد. همچنین  $e$  عدد نپرین می باشد. پارامترهای مدل گرونولت - گرانٹ با برازش منحنی مشخصه نگهداشت رطوبتی در محیط MATLAB به دست آمدند.  $\rho_w$  و  $\rho_b$  به ترتیب چگالی آب و چگالی ظاهری خاک می باشند. بقیه پارامترها تعاریف مشابه با رابطه های ۲ و ۵ دارند. مقدار شیب در نقطه عطف منحنی به صورت زیر به دست آمد (۳۷):

$$S = \frac{r}{e} \frac{\rho_w}{\rho_b} (\theta_{sat} - \theta_{res}) \quad (7)$$

در ادامه مقادیر شاخص  $S$  بر اساس سه مدل مورد نظر برای کاربری های مرکبات، نخیلات، زراعی (سیب زمینی)، جنگل و ترکیبی (یونجه - خرما) بر اساس طبقه بندی دکستر (۱۲ و ۱۴) به ۴ کلاس کیفیت خیلی خوب، خوب، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم بندی شدند.

### نتایج و بحث

**توصیف آماری:** آمار توصیفی ویژگی های خاک شامل حداکثر، حداقل، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییر پذیری برای ۵ کاربری مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۰) محاسبه و در جدول های ۱ تا ۵ آورده شدند. خاک ها نیز بر اساس شاخص  $S$  حاصل از سه مدل منحنی مشخصه نگهداشت آب، با استفاده از حدود دکستر (۱۲ و ۱۴)، تقسیم بندی شدند و کیفیت خاک در کاربری های مختلف به دست آمد (جدول ۶).

مقیاس<sup>۱</sup> می باشد که عکس مکش در نقطه ورود هوا است.  $m$  و  $n$  فاکتورهای شکل منحنی مشخصه رطوبتی خاک هستند که شیب این منحنی را کنترل می کنند. با برازش نقاط مختلف در منحنی مشخصه رطوبتی خاک توسط نرم افزار RETC بر اساس مدل ونگنوختن و با محدودیت معلم  $(m = 1 - \frac{1}{n})$ ، پارامترهای مدل به دست آمدند (۲۸). آن گاه با محاسبه شیب منحنی در نقطه عطف، معادله شاخص  $S$  به دست آمد (رابطه ۳). شیب در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی که شاخص  $S$  نامیده می شود، منفی است، اما برای سهولت کار به صورت مثبت بیان می شود (۱۲). لازم به ذکر است تعاریف پارامترهای رابطه ۳ مشابه تعاریف پارامترها در رابطه ۲ می باشد.

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \left( 1 + \frac{1}{m} \right)^{-(1+m)} \quad (3)$$

مدل بروکس - کوری این مدل در سال ۱۹۶۴ توسط بروکس - کوری ارائه شد (۳):

$$\theta = \theta_{res} + \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{(\alpha h)^\lambda} \quad \alpha h > 1 \quad (4)$$

که در آن،  $\alpha$  عکس مکش در نقطه ورود هوا و  $h$  مکش ماتریک تعریف می شوند،  $\lambda$  ضریب توزیع اندازه منافذ می باشد که روی شیب تابع نگهداشت رطوبت اثر دارد. هرچه توزیع اندازه منافذ خاک دامنه وسیع تری داشته باشد،  $\lambda$  کوچک تر می شود. بقیه پارامترها تعاریف مشابه با رابطه ۲ دارند. همچنین پارامترهای مدل بروکس - کوری با استفاده از برازش مدل در نرم افزار RETC به دست آمدند. در ادامه با محاسبه شیب منحنی در نقطه عطف، شاخص  $S$  تعیین شد (۳۷):

1- Adjustable scaling factor

جدول ۱- توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و شاخص S در کاربری مرکبات.

**Table 1. Statistical description of physical, chemical properties of soil and S index in citrus.**

CV	SD	میانگین Mean	حداقل Min	حداکثر Max	واحد Unit	ویژگی Feature
0.24	12.56	51.32	28.5	88.5	%	درصد شن Sand
0.33	5.72	16.65	7.5	44.5	%	درصد رس Clay
0.09	0.136	1.56	1.33	1.78	Mgm <sup>-3</sup>	چگالی ظاهری Bulk Density
0.12	0.05	0.41	0.33	0.5	%	تخلخل کل Porosity
0.42	0.306	0.72	0.19	1.9	%	مواد آلی Organic Matter
0.55	1.53	2.79	1.01	13.73	dSm <sup>-1</sup>	قابلیت هدایت الکتریکی اشباع Electrical Conductivity
0.37	0.021	0.056	0.006	0.1	--	شاخص S مدل ون‌گنوختن S-index VanGenuchte
0.24	0.0116	0.048	0.03	0.1	--	شاخص S مدل بروکس-کوری S-index Brooks-Corey
0.215	0.01	0.046	0.037	0.099	--	شاخص S مدل گرونولت-گران S-index Groenevelt-Grant

CV ضریب تغییرات (Coefficient Variance)، SD انحراف معیار (Standard Deviation)

جدول ۲- توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و شاخص S در کاربری نخیلات.

