

## تغییرات کیفیت خاک‌هایی با رژیم‌های رطوبتی مختلف در اثر کشت و کار: با تاکید بر کیفیت فیزیکی خاک

دلنیا باپیری<sup>۱</sup>، حبیب خداوردیلو<sup>۲\*</sup>، محسن برین<sup>۳</sup> و یوبرت قوستا<sup>۴</sup>

(۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

(۲\*) دانشیار علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

\*نویسنده مسئول مکاتبات: [h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir](mailto:h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir)

(۳) استادیار علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

(۴) دانشیار گیاه پزشکی، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۷

### چکیده

عملیات کشاورزی می‌تواند پیامدهایی زیان بار بر کیفیت خاک‌ها داشته باشد. آگاهی از تغییرات زمانی کیفیت خاک در اراضی کشاورزی برای مدیریت بهینه زمین‌ها و رسیدن به بیشینه بهره‌وری اقتصادی ضروری است. در این پژوهش، برخی ویژگی‌های فیزیکی چهار خاک زراعی با خاک‌های شاهد غیرزراعی همجوار آن‌ها مقایسه گردید. در هر منطقه مورد مطالعه، چهار نمونه خاک (شامل دو نمونه خاک زراعی و دو نمونه خاک غیرزراعی مجاور آن) انتخاب گردید. حساسیت به تشکیل سله، منحنی رطوبتی خاک، توزیع اندازه ذرات و منافذ خاک، مقاومت مکانیکی، مقدار رطوبت در دسترس و مقدار تخلخل تهویه‌ای، ظرفیت زراعی نسبی، گنجایش آب انتگرالی اندازه‌گیری شدند. به طور کلی در اراضی تحت کشت، مقدار مواد آلی خاک (۱/۸۱) در برابر ۲/۷۰ درصد، پایداری ساختمان خاکدانه‌ها (۵/۲ در برابر ۷/۴)، منافذ ریز (۰/۲۸ در برابر ۰/۳۹)، رطوبت ظرفیت زراعی (۰/۲۷ در برابر ۰/۳۴) و نقطه پژمردگی دائم (۰/۱۵ در برابر ۰/۲۰) و آب قابل دسترس گیاهان (۰/۱۱ در برابر ۰/۱۵) نسبت به اراضی غیرزراعی کاهش یافت ( $P \leq 0.05$ ). با این حال، فراوانی منافذ درشت (۰/۳۹ در برابر ۰/۲۳) و حساسیت به تشکیل سله (۰/۷۰ در برابر ۰/۵۷) در اراضی تحت کشت افزایش نشان داد ( $P \leq 0.05$ ). می‌توان نتیجه گرفت که عملیات کشت و کار، موجب کاهش کیفیت و فرسایش خاک می‌گردد و ضروری است با مدیریت مناسب از تاثیرات نامطلوب آن جلوگیری شود.

**کلید واژه‌ها:** توزیع اندازه منافذ خاک؛ عملیات کشاورزی؛ فرسایش خاک؛ کیفیت فیزیکی خاک

### مقدمه

می‌سازد (Lal et al., 1999). کیفیت خاک توانایی خاک در

دریافت، ذخیره و تصفیه آب، مواد غذایی و انرژی است که

افزایش جمعیت و تقاضای انسان برای زندگی بهتر،

توجه به کیفیت محیط‌زیست از جمله خاک را ضروری

<sup>۱</sup> برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

هر ویژگی پویا به ویژگی‌های ذاتی خاک وابسته است (Karlen et al., 1997; Karlen et al., 2008).

کیفیت فیزیکی خاک به دلایلی نامعلوم کمتر بررسی شده است (Reynolds et al., 2014)، و این دلایل هنوز به طور کامل روشن نیست. اما به نظر می‌رسد اهمیت کیفیت فیزیکی خاک هنوز به رسمیت شناخته نشده است، و در مراحل بعدی گسترده بودن کار و زمان مورد نیاز برای جمع‌آوری نمونه‌های مناسب خاک، و نیاز به آزمایشگاه‌های تخصصی برای بررسی کیفیت فیزیکی خاک، محدودیت‌هایی ایجاد می‌کنند (Janzen, 1995, 2001).

تغییر کاربری اراضی از شرایط غیرزراعی بکر به اراضی زراعی به دلیل کاهش ذخیره کربن آلی و انجام عملیات خاکورزی مختلف می‌تواند در دراز-مدت سبب کاهش کیفیت و سلامت خاک شود. به طور کلی تغییر کاربری اراضی و انجام عملیات خاکورزی و عملیات داشت (شامل مصرف کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی و غیره) در اراضی بکر سبب ایجاد فرسایش آبی و بادی، کاهش نفوذپذیری خاک، کاهش رطوبت قابل استفاده، کاهش مواد آلی، کاهش کربن خاک بر اثر خروج دی‌اکسیدکربن و در نهایت گرم شدن کره زمین، تخریب کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و کاهش عملکرد در واحد سطح می‌گردد. عموماً، تغییر کاربری اراضی خاک را در برابر تخریب حساس‌تر می‌کند (Spaans et al., 1989). با این حال، شدت این تغییرات به عواملی گوناگون از جمله نوع مدیریت، کیفیت ذاتی خاک، اقلیم منطقه بستگی دارد. عموماً شدت این تأثیرات در مناطق خشک و نیمه خشک که خاک‌ها حساسیت بیشتری در برابر تنش‌های بیرونی دارند، چشمگیرتر است. رژیم رطوبتی خاک یکی از مهمترین مشخصات خاک است که بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر چشم‌گیری بر کیفیت ذاتی خاک‌ها و لذا حساسیت کیفیت پویای خاک در برابر تنش‌ها دارد. در این پژوهش، تأثیر درازمدت مدیریت‌های مرسوم کشاورزی در سه منطقه با خصوصیات و رژیم‌های رطوبتی مختلف خاک

با "شاخص‌های کیفیت خاک" ارزیابی می‌گردد. شاخص‌های کیفیت خاک، ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری از خاک هستند که بر ظرفیت خاک در انجام وظایف آن تأثیر می‌نهند (Arshad and Martin, 2002). شاخص‌های کیفیت خاک باید (۱) دربرگیرنده و تأثیرگذار بر فرآیندهای زیست محیطی، (۲) در برگیرنده ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، (۳) حساس به تغییرات محیطی و مدیریتی و (۴) قابل اندازه‌گیری، دسترسی و پردازش کمی باشند (Doran and Jones, 1996). در ارزیابی کیفیت خاک باید ویژگی‌هایی پایش گردند که به آشفتگی‌ها و تنش‌های محیطی حساس بوده و واکنشی سریع نشان دهند (Dalal, 1998). در نظر گرفتن شاخص‌های گوناگون برای ارزیابی جنبه‌های متفاوت کیفیت خاک، رویکرد مناسب‌تری برای ارزیابی کیفیت خاک است؛ زیرا ممکن است شاخص‌های مختلف تغییراتی متفاوت و متضاد تحت یک مدیریت خاص داشته باشند.

کیفیت خاک را می‌توان از دو جنبه کیفیت ذاتی که در نیمرخ خاک بوده و به عوامل خاکساز بستگی دارند و کمتر به مدیریت خاک وابسته هستند (Bissonnais et al., 2007) و نیز کیفیت پویای خاک که در خاک سطحی (۳۰-۲۰ سانتی‌متری) مدنظر است و به مدیریت خاک بستگی دارد (Carter, 2002)، ارزیابی نمود. کیفیت پویای خاک بیان شرایط خاک در یک حالت خاص با توجه به کاربری زمین و شیوه‌های مدیریت است و با استفاده از شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اندازه‌گیری می‌شود (Karlen et al., 2003).

بسیاری از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مربوط به کیفیت ذاتی خاک هستند. ویژگی‌های بیولوژیکی و برخی از ویژگی‌های فیزیکی، کیفیت پویای خاک را تشکیل می‌دهند. ویژگی‌های پویایی خاک توسط فرآیندهای تشکیل خاک کنترل می‌شوند و اغلب به شیوه‌های مدیریت خاک و یا کاربری اراضی واکنش نشان می‌دهند، اما شدت تغییرات در

برای محاسبه شاخص‌های مورد نظر کیفیت خاک استخراج گردید.

#### شاخص سله‌بندی و شاخص پایداری ساختمان خاک

سله سطحی خاک، از طریق کاهش نفوذ، جلوگیری از جوانه‌زنی بذر، کاهش هوادهی ریشه و میزان آب قابل‌دسترس خاک‌های کشاورزی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. FAO (۱۹۷۴) شاخص سله‌بندی<sup>۲</sup> ( $I_c$ ) را بر اساس ترکیبات بافت خاک و محتوای مواد آلی با رابطه زیر پیشنهاد داد که با افزایش مقدار آن، حساسیت خاک به تشکیل سله افزایش می‌یابد:

$$I_c = \left( \frac{(1.5 * S_f) + (0.75 * S_c)}{Clay + (10 * SOM)} \right) \quad (1)$$

در این رابطه،  $S_f$ : درصد سیلت ریز ( $0.02 - 0.05$  mm)،  $S_c$ : درصد سیلت درشت ( $0.05 - 0.2$  mm)،  $Clay$ : رس ( $\leq 0.002$  mm) و  $SOM$ : مواد آلی خاک برحسب درصد است. تقسیم‌بندی گروه اندازه ذرات مورد استفاده مطابق با سیستم طبقه‌بندی وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) است (Shirazi et al., 2001).

شاخص پایداری ساختمان خاک ( $SSI$ ) نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (رینولدز و همکاران، ۲۰۰۹):

$$SSI = \left( \frac{SOM}{Clay + Silt} \right) * 100 \quad (2)$$

که در آن،  $Silt$  درصد سیلت ( $0.05 - 0.02$  mm) است. چنین پنداشته شد که مدیریت‌هایی که سبب افزایش  $I_c$  یا کاهش  $SSI$  شده‌اند، موجب فرسایشی کیفیت خاک گشته‌اند.

#### منحنی رطوبتی و توزیع اندازه منافذ خاک

شاخص‌های فیزیکی مرتبط با پایداری ساختمان خاک و برقراری نسبت مناسب از آب و هوا در ناحیه رشد ریشه یکی از جنبه‌های اساسی در کیفیت خاک است. منحنی

در استان آذربایجان غربی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی گردید.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان آذربایجان غربی و در موقعیت‌های جغرافیایی سیرداغی ( $37^{\circ}29' 24''$  شمالی،  $45^{\circ}13' 8''$  شرقی با ارتفاع ۱۶۰۶ متر)، زیوه ( $37^{\circ}13' 56''$  شمالی،  $44^{\circ}54' 51''$  شرقی و ارتفاع ۱۵۲۴ متر) و نازلو ( $37^{\circ}39' 38''$  شمالی،  $44^{\circ}59' 22''$  شرقی با ارتفاع ۱۳۵۴ متر) انجام شد. رژیم رطوبتی در دو منطقه نازلو و سیرداغی Dry Xeric و رژیم حرارتی Mesic و در زیوه به ترتیب بصورت Typic Xeric و Mesic بود. کیفیت خاک‌های زراعی و غیرزراعی که در همسایگی نزدیک به همدیگر و قابل مقایسه بودند، ارزیابی و مقایسه گردید. در هر منطقه از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری، سه نمونه خاک (هر کدام شامل سه نمونه خاک دست‌نخورده و سه نمونه خاک دست‌خورده شامل دو نمونه خاک زراعی و دو نمونه خاک غیرزراعی مجاور آن) جمعاً ۱۲ نمونه خاک دست‌نخورده (استوانه‌هایی با حجم  $100\text{ cm}^3$ ) و ۱۲ نمونه خاک دست‌خورده جمع‌آوری و ویژگی‌های آن تعیین گردید.

