

تعیین توزیع بهینه اندازه منافذ خاک با استفاده از شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک و بررسی عوامل موثر بر شاخص S_{gi} در جنوب شهر مشهد

حسین شهاب آرخازلو^{*۱} - حجت امامی^۲ - غلامحسین حق نیا^۳ - علیرضا کریمی^۴

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱

چکیده

بررسی کیفیت خاک به منظور حداکثر بهره‌برداری کشاورزی با حداقل تخریب زیست محیطی ضروری می‌باشد. یکی از جنبه‌های اساسی در کیفیت خاک مطالعه شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک است که به پایداری ساختمان خاک و برقراری نسبت مناسب از آب و هوا در ناحیه رشد ریشه مربوط می‌شود. بنابراین تعیین توزیع بهینه اندازه منافذ خاک دارای اهمیت می‌باشد و این مطالعه با هدف تعیین توزیع بهینه اندازه منافذ بر اساس شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک و نیز تعیین عوامل موثر بر شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (شاخص S_{gi}) و تاثیر نوع کاربری زمین بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک انجام شد. خاک‌های مورد مطالعه دارای رده‌بندی Haplocalcid بودند، کلاس بافت آنها از شنی تا لوم رسی و درصد کربن آلی ۰/۲ تا ۲/۲ درصد متغییر بود. در این مطالعه با برازش معادله وان‌گن‌اخن به داده‌های آزمایشی منحنی رطوبتی خاک، شاخص S_{gi} و توزیع اندازه منافذ در چهل نمونه خاک شامل دو نوع کاربری مرتع و کشاورزی در جنوب دشت مشهد تعیین شد. همچنین بعضی دیگر از شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک مثل درصد کربن آلی (%OC)، جرم مخصوص ظاهری، نسبت جذب سدیم (SAR)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، ظرفیت زراعی نسبی (RFC)، ظرفیت آب در دسترس گیاه (PAWC)، تخلخل تهویه‌ای (AC) و شاخص پایداری ساختمانی (SI) اندازه‌گیری شدند. در ادامه با استفاده از هشت شاخص کیفیت فیزیکی خاک توزیع بهینه اندازه منافذ خاک تعیین گردید. همچنین همبستگی بین شاخص S_{gi} با ویژگی‌های خاک بررسی شد که در نتیجه آن همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص S_{gi} و درصد کربن آلی، MWD، RFC، PAWC و همبستگی منفی و معنی‌دار با SAR در دو نوع کاربری کشاورزی و مرتع ملاحظه شد. علاوه بر این مقایسه میانگین شاخص‌ها بین دو نوع کاربری زمین نشان داد که از هشت شاخص مورد بررسی، شاخص‌های S_{gi} ، MWD و PAWC با تغییر کاربری زمین از مرتع به کشاورزی به طور معنی‌داری کاهش یافته‌اند.

واژه‌های کلیدی: توزیع اندازه منافذ، شاخص S_{gi} ، کیفیت فیزیکی خاک

مقدمه

آن وجود داشته باشد (۱۸). همچنین خاک با کیفیت خوب توانایی انتقال و ذخیره آب را دارد به طوری که نسبت مناسبی از آب، اصلاح غذایی محلول و هوای خاک را به منظور ایجاد شرایط مناسب برای تولید حداکثر محصول و حداقل تخریب زیست محیطی فراهم می‌نماید (۲۳).

امروزه کیفیت فیزیکی خاک با تعیین پارامترهای فیزیکی که درجه کیفیت خاک را تعیین می‌کنند بیان می‌شود. در زمین‌های کشاورزی وقتی پارامترهای تعیین کننده کیفیت خاک در محدوده بهینه قرار داشته باشند، عملکرد محصول به بیشترین مقدار می‌رسد و تخریب خاک و محیط زیست کاهش می‌یابد (۱۹).

برخی از مهمترین پارامترهای کیفیت فیزیکی خاک در خاک‌های کشاورزی عبارتند از ظرفیت زراعی نسبی (RFC)، ظرفیت آب در دسترس گیاه (PAWC)، تخلخل تهویه‌ای (AC)، جرم مخصوص

پژوهشگران مختلف اهمیت کیفیت فیزیکی خاک را در رشد گیاه و وضعیت شیمیایی و زیستی خاک بیان کرده‌اند (۲، ۸ و ۲۲). کیفیت فیزیکی خاک‌های کشاورزی عمدتاً به پایداری ساختمان خاک و توانایی آن در انتقال و ذخیره آب در ناحیه توسعه ریشه بستگی دارد (۱۸ و ۲۳). یک خاک با کیفیت فیزیکی مطلوب خاکی است که ساختمان آن پایدار و در برابر فرسایش و فشردگی مقاوم باشد، با این حال امکان رشد و توسعه ریشه و تکثیر گیاهان و ریزجانداران خاک در

۳۰۲، ۱-۴ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، استاد و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

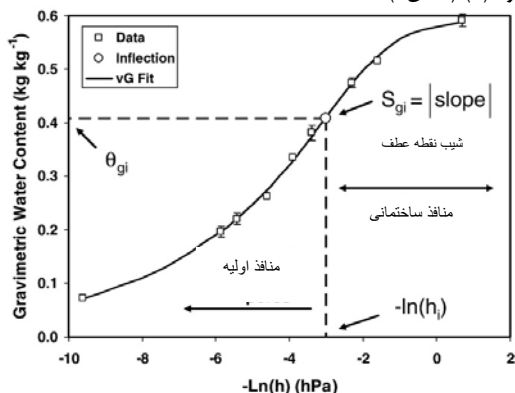
*- نویسنده مسئول: (Email: hose_shohab@yahoo.com)

مواد و روش ها

معرفی شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک

شاخصهای کیفیت فیزیکی خاک مورد بررسی در این پژوهش و نیز حدود بهینه و بحرانی آنها پیش از این به وسیله پژوهشگران مختلف تعیین شده و در جدول ۱ به طور مختصر ارائه شده است. درصد کربن آلی خاک (OC) هم که اساسا یک شاخص کیفیت شیمیایی و بیولوژیکی خاک است، می تواند تاثیر غیر مستقیم مهمی بر کیفیت فیزیکی خاک بگذارد بنابراین یکی از شاخصهای کیفیت فیزیکی در نظر گرفته شده (۱۰ و ۲۱). محدوده بهینه توصیه شده برای OC % سه تا پنج درصد می باشد (۵ و ۱۹).

شاخص S_{gi} عبارت است از مقدار شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف وقتی که منحنی رطوبتی بر اساس مقدار رطوبت وزنی خاک $\theta_g (kgkg^{-1})$ ، در برابر لگاریتم طبیعی مکش خاک $\ln(h)$ رسم می شود (۷) (شکل ۱).