**Table 2. Statistical description of physical, chemical properties of soil and S index in Palm.**

CV	SD	میانگین Mean	حداقل Min	حداکثر Max	واحد Unit	ویژگی Feature
0.24	15.16	63.15	15	89	%	درصد شن Sand
0.34	4.86	14.28	6	31.5	%	درصد رس Clay
0.077	0.12	1.54	1.34	1.73	Mgm <sup>-3</sup>	چگالی ظاهری Bulk Density
0.107	0.045	0.42	0.35	0.49	%	تخلخل کل Porosity
0.5	0.22	0.44	0.039	1.33	%	مواد آلی Organic Matter
0.74	3.63	4.92	1.12	18.99	dSm <sup>-1</sup>	قابلیت هدایت الکتریکی اشباع Electrical Conductivity
0.31	0.019	0.06	0.003	0.1	--	شاخص S مدل ون‌گنوختن S-index VanGenuchte
0.19	0.012	0.063	0.041	0.1	--	شاخص S مدل بروکس-کوری S-index Brooks-Corey
0.32	0.012	0.04	0.022	0.09	--	شاخص S مدل گرونولت-گران S-index Groenevelt-Grant

CV ضریب تغییرات (Coefficient Variance)، SD انحراف معیار (Standard Deviation)

جدول ۳- توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و شاخص S در کاربری زراعی.

**Table 3. Statistical description of physical, chemical properties of soil and S index in Arable.**

CV	SD	میانگین Mean	حداقل Min	حداکثر Max	واحد Unit	ویژگی Feature
0.306	17.6	57.6	17	87	%	درصد شن Sand
0.34	5.74	16.7	8.5	35	%	درصد رس Clay
0.052	0.082	1.56	1.34	1.69	Mgm <sup>-3</sup>	چگالی ظاهری Bulk Density
0.075	0.031	0.4	0.36	0.49	%	تخلخل کل Porosity
0.35	1.56	4.4	2.12	8.7	%	مواد آلی Organic Matter
0.55	0.213	0.39	0.065	1.43	dSm <sup>-1</sup>	قابلیت هدایت الکتریکی اشباع Electrical Conductivity
0.41	0.022	0.05	0.0064	0.1	--	شاخص S مدل ون گنوختن S-index VanGenuchte
0.15	0.0086	0.055	0.05	0.099	--	شاخص S مدل بروکس-کوری S-index Brooks-Corey
0.39	0.0142	0.036	0.018	0.1	--	شاخص S مدل گرونولت-گران S-index Groenevelt-Grant

CV ضریب تغییرات (Coefficient Variance)، SD انحراف معیار (Standard Deviation)

جدول ۴- توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و شاخص S در کاربری جنگل.

**Table 4. Statistical description of physical, chemical properties of soil and S index in forest.**

CV	SD	میانگین Mean	حداقل Min	حداکثر Max	واحد Unit	ویژگی Feature
0.13	10.2	80.19	26.5	91	%	درصد شن Sand
0.28	3.1	10.9	4	24.5	%	درصد رس Clay
0.05	0.072	1.43	1.33	1.66	Mgm <sup>-3</sup>	چگالی ظاهری Bulk Density
0.059	0.027	0.46	0.37	0.5	%	تخلخل کل Porosity
0.52	0.156	0.3	0.026	0.78	%	مواد آلی Organic Matter
0.28	1.72	6.19	3.12	10.2	dSm <sup>-1</sup>	قابلیت هدایت الکتریکی اشباع Electrical Conductivity
0.288	0.019	0.022	0.0014	0.04	--	شاخص S مدل ون گنوختن S-index VanGenuchte
0.47	0.0065	0.018	0.008	0.048	--	شاخص S مدل بروکس-کوری S-index Brooks-Corey
0.4	0.008	0.0279	0.0059	0.05	--	شاخص S مدل گرونولت-گران S-index Groenevelt-Grant

CV ضریب تغییرات (Coefficient Variance)، SD انحراف معیار (Standard Deviation)

جدول ۵- توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و شاخص S در کاربری ترکیبی.

Table 5. Statistical description of physical, chemical properties of soil and S index in Combinatory.

CV	SD	میانگین Mean	حداقل Min	حداکثر Max	واحد Unit	ویژگی Feature
0.25	12.2	47.9	25.5	84.3	%	درصد شن Sand
0.33	5.056	15.2	6.5	31	%	درصد رس Clay
0.059	0.092	1.54	1.37	1.75	Mgm <sup>-3</sup>	چگالی ظاهری Bulk Density
0.083	0.035	0.42	0.34	0.48	%	تخلخل کل Porosity
0.31	0.25	0.8	0.5	1.9	%	مواد آلی Organic Matter
0.55	2.99	5.43	1.75	19	dSm <sup>-1</sup>	قابلیت هدایت الکتریکی اشباع Electrical Conductivity
0.24	0.013	0.05	0.006	0.09	--	شاخص S مدل ون گنوختن S-index VanGenuchte
0.15	0.008	0.05	0.042	0.09	--	شاخص S مدل بروکس-کوری S-index Brooks-Corey
0.33	0.01	0.03	0.02	0.1	--	شاخص S مدل گرونولت-گران S-index Groenevelt-Grant

CV ضریب تغییرات (Coefficient Variance)، SD انحراف معیار (Standard Deviation)

اثر کاربری بر کیفیت فیزیکی خاک: بر اساس نتایج کاربری نخیلات و کم‌ترین آن مربوط به کاربری حاصله مناسب‌ترین کیفیت فیزیکی خاک مربوط به جنگل می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۶- تقسیم‌بندی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف بر اساس حدود دکستر (۲۰۰۴، آ، ب).

Table 6. Classification of Soil Quality in different land uses based on Dexter (2004a,c).