pH خاک مورد مطالعه در عصاره اشباع توسط pH متر (Mc Lean, 1982)، EC با دستگاه هدایت‌سنج (Rhoades, 1996)، ماده آلی به روش والکی بلک (Nelson and Sommers, 1982)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش تیتراسیون (Nelson and Sommers, 1982) اندازه‌گیری شد. توزیع اندازه ذرات خاک همانند روش مورد استفاده توسط Afrasiabi و همکاران (۲۰۱۹) با ترکیبی از روش‌های هیدرومتری (Gee and Or, 2002) و غربال مکانیکی تعیین شد. سپس با برآزش مدل مناسب به داده‌های توزیع اندازه ذرات (Afrasiabi et al., 2019)، پارامترهای لازم

<sup>2</sup>structural stability index

<sup>1</sup>Index of crusting

اندازه منافذ در اینجا به عنوان شیب منحنی نیمه لگاریتمی  $\theta(\psi)$  در برابر قطر معادل منافذ  $d_E(\mu m)$  در پایه ۱۰ رسم گردید (Jena and Gupta, 2002):

$$PVD \rightarrow \frac{-d\theta(\psi)}{d \ln(-\psi)} vs. d_E \quad \psi < 0 \quad (4)$$

و در آن  $\theta(\psi)$  مقدار حجمی رطوبت، و  $d_E$  با استفاده از معادله موینگی تعیین گردید (Or and Wraith, 2002):

$$d_E = \frac{4\gamma \cos(\omega)}{\rho_w g(-\psi)} \approx \frac{29.74}{-\psi}; \quad (5)$$

$\psi < 0; d_E(\mu m); 20^\circ$

که در آن  $\gamma = 7/28 \times 10^{-1} \text{ Nm}^{-1}$  کشش سطحی آب منفذی،  $\rho_w = 998/2 \text{ kg m}^{-3}$  چگالی آب،  $g = 9/81 \text{ m s}^{-2}$  شتاب ثقل و  $\omega = 0$  زاویه تماس آب منفذ است. با جایگذاری معادله (۳ الف) در معادله (۴) خواهیم داشت:

$$\frac{-d\theta(\psi)}{d \ln(-\psi)} = \psi \left[ \frac{P_M}{-\psi_M} e^{\left(\frac{\psi}{-\psi_M}\right)} + \frac{P_S}{-\psi_S} e^{\left(\frac{\psi}{-\psi_S}\right)} \right]; \quad \psi \leq 0 \quad (6)$$

اگر این معادله در برابر معادله (۵) در مقیاس  $\log_{10}$  رسم شود  $PVD$  دو تخلخلی بدست می‌آید که در آن:

$$d_M = \frac{4\gamma \cos(\omega)}{\rho_w g(-\psi_M)} \approx \frac{29.74}{-\psi_M}; \quad \psi_M(m); d_M(\mu m) \quad (7 \text{ الف})$$

$$d_S = \frac{4\gamma \cos(\omega)}{\rho_w g(-\psi_S)} \approx \frac{29.74}{-\psi_S}; \quad \psi_S(m); d_S(\mu m) \quad (7 \text{ ب})$$

که  $d_M$  مد قطر معادل منافذ (با بیشترین فراوانی) برای دامنه بافتی خاک است که در  $\psi_M$  تخلیه می‌شود و  $d_S$  مد قطر معادل منافذ برای دامنه منافذ ساختمانی است که در

رطوبتی خاک در فشارهای پایین (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰ hPa) با جعبه شن و در فشارهای بالا (۱۲۰، ۲۰۰، ۳۳۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۸۰۰۰ hPa) با دستگاه صفحات فشاری بدست آمد. بدین منظور، تعداد ۱۶ نمونه دست نخورده خاک مطابق با روش مورد استفاده توسط Khodaverdiloo و همکاران (۲۰۱۱) اشباع شد و رطوبت حجمی آنها ( $\theta$ ) در مکش‌های ( $\psi$ ) مختلف اندازه‌گیری شد. تابع دو تخلخلی منحنی رطوبتی که  $\theta(\psi)$  برای خاک‌هایی متشکل از هر دو گروه منافذ بافتی و ساختمانی مناسب است به داده‌ها برازش یافت (Dexter et al., 2008):

$$\theta(\psi) = \theta_R + P_M e^{\left(\frac{\psi}{-\psi_M}\right)} + P_S e^{\left(\frac{\psi}{-\psi_S}\right)} \quad \psi \leq 0 \quad (3 \text{ الف})$$

که در آن،  $\theta_R$  ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) مقدار رطوبت باقی‌مانده موثر خاک (وقتی که  $\psi \rightarrow -\infty$ )،  $P_M$  ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) تخلخل بافتی موثر خاک،  $P_S$  ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) تخلخل ساختمانی موثر خاک،  $\psi_M$  (cm) بار مکش آب منافذ در دنباله خشک یا نقطه عطف ماتریس یا بافتی در نمودار  $\theta(\psi)$  و  $\psi_S$  (cm) بار مکش در دنباله تر یا نقطه عطف ساختمانی در نمودار  $\theta(\psi)$  است. گفتنی است که در معادله فوق اگر  $\psi = 0$  باشد:

$$\theta(\psi) = \theta_S \leq n_T = \theta_R + P_M + P_S \quad (3 \text{ ب})$$

که نشان می‌دهد رطوبت اشباع خاک،  $\theta_S$ ، برابر (یا تقریباً برابر) با تخلخل کل خاک،  $n_T$  ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) است (البته  $\theta_S$  بدلیل مقادیر اندک هوای محبوس یا حباب‌های گاز ناشی از تنفس ممکن است اندکی کمتر از  $n_T$  باشد) و اینکه  $n_T$  به نوبه خود برابر با مجموع خطی رطوبت باقی‌مانده،  $\theta_R$ ، تخلخل ماتریس موثر خاک،  $P_M$ ، و تخلخل موثر ساختمانی خاک،  $P_S$ ، است.

تابع توزیع اندازه منافذ خاک ( $PVD$ ) نیز از مدل منحنی رطوبتی دو تخلخلی فوق محاسبه گردید. منحنی توزیع

<sup>1</sup>Pore Volume Distribution Function

$$S = -n \left( \frac{\theta_s - \theta_r}{BD} \right) \left[ \frac{2n-1}{n-1} \right]^{1/n-2} \quad (9)$$

که در آن  $BD$  جرم ویژه ظاهری خاک بر حسب  $g\ cm^{-3}$  است. <sup>3</sup> مقادیر بزرگتر  $S$  نشان‌دهنده فراوانی منافذ ساختمانی و کیفیت فیزیکی بهتر خاک در ارتباط با ریشه، خاکورزی و جریان آب در خاک می‌باشد (Dexter, 2004a,b,c). تغییر در وضعیت منحنی رطوبتی بدلیل کشت تنها در محدوده اندازه منافذ درشت اتفاق می‌افتد (Ahuja et al., 1998). Dexter (2004a) براساس اطلاعات از خاک‌هایی که مقادیر رس آنها بین ۴ تا ۷۳ درصد بود کلاس‌های خیلی خوب ( $S \geq 0.050$ )، خوب ( $0.035 < S \leq 0.050$ )، ضعیف ( $0.020 < S \leq 0.035$ ) و خیلی ضعیف ( $S < 0.020$ ) را برای شاخص کیفیت فیزیکی خاک پیشنهاد داد. با افزایش مقدار  $S$ ، شدت رهاسازی آب خاک در نقطه عطف، که اصولاً مقدار آب قابل استفاده را کنترل می‌کند، افزایش می‌یابد (Dexter, 2004c).

گنجایش زراعی نسبی ( $RFC$ ) که بیانگر توانایی خاک برای ذخیره‌سازی آب و هوا است از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$RFC = \frac{FC}{\theta_s} \quad (10)$$

مقدار  $FC$  (Field Capacity) مقدار رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی در مکش ماتریک  $100\ hPa$  یا  $10\ hPa$   $330\ cm^3\ cm^{-3}$  و  $\theta_s$  رطوبت حجمی اشباع خاک می‌باشد ( $cm^3\ cm^{-3}$ ). با توجه به کلاس بافتی نسبتاً سنگین خاک‌های مورد مطالعه، مکش ماتریک  $330\ hPa$  به عنوان  $FC$  انتخاب و  $RFC$  بر آن اساس محاسبه گردید. مقدار تخلخل هوا-پر ( $AFP$ ) در رطوبت  $FC$  از رابطه زیر بدست آمد:

$$AFP = \theta_s - FC \quad (11)$$

$\Psi_s$  تخلیه می‌گردد. از این رو، معادلات (۳)، (۶) و (۷) توزیع منافذ و اندازه منافذی با بیشترین فراوانی در دامنه منافذ بافتی و ساختمانی در یک خاک ساختمان‌دار نشان می‌دهند. این معادلات صرفاً برای خاک‌های صلب (غیرانبساط‌پذیر) کاربرد دارند. این معادلات اغلب برحسب مکش ( $-\Psi$ ) بیان می‌شوند نه برحسب پتانسیل ماتریک ( $\Psi$ ) تا تبدیل لگاریتمی تسهیل گردد. علی‌رغم وجود مفهوم فیزیکی برای این رابطه، دامنه‌های بهینه و حدود بحرانی  $\theta_R$ ،  $P_s$ ،  $P_m$  و  $d_m$  و  $d_s$  در حال بررسی هستند (Dexter et al., 2008). ورود این اطلاعات به همراه شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک، می‌تواند اطلاعات مهم و چشم‌انداز خوبی در کیفیت فیزیکی خاک فراهم نماید. بر اساس قطر استوانه معادل پیشنهادی توسط Kay (۱۹۹۰)، منافذ درشت یا ماکروپور ( $>30\ \mu m$ )، منافذ متوسط یا مزوپور ( $0.2-30\ \mu m$ ) و منافذ ریز یا میکروپور ( $<0.2\ \mu m$ ) محاسبه و براساس کارکرد آنها به منافذ انتقالی ( $>50\ \mu m$ )، منافذ ذخیره‌ای ( $0.5-50\ \mu m$ ) و منافذ باقیمانده ( $<0.5\ \mu m$ ) تقسیم و تغییرات آنها در اثر کشت و کار ارزیابی شد.

برای بدست آوردن شاخص کیفیت فیزیکی خاک ( $S$ ) یا مقدار شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف از معادله منحنی رطوبتی ون‌گنوختن (van Genuchten, 1980) استفاده شد:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (ah)^n]^m} \quad (12)$$

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad n > 1$$

که در آن،  $\theta$  مقدار رطوبت حجمی خاک به عنوان تابعی از  $h$  بوده و پارامترهای برازش مدل ( $\theta_s$ ،  $\theta_r$ ،  $n$ ،  $\alpha$ ) به ترتیب مرتبط با عکس مکش در نقطه عطف، شاخص توزیع اندازه منافذ، و رطوبت باقی‌مانده و اشباع می‌باشند. این معادله با استفاده از برنامه RETC بر داده‌های منحنی رطوبتی برازش یافت و مقدار  $S$  از رابطه زیر بدست آمد (Dexter, 2004a):

نشان‌دهنده این است که توابع وزنی ضرب‌پذیرند. تابع گنجایش ویژه رطوبتی،  $C(h)$ ، نشان‌دهنده شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک است. Asgarzadeh و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که افزایش  $BD$  بطور معنی‌داری  $IWC$  را کاهش داد که بیانگر حساس بودن  $IWC$  به تغییرات ساختمانی خاک است.

### مقاومت مکانیکی

مقاومت فروری ( $Q$ ) یکی از انواع مقاومت‌های مکانیکی خاک - یعنی حداکثر بردباری خاک در برابر تنش - های مکانیکی، بدون تغییر شکل و متلاشی شدن - است که بیانگر مقاومت خاک در برابر فروری یک جسم میله‌ای شکل به درون آن می‌باشد (Soane and van Ouwerkerk, 1994). مقاومت فروری از بافت و ساختمان خاک و بویژه مقدار آب خاک تأثیر می‌پذیرد (Dexter et al., 2007). مقادیر محدود کننده مقاومت فروری خاک در برابر ریشه - دوانی گیاه بین  $1/5$  تا  $2\text{MPa}$  گزارش شده است که مقدار  $2\text{MPa}$  به عنوان یک مقدار بحرانی جامعیت یافته است (da Silva et al., 1994).