شکل ۱- اجزای منحنی رطوبتی و شیب نقطه عطف منحنی (۱۹)

به طور کلی در خاکهای معمول محدوده بهینه این شاخص $S_{gi} \geq 0.035$ است، که این مقدار در خاکهای شنی می تواند بالاتر باشد (۷). هر چند می توان شاخص S را به طور مستقیم از روی منحنی رطوبتی به دست آورد، اما روش مطمئن تر برازش یک تابع مناسب به داده‌های آزمایشگاهی منحنی رطوبتی و سپس محاسبه S_{gi} از روی تابع برازش یافته است (۷). برای این منظور معمولا تابع وان-گنختن به علت استفاده گسترده آن و در دسترس بودن آسان برنامه نرم‌افزاری RETC (۲۵)، برای برازش منحنی به داده‌های آزمایشگاهی منحنی رطوبتی مورد استفاده قرار می گیرد (۱۹) (شکل ۱). تابع وان گنختن برای منحنی رطوبتی $\theta(h)$ عبارت است از (۲۴):

$$\theta_g = (\theta_{gs} - \theta_{gr})[1 + (ah)^n]^{-m} + \theta_{gr}; h \geq 0 (cm) \quad (1)$$

در این رابطه $\theta_g (kgkg^{-1})$ رطوبت وزنی خاک، $\theta_{gs} (kgkg^{-1})$

ظاهری (BD)، درصد کربن آلی (OC) و شاخص پایداری ساختمان خاک (SI) (۱۷). همچنین میانگین وزنی قطر خاکدانه های پایدار در آب (MWD) نیز به عنوان پارامتر تاثیر گذار بر کیفیت خاک ذکر شده است (۶). این پارامترها به طور مستقیم یا غیرمستقیم در تامین و نگهداری آب، هوا و عناصر غذایی مورد نیاز محصولات کشاورزی نقش دارند (۱۹). اخیرا دکستر (۷) شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف یا پارامتر S_{gi} را به عنوان شاخصی از کیفیت فیزیکی خاک مطرح نموده است که با بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند هدایت هیدرولیکی، تراکم خاک، مقدار بهینه آب خاک برای انجام شخم، مقاومت خاک در برابر نفوذ ریشه، مقدار آب در دسترس گیاه و پایداری ساختمان خاک رابطه دارد.

به طور کلی پارامترهای بالا به طور مستقیم یا غیر مستقیم بیانی از منافذ خاک می باشند، بنابراین تابعی از حجم منافذ خاک هستند. در این میان تخلخل تهویه‌ای (AC)، ظرفیت آب در دسترس گیاه (PAWC)، ظرفیت زراعی نسبی (RFC) و شاخص S_{gi} به طور مستقیم با تخلخل خاک و منحنی رطوبتی خاک ارتباط دارند (۷ و ۱۸)، در حالی که شاخص پایداری ساختمان خاک (SI) به طور غیر مستقیم و از طریق میزان کربن آلی و بافت خاک به حجم منافذ خاک مربوط می شوند (۱۶). جرم مخصوص ظاهری نیز به طور واضح تابعی از میزان تخلخل و میزان کربن آلی خاک بوده و بر تخلخل، توزیع اندازه منافذ و منحنی رطوبتی خاک تاثیر می گذارد (۱۹). بنابراین توزیع اندازه منافذ خاک رابطه معنی داری با کیفیت فیزیکی خاک دارد. پس می توان با استفاده از حدود بهینه شاخصهای کیفیت خاک، حدود بهینه توزیع اندازه منافذ را به دست آورد. تشخیص حدود بهینه توزیع اندازه منافذ باعث افزایش آگاهی ما از ارتباط بین کیفیت فیزیکی خاک با تنش‌های زیست محیطی، تولید محصول و حرکت آب و املاح در خاک می شود (۱۹).

تبدیل عرصه‌های طبیعی به زمین‌های کشاورزی، بر ویژگی‌های فیزیکی کیفیت خاک تاثیر می گذارد. والاس و تری (۲۶) بیان کردند که کشت زیاد و متراکم محصولات کشاورزی می تواند باعث کاهش کیفیت فیزیکی خاک‌های کشاورزی شود. این امر موجب کاهش کارایی و سودبخشی تولید محصول گشته، تاثیرات منفی بر محیط زیست داشته، و موجب ایجاد فرسایش آبی و بادی و آبشویی و ورود آفت‌کشها و عناصر غذایی به منابع آب سطحی و زیرزمینی می شود.

با توجه به اهمیت کیفیت خاک در حفظ منابع خاک و توسعه پایدار هدف از این مطالعه (۱) استفاده از هشت شاخص کیفیت فیزیکی خاک برای تعیین حدود بهینه منحنی توزیع اندازه منافذ به عنوان عاملی مهم در بررسی کیفیت فیزیکی خاک، (۲) مقایسه این هشت شاخص در دو نوع کاربری زمین و (۳) بررسی همبستگی شاخص S_{gi} با برخی از ویژگیهای موثر بر کیفیت فیزیکی خاک بود.

برای تعیین ویژگی‌های رطوبتی خاک استفاده شد. در هر نمونه خاک مقدار کربن آلی با روش هضم تر (walkley and black)، بافت خاک به روش هیدرومتر و با قرائت چهار زمانه، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر و MWD به روش الک تر اندازه‌گیری شد. همچنین نسبت جذب سدیم (SAR) با اندازه‌گیری غلظت سدیم به وسیله دستگاه فلم فتومتر و اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون با EDTA، و با استفاده از رابطه $SAR = Na/(Ca + Mg)^{1/2}$ به دست آمد (۱۵).

برای تهیه منحنی رطوبتی، مقادیر رطوبت با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در مکش‌های ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر تعیین شد. مقدار رطوبت خاک در این هشت نقطه مکش خاک همراه با رطوبت اشباع خاک به عنوان مکش صفر، مجموعاً نه نقطه رطوبتی از نمونه‌های خاک به دست آمد. در ادامه با استفاده از روابط جدول ۱ شاخص‌های تخلخل تهویه ای (AC)، ظرفیت آب در دسترس گیاه (PAWC)، ظرفیت زراعی نسبی (RFC) و شاخص پایداری خاک (SI) برای هر نمونه تعیین شدند. شاخص S_{gi} نمونه‌ها با روشی که در بالا توضیح داده شد تعیین شد.

تعیین تابع توزیع اندازه منافذ

شیب منحنی رطوبتی در هر مکش با اندازه منافذ در آن نقطه رطوبتی ارتباط مستقیم دارد (۷ و ۱۲). تابع توزیع اندازه منافذ، $S_V(h)$ را می‌توان به صورت شیب منحنی رطوبتی تعریف نمود، بنابراین هنگامی که منحنی رطوبتی بر اساس رطوبت حجمی، $\theta_V (m^3 m^{-3})$ ، و $\ln(h)$ رسم شود، قطر معادل در هر مکش، $d_e (\mu m)$ ، با استفاده از معادله صعود موئینگی تعیین می‌گردد (۲۷).

روش ساده‌تر برای به دست آوردن $S_V(h)$ ، استفاده از منحنی رطوبتی بر اساس رطوبت حجمی در معادلات ۱ تا ۳ و جانشینی اندیس V به جای g است (۱۹).