خیلی ضعیف (%) Very poor	ضعیف (%) Poor	خوب (%) Good	خیلی خوب (%) Very good	شاخص S S-index	کاربری Land use
4.86	8	21.43	65.71	مدل ون گنوختن Van Genuchten	
0	1.43	60	38.57	مدل بروکس-کوری Brooks and Corey	مرکبات Citrus
0	0	81.43	18.57	مدل گرونولت-گران Grant and Groenevelt	
4.29	8.57	21.43	65.71	مدل ون گنوختن Van Genuchten	
0	0	14.29	85.71	مدل بروکس-کوری Brooks and Corey	نخیلات Palm
0	37.14	50	12.86	مدل گرونولت-گران Grant and Groenevelt	



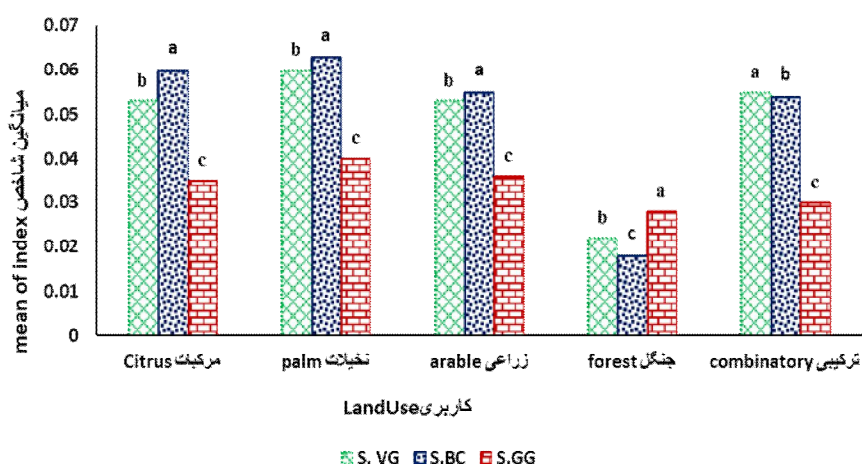
ادامه جدول ۶-

Continue Table 6.

خیلی ضعیف (%) Very poor	ضعیف (%) Poor	خوب (%) Good	خیلی خوب (%) Very good	شاخص S S-index	کاربری Land use
8.57	10	31.43	50	مدل ون گنوختن Van Genuchten	
0	0	0	100	مدل بروکس- کوری Brooks and Corey	زراعی Arable
1.43	57.14	30	11.43	مدل گرونولت- گرانٹ Grant and Groenevelt	
31	65.67	3.33	0	مدل ون گنوختن Van Genuchten	
72	22.67	5.33	0	مدل بروکس- کوری Brooks and Corey	جنگل Forest
32	38.67	29.33	0	مدل گرونولت- گرانٹ Grant and Groenevelt	
2.82	5.64	22.54	69	مدل ون گنوختن Van Genuchten	
0	0	35.21	64.79	مدل بروکس- کوری Brooks and Corey	ترکیبی Combinatory
0	85.92	12.68	1.4	مدل گرونولت- گرانٹ Grant and Groenevelt	

شاخص S اثر مثبت یا منفی بگذارد. در نتیجه عملیات مدیریتی می‌تواند مستقیماً روی تولید محصول، توابع اکوسیستم و سلامت انسان به اندازه اثر غیرمستقیم بر شاخص S مؤثر باشد (۶). از آن‌جا که با تغییر کاربری، منحنی نگهداشت آب در خاک تغییر می‌کند، بنابراین شاخص S نیز تغییر خواهد کرد. تفاوت در کیفیت خاک‌ها بر اساس تفاوت در نوع کاربری به‌وسیله بسیاری از پژوهشگران به اثبات رسیده است. از جمله بر اساس نتایج لارسون و پیرس (۱۹۹۱)، شاخص‌های کیفیت خاک، ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری از خاک هستند که تابع محیط زیست بوده و به تغییر کاربری، مدیریت و عملیات حفاظتی حساس می‌باشد (۲۲).

هر چند اختلاف سایر کاربری‌ها (مرکبات، زراعی و ترکیبی) با کاربری نخیلات کم می‌باشد (شکل ۲). به‌طوری‌که اکثر کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از شاخص S مستلزم مطالعه و پژوهش بیش‌تر می‌باشد. خواننده باید به این موضوع آگاهی داشته باشد که فاکتورهای کیفیت خاک که در مقالات متعدد شناسایی شده‌اند، منحصر به فرد نیستند. و این احتمال وجود دارد که اگر مجموعه ویژگی‌های متفاوتی از خاک در نظر گرفته شود، نتایج متفاوتی به‌دست می‌آید. از آن‌جا که ویژگی‌های کیفی خاک از جمله شاخص S تحت‌تأثیر یک عامل منفرد نیستند، بنابراین این احتمال وجود دارد که شاخص S تحت‌تأثیر کاربری باشد. شایان ذکر است که عملیات مدیریتی در کشاورزی، محیط‌زیست یا جنگل می‌تواند بر



شکل ۲- مقایسه شاخص S بر اساس سه مدل ون گنوختن، بروکس- کوری و گرونولت- گرانت در ۵ کاربری مختلف (S.VG: شاخص S مدل ون گنوختن، S.BC: شاخص S مدل بروکس- کوری، S.GG: شاخص S مدل گرونولت- گرانت).

Figure 2. Comparison of S-index according to three models in five different land uses (S.VG: S-index Van Genuchten, S.BC: Brooks and Corey, S.GG: Grant and Groenevelt).