برای اندازه‌گیری منحنی مشخصه مقاومت فروری خاک، ابتدا نمونه‌های خاک به مقادیر مختلف رطوبتی رسانده شدند. برای همگن‌سازی رطوبت، این نمونه‌های خاک به مدت یک هفته درون کیسه‌های نایلونی قرار گرفتند. پس از تعادل رطوبتی مقاومت فروری آنها توسط ریز فروسنج تمام اتوماتیک اندازه‌گیری شد و سپس میانگین وزنی آنها تعیین گردید. مقادیر  $Q$  با استفاده از ریز فروسنج (زاویه مخروط  $30^\circ$  درجه و قطر قاعده آن  $3\text{mm}$ ) با سرعت فروری برابر  $5\text{ mm min}^{-1}$  در سه تکرار با آرایش راس - های یک مثلث بر روی نمونه‌های دست نخورده اندازه - گیری شد. مقدار فروری در هر تکرار  $25\text{ mm}$  بود و مقاومت فروری در هر یک ثانیه توسط دستگاه قرائت شد. در نهایت میانگین هندسی از مقدار قرائت شده بدست آمد و به عنوان میانگین مقاومت فروری ( $Q$ ) نمونه خاک در

که در آن رطوبت‌ها در مقیاس حجمی می‌باشند. Hendrickson و Veihmeyer (۱۹۳۱) بیان کردند که تمامی آب خاک در محدوده گنجایش زراعی ( $FC$ ) و نقطه پژمردگی دائم (Permanent Wilting Point: PWP) قابل دسترس گیاهان می‌باشد. آب قابل دسترس گیاه (Plant Available Water Content: PAW) با معادله زیر محاسبه گردید (Gardner, ۱۹۶۰):

$$PAW = \int_{h_{FC}}^{h_{PWP}} \frac{d\theta}{dh} dh = \int_{h_{FC}}^{h_{PWP}} C(\theta) dh \quad (12)$$

در این معادله  $FC$  و  $PWP$  حدود بالایی و پایینی آن و  $C(\theta)$  گنجایش ویژه رطوبتی خاک است. مقادیر  $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$   $0.20 < PAW < 0.15$  خوب،  $0.15 < PAW < 0.10$  محدودکننده و  $PAW < 0.10$   $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$  ضعیف در نظر گرفته می‌شود (Warrick, 2002؛ White, 2006)؛ برای خاک‌های ریزبافت مقادیر  $PAW \geq 0.20$   $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$  برای رشد و کارکرد ریشه ایده‌آل می‌باشد.

برای اعمال واقعیت تدریجی بودن تغییرات رشد گیاه و جذب آب توسط ریشه با تغییر مکش ماتریک، مقاومت مکانیکی، تهویه و کاهش هدایت هیدرولیکی، Groenevelt و همکاران (۲۰۰۱) روش گنجایش آب انتگرالی (Integral Water Capacity:  $IWC$ ) را برای محاسبه آب قابل استفاده خاک ارائه دادند. برای این منظور توابع وزنی با توجه به دامنه تغییر محدودیت‌ها، به عنوان ضریب، در مقدار آب لایه خاک ضرب شده و سپس انتگرال‌گیری برای تعیین کل آب قابل استفاده خاک برای گیاه صورت می‌گیرد.

$$IWC = \int_0^\infty \left( \prod_{i=1}^n w_i(h) \right) C(h) dh \quad (13)$$

که در اینجا  $C(h) = |d\theta / dh|$ ، گنجایش ویژه رطوبتی (مشتق یک تابع منحنی مشخصه رطوبتی خاک) بر حسب  $\text{hPa}^{-1}$  و  $w_i(h)$  توابع وزنی برای انواع محدودیت‌های فیزیکی از  $i$  تا  $n$  مکش ماتریک بر حسب  $\text{hPa}$  و  $\Pi$

تهویه‌ای و مقاومت مکانیکی خاک را در یک کمیّت جمع می‌کند؛ از این رو می‌تواند به عنوان شاخصی از کیفیت ساختمان خاک برای تولید محصول استفاده گردد (da Silva *et al.*, 1994). غفاری و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند مقدار شاخص *LLWR* در هر دو سیستم خاکورزی مرسوم و بدون خاکورزی با افزایش جرم ویژه ظاهری تا یک حد مشخص، ابتدا روند صعودی داشت و از آن به بعد کاهش یافت. Bengough و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که توزیع اندازه منافذ خاک و *LLWR* می‌تواند برای پیش‌بینی تاثیر عملیات بی‌خاکورزی بر تجزیه یا تجمع موادآلی خاک کمک کنند. تغییرات در ساختمان خاک در اثر تراکم، سه نوع تاثیر بر *LLWR* دارد: افزایش مقاومت فروروی خاک و کاهش رطوبت در ظرفیت مزرعه (Tarawally *et al.*, 2004) و کاهش تهویه در رطوبت بالا (Czyz, 2004). باید توجه شود که مقادیر منفی برای *LLWR* بی‌معنی بوده و در صورت بدست آمدن مقدار منفی، برابر با صفر پنداشته می‌شود.

### نتایج و بحث

تاثیر کشت و کار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

بطور کلی و به تفکیک مناطق مورد مطالعه مقدار pH اختلاف معنی‌داری بین کاربری زراعی و غیرزراعی نداشت (P ≥ ۰/۰۵) (جدول ۱ و ۲). خاک‌های قلیایی دارای ظرفیت بافری بالایی در مقابل تغییرات pH هستند و این با نتایج تحقیقات مشابه در مناطق نیمه‌خشک همخوانی دارد (Rezapor and Samadi, 2012; Samadi *et al.*, 2008). Wu و Tiessen (۲۰۰۲) بیان کردند که مقدار تغییرات pH می‌تواند دلایل متفاوتی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی اشاره کرد. Ribamar و Siqueira (۱۹۷۹) نشان دادند که عملیات آبیاری اثر یکسانی بر روی میزان pH در همه خاک‌های مطالعه شده

رطوبت مورد نظر پنداشته شد. منحنی مشخصه مربوط به مقاومت فروروی در برابر رطوبت خاک (با ۵ نقطه) با استفاده از مدل تنظیم شده ون‌گنوختن (*vG-model*) (۱۹۸۰) مدل‌سازی شد:

$$Q = Q_{wet} + (Q_{dry} - Q_{wet}) [1 + (\alpha_{Q\theta} \theta)^{n_{Q\theta}}]^{\frac{1}{n_{Q\theta}} - 1} \quad (14)$$

که در آن *Q* مقاومت مکانیکی (فروروی) خاک بر حسب MPa،  $\theta$  رطوبت حجمی خاک بر حسب  $cm^3 cm^{-3}$  و پارامترهای مرتبط با نقطه عطف  $Q_{wet}$ ،  $Q_{dry}$ ،  $\alpha_{Q\theta}$ ،  $n_{Q\theta}$  و شیب تابع مقاومت مکانیکی در برابر رطوبت خاک می‌باشند.

### دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت

دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (Least-Limiting Water Range: *LLWR*) دامنه‌ای از رطوبت است که در آن محدودیتی برای جذب آب به وسیله گیاه، در اثر کمی پتانسیل آب، مقاومت مکانیکی زیاد و کمبود تهویه ایجاد نمی‌شود (da Silva و همکاران، ۱۹۹۴). da Silva و همکاران (۱۹۹۴) حد بالایی (*UL*) را میزان رطوبت در گنجایش زراعی یا تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد، هر کدام که کم‌تر باشد و حد پایینی (*LL*) آن را میزان رطوبت نقطه پژمردگی دائم (مکش ماتریک برابر ۱۵۰۰۰ hPa) یا مقاومت فروروی ۲MPa هر کدام که بیشتر باشد، در نظر گرفتند.

$$LLWR = UL - LL = \int_{h_{UL}}^{h_{LL}} C(h_m) dh_m \quad (15)$$

da Silva و Kay (۱۹۹۷) نشان دادند که رشد گیاه در خاک‌های با دامنه باریک‌تر *LLWR* نسبت به خاک‌هایی با دامنه وسیع‌تر *LLWR* بیشتر در شرایط خشکی (محدودیت مقاومت مکانیکی) تا در بارندگی زیاد (محدودیت تهویه) آسیب می‌بینند. مفهوم *LLWR* سه ویژگی موثر بر رشد گیاه یعنی پتانسیل ماتریک، تخلخل



اختلاف معنی داری بین توزیع اندازه ذرات در کاربری زراعی و غیرزراعی مشاهده نشد ( $P \geq 0/05$ ) (داده‌ها نشان داده نشده است). کاربری‌های زراعی و غیرزراعی مربوط به هر منطقه علیرغم تفاوت اندک در فراوانی نسبی اندازه ذرات دارای کلاس بافتی یکسان بودند (منطقه سیرداغی دارای بافت Silty Clay، و دو منطقه نازلو و زیوه دارای بافت Clay Loam). ذرات رس و سیلت در تمامی زمین‌های مورد مطالعه غالب بود ( $cl+si \geq 70$ ) و لذا خاک‌ها دارای بافت نسبتاً سنگین بودند.

#### شاخص پایداری ساختمان خاک

به‌طور کلی اختلاف شاخص پایداری ساختمان خاک ( $SSI$ ) بین کاربری زراعی و غیرزراعی معنی‌دار شد ( $P \leq 0/05$ ) (جدول ۱). بنابر بازه‌های Pieri (۱۹۹۱) مقادیر کمتر از ۵ درصد خاک‌های بدون ساختمان و حساسیت بالا به فرسایش، بین ۵-۷ درصد ساختمان ناپایدار و احتمال تخریب و دگرگونی خاک و بیش از ۷ درصد ساختمان خاک پایدار است. در خاک‌های مورد مطالعه ما منطقه سیرداغی جز خاک‌های بدون ساختمان و حساسیت بالا به فرسایش، در نازلو کاربری زراعی آن دارای ساختمان ناپایدار و با احتمال تخریب خاک، اما کاربری غیرزراعی آن جز خاک‌هایی با ساختمان پایدار است، در منطقه زیوه کاربری زراعی آن جز خاک‌های با ساختمان پایدار بود اما در زیوه کاربری غیرزراعی آن جز ساختمان ناپایدار با احتمال تخریب خاک طبقه‌بندی شد (جدول ۲).

#### شاخص سله‌بندی

اختلاف شاخص سله‌بندی خاک ( $I_c$ ) بین کاربری زراعی و غیرزراعی معنی‌دار نبود ( $P \geq 0/05$ ) (جدول ۱ و ۲). مقادیر  $I_c$  به مقادیر سیلت ریز و درشت، رس و ماده‌آلی بستگی دارد هر چه مقدار سیلت بیشتر باشد حساسیت خاک به تشکیل سله بیشتر خواهد شد (FAO, 1974).

نداشته بلکه بسته به میزان رس و مقدار ماده آلی خاک تغییرات متفاوت بود. با اینکه مقدار EC در کاربری زراعی نسبت به غیرزراعی، بیشتر بود (جدول ۱ و ۲)، این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود ( $P \geq 0/05$ ). افزایش EC در مناطق خشک و نیمه‌خشک که نرخ آبخش اندک، نرخ تبخیر بالا و عموماً کیفیت آب آبیاری پایین است، قابل انتظار است و در پژوهش‌هایی دیگر نیز گزارش شده است (Walker and Lin, 2008).

تغییرات CCE در حالت کلی معنی‌دار ( $P \leq 0/05$ ) اما به تفکیک هر منطقه غیرمعنی‌دار بود ( $P \geq 0/05$ ). به گونه‌ای که مقدار آن از کاربری غیرزراعی به زراعی افزایش یافت (جدول ۱ و ۲) که این افزایش می‌تواند ناشی از اختلاط خاک سطحی و عمقی غنی از کربنات کلسیم توسط عملیات شخم عمیق باشد (Rezapour and Samadi, 2012).