تابع نرمال شده توزیع اندازه منافذ، $S^*(h)$ ، از تقسیم $S_V(h)$ به S_{vi} به دست می‌آید:

$$S^*(h) = \frac{S_V(h)}{S_{vi}} = \frac{m(ah)^n [1 + m^{-1}]^{(m+1)}}{[1 + (ah)^n]^{(m+1)}}; 0 \leq S^*(h) \leq 1 \quad (۴)$$

با فرض ثابت بودن جرم مخصوص ظاهری در مکش‌های مختلف، و در نتیجه $\theta_i = (BD)\theta_g$ و $S_V(h) = (BD)S_g(h)$ خواهیم داشت:

رطوبت وزنی حد اشباع خاک، $\theta_{gr} (kg kg^{-1})$ رطوبت وزنی باقی‌مانده و $\alpha (hPa^{-1})$ عکس مکش در نقطه ورود هوا، h مکش رطوبتی خاک، $n(-)$ و $m(-)$ پارامترهای تجربی معادله تابع وان‌گن‌اخن هستند، که $m = 1 - (1/n)$ است. معادله فوق با استفاده از حداقل مربعات غیر خطی به داده‌های آزمایشگاهی منحنی رطوبتی برازش می‌شود (توسط نرم افزار RETC) (۱۸). شیب منحنی تابع $\theta(h)$ در برابر $\ln(h)$ ، $S_g(h)$ ، توسط معادله زیر به دست می‌آید:

$$S_g(h) = \frac{d(\theta_g)}{d(\ln h_i)} = -mn(\theta_{gs} - \theta_{gr})\alpha^n h^n [1 + (ah)^n]^{-(m+1)} \quad (۲)$$

و شیب منحنی در نقطه ی عطف، $S_{gi}(h)$ با معادله زیر:

$$S_{gi} = \frac{d(\theta_{gi})}{d(\ln h_i)} = \left| -n(\theta_{gs} - \theta_{gr}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(m+1)} \right| \quad (۳)$$

در این معادله θ_{gi} و h_i به ترتیب رطوبت حجمی و مکش در نقطه ی عطف منحنی رطوبتی هستند.

با برازش معادله ۱ به داده‌های آزمایشگاهی منحنی رطوبتی، مقادیر $m, n, \alpha, \theta_{gs}$ و θ_{gr} تعیین می‌شود و سپس تابع $S_g(h)$ و مقدار S_{gi} ، از معادله های ۲ و ۳ به دست می‌آید (۷).

خاک‌های مورد مطالعه

در این پژوهش تعداد ۴۰ نمونه دست نخورده و دست خورده خاک سطحی (عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) از منطقه‌ای به وسعت ۱۲۰۰ هکتار در ۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان مشهد تهیه شد که در حد فاصل طول جغرافیایی $52/17'$ ، $31'$ ، $59'$ و $59'$ شرقی و عرض جغرافیایی $52/23''$ ، $00'$ ، $36'$ و $27/21''$ ، $57'$ ، $36'$ شمالی قرار دارد. منطقه دارای اقلیم خشک تا نیمه خشک با میانگین دمای سالانه‌ی ۱۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی-متر و رده بندی خاک Haplocalcid است. کلاس بافت نمونه‌ها از شنی تا لوم رسی و درصد کربن آلی ۰/۲ تا ۲/۲ درصد متغییر بود. تعداد ۲۲ نمونه مربوط به زمین‌های کشاورزی زیر کشت دیم غلات و ۱۸ نمونه از مراتع با پوشش گیاهی ضعیف بودند. نمونه‌های تهیه شده دارای ویژگی‌های فیزیکی و بافت خاک متفاوت بودند و به صورت یک مجموعه متنوع از نظر کیفیت خاک در نظر گرفته شد.

آنالیزهای آزمایشگاهی

بخش دست خورده نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متر (۱۰ mesh) عبور داده شد تا برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها استفاده شود. نمونه‌های دست نخورده نیز

جدول ۱- تعاریف و حدود بهینه شاخصهای کیفیت فیزیکی خاک

منبع مورد استفاده	حدود بهینه	محدوده تغییرات	تعریف	شاخص مورد نظر
وایت (۲۸)	$AC \geq 0.14m^3m^{-3}$	$0 \leq AC \leq \theta_s$	$AC = \theta_s(\psi = 0) - \theta_{FC}(\psi = -1m)$	تخلخل تهویه‌ای (AC)
وایت (۲۸)	$PAWC \geq 0.15m^3m^{-3}$	$0 \leq PAWC \leq \theta_{FC}$	$PAWC = \theta_{FC}(\psi = -1m) - \theta_{PWP}(\psi = -150m)$	ظرفیت آب در دسترس گیاه (PAWC)
هاوو و همکاران (۱۱)	$0.9 - 1.3Mgm^{-3}$	-	$BD = M_s / V_b$	جرم مخصوص ظاهری (BD)
رینولدز و همکاران (۱۷)	$0.6 \leq RFC \leq 0.7$	$0 \leq RFC \leq 1$	$RFC = \left(\frac{\theta_{FC}}{\theta_s} \right) = \left[1 - \left(\frac{AC}{\theta_s} \right) \right]$	ظرفیت زراعی نسبی (RFC)
پیری (۱۶)	$SI > 7\%$	$0 \leq SI \leq \infty$	$SI = \frac{1.724OC}{(Silt + Clay)} \times 100$	شاخص پایداری ساختمانی (SI)
کمپر و روزنا (۱۳)	$MWD > 1.2mm$	-	$MWD = \sum_{i=1}^n x_i w_i$	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWD)

$\theta_s (m^3 m^{-3})$ رطوبت اشباع خاک، $\theta_{FC} (m^3 m^{-3})$ رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه، $\psi(m)$ مکش آب، $\theta_{PWP} (m^3 m^{-3})$ رطوبت نقطه پژمردگی دائم خاک، $M_s (Mg)$ جرم خاک خشک شده در آون، $V_b (m^{-3})$ حجم خاک دست نخورده و OC درصد کربن آلی خاک است، w_i نسبت هر کلاس اندازه خاکدانه، x_i قطر میانگین هر کلاس (mm) و n تعداد کلاس‌های اندازه خاکدانه‌ها در آزمایش الک تر

رطوبت معادل نقطه‌ی عطف منحنی رطوبتی (θ_i) تعیین می‌شود (شکل ۲). برای بیان تقارن و پراکندگی توزیع اندازه منافذ از میانگین هندسی ($d_e (d_{mean})$) و پارامترهای شکل منحنی شامل انحراف معیار (SD)، کشیدگی (skewness) و پخی (kurtosis) منحنی استفاده می‌شود که به وسیله روابط ۹ تا ۱۱ به دست می‌آیند (۴):

$$SD = \exp\left(\frac{\ln d_{0.84} - \ln d_{0.16}}{4} + \frac{\ln d_{0.95} - \ln d_{0.05}}{6.6}\right) \quad (9)$$

$$1 \leq SD < \infty$$

$$Skewness = \frac{1}{2} \left[\frac{\ln d_{0.16} + \ln d_{0.84} - 2(\ln d_{0.5})}{(\ln d_{0.84} - \ln d_{0.16})} + \frac{\ln d_{0.05} + \ln d_{0.95} - 2(\ln d_{0.5})}{(\ln d_{0.95} + \ln d_{0.05})} \right] \quad (10)$$

$$-1 \leq Skewness \leq +1$$

$$Kurtosis = \frac{\ln d_{0.05} - \ln d_{0.95}}{2.44(\ln d_{0.25} - \ln d_{0.75})} \quad (11)$$

$$0.41 \leq Kurtosis < \infty$$

در این معادلات $d_{0.84}$ و $d_{0.16}$ به وسیله معادله ۶ و با جانشینی مقادیر 0.16 و 0.84 به جای 0.5 به دست می‌آید. در $SD=1$ همه منافذ به یک اندازه‌اند و با افزایش SD تنوع در اندازه منافذ بیشتر می‌شود. در کشیدگی برابر صفر و همچنین پخی برابر یک منحنی دارای توزیع لوگ نرمال است، مقادیر منفی کشیدگی بیانگر وجود منافذ ریز بیشتر و مقادیر مثبت آن بیانگر وجود بیشتر منافذ درشت است. در پخی بزرگ‌تر از یک منحنی نسبت به توزیع لوگ نرمال در مرکز دارای اوج بیشتر بوده و دارای دنباله به سمت بینهایت است (leptokurtic)، و در مقادیر کمتر از ۱، منحنی به صورت خوابیده یا پخ (platykurtic) است.