است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل بافت شنی، نبود مقدار کافی رس، عدم وجود مواد آلی کافی و عدم وجود ساختمان در خاک جنگل، نگهداشت آب ضعیف بوده و خاک کیفیت فیزیکی پایینی دارد. این نتایج توسط برخی از پژوهشگران تأیید شده است. از جمله، بر اساس نتایج اولیویا و همکاران (۲۰۱۴)، تفاوت در اندازه منافذ و اندازه ذرات مستقیماً روی فرایندهای فیزیکی خاک اثر می‌گذارد که تأثیر آن را در منحنی نگهداشت آب در خاک می‌توان مشاهده کرد. هرچه توزیع اندازه منافذ ریز و درشت متعادل‌تر باشد، نگهداشت آب مطلوب‌تر خواهد بود (۱۰). یکی دیگر از عوامل مؤثر بر کیفیت خاک ماده آلی می‌باشد. زیرا خاکدانه‌سازی بیشتر، توسط ماده آلی ایجاد می‌شود و بنابراین رطوبت قابل استفاده گیاه بیشتر می‌شود. دلیل دیگر کم بودن شاخص S در کاربری جنگل، کم بودن مقدار ماده آلی می‌باشد و در نتیجه نامناسب بودن کیفیت فیزیکی خاک دور از انتظار نیست. دلیل کم بودن مقدار ماده آلی در این گونه جنگل‌ها این است که موازنه تجزیه و

در پژوهش حاضر، در کاربری جنگل، نامناسب‌ترین کیفیت فیزیکی خاک (شکل ۲) همراه با حداقل ماده آلی (جدول ۴) مشاهده شد. دلایل متعددی برای پایین بودن کیفیت فیزیکی خاک در این کاربری می‌توان بیان کرد. جنگل‌های انار شیطان گونه خاصی از گیاهان هستند که در مسیر سیلاب‌ها و رودخانه‌های فصلی و در خاک‌های بدون ساختمان رشد کرده‌اند. حدود یک تا دو متر فوقانی این‌گونه خاک‌ها شامل رسوبات آبرفتی می‌باشد که از مسیر بالادست به منطقه آورده شده و رسوب کرده‌اند و شرایط را برای رشد این گونه جنگلی فراهم کرده‌اند. بافت خاک در کاربری جنگل انار شیطان شنی بود. خاک زیرین از همان جنس خاک رویی، ولی با توزیع اندازه ذرات ریزتر بود. این جنگل‌ها از لحاظ مواد آلی بسیار فقیر هستند. زیرا برگشت مواد آلی به خاک بسیار ناچیز است. از طرفی جنگل تنک بوده و دارای تراکم بسیار کمی می‌باشد. رشد این گونه گیاهی در برخی نقاط، با شرایط ویژه خاک و آب و هوایی می‌باشد که حتی تکثیر آن‌ها را با مشکل مواجه کرده

می‌شود. معمولاً بقایای گیاهی با یک شخم حداقل به خاک برگشت داده می‌شود که می‌تواند از دلایل زیاد بودن مقدار شاخص S در این مناطق باشد در پژوهش حاضر، در کاربری ترکیبی، به دلیل کشت توأمان یونجه و خرما، یونجه سبب برگشت مواد آلی بیش‌تر به خاک می‌شود و در نتیجه ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد. در این مناطق یکی از دلایل کشت یونجه در باغات نخل، افزایش کیفیت فیزیکی خاک و در نتیجه افزایش مقدار محصول می‌باشد. زیرا ممکن است به دلیل نامناسب بودن کیفیت فیزیکی خاک، عملکرد محصول خرما کم باشد. بنابراین بر اساس دانش بومی، کشاورزان مبادرت به کشت همزمان یونجه در این‌گونه باغات می‌کنند تا کیفیت زمین را افزایش دهند. اقدامات تجربی بومیان در این‌گونه اراضی دلیلی بر پایین بودن کیفیت این‌گونه خاک‌ها در گذشته می‌باشد که با کشت یونجه در کیفیت فیزیکی خاک‌ها بهبود حاصل شده است. زیاد بودن مقدار ماده آلی، کم بودن چگالی ظاهری و وضعیت ساختمانی مطلوب در کاربری‌های مورد مطالعه سبب بهبود کیفیت فیزیکی خاک شد. این نتایج با نتایج تعدادی از پژوهشگران مطابقت دارد. از جمله مطالعات ویلکنز و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که کاربرد کمپوست همراه با شخم حداقل برای کیفیت خاک لایه سطحی در کوتاه‌مدت مناسب می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت اصلاح‌کننده‌های آلی و غیرآلی به‌طور معنی‌داری مقدار شاخص S را که به‌عنوان شاخص S کیفیت فیزیکی خاک تعریف شده است، افزایش می‌دهند. مواد آلی خود به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت فیزیکی مطرح است، به دلیل نگهداشت آب و بهبود وضعیت ساختمانی خاک، نقش مهمی در پایداری خاکدانه‌ها، کاهش فضای منفذی و افزایش نسبت ماکروپورها و در نتیجه کیفیت فیزیکی خاک بازی می‌کنند (۷ و ۸). همچنین نشان داده شد که کربن آلی