به‌طور کلی اختلاف ماده‌آلی بین کاربری زراعی و غیرزراعی معنی‌دار بود ( $P \leq 0/05$ ) (جدول ۱). در بررسی تفاوت ماده‌آلی بین کاربری زراعی و غیرزراعی به تفکیک مناطق مورد مطالعه (جدول ۲)، این تفاوت در همه مناطق غیرمعنی‌دار بود ( $P \geq 0/05$ ). با این حال، مقادیر آن از کاربری غیرزراعی به زراعی به جز در منطقه زیوه، که به مقدار خیلی کم در کاربری زراعی بیشتر از غیرزراعی شد، در سایر نقاط کاهش یافت (جدول ۲).

Lal و Tan (۲۰۰۵) بیان داشتند که کاهش و هدررفت کربن به دلیل تغییر کاربری از زمین‌های بکر به کشاورزی و انجام عملیات شخم و کشاورزی، ۵۵-۱۰ درصد بود. هدررفت ۳۵ تا ۶۵ درصدی کربن آلی در مناطق مختلف نیمه‌خشک پس از ۳-۵ سال کشاورزی گزارش شده است (Zach et al., 2006). عموماً، پایین بودن کربن در اراضی کشاورزی به دلیل پایین بودن تولید خالص اولیه نیست، بلکه به دلیل فعالیت‌های بشر و برداشت ماده خشک گیاهی از سطح زمین است (Magdoff and Weil, 2004).



جدول ۱. مقایسه میانگین ( $\pm$  انحراف معیار) ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی بین کاربری‌ها در همه مناطق

ویژگی #	مقدار ویژگی §	
	غیرزراعی	زراعی
$pH(-)$	$7/50 \pm 0/10^a$	$7/41 \pm 0/13^a$
$EC (dS m^{-1})$	$0/48 \pm 0/23^a$	$0/60 \pm 0/30^a$
$CCE (%)$	$16/0 \pm 9/87^b$	$18/87 \pm 10/31^a$
$OM (%)$	$2/70 \pm 0/63^a$	$1/81 \pm 0/65^b$
$SSI (-)$	$7/38 \pm 1/98^a$	$5/16 \pm 2/38^b$
$Ic (-)$	$0/57 \pm 0/12^a$	$0/70 \pm 0/14^a$
$S (-)$	$0/05 \pm 0/00^b$	$0/07 \pm 0/01^a$
$RFC (-)$	$0/75 \pm 0/15^a$	$0/60 \pm 0/12^a$
$AFP (cm^3 cm^{-3})$	$0/18 \pm 0/08^b$	$0/27 \pm 0/05^a$
$PAW (cm^3 cm^{-3})$	$0/15 \pm 0/03^a$	$0/11 \pm 0/03^b$
$\theta_{FC} (cm^3 cm^{-3})$	$0/34 \pm 0/07^a$	$0/27 \pm 0/05^b$
$\theta_{PWP} (cm^3 cm^{-3})$	$0/20 \pm 0/04^a$	$0/15 \pm 0/03^b$

#  $pH$ : اسیدیته،  $EC$ : هدایت الکتریکی،  $CCE$ : کربنات کلسیم معادل،  $OM$ : ماده آلی،  $SSI$ : شاخص پایداری ساختمان خاک،  $Ic$ : شاخص سلبندی،  $S$ : شاخص ساختمان،  $RFC$ : ظرفیت زراعی نسبی خاک،  $AFP$ : ظرفیت تخلخل تهویه‌ای،  $PAW$ : مقدار آب قابل دسترس،  $m_T$ : تخلخل کل،  $\theta_{PWP}$ : رطوبت پژمرده دائم،  $\theta_{FC}$ : رطوبت ظرفیت زراعی.

§ حروف مشابه در بین کاربری‌ها نشان‌دهنده معنی‌داری نبودن و حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌داری بودن تفاوت شاخص مورد نظر است.

جدول ۲. مقایسه میانگین ویژگی‌های ( $\pm$  انحراف معیار) خاک در کاربری‌های زراعی و غیرزراعی در مناطق مورد مطالعه

ویژگی #	سیرداغی		نازلو		زیوه §	
	غیرزراعی	زراعی	غیرزراعی	زراعی	غیرزراعی	زراعی
$pH(-)$	$7/5 \pm 0/1^a$	$7/3 \pm 0/0^a$	$7/6 \pm 0/9^a$	$7/6 \pm 0/0^a$	$7/5 \pm 0/2^a$	$7/3 \pm 0/0^a$
$EC (dS m^{-1})$	$0/3 \pm 0/0^a$	$0/3 \pm 0/1^a$	$0/4 \pm 0/1^a$	$0/5 \pm 0/0^a$	$0/8 \pm 0/1^a$	$0/9 \pm 0/1^a$
$CCE (%)$	$27 \pm 5/8^a$	$32 \pm 1/9^a$	$22 \pm 1/8^a$	$23 \pm 3/2^a$	$5 \pm 0/0^a$	$7 \pm 0/7^a$
$OM (%)$	$2/21 \pm 0/24^a$	$1/47 \pm 0/12^a$	$2/93 \pm 0/24^a$	$1/72 \pm 0/34^a$	$2/45 \pm 0/78^a$	$2/76 \pm 0/49^a$
$SSI (-)$	$4/4 \pm 0/1^a$	$3/0 \pm 0/1^b$	$8/3 \pm 0/4^a$	$5/6 \pm 0/6^a$	$7/5 \pm 1/1^a$	$8/6 \pm 0/2^a$
$Ic (-)$	$0/60 \pm 0/19^a$	$0/66 \pm 0/1^a$	$0/62 \pm 0/04^a$	$0/71 \pm 0/05^a$	$0/59 \pm 0/17^a$	$0/55 \pm 0/07^a$
$S (-)$	$0/05 \pm 0/00^a$	$0/0 \pm 0/9/01^a$	$0/0 \pm 0/5/01^a$	$0/0 \pm 0/7/01^a$	$0/0 \pm 0/5/00^a$	$0/0 \pm 0/6/00^a$
$RFC (-)$	$0/0 \pm 9/00^a$	$0/06 \pm 0/14^a$	$0/65 \pm 0/07^a$	$0/45 \pm 0/07^a$	$0/85 \pm 0/07^a$	$0/65 \pm 0/07^a$
$AFP (cm^3 cm^{-3})$	$0/10 \pm 0/01^a$	$0/31 \pm 0/07^a$	$0/21 \pm 0/04^a$	$0/31 \pm 0/05^a$	$0/12 \pm 0/02^a$	$0/23 \pm 0/02^a$
$PAW (cm^3 cm^{-3})$	$0/17 \pm 0/00^a$	$0/10 \pm 0/04^a$	$0/13 \pm 0/03^a$	$0/09 \pm 0/02^a$	$0/17 \pm 0/00^a$	$0/11 \pm 0/01^a$
$\theta_{FC} (cm^3 cm^{-3})$	$0/37 \pm 0/01^a$	$0/26 \pm 0/06^a$	$0/30 \pm 0/06^a$	$0/20 \pm 0/04^a$	$0/42 \pm 0/01^a$	$0/30 \pm 0/02^a$
$\theta_{PWP} (cm^3 cm^{-3})$	$0/21 \pm 0/02^a$	$0/15 \pm 0/03^b$	$0/16 \pm 0/02^a$	$0/11 \pm 0/02^a$	$0/25 \pm 0/00^a$	$0/16 \pm 0/01^b$

# تعاریف همانند جدول ۱ است. § حروف متفاوت در بین کاربری‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تفاوت شاخص مورد نظر است.

رطوبت اشباع در کاربری زراعی بیشتر از کاربری غیرزراعی و رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم در مقادیر پایین تری برای کاربری زراعی بدست آمد (شکل ۱). در منطقه نازلو نقطه اشباع در یک تکرار از کاربری غیرزراعی بالاتر از کاربری زراعی بود اما رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم آن، مقادیر پایین تری در کاربری زراعی داشت. در منطقه زیوه، در کاربری زراعی مقدار رطوبت در نقطه اشباع، ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم پایین تر از کاربری غیرزراعی بود. در دو منطقه سیرداغی و نازلو از کاربری غیرزراعی به زراعی مقدار رطوبت در نقطه اشباع و در نتیجه تخلخل کل افزایش و اما در زیوه مقدار رطوبت در نقطه اشباع و در نتیجه تخلخل کل از غیرزراعی به زراعی کاهش یافت. تغییرات مقدار رطوبت در نقطه پژمردگی دائم کاهش و با انجام عمل شخم مقدار رطوبت در این نقاط کاهش می یابد.

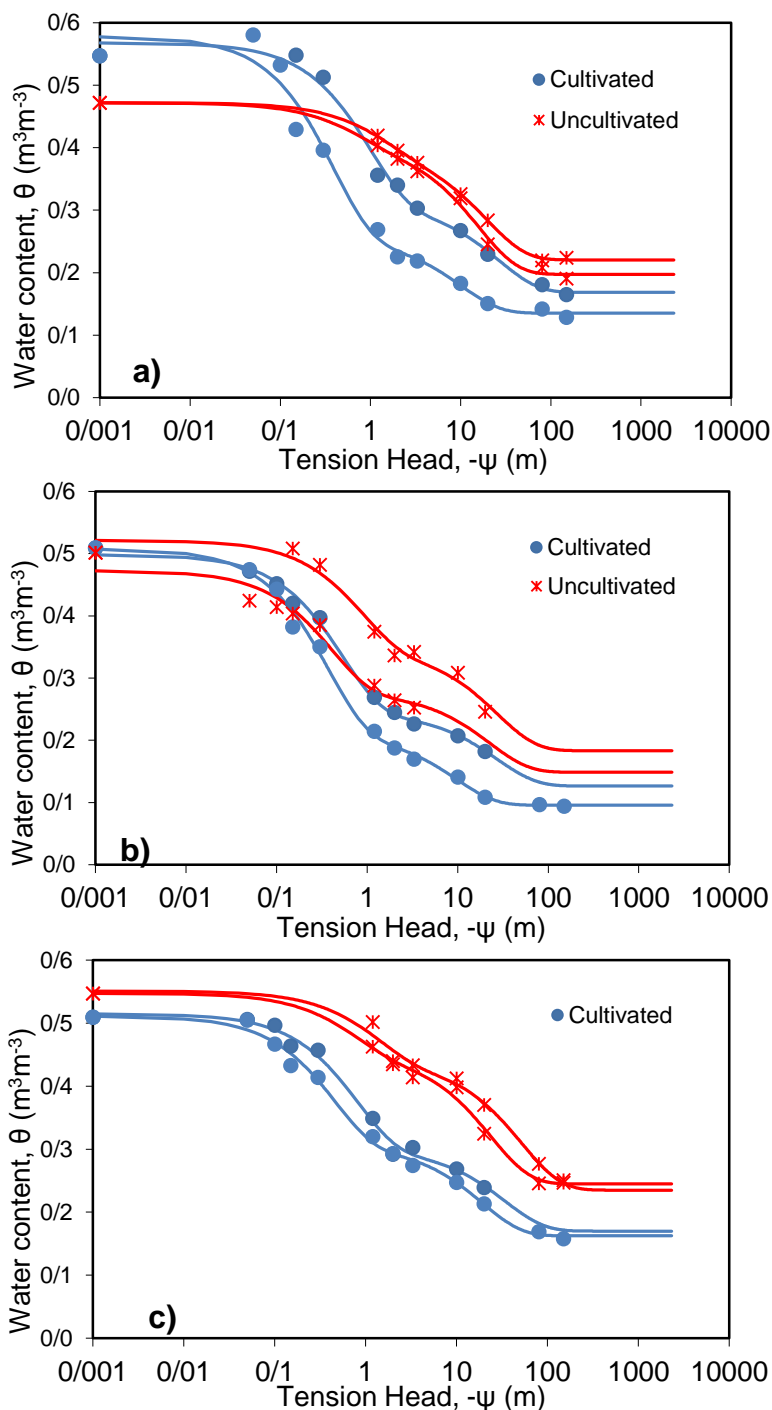
محدوده اندازه منافذ مربوط به FC (در حدود ۵۰ میکرومتر) و محدوده PWP برای گیاهان در حدود ۳-۱۵ میکرومتر است (Ball and Hunter, 1988). محدوده شعاع منافذ در گستره شعاع معادل ۲۵-۰/۲۵ میکرومتر، به عنوان منافذ ذخیره ای پنداشته شدند (Pagliani et al., 2004) و منافذی با شعاع بزرگتر به عنوان منافذ گذرگاهی تلقی گردیدند (Ehlers et al., 1995). اختلاف منافذ بافتی و ساختمانی بین کاربری زراعی و غیرزراعی معنی دار بود ( $P \leq 0/05$ ) (شکل ۳). در بررسی تفاوت منافذ بافتی و ساختمانی بین کاربری زراعی و غیرزراعی به تفکیک مناطق مورد مطالعه، این تفاوت غیرمعنی دار بود ( $P \geq 0/05$ ). در مطالعه دکستر و همکاران (۲۰۰۸) مقدار  $d_M$  به دامنه منافذ مقدار آب قابل دسترس (۳۰-۰/۲ میکرومتر) White (2006) اطلاق گردید، در حالی که مقدار  $d_s$  عمدتاً با اندازه منافذ مربوط به زهکشی و تهویه (۵۰۰-۳۰ میکرومتر) مرتبط است و زهکشی با سرعت بیشتر در منافذ ماکرو با محدوده (۵۰۰-۵۰۰۰ میکرومتر) صورت می گیرد. این طبقه بندی با دسته بندی رینولدز و همکاران (۲۰۱۴)