$$S^*(h) = \frac{S_v(h)}{S_{vi}} = \frac{S_g(h)}{S_{gi}} \quad (5)$$

$S^*(h)$ مستقل از جرم مخصوص ظاهری و تخلخل می‌باشد. پس می‌توان از آن به عنوان مفهومی برای مقایسه توزیع اندازه منافذ در مواد متخلخل استفاده کرد (۱۸). همچنین معادله ۵ رابطه بین $S^*(h)$ ، S_{vi} و S_{gi} را نشان می‌دهد (۷).

توزیع اندازه منافذ خاک‌های گوناگون را می‌توان با استفاده از پارامترهای موقعیت^۱ و شکل منحنی تعیین و با یکدیگر مقایسه کرد. پارامترهای موقعیت منحنی شامل مد، میانه و میانگین d_e می‌باشد (شاخص‌های گرایش به مرکز)، که از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$d_{median} = d_{0.5} = \frac{2980\alpha}{(0.5^{-1/m} - 1)^{1/n}}; \theta = 0.5 \quad (6)$$

و

$$d_{mode} = \frac{2980\alpha}{(\theta_i^{-1/m} - 1)^{1/n}} = \frac{2980\alpha}{m^{-1/n}} \quad (7)$$

$$d_{mean} = \exp\left(\frac{\ln d_{0.16} + \ln d_{0.05} + \ln d_{0.84}}{3}\right) \quad (8)$$

همان طور که مشاهده می‌شود میانه d_e (d_{median}) قطر منافذ در $\theta = 0.5$ است و d_{mode} ، که نقطه اوج منحنی توزیع اندازه منافذ است، به عنوان مقدار d_e با بیشترین فراوانی تعریف و در

این ترتیب که از کل نمونه‌های خاک صرف نظر از نوع کاربری، خاک‌هایی که بیشترین تعداد شاخص‌های فیزیکی در محدوده بهینه قرار داشتند به عنوان گروه ۱ انتخاب شدند و نمونه‌هایی که دارای شاخص‌های کمتری در محدوده بهینه بودند به ترتیب در گروه‌های بعدی قرار گرفتند (۱۹). در جدول شماره ۲، مقادیر اندازه‌گیری شده حداقل، حداکثر و میانگین شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک برای هر گروه به همراه دامنه بهینه آنها که توسط رینولدز و همکاران (۱۹) ارائه شده است، مشاهده می‌شود. نمونه‌های گروه ۱ که شامل ۶ نمونه خاک بود (۲ نمونه خاک کشاورزی و ۴ نمونه خاک مرتع)، در تمام شاخص‌های مورد بررسی به جز OC و یکی از شاخص‌های MWD و جرم مخصوص ظاهری، در محدوده بهینه قرار داشتند. با توجه به اقلیم خشک منطقه و میزان متوسط ۱ درصد مواد آلی در سطح خاک منطقه، حضور کمتر از ۳ درصد کربن آلی که حد بحرانی آن می‌باشد، در تمام نمونه‌های خاک طبیعی به نظر می‌رسد. گروه دو شامل ۱۵ نمونه خاک بود (۱۲ نمونه خاک کشاورزی و ۳ نمونه خاک مرتع)، که دارای محدودیت بیشتری بودند. در این گروه ۵ شاخص از هشت شاخص مورد بررسی خارج از محدوده بهینه بودند. گروه سوم خاک‌هایی با پایین‌ترین کیفیت فیزیکی و بیشترین محدودیت بودند. در این گروه که شامل ۱۹ نمونه بود (۸ نمونه خاک کشاورزی و ۱۱ نمونه خاک مرتع)، شش شاخص از هشت شاخص مورد بررسی در خارج از محدوده بهینه قرار داشت. بنابراین گروه یک دارای کمترین محدودیت و بالاترین کیفیت فیزیکی خاک بود و گروه دو و سه به ترتیب بعد از آن قرار داشتند.

پس از برآزش داده‌های منحنی رطوبتی با معادله وان‌گن‌اختن در نرم افزار RETC (۲۵)، شاخص S_{gi} و منحنی توزیع اندازه منافذ نمونه‌ها با استفاده از روابط ۳ تا ۵ محاسبه شد، و با استفاده از روابط ۶ تا ۱۱، شاخص‌های آماری منحنی‌های توزیع اندازه منافذ تعیین شد.

آنالیزهای آماری

به منظور بررسی چگونگی تاثیر متقابل ویژگی‌های خاک و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف، با استفاده از نرم افزار آماری JMP4 (۲۰) همبستگی پیرسون بین شاخص S_{gi} و درصد کربن آلی (OC%)، نسبت جذب سدیم (SAR)، MWD، RFC، PAWC و بررسی شد. این بررسی در سه مجموعه شامل خاک‌های کشاورزی، مرتع و کل نمونه‌های خاک انجام شد تا نوع تاثیر کاربری زمین بر این روابط معلوم شود. همچنین با استفاده از این نرم افزار، مقایسه میانگین تمام شاخص‌های اندازه‌گیری شده کیفیت فیزیکی خاک بین دو مجموعه خاک‌های مرتع و کشاورزی انجام شد و سطح معنی داری اختلاف آنها بین دو نوع کاربری زمین تعیین شد.

نتایج و بحث

تعیین توزیع بهینه اندازه منافذ خاک بر اساس شاخص‌های

کیفیت فیزیکی خاک

با توجه به دامنه بهینه شاخص‌های مورد بررسی، کل نمونه‌های خاک از نظر کیفیت فیزیکی به سه گروه تقسیم شدند. این گروه‌بندی بر مبنای تعداد شاخص‌هایی بود که در محدوده بهینه قرار داشتند، به

جدول ۲- دامنه تغییرات و میانگین مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک مورد بررسی در سه گروه تعیین شده‌ی کیفیت خاک

گروه‌های کیفیت خاک	RFC (-)	PAWC ($m^3 m^{-3}$)	AC ($m^3 m^{-3}$)	BD ($Mg m^{-3}$)	OC (%)	SI (%)	MWD (mm)	S_{gi} (-)
گروه ۱ دامنه تغییرات میانگین	۰/۷ - ۰/۶۷	۰/۳۵ - ۰/۱۸	۰/۱۷ - ۰/۱۴	۱/۵ - ۱/۱	۲/۲ - ۰/۴	۱۳ - ۷	۳/۵ - ۰/۴	۰/۰۷۵ - ۰/۰۵
گروه ۲ دامنه تغییرات میانگین	۰/۹۲ - ۰/۷۲	۰/۳۹ - ۰/۱۹	۰/۱۵ - ۰/۰۳	۱/۶ - ۱/۲	۱/۹ - ۰/۵	۸/۵ - ۲	۱/۵ - ۰/۲	۰/۰۷ - ۰/۰۳۵
گروه ۳ دامنه تغییرات میانگین	۰/۹۵ - ۰/۷۳	۰/۳۸ - ۰/۱۸	۰/۱۳ - ۰/۰۲	۱/۷ - ۱/۴	۱/۸ - ۰/۳	۶ - ۱/۸	۱/۳ - ۰/۱۵	۰/۰۶۵ - ۰/۰۴
حدود بهینه	۰/۷ - ۰/۶	۰/۱۵ ≤	۰/۱۴ ≤	۱/۳ - ۰/۹	۵ - ۳	۷ <	۱/۲ <	۰/۰۳۵ ≤

* RFC: ظرفیت زراعی نسبی، PAWC: ظرفیت آب در دسترس گیاه، AC: تخلخل تهویه‌ای، BD: جرم مخصوص ظاهری، OC: درصد کربن آلی، SI: شاخص پایداری

ساختمانی MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب، S_{gi} : شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف.