افزودن مواد آلی در این‌گونه درختی بسیار نامتعادل بوده و مقدار ماده آلی که اضافه می‌شود (هر چند کم) به دلیل گرمای هوا به سرعت تجزیه می‌شود. به همین دلیل احتمال وجود کیفیت فیزیکی خوب و خیلی خوب در این‌گونه جنگل‌ها کم می‌باشد. هر چند در یک پژوهش، ساین و همکاران (۲۰۱۴) شاخص‌های کیفیت خاک را با روش مؤلفه اصلی به‌دست آورده و نشان دادند که در اراضی جنگل طبیعی و علفزارها شاخص‌های مورد استفاده بیش از سایر اراضی کشاورزی می‌باشد. دلیل مناسب بودن کیفیت فیزیکی خاک در این‌گونه جنگل‌ها زیاد بودن مقدار ماده آلی بیان شده بود، در حالی‌که در پژوهش حاضر، عدم وجود ساختمان و پوشش گیاهی ضعیف در سطح خاک با چشم نیز قابل تشخیص بود. همچنین مونکادا و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که خاک با مواد آلی کم دارای کیفیت فیزیکی نامناسبی می‌باشد. در مطالعه پیش‌رو مقدار مواد آلی در سایر کاربری‌ها (به‌جز کاربری جنگل) بیش‌تر بود و در نتیجه منجر به بهبود کیفیت فیزیکی خاک شد. زیاد بودن مقدار شاخص S در کاربری‌های مرکبات، نخیلات و زراعی می‌تواند بیانگر مدیریت بهتر خاک در شروع کشت و کار باشد (جدول ۶). زیرا منطقه مورد مطالعه جز مجموع باغات با مدیریت مناسب و یک‌دست می‌باشد که خود سبب ایجاد کشاورزی پایدار می‌شود.

احتمالاً تفاوت در کیفیت فیزیکی خاک در برخی کاربری‌های مورد مطالعه، به دلیل تفاوت در نوع خاک، نوع مدیریت و اقدامات انجام شده در هر کاربری می‌باشد. زیرا عملیات مدیریتی در کشاورزی، محیط زیست یا جنگل می‌تواند بر شاخص S اثر مثبت یا منفی بگذارد. در اراضی مورد مطالعه، جهت بهبود وضعیت ساختمان و حاصلخیزی خاک، همه‌ساله کود دامی به استفاده می‌شود. از طرفی این خاک‌ها معمولاً دارای فصل آیش بوده و تناوب کشت در آن‌ها رعایت

اثر چگالی ظاهری و تخلخل کل بر کیفیت خاک در برخی پژوهش‌ها به اثبات رسیده است. به طوری که زورنوزا و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که بافت، چگالی ظاهری و آب قابل دسترس در ایجاد خاکدانه‌های پایدار اثر دارد، بنابراین روی کیفیت خاک مؤثر می‌باشند. بین افزایش چگالی ظاهری خاک و کاهش شاخص S ارتباط مستقیمی وجود دارد (۵، ۱۶، ۳۵ و ۳۷). از آنجا که بین این دو پارامتر همبستگی منفی وجود دارد، نشان‌دهنده این است که این شاخص می‌تواند معیار مناسبی برای بیان کیفیت فیزیکی خاک نیز باشد که با نتایج تورنا و همکاران (۲۰۰۸) نیز مطابقت دارد. از طرفی، چگالی ظاهری خود متأثر از عوامل دیگری از جمله توزیع اندازه ذرات و منافذ می‌باشد. به طوری که کوپر و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که کم‌تر بودن مقدار رطوبت قابل استفاده، به دلیل غالب بودن شن در خاک مورد بررسی و در نتیجه افزایش چگالی ظاهری و کاهش تخلخل کل می‌باشد. امامی و آستارایی (۲۰۱۲) گزارش دادند که با به کار بردن ترکیبات کمپوستی، چگالی ظاهری خاک کاهش می‌یابد که این کاهش در چگالی ظاهری با افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و آب قابل دسترس و شاخص S در خاکدانه‌ها همراه است. همچنین در پژوهش دیگری نشان داده شد که زیاد بودن مواد آلی، فعالیت میکروبی زیاد و کم‌تر بودن چگالی ظاهری در افق سطحی بیانگر تخلخل زیاد در پروفیل خاک می‌باشد و سبب بهبود ساختمان خاک شده و بر کیفیت فیزیکی خاک اثر مستقیمی دارد (۲۶).

یکی دیگر از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک که بر کیفیت فیزیکی اثر می‌گذارد، قابلیت هدایت الکتریکی اشباع می‌باشد. لازم به ذکر است که دامنه شوری در خاک‌های مورد بررسی دارای پراکندگی زیادی می‌باشد که می‌تواند در تمام کاربری‌ها و در تمام مدل‌ها اثرگذار باشد. در پژوهش حاضر،

کل شاخصی است که به‌عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک برای تمایز اراضی در کاربری‌های مختلف مورد استفاده می‌باشد و در ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک بسیار مورد استفاده قرار دارد (۲).

امامی و همکاران (۲۰۱۲) نیز دریافتند که بین مواد آلی و شاخص S همبستگی معنی‌داری وجود دارد. اصلاح‌کننده‌ها سبب حداقل افزایش شاخص S به مقدار ۰/۳۵ می‌شوند. از طرفی مدیریت خاک نیز سبب تجمع کربن آلی خاک می‌شود که برای بهبود وضعیت ساختمان خاک اهمیت دارد. این نتایج با نتایج بسیاری از پژوهشگران همخوانی دارد. لال (۲۰۰۴) بیان کرد که استفاده نامناسب از اراضی سبب تجزیه خاک و در نتیجه کاهش سطح کربن آلی خاک می‌شود. از طرفی تبدیل اراضی زراعی اتیوپی به علفزار یا کشت درختان به صورت زراعت- جنگل، پتانسیل زیادی برای تجزیه کربن فراهم می‌کند (۱۹). از طرفی تبدیل اراضی از جنگل‌های بکر به زمین‌های زراعی، خاک را مستعد از دست رفتن کربن می‌کند (۹). نونس و همکاران (۲۰۱۲) و ژائو و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی توده زیستی به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت خاک بیان کردند که این شاخص به تغییر کاربری حساس می‌باشد. همچنین می‌جانگوس و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده کردند که تحت شرایط آب و هوایی معتدل، جایگزینی چمن با کاج، فعالیت آنزیم‌ها و چرخه غذایی، که از شاخص‌های کیفیت خاک می‌باشند را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مقایسه با جنگل، توده زیستی برای سایر اراضی کم بود، اما تنوع ذاتی در خاک درختان کنار جاده‌ها زیاد بود. بنابراین نتیجه گرفتند که شاخص کیفیت خاک به کاربری اراضی حساسیت دارد (۴۰).