در خاک های مورد مطالعه در این پژوهش که به طور کلی حساس به تشکیل سله هستند این حساسیت در کاربری های زراعی نسبت به غیرزراعی بیشتر بود (جدول ۲). خاک هایی که درصد بالایی از سیلت در دانه بندی خود دارند، عموماً مستعد فرسایش می باشند. بر اساس Richter و Negendak (۱۹۷۷) خاک هایی با ۴۰ تا ۶۰ درصد سیلت فرسایش پذیرترین خاک ها هستند.

### منحنی رطوبتی و توزیع اندازه منافذ خاک

منحنی رطوبتی دو تخلخلی (شکل ۱) و توزیع حجمی منافذ آن (شکل ۲) حجم و توزیع اندازه منافذ بافتی و ساختاری را نشان می دهد. منافذ بافتی به عنوان منافذ ریز بین ذرات معدنی، و منافذ ساختاری به عنوان ترک های بین منافذ درشت، منافذ زیستی (مثل ریشه راه ها، کرم راه ها و غیره) و فضاهای خالی بین خاکدانه ها را شامل می شود (Dexter et al., 2008; Dexter, 1988). رفتار منافذ بافتی و ساختمانی در خاکدانه ها با هم تفاوت دارند. منافذ بافتی اساساً مربوط به توزیع ذرات اولیه خاک است (شن، سیلت و رس) و منافذ ساختمانی مربوط به شکل، جهت و موقعیت قرارگیری خاکدانه های خاک است (Nimmo, 1997). منافذ بافتی به نسبت پایدارتر از منافذ ساختمانی هستند و منافذ ساختمانی بیشتر تحت تأثیر فرآیندهای طبیعی خاک یا فعالیت های انسانی از جمله شیوه های مدیریت کشاورزی، چرخه های مرطوب و خشک شدن، فعالیت کرم های خاکی و روش های برداشت قرار می گیرند (Pillai and McGarry, 1999). بطور کلی اختلاف رطوبت در نقطه پژمردگی دائم یا ظرفیت زراعی بین کاربری زراعی و غیرزراعی معنی دار بود ( $P \leq 0/05$ ) (جدول ۱). در بررسی تفاوت رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی بین کاربری زراعی و غیرزراعی به تفکیک مناطق مورد مطالعه (جدول ۲)، این تفاوت در همه مناطق غیرمعنی دار بود ( $P \geq 0/05$ ) و برای رطوبت در نقطه پژمردگی دائم در نقاط سیرداغی و زیوه معنی دار ( $P \leq 0/05$ ) و در نقطه نازلو معنی دار بود ( $P \geq 0/05$ ). در منحنی رطوبتی بدست آمده برای منطقه سیرداغی

همخوانی دارد که بر آن اساس مقدار آب قابل دسترس بیشتر توسط منافذ بافتی (PM) و ظرفیت تهویه توسط منافذ ماکرو، به تغییر کاربری بسیار حساس است. ساختمانی (Ps) تعیین می‌شود. تخلخل خاک، بویژه منافذ



شکل ۱. مقایسه منحنی رطوبتی دو تخلخلی خاک بین خاک‌های کشت شده (Cultivated) و کشت نشده (Uncultivated) در مناطق مختلف مورد مطالعه: a: سیرداغی؛ b: نازلو؛ c: زیوه).

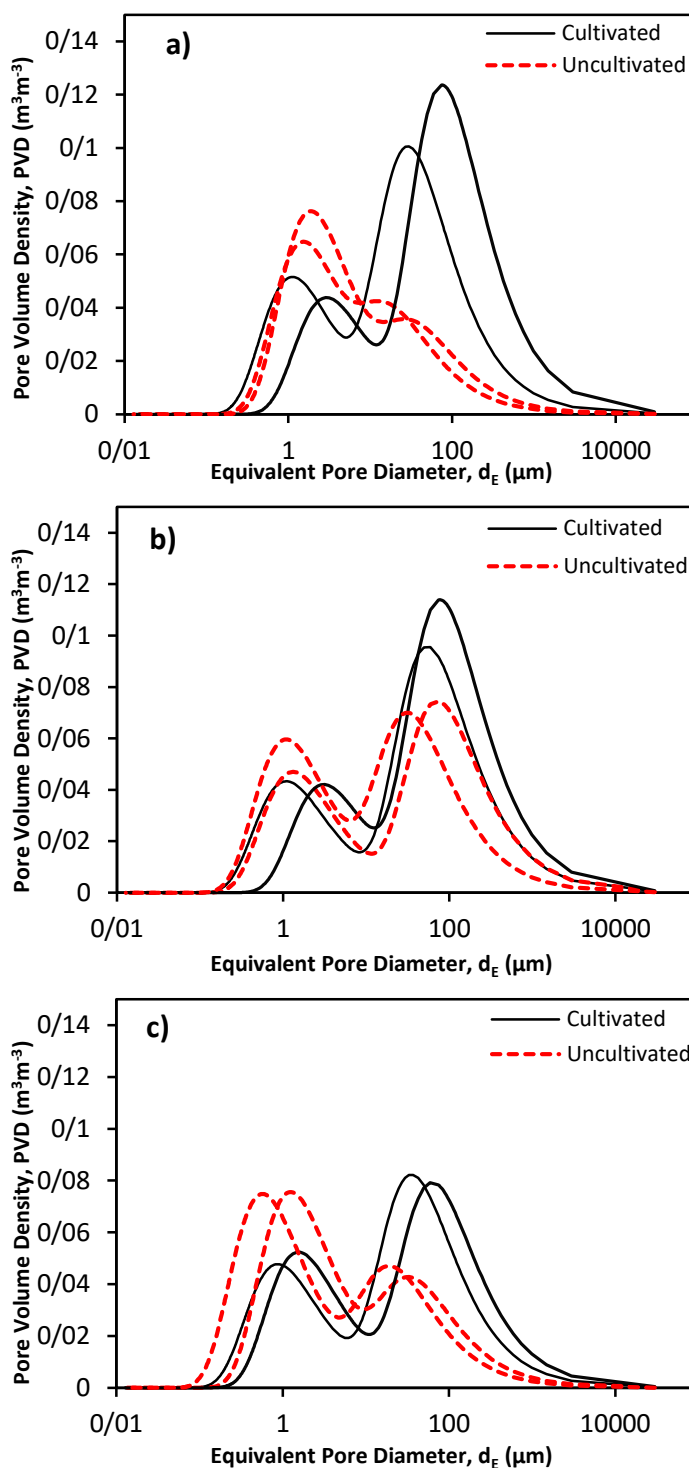
با این حال به دلیل پرخفا بودن این شاخص در خاک- های بدون ساختمان، استفاده از آن بیشتر برای خاک‌های ساختمان‌دار توصیه می‌شود (Reynolds *et al.*, 2009). مقادیر بزرگ‌تر  $S$  نشان‌دهنده فراوانی منافذ ساختمانی و کیفیت فیزیکی بهتر خاک در ارتباط با رشد ریشه، خاک- ورزی و جریان آب در خاک می‌باشد (Dexter, 2004a, b, c). از این رو با افزایش مقدار این شاخص شرایط برای رشد بهتر ریشه و گیاه مناسب‌تر می‌شود. هر چقدر مقدار  $S$  بیش- تر باشد، شدت آب آزاد شده از خاک در نزدیک نقطه عطف که آب قابل استفاده را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بیشتر خواهد بود.

با اینکه مقادیر بدست آمده شاخص  $S$  بیانگر کیفیت فیزیکی مطلوب همه خاک‌های مورد مطالعه (زراعی و غیرزراعی) است، اما در بخش‌های بعدی همبستگی مقدار شاخص  $S$  با سایر شاخص کیفیت خاک نشان می‌دهد که احتمالاً شاخص  $S$  نمی‌تواند به خوبی کیفیت فیزیکی خاک را منعکس نماید.

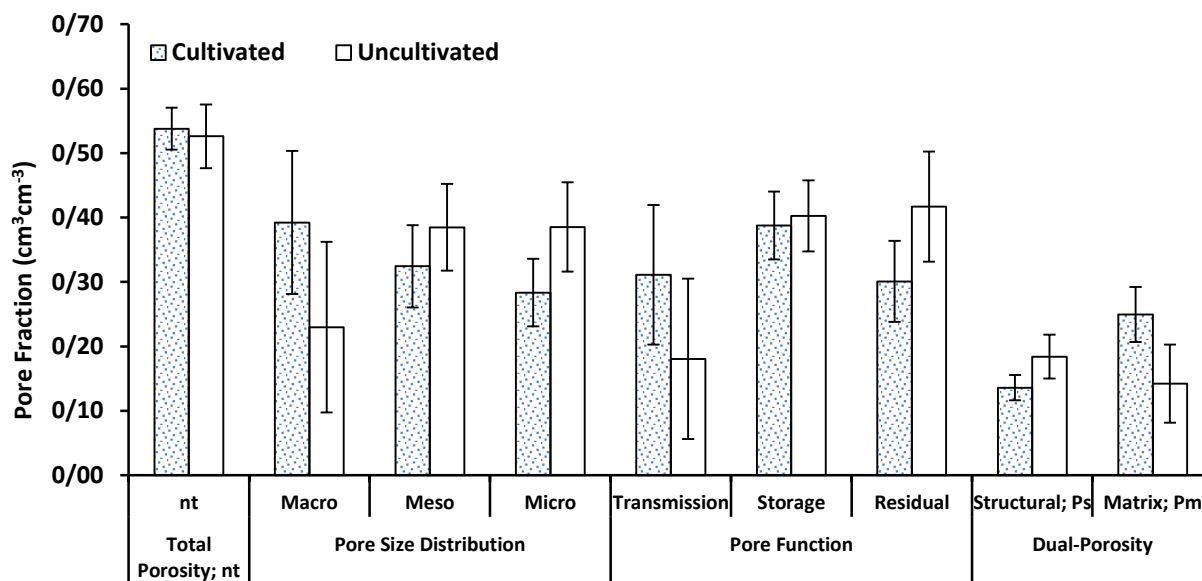
به‌طور کلی اختلاف مقدار آب قابل دسترس بین کاربری زراعی و غیرزراعی معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ) (جدول ۱). در بررسی تفاوت مقدار آب قابل دسترس بین کاربری زراعی و غیرزراعی به تفکیک مناطق مورد مطالعه، این تفاوت در همه مناطق غیرمعنی‌دار بود ( $P \geq 0.05$ ). مقدار این شاخص در زمین‌های مورد مطالعه با تغییر کاربری از غیرزراعی به زراعی کاهش یافت (جدول ۲). Reynolds و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از نمونه‌های دست نخورده از یک خاک لوم رسی تحت شیوه‌های مدیریتی متفاوت، مشاهده کردند که رابطه معنی‌داری بین مقادیر PAW و BD (به عنوان شاخصی از ساختمان خاک) وجود ندارد. آنها بیان کردند که چون PWP و FC به طور مشابهی با افزایش BD افزایش می‌یابند، در نتیجه مقدار PAW ثابت می‌ماند.