***: در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشد. *** دامنه بهینه شاخص‌های کیفیت خاک در ردیف آخر ارائه شده است (۱۸).

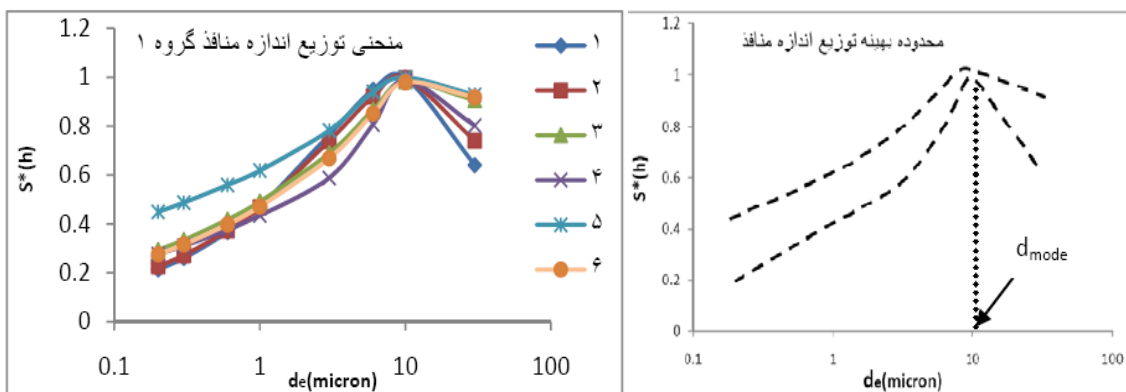
(۱۹) قرار دارد، لذا این شاخص عامل محدودیت کیفیت خاک در خاک‌های مورد مطالعه نمی‌باشد.

پس از گروه بندی نمونه‌ها، با استفاده از روابط ۴، ۵ و معادله صعود موئین (۲۷)، منحنی‌های توزیع اندازه منافذ برای هر گروه رسم شد (شکل ۲ و ۳) و با استفاده از روابط ۶ تا ۱۱ مشخصات آماری این منحنی‌ها که شامل شاخص‌های موقعیت (میانگین، میانه و فراوانی اندازه منافذ) و شاخص‌های شکل منحنی (کشیدگی، انحراف معیار و پخی منحنی) بود، تعیین شد. همان طور که در بالا اشاره شد هشت شاخص کیفیت خاک مورد مطالعه، بر ویژگی‌های منافذ خاک تاثیرگذار می‌باشند (۱۹)، بنابراین منحنی‌های توزیع اندازه منافذ خاک-هایی که از نظر این شاخص‌ها دارای بالاترین کیفیت بودند (گروه ۱) به عنوان توزیع بهینه اندازه منافذ در نظر گرفته شد (شکل ۲).

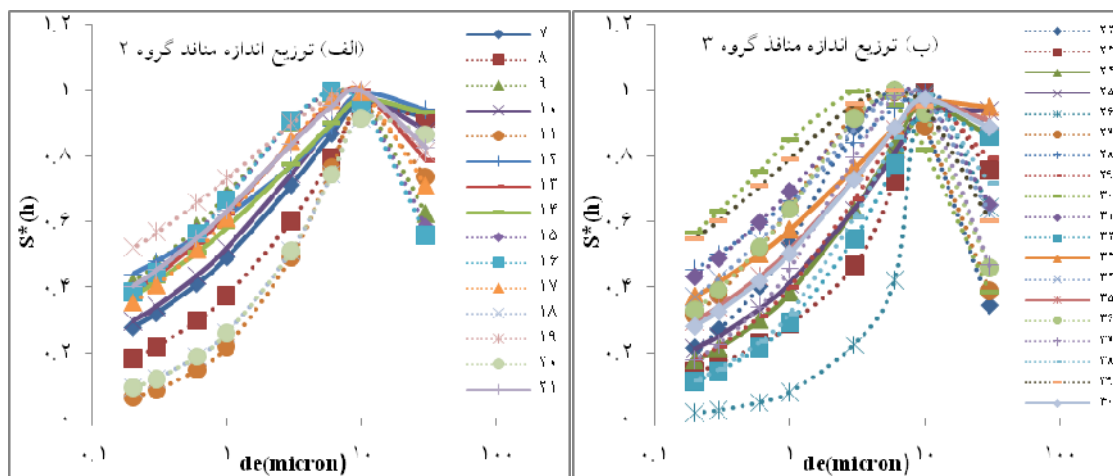
حد بالا و پایین مقادیر عددی مشخصات آماری منحنی‌های این گروه به عنوان محدوده بهینه این مشخصات برای منحنی‌های توزیع اندازه منافذ در نظر گرفته می‌شود (۱۹).

در مطالعه رینولدز و همکاران (۱۹) MWD به عنوان شاخص کیفیت خاک در نظر گرفته نشده بود. ولی در نمونه‌های مورد بررسی در این مطالعه همبستگی معنی‌دار و مثبت ($r = 0.86$) بین SI و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWD) مشاهده گردید، لذا قطری از MWD که معادل با حد بهینه SI برای کیفیت خاک بود به عنوان محدوده بهینه MWD تعیین و در جدول ۲ ارائه گردید.

علاوه بر این نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های کیفیت خاک برای سه گروه خاک در جدول ۲ نشان داد که شاخص‌های RFC، AC، SI و MWD در گروه یک دارای تفاوت معنی‌داری با دو گروه دیگر در سطح ۵ درصد بود که این امر نیز نشان دهنده کیفیت مناسب‌تر خاک در گروه یک در مقایسه با گروه‌های دو و سه می‌باشد. با آنکه شاخص S_{gi} در سه گروه با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در گروه یک دارای بیشترین مقدار می‌باشد و از آنجا که در هر سه گروه در دامنه بهینه



شکل ۲- منحنی توزیع اندازه منافذ گروه ۱ شامل نمونه خاک‌های شماره ۱ تا ۶، و محدوده بهینه توزیع اندازه منافذ پیشنهادی بر اساس آن



شکل ۳- الف) منحنی‌های توزیع اندازه منافذ گروه ۲ شامل نمونه خاک‌های شماره ۷ تا ۲۱ و ب) منحنی‌های توزیع اندازه منافذ گروه ۳ شامل نمونه خاک‌های شماره ۲۲ تا ۴۰. خطوط پیوسته منحنی‌های توزیع اندازه منافذی هستند که در محدوده بهینه قرار دارند و خطوط منقطع منحنی‌هایی که خارج از

محدوده ی بهینه هستند.