بر اساس نتایج، زیادترین چگالی ظاهری در کاربری مرکبات (جدول ۱) و نامناسب‌ترین آن در کاربری نخیلات (جدول ۲) مشاهده شد. همچنین.

ون گنوختن بیش از دو مدل دیگر بود. این تمایز با  $R^2$  بالاتر در برآزش داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی در RETC حاصل شد. به نظر می‌رسد که به دلیل تمایز بیش‌تر بین خاک‌های با خواص تقریباً مشابه، مدل ون گنوختن نسبت به دو مدل دیگر در ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک مناسب‌تر باشد. این نتایج می‌تواند نشان‌دهنده دقت کم‌تر مدل گرون‌ولت-گران‌ت در ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه باشد. زیرا بین خاک‌های با خواص فیزیکی مختلف، دامنه مواد آلی، شوری و چگالی متفاوت، تمایز کم‌تری قائل شده است. همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده است، تمایز بین خاک‌های مختلف در مدل ون گنوختن در تمام کاربری‌ها بیش‌تر می‌باشد، در حالی که کم‌ترین تمایز بین خاک‌های مختلف در مدل بروکس و کوری مشاهده شد. در اکثر پژوهش‌های انجام شده در خصوص ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از شاخص S مدل ون گنوختن به دلایل متعددی از جمله پرکاربرد بودن و مهم‌تر بودن، بیش‌تر مورد استفاده قرار گرفته است (۱۲، ۱۳ و ۱۴). که نتایج این پژوهش نیز اهمیت بیش‌تر مدل ون گنوختن را در ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک نشان داد.

### نتیجه‌گیری

یکی از راه‌های بیان رفتارهای فیزیکی خاک، توصیف توزیع اندازه منافذ و ساختمان خاک می‌باشد. از آن‌جا که شیب منحنی رطوبتی می‌تواند یک شاخص مناسب برای اندازه‌گیری ساختمان خاک باشد، به نظر می‌رسد که شاخص S می‌تواند ویژگی مناسبی برای بیان ریاضی کیفیت فیزیکی خاک باشد. اغلب ویژگی‌ها و رفتارهای خاک از جمله نفوذپذیری، تهویه، چگالی ظاهری و توزیع اندازه ذرات، توسط ساختمان خاک کنترل می‌شوند. این

بیش‌ترین درصد شوری در کاربری نخیلات و ترکیبی و کم‌ترین آن در کاربری زراعی دیده شد (جدول‌های ۱ تا ۵). اثر قابلیت هدایت الکتریکی اشباع روی شاخص S احتمالاً به دلیل نقش آن در فلاکوله کردن ذرات و تشکیل ساختمان خاک می‌باشد (۳۱). هر چند که افزایش متوالی شوری خاک می‌تواند سبب تخریب ساختمان خاک گردد (۱۱). در برخی موارد آب قابل دسترس گیاه به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک معرفی شده است. همچنین تجادا و گونزالز (۲۰۰۶) و تجادا و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که افزایش هدایت الکتریکی خاک‌های شور منجر به کاهش پایداری ساختمان خاک و چگالی ظاهری می‌گردد. آن‌ها بیان کردند که کاهش پایداری خاکدانه‌ها به دلیل افزایش یون‌های سدیم قابل تبادل و در نتیجه افزایش pH خاک بود که سبب انبساط و پراکنش ذرات رس گردیده است. این وضعیت منجر به تخریب خاکدانه‌ها می‌گردد.

**مقایسه سه مدل مورد مطالعه در ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک:** نتایج نشان داد که بر اساس مدل ون گنوختن، در کاربری ترکیبی، بیش از ۹۰٪ و در کاربری مرکبات و نخیلات بیش از ۷۸٪ خاک‌ها دارای کیفیت فیزیکی خیلی خوب و خوب بودند (جدول ۶). در حالی که در کاربری جنگل بیش از ۹۷٪ خاک‌ها دارای کیفیت فیزیکی ضعیف و خیلی ضعیف بودند. بر اساس مدل بروکس-کوری مناسب‌ترین کیفیت فیزیکی در کاربری زراعی، نخیلات و ترکیبی مشاهده شد (جدول ۶). هر چند در نتایج پژوهش پیش‌رو، شباهت در دو مدل ون گنوختن و بروکس-کوری در بیان وضعیت فیزیکی خاک‌ها در همه کاربری‌ها تا حدودی بالا بود، اما مدل ون گنوختن از لحاظ کیفیت فیزیکی تمایز بیش‌تری را بین خاک‌های مورد مطالعه نشان داد. به عبارتی بین خاک‌ها مشابه، تمایز در کلاس کیفیت فیزیکی در مدل

بود، که نشان‌دهنده کیفیت فیزیکی نامناسب خاک می‌باشد. هر چند در این پژوهش دقت مدل ون‌گنوختن در برآورد و ارزیابی کیفیت خاک بهتر بود، اما به دلیل اختلاف کم با دو مدل دیگر، به ویژه مدل بروکس و کوری، به نظر می‌رسد انتخاب مدل ارزیابی کیفیت خاک به نوع مدیریت در هر کاربری و شرایط منطقه بستگی دارد. بنابراین ضروری است که این شاخص و سایر شاخص‌های ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک در اقلیم‌های مختلف بیشتر بررسی شود.