اختلاف شاخص  $S$  بین کاربری زراعی و غیرزراعی به- طور کلی معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ) (جدول ۱). در بررسی تفاوت شاخص سله‌بندی بین کاربری زراعی و غیرزراعی به تفکیک مناطق مورد مطالعه (جدول ۲)، این تفاوت در همه مناطق غیرمعنی‌دار شد ( $P \geq 0.05$ ). مقدار این شاخص در زمین‌های مورد مطالعه و با تغییر کاربری از غیرزراعی به زراعی افزایش یافت (جدول ۲). مقادیر این شاخص در زمین‌های مورد مطالعه در محدوده مناسب قرار گرفت (جدول ۲) و از این لحاظ محدودیتی وجود نداشت.

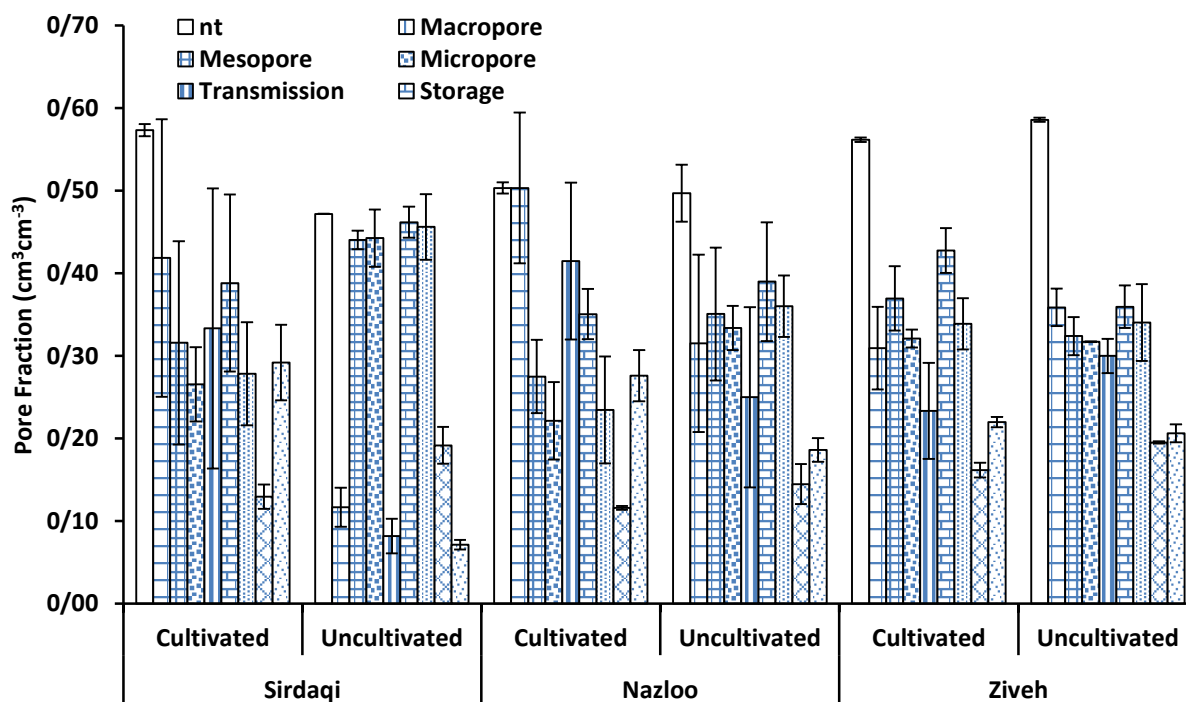
دامنه مناسب  $0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \leq P_M \leq 0.24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ،  $0.30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \leq n_{PAP} \leq 0.13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ،  $0.13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \leq P_s \leq 0.19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ،  $0.42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \leq$  است (Reynolds *et al.*, 2014). تخلخل بافتی با انجام عملیات خاک‌ورزی و از کاربری غیرزراعی به زراعی افزایش یافت و در منطقه نازلو در هر دو کاربری، و در سیرداغی و زیوه در کاربری زراعی مقادیر آن در محدوده ایده‌آل و برای کاربری غیرزراعی در سیرداغی و زیوه محدوده کننده بود (شکل ۴). تخلخل ساختمانی با انجام عملیات خاک‌ورزی و از کاربری غیرزراعی به زراعی کاهش یافت، اما در همه مناطق و در هر دو کاربری مقادیر آن در دامنه مطلوب قرار داشت (شکل ۴). در خاک‌های ریز و متوسط بافت تعداد منافذ ریز بیشتر، در حالی که در خاک‌های با ساختمان منشوری و ساختمان‌دار تعداد منافذ درشت بیشتر می‌شود. کشت و کار همچنین می‌تواند توزیع اندازه منافذ را با ایجاد منافذ موقت و در نتیجه پیوستگی منافذ را تحت تأثیر قرار دهد (Topaloglu, 1999) و همچنین ساختمان خاک را با ایجاد منافذ ماکرو، که بطور چشم‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع را افزایش می‌دهند، تغییر دهد (Bouma, 1991). Kay و VandenBygaart (۲۰۰۲) گزارش کردند که با تبدیل خاک‌ورزی سنتی به روش بدون خاک‌ورزی به‌طور کلی بخش منافذ ۵۰۰-۱۰۰ میکرومتر افزایش و منافذ ۱۰۰-۳۰ میکرومتر کاهش یافت.



شکل ۲. منحنی توزیع منافذ ( $m^3 m^{-3}$ ) در مقابل قطر منافذ ( $\mu m$ ) در خاک‌های تحت کشت (منحنی‌های ممتد) و کشت نشده (منحنی‌های نقطه چین) در مناطق مختلف مورد مطالعه: a) سیرداغی؛ b) نازلو؛ c: زیوه).



شکل ۳. مقایسه تحلیلی تخلخل خاک ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) بین مناطق کشت شده (Cultivated) و کشت نشده (Uncultivated).  
 nt: مجموع منافذ بافتی و ساختمانی، Macro: منافذ درشت  $>30\mu\text{m}$ ، Meso: منافذ متوسط  $0.2-30\mu\text{m}$ ، Micro: منافذ ریز  $<0.2\mu\text{m}$ ، Transmission: گذرگاهی  $>50\mu\text{m}$ ، Storage: ذخیره‌ای  $0.5-50\mu\text{m}$  و Residual: باقی مانده  $<0.5\mu\text{m}$ .



شکل ۴. مقایسه تحلیلی تخلخل خاک ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) بین نقاط کشت شده (Cultivated) و کشت نشده (Uncultivated) در مناطق مختلف مورد مطالعه.

nt: مجموع منافذ بافتی و ساختمانی، Macropore: منافذ درشت  $>30\mu\text{m}$ ، Mesopore: منافذ متوسط  $0.2-30\mu\text{m}$ ، Micropore: منافذ ریز  $<0.2\mu\text{m}$ ، Transmission: گذرگاهی  $>50\mu\text{m}$ ، Storage: ذخیره‌ای  $0.5-50\mu\text{m}$  و Residual: باقی مانده  $<0.5\mu\text{m}$ .

و در کاربری زراعی نازلو کمتر و در کاربری غیرزراعی سیرداغی و زیوه بالاتر از حدود بهینه قرار گرفتند.

#### دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت

اختلاف مقدار دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (LLWR) بین کاربری زراعی و غیرزراعی معنی‌دار نبود ( $P \leq 0/05$ ) (شکل ۵ و ۶). برای محاسبه LLWR منحنی‌های نگه‌داشت آب و مقاومت فروری خاک لازم است. تعیین این ویژگی‌ها به ویژه در آزمایشگاه دشوار و زمان‌بر است که باعث محدود شدن استفاده از مفاهیم LLWR به عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک برای اهداف عملی می‌شود. Asgarzadeh و همکاران (2014) روش‌هایی برای اندازه‌گیری آسان و سریع ویژگی‌های هیدرولیکی و مکانیکی خاک پیشنهاد دادند که می‌توانند برای تعیین سریع‌تر شاخص LLWR به کار روند. Reichert و همکاران (2009) گزارش کردند که AFP برابر  $0/1 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  و مقاومت مکانیکی خاک  $2 \text{ MP}$  که به عنوان محدوده‌های بحرانی در محاسبه LLWR به کار می‌روند برای خاک‌های با آب و هوای نیمه‌گرمسیری مناسب نیستند و گیاه می‌تواند حتی در شرایطی که LLWR برابر صفر است به رشد خود ادامه دهد. Kay و da Silva (1997) نشان دادند که رشد گیاه در خاک‌های با دامنه باریک‌تر LLWR نسبت به خاک‌های با دامنه وسیع‌تر LLWR، بیش‌تر در معرض آسیب از شرایط خشکی (محدودیت مقاومت مکانیکی) یا بارندگی زیاد (محدودیت تهویه) قرار دارند. خاک‌های با LLWR بین  $0/06$  و  $0/05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  دامنه با محدودیت کم و کوچک‌تر از  $0/05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  بحرانی می‌باشند. بنابراین محدوده‌های مورد نظر، در خاک‌های مورد مطالعه برای کاربری غیرزراعی منطقه نازلو دارای محدودیت بحرانی بود و برای سایر مناطق مقادیر محدود کننده نبودند (شکل ۶). مقادیر آن در منطقه زیوه با تغییر کاربری از غیرزراعی به زراعی کاهش، در نازلو افزایش و در سیرداغی ثابت بود. تغییرات در ساختمان خاک در اثر تراکم، سه نوع تأثیر بر

از آنجایی که PAW به تغییرات مدیریتی درازمدت پاسخ معنی‌دار یا مشخصی نمی‌دهد شاخص مناسبی از کیفیت فیزیکی خاک نیست. با افزایش مقدار PAW قابلیت خاک برای ذخیره‌سازی و فراهمی آب برای ریشه گیاه بیشتر شده و رشد گیاه افزایش می‌یابد. هرچند تناقضات زیادی در خصوص قابلیت PAW به عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک وجود دارد اما بیشتر پژوهش‌ها گزارش می‌دهند که PAW شاخص ضعیفی برای نشان دادن وضعیت فیزیکی خاک است (Reynolds et al., 2008). ظرفیت آب در دسترس با توجه به حدود بهینه ( $PAW \geq 0.15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) در کاربری غیرزراعی همه نقاط مورد بررسی و کاربری زراعی زیوه در محدوده بهینه و در کاربری زراعی سیرداغی و نازلو در دامنه محدودکننده قرار گرفت (جدول ۲). براساس این نتایج توانایی خاک‌های در نظر گرفته برای ذخیره آب باران و برای مصارف محصول در دسترس است و این عامل بجز در کاربری زراعی سیرداغی و نازلو محدود کننده نیست. ارتباط خطی قوی بین PAW و  $P_M$  توسط Reynolds و همکاران (2014) بدست آمد از این رو مقدار آب در دسترس گیاهان (PAWC) توسط منافذ بافتی تعیین می‌شود. با استفاده از یک پایگاه داده برای خاک‌های US، Olness و Archer (2005) دریافتند که PAW به طور قابل توجهی با افزایش مقدار کربن آلی (OC) زمانی که دیگر خواص خاک مانند بافت، ساختمان و کانی‌شناسی ثابت هستند، افزایش می‌یابد. بسته به بافت خاک، افزایش یک درصدی در OC باعث افزایش دو یا بیشتر از پنج درصدی در PAW خاک می‌شود.