شکل و موقعیت) منحنی‌های توزیع اندازه منافذ، معادل با گروه یک که دارای کمترین محدودیت از نظر شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک بود، ارائه شده است. این مقادیر بهینه پیشنهاد شده متفاوت از مقادیر ارائه شده به وسیله رینولدز و همکاران (۱۹) می‌باشد، زیرا آنها در مطالعه خود برای گروه یک از نمونه‌هایی استفاده کردند که از نظر تمام شاخص‌های کیفیت فیزیکی در محدوده بهینه قرار داشت. نمونه های گروه یک رینولدز و همکاران (۱۹) به طور متوسط دارای بیش از ۳ درصد کربن آلی بوده و به تبع آن MWD و جرم مخصوص ظاهری نیز در محدوده بهینه بودند، ولی در نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش به دلیل ماهیت خشک منطقه ماده آلی کم بوده و در نتیجه MWD و جرم مخصوص ظاهری نیز خارج از محدوده بهینه می‌باشد. لذا برای مناطق دارای اقلیم خشک و میزان ماده آلی پایین مقادیر ارائه شده در این جدول توصیه می‌شود، زیرا در تعیین آن محدودیت ماده آلی و شاخص‌های تابع آن لحاظ شده است.

تاثیر ویژگی‌های خاک بر شاخص S_{gi}

با توجه به اینکه بزرگی شاخص S_{gi} رابطه مستقیمی با میزان حضور منافذ بین خاکدانه‌ای دارد (۱۹)، ویژگی‌هایی از خاک که بر تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها تاثیرگذار می‌باشند، می‌توانند بر این شاخص نیز تاثیر داشته باشند. به منظور بررسی میزان تاثیرپذیری شاخص S_{gi} از ویژگی‌های موثر بر پایداری خاکدانه، میزان معنی‌داری همبستگی پیرسون شاخص S_{gi} با درصد کربن آلی (OC)، نسبت جذب سدیم (SAR) و MWD با استفاده از نرم‌افزار JMP4 (۲۰) بررسی شد.

حدود بهینه تعیین شده برای شش ویژگی آماری منحنی‌ها و نیز محدوده این ویژگی‌ها برای هر گروه خاک مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به شکل شماره ۳ مشاهده می‌شود که در گروه دو شش نمونه از ۱۵ نمونه (نمونه‌های شماره ۰، ۷، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۲۱) و در گروه ۳ پنج نمونه از ۱۹ نمونه (نمونه‌های شماره ۲۴، ۲۵، ۳۳، ۳۵ و ۴۰) از نظر توزیع اندازه منافذ در محدوده بهینه قرار دارند و سایر نمونه‌ها خارج از این محدوده می‌باشند. بنابراین در این نمونه‌ها با وجود اینکه از نظر شاخص‌های کیفیت فیزیکی بررسی شده نسبت به گروه یک محدودیت بیشتری وجود داشت، ولی از نظر توزیع اندازه منافذ مانند گروه یک در محدوده بهینه بودند. این مساله می‌تواند به دلیل بالا بودن نسبی میزان کربن آلی در این نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های دیگر هم گروه باشد. همان طور که قبلا اشاره شد در تمام نمونه‌های مورد بررسی کربن آلی کمتر از مقدار بهینه (۳ درصد) بود و برای همه نمونه‌ها در هر سه گروه یک عامل محدود کننده به حساب می‌آید. اما در مورد نمونه‌هایی که دارای توزیع بهینه اندازه منافذ در گروه ۲ و ۳ بودند، مقدار کربن آلی نسبت به هم گروه‌های خود بالاتر بود به طوری که مقدار متوسط آن در گروه ۲ معادل ۱/۸ درصد برای نمونه‌های دارای توزیع بهینه اندازه منافذ و ۱/۲ درصد برای سایر نمونه‌های گروه بود، همچنین در گروه ۳ میانگین کربن آلی برای نمونه‌های دارای توزیع بهینه اندازه منافذ ۱/۷ درصد و برای سایر نمونه‌ها یک درصد بود. بنابراین در این نمونه‌ها بالا بودن نسبی کربن آلی، خارج از محدوده بهینه بودن سایر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک را جبران کرده و باعث شده نمونه‌ها از نظر توزیع اندازه منافذ در محدوده بهینه قرار گیرند.

در جدول شماره ۳ حدود بهینه ویژگی‌های آماری (پارامترهای

جدول ۳- دامنه تغییرات و میانگین پارامترهای موقعیت و شکل منحنی‌های توزیع اندازه منافذ ($S^*(h)$ در برابر d_e) در سه گروه کیفیت خاک

پارامترهای شکل منحنی			پارامترهای موقعیت منحنی			گروه‌های کیفیت خاک
Kurtosis(-)	Skewness(-)	SD(-)	$d_{mean}(\mu m)$	$d_{median}(\mu m)$	$d_{mode}(\mu m)$	
۱/۱۶ - ۱/۱۵	-۰/۳۹ تا -۰/۲۶	۹۵ - ۸	۷ - ۱/۵	۱۲/۹ - ۳/۷	۴۵ - ۱۰	گروه ۱ دامنه تغییرات
۱/۱۵۵	-۰/۳۲	۳۲	۴/۳	۷	۲۳	میانگین
۱/۱۶ - ۱/۱۴	-۰/۳۸ تا -۰/۱۹	۷۴/۴ - ۴/۳	۹ - ۰/۷۴	۱۱/۲ - ۱/۸	۲۳ - ۶/۵	گروه ۲ دامنه تغییرات
۱/۱۵	-۰/۳	۲۲/۴	۴	۵/۷	۱۳/۵	میانگین
۱/۱۶ - ۱/۱۴	-۰/۳۶ تا -۰/۱۶	۴۸ - ۳/۵	۱۹ - ۰/۵۴	۲۱/۱۳ - ۱	۳۵/۴ - ۳/۵	گروه ۳ دامنه تغییرات
۱/۱۵	-۰/۲۸	۱۶/۲	۴/۹	۶/۵	۱۲/۸	میانگین
۱/۱۶ - ۱/۱۵	-۰/۴ تا -۰/۲۵	۹۵ - ۸	۷ - ۱	۱۳ - ۳	۴۵ - ۱۰	حدود بهینه

حدود بهینه ی تعیین شده برای هر پارامتر در ردیف آخر ارائه شده.

جدول ۴- همبستگی (r) بین شاخص S_{gi} و ویژگی های خاک

زمین های مرتع	زمین های کشاورزی	کل نمونه ها	ویژگی دارای همبستگی با S_{gi}
۰/۷۹**	۰/۴۸*	۰/۶۸**	%OC
-۰/۸۴**	-۰/۶۹**	-۰/۷۳**	SAR
۰/۶۹*	۰/۶۰*	۰/۶۳**	MWD
۰/۷۱**	۰/۶۵**	۰/۶۷**	RFC
۰/۷۳**	۰/۶۷**	۰/۷۶**	PAWC

** همبستگی در سطح ۱٪ معنی دار، * همبستگی در سطح ۵٪ معنی دار

کاربری زمین، مشاهده می شود که همبستگی ها با تبدیل مرتع به زمین زراعی به طور قابل توجهی کاهش یافته است. این امر نشان می دهد که در شرایط کشت و کار علاوه بر عوامل ذاتی خاک مانند OC، SAR و آهک، تاثیر عوامل زراعی بر مقدار S_{gi} افزایش می یابد. عواملی مانند شخم و رشد ریشه که موجب ایجاد درز و شکاف های ریز در خاک شده اند موجب افزایش مقدار S_{gi} می شوند (۷ و ۱۹).