ویژگی‌های متأثر از ساختمان، بر کیفیت فیزیکی خاک اثرگذار هستند. از طرفی وابستگی معنی‌دار شاخص S به ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله چگالی ظاهری، توزیع اندازه ذرات، مواد آلی و غیره نشان‌دهنده وابستگی این شاخص به ساختمان خاک می‌باشد. در کاربری‌هایی که ساختمان خاک وضعیت بهتری داشت و یا عملیات مدیریتی سبب بهبود ساختمان شده بود، شاخص S زیادتر بود. در کاربری جنگل که به دلیل پایین بودن مقدار ماده آلی و بالا بودن پتانسیل تجزیه این مواد، ساختمان خاک ضعیف بود، شاخص S کم

### منابع

- Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Particle Density, in: Klute, A. (eds), Methods of Soil Analysis, Part 1 (Physical and Mineralogical Methods), Second Edition, Madison, Wisconsin USA, Pp: 377-381.
- Brejda, J.J., Moorman, T.B., Karlan, D.L., and Dao, T.H. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains, Soil Sci. Soc. Amer. J. 64: 2115-2124.
- Brooks, R.H., and Corey, A.T. 1964. Hydraulic Properties of Porous Media. Hydrology Paper Colorado State University, Fort Collins. Transactions of the American Society for Agricultural Engineers. 10: 3. 400-404.
- Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Agron. J. 43: 434-438.
- Cavalieri, K.M.V., Silva, A.P., Tormena, C.A., LeO, T.P., Dexter, A.R., and Kansson, I. 2009. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Parang, Brazil. Soil Tillage Res. 103: 158-164.
- Calonego, J.C., and Rosolem, C.A. 2010. Soybean Root Growth and Yield In Rotation With Cover Crops Under Chiseling And No-Till, Europe. J. Agron. 33: 242-249.
- Calonego, J.C., and Rosolem, C.A. 2011. Soil water retention and S index after crop rotation and chiseling, R. Bras. Ci. Solo. 35: 1927-1937.
- Camara-Ferreira, A.C., Carvalho-Leite, L.F., Ferreira de Araujo, A., and Eisenhauer, N. 2014. Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a semi-arid region of Northeast Brazil, Land Degrad. Dev. online first, doi:10.1002/ldr.2282.
- Cooper, M., Dalla Rosa, J., Medeiros, J.C., Oliveira, T.C., Toma, R.S., and C.E.P. 2012. Hydrophysical characterization of soils under tropical semi-deciduous forest. Science Agriculture. 69: 152-159.
- Cucci, G., Lacolla, G., Pagliai, M., and Vignozzi, N. 2015. Effect of reclamation on the structure of silty-clay soils irrigated with saline-sodic waters. Inter. Agrophysic. J. 29: 23-30.
- Dexter, A.R. 2004a. Soil Physical Quality: Part A. 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 B. Friability, tillage, tith and hard-setting. Geoderma. 120: 215-225.
- Dexter, A.R. 2004c. Soil physical quality: Part C. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. Geoderma. 120: 227-239.

14. Dexter, A.R., and Bird, N.R.A. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil Tillage Research*. 57: 203-212.
15. Dexter, R., and Czyż, E.A. 2007. Application of S Theory in the study of soil physical degradation and its consequences. *Land Degradation and Development*. 18: 369-381.
16. Emami, H., and Astaraei, A.R. 2012. Effect of organic and inorganic amendments on parameters of water retention curve, bulk density and aggregate diameter of a saline-sodic soil. *JAST*. 14: 7. 1625-1636.
17. Emami, H., Neyshabouri, M.R., and Shorafa, M. 2012. Relationships between some soil quality indicators in different agricultural soils from Varamin, Iran. *JAST*. 14: 4. 951-959.
18. Gelaw, A.M., Singh, B.R., and Lal, R. 2014. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia, *Agriculture Ecosystem Environmental*. 188: 256-263.
19. Groenevelt, P.H., and Grant, C.D. 2004. a new model for the soil-water retention curve that solves the problem of residual water contents. *Europe. J. Soil Sci*. 55: 479-485.
20. Lal, R. 2004. Carbon Sequestration to mitigate global change. *Geoderma*. 123: 1-22.
21. Larson, W.E., and Pierce, F.J. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In: Proc. Vol. 2 of Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Conference, International Board for Soil Research and Management (IBSRAM), Jatujak Thailand, Bangkok, Thailand.
22. Mijangos, I., Epelde, L., Garbisu, C., and González-Oreja, J.A. 2014. Modification of soil enzyme activities as a consequence of replacing meadows by pine plantations under temperate climate. *Pedobiologia*. 57: 61-66.
23. Moncada, M.P., Gabriels, D., and Cornelis, W.M. 2014. Data-driven analysis of soil quality indicators using limited data. *Geoderma*. 235-236: 271-278.
24. Nunes, J.S., Araújo, A.S.F., Nunes, L.A., Lima, L.M., Carneiro, R.F.V., Tsai, S.M., and Salviano, A.A.C. 2012. Land degradation on soil microbial biomass and activity in Northeast Brazil, *Pedosphere*. 22: 88-95.
25. Oliveira, T.C., da Silva, L.F.S., and Cooper, M. 2014. Evaluation of Physical Quality Indices of a Soil under a Seasonal Semideciduous Forest. *R. Bras. Ci. Solo*. 38: 444-453.
26. Olga, V., Irina, C., Ioana, P., and Simota, C. 2011. Soil physical quality as quantified by S index and hydrophysical indices of some soil from arges, hydrographic basin. *Res. J. Agric. Sci*. 43. 3: 249-256.
27. RETC (Retention Curve). 2008. RETC model. USADARS U.S. Salinity Laboratory Riverside, A, USA. <https://www.pc-progress.com>.
28. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Soil Science*. 78: 2. 154.
29. Santos. G.G., Da Silva, E.M., Leandro, R., Da Silveira, M.P.M., Bruand, A., James, F., and Becquer, T. 2011. Analysis of physical quality of soil using the water retention curve: Validity of the S-index. *Comptes Rendus Geoscience, Elsevier*. 343: 4. 295-301.
30. Shirani, H., Habibi, M., Besalatpour, A.A., and Esfandiarpour, I. 2015. Determining the features influencing physical quality of calcareous soils in a semiarid region of Iran using a hybrid PSO-DT algorithm. *Geoderma*. 259-260: 1-11.
31. Singh, A.K., Bordoloi, L.J., Kumar, M., Hazarika, S., and Parmar, B. 2014. Land use impact on soil quality in eastern Himalayan region of India, *Environmental Monitoring Assessment*. 186: 2013-2024.
32. Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J.L., and Hernandez, M.T. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Bio. Biochem*. 38: 1413-1421.