اختلاف گنجایش ظرفیت نسبی زراعی بین کاربری زراعی و غیرزراعی معنی‌دار نبود ( $P \leq 0/05$ ) (جدول ۱ و ۲). با انجام عملیات خاکورزی گنجایش ظرفیت زراعی خاک‌ها از کاربری غیرزراعی به زراعی کاهش یافت (جدول ۲). بنابراین مقادیر پیشنهاد شده توسط Reynolds و همکاران (2009) برای  $0/7 \leq RFC \leq 0/6$ ، در کاربری زراعی سیرداغی و زیوه، کاربری غیرزراعی نازلو در محدوده بهینه



بهینه  $IWC \geq 0.14$  است و در مقدار  $0.14$  رشد محصول در  $90\%$  درصد شرایط بهینه خود است و با کاهش این مقدار و رسیدن به  $0.11$  آغاز محدودیت و از  $IWC \leq 0.11$  محدودیت بحرانی است (عسگرزاده و خلیفه زاده، ۱۳۹۳). در مناطق مورد بررسی در کاربری غیرزراعی سیرداغی و نازلو محدودیت آغاز شده و در بقیه مناطق مقادیر بهینه و شرایط برای رشد گیاه فراهم است (شکل ۶).

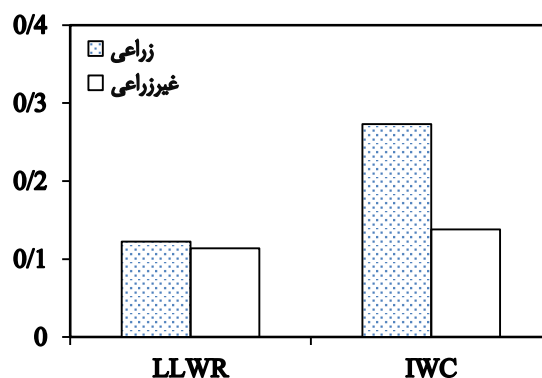
#### همبستگی بین شاخص‌های فیزیکی

جرم ویژه ظاهری نسبی با بیشتر شاخص‌ها همبستگی منفی داشت (جدول ۴) و بطور کلی با افزایش مقدار آن از کیفیت خاک کاسته شد. با این حال تنها با  $n_T$  همبستگی معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) داشت. با افزایش مقادیر جرم ویژه ظاهری نسبی تراکم و فشردگی خاک افزایش و در نتیجه از منافذ خاک کاسته می‌شود. مقدار شاخص سله‌بندی با هیچ کدام از شاخص‌های مورد بررسی همبستگی معنی‌داری نداشت. شاخص پایداری ساختمان خاک تنها با شاخص  $S$  همبستگی معنی‌داری داشت. با این حال، مقادیر شاخص  $S$ ،  $AFP$  و  $PWP$  با بیشتر شاخص‌های کیفیت فیزیکی مورد بررسی در این مطالعه، همبستگی معنی‌داری داشتند (جدول ۴) لذا می‌توان از آنها برای پایش تغییرات کیفیت فیزیکی خاک در اثر مدیریت‌های کشاورزی استفاده نمود.

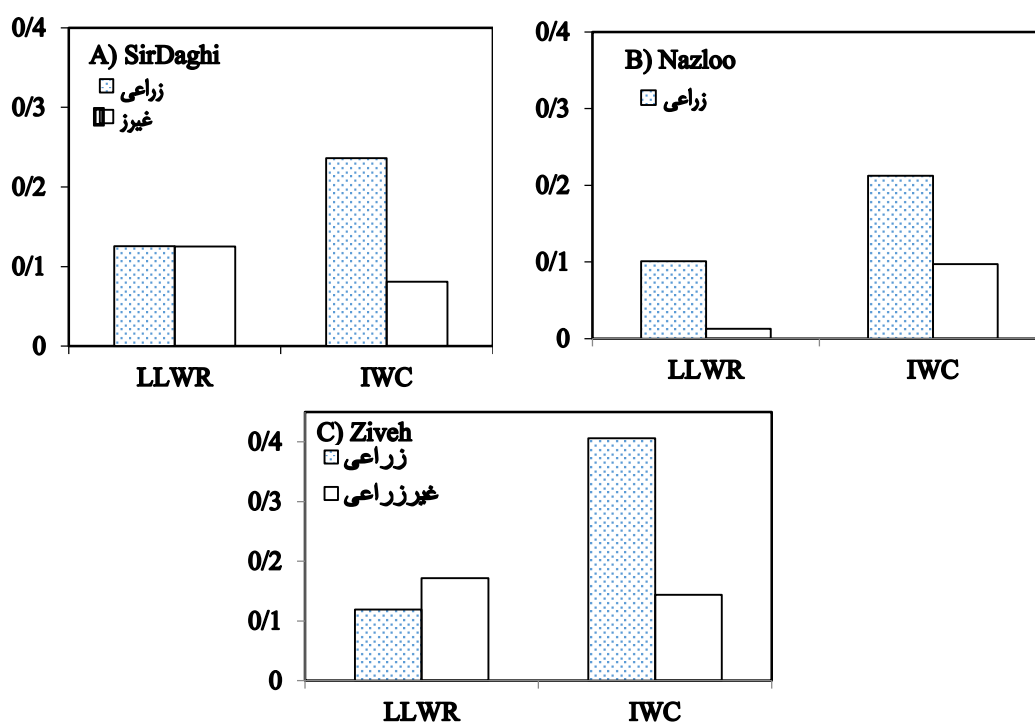
LLWR دارد: افزایش مقاومت فروروی خاک و کاهش رطوبت در ظرفیت مزرعه (Tarawally et al., 2004) و کاهش تهویه در رطوبت بالا (Czyz, 2004). نتایج Guihua و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که تراکم، LLWR را در خاک لومی با کاهش دادن تهویه و افزایش دادن مقاومت خاک و در خاک شنی با افزایش دادن مقاومت خاک کاهش داد.

#### گنجایش آب انتگرالی

اختلاف گنجایش آب انتگرالی (IWC) بین کاربری زراعی و غیرزراعی معنی‌دار نبود ( $P \leq 0.05$ ) (شکل ۵ و ۶). محاسبه IWC نسبت به سایر شاخص‌ها بسیار پیچیده و زمان‌بر است که باعث عدم استقبال از آن در محاسبه آب قابل استفاده و بررسی کیفیت فیزیکی خاک شده است. با افزایش مقدار IWC محدودیت‌های ناشی از مقاومت مکانیکی، تهویه و هدایت هیدرولیکی خاک برای رشد ریشه گیاه کم‌تر شده و در پی آن مقدار نسبی غلظت و جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد. این شاخص قابلیت ارزیابی همزمان کیفیت فیزیکی و شیمیایی را دارد (Groenevelt et al., 2004). Asgarzadeh و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که افزایش BD مقدار LLWR و IWC را کاهش می‌دهد. این نتیجه نشانگر حساس بودن IWC به تغییرات ساختمانی خاک است. مقادیر IWC از کاربری غیرزراعی به زراعی افزایش یافت (شکل ۶).



شکل ۵. شاخص IWC و LLWR ( $cm^3 cm^{-3}$ ) در دو کاربری زراعی و غیرزراعی در مناطق مورد مطالعه.



شکل ۶. شاخص IWC و LLWR ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) به تفکیک در نقاط مورد مطالعه (A: سیرداغی، B: نازلو، C: زیوه).

جدول ۴. همبستگی بین شاخص‌های فیزیکی

	RBD	SSI	Ic	S	AFP	PAW	macro	meso	micro	nt
SSI	-۰/۴۴ <sup>ns</sup>									
Ic	-۰/۰۱ <sup>ns</sup>	-۰/۶۶ <sup>ns</sup>								
S	-۰/۰۶ <sup>ns</sup>	-۰/۵۶ <sup>*</sup>	۰/۲۸ <sup>ns</sup>							
AFP	-۰/۳۰ <sup>ns</sup>	-۰/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۷۲ <sup>**</sup>						
PAW	۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	-۰/۰۳ <sup>ns</sup>	-۰/۶۷ <sup>**</sup>	-۰/۹۳ <sup>**</sup>					
Macro	-۰/۲۲ <sup>ns</sup>	-۰/۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۶۷ <sup>**</sup>	۰/۹۶ <sup>**</sup>	-۰/۹۸ <sup>**</sup>				
Meso	۰/۲۳ <sup>ns</sup>	-۰/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۴ <sup>ns</sup>	-۰/۵۵ <sup>*</sup>	-۰/۹۰ <sup>**</sup>	۰/۹۵ <sup>**</sup>	-۰/۹۶ <sup>**</sup>			
Micro	۰/۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۴ <sup>ns</sup>	-۰/۱۷ <sup>ns</sup>	-۰/۷۳ <sup>**</sup>	-۰/۹۶ <sup>**</sup>	-۰/۹۴ <sup>**</sup>	-۰/۹۷ <sup>**</sup>	۰/۸۶ <sup>**</sup>		
nt	-۰/۶۴ <sup>**</sup>	-۰/۰۴ <sup>ns</sup>	-۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۳۸ <sup>ns</sup>	۰/۴۱ <sup>ns</sup>	-۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۹ <sup>ns</sup>	-۰/۱۵ <sup>ns</sup>	-۰/۲۱ <sup>ns</sup>	
P <sub>M</sub>	-۰/۳۳ <sup>ns</sup>	-۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۰/۲۶ <sup>ns</sup>	۰/۸۴ <sup>**</sup>	۰/۹۱ <sup>**</sup>	-۰/۸۶ <sup>**</sup>	۰/۸۸ <sup>**</sup>	۰/۷۶ <sup>**</sup>	-۰/۹۲ <sup>**</sup>	۰/۳۹ <sup>ns</sup>
P <sub>S</sub>	-۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	-۰/۳۳ <sup>ns</sup>	-۰/۶۲ <sup>*</sup>	-۰/۵۱ <sup>*</sup>	۰/۶۵ <sup>**</sup>	-۰/۵۹ <sup>*</sup>	۰/۵۰ <sup>*</sup>	۰/۶۴ <sup>**</sup>	۰/۲۰ <sup>ns</sup>

ns: غیرمعنی دار؛ \*\*: همبستگی معنی دار در سطح ۱ درصد؛ \*: همبستگی معنی دار در سطح ۵ درصد.

### نتیجه گیری

در منطقه زیوه و نازلو تقریباً دارای ساختمان نسبتاً خوب و پایداری بودند. بررسی‌های آزمایشگاهی تأیید نمود که با انجام عملیات کشت و کار، برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک

مشاهده‌های صحرایی نشان دادند که نوع خاک در منطقه سیرداغی تقریباً خشک و از نظر ساختمانی ضعیف،

کاربری زراعی و غیر زراعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید و یا این تغییرات جزئی بود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که عملیات کشاورزی با روش‌های مرسوم در خاک‌هایی با رژیم رطوبتی خشک‌تر در مناطق خشک و نیمه خشک می‌تواند در درازمدت سبب کاهش کیفیت فیزیکی خاک گردد.