همبستگی مثبت و معنی دار بین S_{gi} با RFC و PAWC نشان می دهد که این شاخص به خوبی می تواند ویژگی های رطوبتی موثر بر کیفیت خاک را نشان دهد. پس می توان از شاخص S_{gi} برای بیان قابلیت خاک در فراهم نمودن آب و هوای کافی برای گیاه، استفاده کرد. این همبستگی ها با تغییر کاربری زمین نیز تغییر قابل توجهی نکردند.

مقایسه میانگین شاخص های کیفیت فیزیکی خاک بین دو

کاربری زمین

مقایسه میانگین شاخص های کیفیت فیزیکی خاک در بین دو مجموعه نمونه های خاک مرتع (۱۸ نمونه) و زمینهای کشاورزی (۲۲ نمونه)، با انجام آزمون t-test به صورت مقایسه میانگین جفت نشده، با استفاده از نرم افزار JMP4 (۲۰) انجام شد که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

همان گونه که مشاهده می شود به طور کلی همه شاخص ها به استثنای RFC در زمین های کشاورزی کمتر از مراتع بود، ولی در بین آنها فقط کاهش شاخص های PAWC، MWD و شاخص S_{gi} معنی دار بود. بنابراین با تغییر کاربری زمین از مرتع به کشاورزی با وجود اینکه شاخص S_{gi} به طور معنی داری کاهش یافته، ولی سایر شاخص های حجمی، به غیر از PAWC، تغییر معنی داری نداشتند. شاخص پایداری ساختمان خاک (SI) تغییر معنی داری نداشت لیکن میانگین وزنی قطر خاکدانه ها (MWD) به گونه ای معنی داری کاهش یافته است.

همچنین به منظور بررسی تاثیر شاخص S_{gi} بر ویژگی های رطوبتی خاک همبستگی آن با شاخص های PAWC و RFC بررسی شد. این بررسی ها در نمونه های خاک مرتع (۱۸ نمونه)، زمین های کشاورزی (۲۲ نمونه) و کل نمونه های اندازه گیری شده (۴۰ نمونه) انجام شد که نتایج در جدول ۴ ارائه شده.

ماده آلی از جمله مهم ترین عوامل تشکیل و پایداری خاکدانه ها و بنابراین منافذ درشت بین خاکدانه ای می باشد (۹ و ۱۴). همان طور که مشاهده می شود به طور کلی میزان کربن آلی تاثیر معنی داری بر شاخص S_{gi} دارد (۰/۶۸)، ولی این همبستگی با تغییر کاربری زمین از مرتع به کشاورزی به طور قابل توجهی کاهش یافته و از ۰/۷۹ به ۰/۴۸ رسیده، هرچند باز هم تاثیر کربن آلی بر شاخص S_{gi} معنی دار می باشد. دکستر (۷) نیز تاثیر ماده آلی را بر افزایش شاخص S_{gi} بیان کرد، او همچنین نشان داد که تاثیر ماده آلی بر مقدار شاخص S_{gi} خاک های دارای رس کمتر، بیشتر از خاکهای ریز بافت تر بود. با افزایش نسبت جذب سدیم، به علت حضور بیشتر یون هیدراته سدیم در سطح کلونیدهای خاک، ذرات خاک دچار پراکندگی شده و پایداری خاکدانه ها کاهش می یابد. مشاهده می شود که در هر دو حالت زمین کشاورزی و مرتع SAR تاثیر منفی معنی داری بر شاخص S_{gi} داشت و به طور کلی نیز همبستگی ۰/۷۲- بین آنها برقرار بود. این امر بیانگر تخریب خاکدانه ها با افزایش SAR می باشد، که در نتیجه آن میزان منافذ بین خاکدانه ای و شاخص S_{gi} کاهش می یابد. دکستر (۷) نیز بیان کرد که افزایش وضعیت سدیمی خاک موجب کاهش شاخص S_{gi} می شود. امامی و همکاران (۱) نشان دادند که همبستگی معنی داری بین این دو عامل وجود دارد. بایستی توجه کرد که در خاک های با مقدار خیلی زیاد سدیم نمی توان از شاخص S_{gi} به خوبی استفاده کرد و از آن برای پیش بینی سایر ویژگی های خاک بهره جست، زیرا در این شرایط ذرات رس پراکنده شده و عملاً منافذ بین خاکدانه ای حضور ندارد (۷). MWD شاخصی از پایداری ساختمان خاک می باشد (۶) همبستگی مثبت و معنی دار S_{gi} با MWD بیانگر تاثیر مثبت پایداری ساختمان خاک بر شاخص S_{gi} می باشد.

در مقایسه همبستگی پنج ویژگی مورد بررسی با S_{gi} در بین دو

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک بین دو نوع کاربری زمین

نوع کاربری زمین	میانگین شاخص‌های کیفیت خاک							
	جرم مخصوص ظاهری (gcm^{-3})	%OC	RFC	PAWC	AC	MWD(mm)	%SI	S_{gi}
مرتع	۱/۳۵n.s	۱n.s	۰/۷۹n.s	۰/۳۳*	۰/۱n.s	۱/۳**	۵n.s	۰/۰۶۳**
کشاورزی	۱/۴۲n.s	۰/۹۵n.s	۰/۸۱n.s	۰/۲۸*	۰/۰۹n.s	۰/۶۷**	۴/۱n.s	۰/۰۴۵**

** : تفاوت میانگین‌ها معنی‌دار در سطح ۱٪، * : تفاوت میانگین‌ها معنی‌دار در سطح ۵٪، n.s : فاقد تفاوت معنی‌دار

شاخصی غیرمستقیم که منعکس کننده شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک است استفاده شود. شاخص S_{gi} از جمله مهم‌ترین شاخص‌هایی است که بر توزیع اندازه منافذ خاک تاثیر می‌گذارد که نتایج این تحقیق نشان داد ویژگی‌های خاک و کاربری زمین بر آن تاثیر دارند. با توجه به تاثیر منفی تغییر کاربری زمین بر شاخص‌های S_{gi} ، MWD و PAWC لازم است روش‌های مدیریتی صحیح در جهت حفظ این شاخص‌ها در محدوده بهینه اعمال شود. در این راستا توجه به منحنی توزیع اندازه منافذ و حفظ آن در محدوده بهینه که به طور غیر مستقیم بیانی از مجموعه شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک از جمله S_{gi} ، MWD و PAWC است پیشنهاد می‌گردد.