33. Tejada, M.A., and Gonzalez, J.L. 2006. Crushed cotton gin compost on soil biological properties and rice yield. Europe. J. Agron. 25: 22-29.
34. Tormena, C.A., Silva, A.P., Imhoff, S.D.C., and Dexter, A.R. 2008. Quantification of the soil physical quality of a tropical Oxisol using the S index. Science Agriculture. 65: 56-60.
35. Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44: 892-898.
36. Van Lier, D.J. 2014, Revisiting the S-Index for Soil Physical Quality and Its Use in Brazil. R. Bras. Ci. Solo. 38: 1-10.
37. Willekens, K., Vandecasteele, B., and De Vlieghe, A. 2014. Soil quality and crop productivity as affected by different soil management systems in organic agriculture. Building Organic Bridges', at the Organic World Congress 2014, 13-15 Oct., Istanbul, Turkey.
38. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. Soc. Amer. J. 37: 29-38.
39. Zhao, D., Li, F., Yang, Q., Wang, R., Song, Y., Tao, Y. 2013. The influence of different types of urban land use on soil microbial biomass and functional diversity in Beijing, China, Soil Use Manage. 29: 230-239.
40. Zornoza, R., Acosta, J.A., Bastida, F., Dominguez, S.G., Toledo, D.M., and Faz, A. 2015. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health, Soil. 1: 173-185.





## Assessment of the S-index using three models of the soil water retention curve in five different Land uses in south of Kerman

F. Amiri Mijan<sup>1</sup>, H. Shirani<sup>2</sup>, I. Esfandiarpour<sup>3</sup>, \*A.A. Besalatpour<sup>4</sup> and H. Shekofteh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

<sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

<sup>4</sup>Inter 3 GmbH - Institute for Resources Management, Otto-Suhr-Allee 59, 10585 Berlin, Germany

Received: 04.21.2018; Accepted: 09.08.2018

### Abstract

**Background and Objectives:** One of the ways to express physical behavior of soil is to describe of the soil structure. Since soil physical quality could not be measured directly, therefore, the special properties defined as indicators, are used to express the soil physical quality. Of different indicators, including S-index is used to express the physical quality of the soil which is the slope of the soil water retention curve at inflection point. It seems that little research has been done on the effect of landuse on the S-index, therefore, the purpose of this study was to compare the results of S-index in three different soil water characteristic curve models (Van Genuchten, Brooks-Corey and Grant-Groenevelt models) in 5 different land uses in Jiroft city.

**Materials and Methods:** For this reason, 350 disturbed and 350 undisturbed soil samples from different landuse (citrus, palm, arable, forest and combinatory) were collected. Some of the physical and chemical features of the soil, including sand, silt and clay percentage, the electronic conductivity at saturation, Bulk Density, the percentage of the total porosity and the percentage of the Organic Matter were measured. Also, the amount of the soil moisture in suctions 0, 10, 30, 50, 100, 300, 500, 1000 and 1500 KPa was determined using pressure plates device.

**Results:** The results showed that in the study region the best physical quality of the soil was seen in palm land use. All landuses, except forest, had proper physical quality. High value of S index in citrus, palm and arable land uses can indicate better soil management at the start of farming. In combinatory land use, due to Simultaneous cropping of alfalfa and palm, alfalfa causes more organic matter to be returned to the soil and as a result, the soil structure improves, which is displayed at high value of S index. In general, The S index was higher in landuses where the soil had better structure or management operations were improved.

**Conclusion:** In general, despite the slight differences in citrus, palm and cultivate landuses, palm landuse had a higher mean of S index. So that their values in Van Genuchten, Brooks-Corey and Grant-Groenevelt models were 0.06, 0.06 and 0.04 respectively. The results of this study showed that the Van Genuchten model accuracy was better in estimating and evaluating the soil quality due to the greater distinction between the soils with close physical quality. Because the fitting of Soil water characteristic curve had a higher  $R^2$  ( $R^2=0.92$ ). However, due to low differences with two other models, in particular the Brooks and Corey model ( $R^2=0.87$ ), It seems that, a suitable model for assessing soil quality in different landuses varies. Therefore, it is imperative that this index and other indicators of soil physical quality assessment in different climates are more explored.

**Keywords:** Brooks-Corey model, Grant-Groenevelt model, Land use, S-index, Soil physical quality, Van Genuchten model

\* Corresponding Author; Email: a.besalatpour@vru.ac.ir

*Arci*