شامل پایداری ساختمان خاک، فراوانی منافذ درشت و ظرفیت زراعی در خاک‌های زراعی نسبت به غیرزراعی کاهش یافت ولی توزیع منافذ ریز، شاخص تشکیل سله، مقادیر S، تهویه و گنجایش آب خاک افزایش یافت. همچنین مشاهده‌های آزمایشگاهی در همخوانی با مشاهده‌های صحرائی نشان داد که در اراضی با شرایط فیزیکی مناسب، بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده در

### منابع مورد استفاده

- غفاری گوشه، ح.، نکویی مهر، م.، و فرزانه، م. ۱۳۹۱. تاثیر خاکورزی بر فاکتورهای فیزیکی موثر بر رشد گیاه با استفاده از شاخص LLWR. مجله پژوهش خاک (علوم خاک و آب). ۲۶(۳): ۲۶۹-۲۷۶.
- Afrasiabi, F., Khodaverdiloo, H., Asadzadeh, F. and van Genuchten, M. Th. 2019. Comparison of alternative soil particle-size distribution models and their correlation with soil physical attributes. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 67(2), 179-190.
- Ahuja, L. R., Fiedler, F., Dunn, G. H., Benjamin, J. G. and Garrison, A. 1998. Changes in soil water retention curves due to tillage and natural reconsolidation. *Soil Science Society America Journal*, 62, 1228-1233.
- Arshad, M. A. and Martin, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88, 153-160.
- Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M. R., Dexter, A. R., Mahboubi, A. A. and Neyshabouri, M. R. 20014. Determination of soil available water for plants: Consistency between laboratory and field measurements. *Geoderma*, 226-227, 8-20.
- Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M. R., Mahboubi, A. A., Nosrati, A. and Dexter, A. R. 2010. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. *Plant and Soil*, 335, 229-244.
- Ball, B. C. and Hunter, R. 1988. The determination of water release characteristics of soil cores at low suctions. *Geoderma*. 43, 195-212.
- Bengough, A. G., Bransby, J. Hans, M. F., McKenna, S. J., Roberts, T. J. and Valentine, T. A. 2006. Root responses to soil physical conditions: growth dynamics from field to cell. *Journal of Experimental Botany*, 57, 437 - 447.
- Bissonnais, Y., Blavet, D., Denoni, G., Asseline, J. and Chenu, C. 2007. Erodibility of Mediterranean vineyard soils: relevant aggregate stability methods and significant soil variables. *European Journal of Soil Science*, 58, 188-195.
- Bouma, J. 1991. Influence of soil macroposity on environmental quality. *Advances in Agronomy*, 46, 1- 37.
- Carter, MR, 2002. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*, 94, 38-47.
- Czyz, E. A. 2004. Effects of traffic on soil aeration, bulk density and growth of spring barley. *Soil and Tillage Research*, 79, 153-166.
- da Silva, A. P. and Kay, B. D. 1997. Estimating least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 877-883.
- da Silva, A. P., Kay, B. D. and Perfect, E. 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science. Society of America Journal*, 58, 1775-1781.
- Dalal, R. C. 1998. Soil microbial biomass, what do the numbers really mean? *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38, 649 - 665.
- Dexter, A. R., Czyz, E. A., Richard, G. and Reszkowska, A. 2008. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. *Geoderma*, 143, 243\_253.
- Dexter, A. R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil and Tillage Research*, 199-238.
- Dexter, A. R. 2004a. Soil physical quality. Part I: Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120, 201-214.
- Dexter, A. R. 2004b. Soil physical quality; Part II: Friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma*, 120, 215-225.

- Dexter, A. R. 2004c. Soil physic quality part III: unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about Stheory. *Geoderma*, 120, 227-239.
- Dexter, A. R., Czyz, E. A., and Gate, O. P. 2007. A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil and Tillage Research*, 93, 412-419.
- Doran J. W. and Jones, A. J. 1996. *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America Special Publication, vol. 49. SSSA. Madison, WI.
- Ehlers, W., Wendroth, O. and de Mol, F. 1995. Characterizing pore organization by soil physical parameters. In: Hartge, K. H., Stewart, B. A. (Eds.), *Soil Structure—Its Development and Function*. *Advances in Soil Science*, 257–275.
- FAO-UNESCO. 1974. *Soil Map of the World 1:5000000*. I-X. UNESCO, Paris, France.
- Gardner, W. R. 1960. Dynamic aspects of water availability to plant. *Soil Science*, 89, 63–73.
- Guihua, C., Ray, R. W. and Robert, L.H. 2014. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. *Soil and Tillage Research*, 136, 61-69.
- Gee, G. H. and Or, D. 2002. Particle size analysis. 2-4 In: A Klute, (ed), *Methods of soil Analysis*. Physical Properties. SSSA, Madison, WI.
- Groenevelt, P. H. Grant, C. D. and Murray, R. S. 2004. On water availability in saline soils. *Australian Journal of Soil Research*, 42, 833–840.
- Groenevelt, P. H. Grant, C. D. and Semetsa, S. 2001. A new procedure to determine soil water availability. *Australian Journal of Soil Research*, 39, 577-598.
- Janzen, H. H. 1995. The role of long-term sites in agroecological research: a case study. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 123\_133.
- Janzen, H. H. 2001. Soil science on the Canadian prairies \_ peering into the future from a century ago. *Canadian Journal of Soil Science*, 81, 489\_503.
- Jena, A. and Gupta K. 2002. Determination of pore volume and pore distribution by liquid extrusion porosimetry without using mercury. *Ceramic Engineer & Science Process*, 23, 277–284.
- Kay, B. D. and VandenBygaart, A. J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research*, 66, 107–118.
- Karlen, D. L., Ditzier, C. A. and Andrews, S. S. 2003. Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114, 145-156.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Kline, R. G., Harris, R. F. and, Schuman, G. E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4–10.
- Karlen, D. L., Andrews, S. S., Wienhold, B. J. and Zobeck, T. M. 2008. Soil quality assessment: Past, present and future. *Journal of Integrative Biosciences*, 6, 3–14.
- Khodaverdiloo, H., Homaee, M., van Genuchten, M. Th. and Ghorbani Dashtaki, Sh. 2011. Deriving and Validating Pedotransfer Functions for some Calcareous Soils. *Journal of Hydrology*, 399, 93-99.
- Lal, R., Mokma, D. and Lowery, B. 1999. Relation between soil quality and erosion, In: *Soil Quality and Soil Erosion*, edited by Lal, R., Soil and Water Conservation Society and CRC Press, Boca Raton, 39-56.
- Magdoff, F. and Weil, R. R. 2004. Strategies for managing organic matter. In: Magdoff, F., Weil, R. R. (Eds.), *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL. 44–65.
- McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney *Methods of soil analysis*. Part 2-Chemical and microbiological properties. (2nd Ed.). *Agronomy*, 9, 199-223.
- Nelson, R. E. and Sommers, L. E. 1982. Total carbon. Organic carbon and organic matter. In: A.L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds) *Methods of soil analysis Part2*. 2nd. *Agron. Monogr.* 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 539-579.
- Nimmo, J. R. 1997. Modeling structural influences on soil water retention. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 712–719.
- Or, D. and Wraith, J. M. 2002. Soil water content and water potential relationships. Pages 49-84 in A. W. Warrick, ed. *Soil physics companion*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Olness, A. and Archer, D. 2005. Effect of organic carbon on available water in soil. *Soil Science*, 170, 90 – 101.
- Pagliai, M., Vignozzi, N. and Pellegrini, S. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research*, 79, 131–143.
- Pieri, C. 1991. *Fertility of soils: A future for farming in the West African savannah*. Springer Verlag, Berlin.
- Pillai, U. P. and McGarry, D. 1999. Structure repair of a compacted Vertisol with wet–dry cycles and crops. *Soil Science Society of America Journal*, 63, 201–210.
- Reichert, J. M., Suzuki, L. E. A. S., Reinert, D. J., Horn, R. and Hakansson, I. 2009. Reference bulk responses to soil compaction from treading and grazing — a review. *Australian Journal of Soil Research*, 46, 237–256.
- Reynolds, W. D., Drury, C. F., Yang, X. M., Tan, C. S. and Yang, J. Y. 2014. Impact de 48 annees de culture

- continue. Incidence de la fertilization et de la gestion des terres sur la qualite physique d'un loam argileux. Canadian Journal of Soil Science, 94, 403-419.
- 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.
- Reynolds, W. D., Drury, C. F., Yang, X. M., Fox, C. A., Tan, C. S. and Zhang, T. Q. 2007. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. Soil and Tillage Research, 96, 316-330.
- Reynolds, W. D., Drury, C. F., Yang, X. M. and Tan, C. S. 2008. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. Geoderma, 146, 466-474.
- Rezapour S., and Samadi A. 2012. Effect of Long-term wastewater irrigation on spatial variability of soil properties in a calcareous landscape of Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 184, 1311-1323.
- Rhoades, J. D. 1996. Electrical conductivity and total dissolved solids. P. 417-436. In Sparks, D. L. *et al.*, Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of American. Inc. Am Society. Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Ribamar-Pereira, J. and Siqueira, F. 1979. Alterações nas características químicas de um oxissolo sob irrigação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 14 (2), 189-195.
- Richter, G. and J. F. W. Negendank. 1977. Soil erosion processes and their conservation. SWCS.
- Samadi A., Dovlati, B. and Barin M. 2008. Effect of continuous cropping on potassium forms and potassium adsorption characteristics in calcareous soils of Iran. Australian Journal of Soil Research, 46 (3), 265-272.
- Shirazi, M. A., Boersma, L. and Johnson, C. B. 2001. Particle-Size Distributions: Comparing Texture Systems, Adding Rock, and Predicting Soil Properties. Soil Science Society of America Journal, 65, 300-310.
- Soane, B. D. and van Owerkerk, C. 1994. Soil Compaction in Crop Production. Elsevier, Amsterdam, 662.
- Spaans, E. J. A., Baltissen, G. A. M., Bouma, J., Miedema, R., Lansu, A. L. E., Schoonderbeek, D. and Wielemaker, W. G. 1989. Change in physical properties of young and old volcanic surface soils in Costa Rica after clearing of tropical rain forest. Hydrological Processes. 3(4), 383-392.
- Tarawally, M. A., Medina, H., Frometa, M. E. and Itza, C. A. 2004. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. Soil and Tillage Research, 76, 95-103.
- Topaloglu, F. 1999. Comparing tillage techniques by using a new infiltration method. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, 609- 614.
- van Genuchten, M. Th. 1980. A closed- form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, 44, 892- 898.
- Veihmeyer, F.J. and Hendrickson, A. H. 1931. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. Soil Science, 32, 181-193.
- Walker C., and Lin H. S. 2008. Soil property changes after four decades of wastewater irrigation: A landscape perspective. Catena, 73, 63-75.
- Warrick, A. W. 2002. Soil Physics Companion. CRC Press LLC, Boca Raton, USA.
- White, R. E. 2006. Principles and Practice of Soil Science, 4th edition. Black well Publishing, Oxford, UK.
- Wu, R. and Tiessen, H. 2002. Effect of land use on soil degradation in Alpine grassland soil, China. Soil Science Society of America Journal, 66, 1648-1655.
- Zach, A., Tiessen, H. and Noellemeyer, E. 2006. Carbon Turnover and Carbon-13 Natural Abundance under Land Use Change in Semiarid Savanna Soils of La Pampa, Argentina. Soil Science Society of America Journal, 1541-1546.



## Changes in quality of soils with different moisture regimes as affected by cultivation: with an emphasis on soil physical quality

Delnia Bapiri<sup>1</sup>, Habib Khodaverdiloo<sup>2\*</sup>, Mohsen Barin<sup>3</sup>, and Yubert Ghoosta<sup>4</sup>

1) M.Sc. of Soil Sciences, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, Iran.

2\*) Associate Professor of Soil Sciences, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, Iran.

\*Corresponding author email: [h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir](mailto:h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir)

3) Assistant Professor of Soil Sciences, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, Iran.

4) Associate Professor of Plant Protection, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, Iran.

Received: 08-05-2019

Accepted: 27-01-2020

### Abstract

Agricultural practices may decline the quality of soils. Knowing the temporal changes of soil quality in the agriculture lands is crucial for optimal management of lands and to achieve the maximum economic efficiency. In this study, some physical characteristics of four cultivated soil were compared with neighboring non-cultivated soils as control treatments. A given site, four soil samples (including two soil samples from cultivated lands and the two soil samples from adjacent non-cultivated lands) were collected. Soil structural stability, soil moisture retention curves, particle size distribution and porosity of soil, mechanical strength, plant available water and aeration, relative field capacity, integral water capacity was measured. Generally, in the cultivated lands, soil organic matter content (1.81 vs. 2.70 %), soil structural stability (5.2 vs. 7.4), microporosity (0.28 vs. 0.39), field capacity (0.27 vs. 0.34) and permanent wilting point (0.15 vs. 0.20) water contents and plant available water content (0.11 vs. 0.15) were decreased ( $P \leq 0.05$ ) in comparison with the uncultivated lands. However, the macroporosity (0.39 vs. 0.23) and soil sensitivity to crusting (0.70 vs. 0.57) were increased ( $P \leq 0.05$ ) compared to the uncultivated lands. It could be concluded that agricultural practices decline the soil quality and there is a need to take measures to avoid their negative impacts through proper management.

**Keywords:** Agricultural practice; Pore size distribution; Soil degradation; Soil physical quality