همان طور که در جدول ۱ دیده می‌شود SI شاخص غیر مستقیمی از پایداری خاکدانه‌هاست و محاسبه آن به مقدار کربن آلی و بافت خاک وابسته است و با توجه به اینکه اختلاف معنی‌داری در میزان کربن آلی بین دو کاربری وجود نداشت و بافت خاک نیز مشابه بود، شاخص SI نیز تغییر معنی‌داری نداشته است. ولی MWD به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شود و تغییر معنی‌دار آن با وجود ثابت بودن مقدار کربن آلی در دو کاربری زمین، نشانگر این مطلب است که تاثیر مخرب عملیات کشاورزی بر ساختمان خاک مستقل از تاثیر آن بر ماده آلی است. پژوهشگران دیگر نیز بر تاثیر عملیات زراعی بر تخریب ساختمان خاک تاکید کرده‌اند (۳).

نتیجه گیری

حدود بهینه تعیین شده برای توزیع اندازه منافذ می‌تواند به عنوان

منابع

- ۱- امامی ح.، شرفا م.، نیشابوری م.ر.، لیاقت ع.م. ۱۳۸۷. برآورد شاخص کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از ویژگیهای زود یافت خاک در تعدادی از خاک های شور و آهکی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۳۹: ۴۶-۳۹.
- 2- Allmaras R.R., Fritz V.A., Pflieger F.L., and Copeland S.M. 2002. Impaired internal drainage and Aphanomyces euteiches root rot of pea caused by soil compaction in a fine-textured soil. Soil and Tillage Research, 174:1-12.
- 3- Alvarenga R.C., Fernandes B., Silva T.C.A., and Resende M. 1986. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. R. Bras. Ci. Solo, 10:273-277.
- 4- Blott S.J., and Pye K. 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surface Process Landforms. 26:1237-1248.
- 5- Craul P.J. 1999. Urban Soils: Applications and Practices. Wiley, Toronto.
- 6- Deneff K., Six J., Bossuyt H., Frey S.D., Elliott E.T., Merckx R., and Paustian K. 2001. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. Soil Biology Biochemi, 33:1599-1611.
- 7- 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.
- 8- Drury C.F., Zhang T.Q., and Kay B.D. 2003. The non-limiting and least limiting water range for soil nitrogen mineralization. Soil Science Society of America Journal, 67:1388-1404.
- 9- Dutartre Ph., Bartoli F., Andreux F., Portal J.M., and Ange A. 1993. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. In: Brussaard, L., Kooistra, M.J. (Eds.), Proceedings of the International Workshop on Methods of Research on Soil Structure/Soil Biota Interrelationships. Geoderma, 56:459-478.
- 10- Gregorich E.G., Carter M.R., Doran J.W., Pankhurst C.E., and Dwyer L.M. 1997. Biological attributes of soil quality. In: Gregorich, E.G., Carter, M.R. (Eds.), Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. In: Developments in Soil Science, 25: 81-114.
- 11- Hao X., Ball B.C., Culley J.L.B., Carter M.R., and Parkin G.W. 2008. Soil density and porosity, In: Carter, M.R.,

- Gregorich, E.G. (Eds.), Soil Sampling and Methods of Analysis, 2nd edition. Canadian Society of Soil Science. Taylor and Francis, LLC, Boca Raton, FL, pp. 743-759.
- 12- Jena A., and Gupta K. 2002. Determination of pore volume and pore distribution by liquid extrusion porosimetry without using mercury. *Ceramic Engineering & Science Proceedings*, 23: 277-284.
 - 13- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part a: Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI:425-442.
 - 14- Lal R., Kimble J., and Follett R.F. 1997. Pedospheric processes and the carbon cycle. In: Lal, R., W.H. Blum, C.Valentine, B.A. (Eds.) *Stewart. Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press, Boca Raton. pp. 1-8.
 - 15- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. (eds). 1982. *Methods of soil analysis. Part2- Chemical and Microbiological methods*. Second edition. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA.
 - 16- Pieri C.J.M.G. 1992. *Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
 - 17- Reynolds W.D., and Topp G.C. 2008. Soil water desorption and imbibition: tension and pressure techniques, In: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 2nd edition. Canadian Society of Soil Science. Taylor and Francis, LLC, Boca Raton, FL, pp. 981-997.
 - 18- Reynolds W.D., Bowman B.T., Drury C.F., Tan C.S., and Lu X. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110:131-146.
 - 19- Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A., and Yang X.M. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152:252-263.
 - 20- SAS Institute Inc. 2000. *JMP Design of Experiments*, Version 4. Cary, NC, USA
 - 21- Shukla M.K., Lal R., and Ebinger M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Till. Res*, 87:194-204.
 - 22- Silva A.P., and Kay B.D. 1996. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. *Plant and Soil*, 184: 323-329.
 - 23- Topp G.C., Reynolds W.D., Cook F.J., Kirby J.M., and Carter M.R. 1997. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, E.G., Carter, M.R. (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. *Developments in Soil Science*, 25: 21- 58.
 - 24- 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.
 - 25- Van Genuchten M.Th., Leij F.J., and Yates S.R. 1990. *The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of the Unsaturated Soils*. Res. Rep. 6002-91065. USEPA, Ada, OK.
 - 26- Wallace A., and Terry R.E. 1998. Soil conditioners, soil quality and soil sustainability. In: Wallace, A., Terry, R.E. (Eds.), *Handbook of Soil Conditioners*. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 1 - 41.
 - 27- Warrick A.W. 2002. *Soil Physics Companion*. CRC Press LLC, Boca Raton, USA.
 - 28- White R.E. 2006. *Principles and Practice of Soil Science*, 4th edition. Blackwell Publishing, Oxford, UK.



Determination the Optimal Range of Pore Volume Distribution by Using of Soil Physical Quality Indicators and Effect of Soil Properties on S_{gi} Index

H. Shahab^{1*} - H. Emami² - Gh. Haghnia³ - A. Karimi⁴

Received:18-12-2010

Accepted:22-5-2011

Abstract

Soil quality is an essential concept for maximum agriculture production without environmental destruction. Studying soil physical quality indicators, that express soil structural stability and soil air-water balance in root zone, is one of the most important aspects of soil quality. So determination of optimal range for pore volume distribution is important and this research carried out to determine i) the optimal range for pore volume distribution according to soil physical quality indicators ii) the effect of soil properties on the slope of retention curve at its inflection point or S_{gi} index and iii) the effect of type of land use on soil physical quality indicators. The classification of studied soils was *Haploalcid*, soil texture varied from sand to clay loam and organic carbon (OC) also changed between 0.2 to 2.2 percentages. In this study, S_{gi} index and pore volume distribution were determined by fitting the experimental soil retention curve data of 40 soil samples to van Genuchten equation in agricultural and rangeland land uses in south of Mashhad plain. Also some other soil physical quality indicators such as, percentage of organic carbon, bulk density, sodium absorption ratio (SAR), mean weight diameter of wet aggregates (MWD), relative field capacity (RFC), plant available water capacity (PAWC), air capacity (AC), and structural stability index (SI) were measured. Then the optimal range of pore volume distribution was determined by using of 8 soil physical quality indicators. Also the correlation between S_{gi} index and soil physical properties was determined. The positive and significant correlation between S_{gi} index and percentage of %OC, mean MWD, RFC, and PAWC was shown. But there was a negative and significant correlation between S_{gi} index and SAR in both land uses. In addition, mean comparison of indicators in two land uses showed that, among the 8 indicators, S_{gi} index, MWD, PAWC has been decreased significantly in agriculture land use samples.

Keywords: Pore volume distribution, S_{gi} Index, Soil physical quality

1,2,3,4- MSc Student, Assistant Professor, Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(*- Corresponding Author Email: hose_shohab@yahoo.com)