ارزیابی عمق زیرشکن زدن مزارع بازرویی نیشکر بر برخی شاخص‌های خاک و گیاه

علی محوحی[۱*]، حسنعلی خاتین‌زاده[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰)

چکیده

عملیات سنگین تهیه زمین و تسطیح در کشت نیشکر خوزستان، باعث تخریب ساختمان خاک شده و خاک را در هنگام عملیات برداشت مستعد فشردگی می‌کند. به‌منظور کاهش اثرات فشردگی خاک و بهبود توسعه ریشه، عملیات زیرشکن‌زنی (زیرشکن‌زنی) در مزارع سنین بازرویی نیشکر مرسوم است. از آنجایی که زیرشکن‌زنی زیرشکن‌زنی، به‌طور مستقیم بر توسعه ریشه نیشکر تأثیرگذار است، بنابراین این پژوهش با هدف بررسی عمق زیرشکن‌زنی زیرشکن‌زنیمزارع بازرویی نیشکر بر جرم ویژهویژه ظاهری خاک و اثر آن بر توسعه ریشه گیاه و به دنبال آن، عملکرد کمّی و کیفی نیشکر انجام شد. برای این منظور، عملیات زیرشکن‌زنی زیرشکن‌زنیدر دو عمق ۳۰ (R-30) و ۵۰ (R-50) سانتی‌متری، اعمال و با شاهد (بدون زیرشکن‌زنیزیرشکن‌زنی) مقایسه گردید. در پایان رشد و پیش از برداشت، عملکرد کمّی شامل ارتفاع، قطر، تعداد ساقه و نیز وزن تَر ساقه نیشکر در واحد سطح در سه تکرار تعیین شد. پس از برداشت، توسعه ریشه نیشکر در اعماق مختلف خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد عمق زیرشکن‌زنی به‌طور قابل‌توجهی ارتفاع نیشکر، تراکم نی در متر مربع، وزن ساقه، عملکرد نیشکر قابل آسیاب، عملکرد شکر و جرم ویژهویژه ظاهری خاک در عمق ۵۰ سانتی‌متری (BD_{50}) را تحت تأثیر قرار داد. تیمار R-50، ارتفاع (۲۸/۲ درصد)، تعداد ساقه (۵/۷ درصد)، وزن تک نی (۴۲ درصد)، عملکرد نیشکر (۵۵ درصد) و شکر (۵۳ درصد) را نسبت به شاهد افزایش و جرم ویژهویژه ظاهری در عمق ۵۰ سانتی‌متر را کاهش (۳/۶ درصد) داد. اما تیمار R-30، افزایش جرم ویژه ظاهری خاک (۳/۶ درصد) و کاهش عملکرد نیشکر (۱۲/۸ درصد) را نسبت به شاهد به دنبال داشت. هم‌چنین، وزن ریشه، در تیمار R-50 در مقایسه با شاهد و به ویژه R-30 بیش‌تر بود. علاوه بر این، بیش از ۵۰ درصد توزیع ریشه در تیمار R-30 در لایه ۱۰ سانتی‌متر اول خاک مشاهده شد. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که عملیات ناقص زیرشکن‌زنی در عمق۳۰ سانتی‌متر، نه تنها اثر مثبت بر فاکتورهای مورد مطالعه نداشته، بلکه افزایش جرم ویژه ظاهری خاک، گسترش سطحی‌تر ریشه و در نتیجه، کاهش عملکرد نیشکر را به دنبال داشته است. به عبارت دیگر، محدودیت توسعه ریشه به اعماق خاک، سبب تراکم بیش‌تر ریشه در سطح خاک شده و باعث جذب مواد غذایی در حجم محدودتری از خاک می‌شود که در نهایت، کاهش رشد گیاه و عملکرد نیشکر را به دنبال داشت.

واژه‌های کلیدی: فشردگی خاک، زیرشکن‌زنی، جرم ویژه ظاهری خاک، نیشکر، توسعه ریشه

محوحی ع.، خاتین زاده ح.ع. ۱۴۰۰. ارزیابی عمق زیرشکن زدن مزارع بازرویی نیشکر بر برخی شاخص‌های خاک و گیاه. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۹، شماره ۳. صفحه: ۱۳۴-۱۴۶.

۱- دکتری خاک‌شناسی، گروه تحقیقات کشاورزی، کشت و صنعت کارون، شوشتر، ایران

۲- کارشناس خاک‌شناسی، گروه تحقیقات کشاورزی، کشت و صنعت کارون، شوشتر، ایران

* پست الکترونیک: alimahohi@yahoo.com

مقدمه

در مزارع تحت کشت تک محصولی نیشکر که از عملیات تهیه زمین تا برداشت آن بصورت مکانیزه انجام می‌شود، غالباً ساختمان خاک ضعیف و متراکم می‌باشند. مدیریت مناطقی که با نیشکر کشت می‌شوند، بر پایه اختلاط عمیق خاک توسط ماشین آلات سنگین در طول تهیه و کاشت است. خاک‌ورزی شدید پیش از کاشت، استفاده از ماشین‌های سنگین برداشت و حمل و نقل نی که اغلب در شرایط رطوبتی نامناسب انجام می‌شود، از جمله عوامل مؤثر بر تخریب ساختمان خاک می‌باشند (Pankhurst, *et al*, 2003; Cheong *et al*, 2009; Torres *et al*, 2013). تخریب ساختمان خاک بر میزان منافذ درشت خاک، اندازه خاکدانه‌ها، نفوذ آب، جرم ویژه ظاهری و مقاومت در برابر نفوذ تأثیر می‌گذارد (Camargo *et al*, 2010) که به نوبه خود باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود (Vischi Filho *et al*, 2017). افزایش جرم ویژه ظاهری خاک یکی از شاخص‌های فیزیکی مقدار فشردگی خاک به شمار آمده که در نتیجه آن، کاهش خلل و فرج بزرگ خاک به وجود آمده و آن را تراکم خاک می‌نامند. چنین فرآیندی منجر به کاهش حجم و پیوستگی منافذ، کاهش نفوذپذیری خاک، افزایش مقاومت مکانیکی و تخریب ساختمان خاک می‌شود. از جمله عواملی که بر تراکم خاک مؤثر بوده و محدودیت رشد و توسعه ریشه گیاه را به دنبال دارند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱) ویژگی‌های ذاتی مربوط به پیدایش و تکامل خاک (مقدار و نوع رس‌های خاک و مقدار ماده آلی)، ۲) انقباض خاک در اثر خشک شدن (ناشی از چسبندگی و پیوستگی ذرات)، ۳) آبیاری سطحی (ناشی از پر شدن خلل فرج خاک توسط ذرات حاصل از وارفتگی کلوخه‌ها و خاکدانه‌های ناپایدار خاک شده)، و ۴) عبور تراکتور و سایر ماشین‌های کشاورزی روی خاک، به‌ویژه در حالتی که مقاومت مکانیکی خاک (به‌علت زیاد بودن مقدار رطوبت خاک) کم بوده و امکان صدمه به ساختمان خاک وجود دارد (Reichert *et al*, 2007; Otto *et al*, 2011). بنابراین، از یک سو به‌علت کمبود ماده آلی خاک و از سوی دیگر، عملیات سنگین تهیه و تسطیح زمین در کشت نیشکر خوزستان، منجر به تخریب ساختمان خاک شده و خاک را در هنگام عملیات برداشت مستعد فشردگی می‌کند. بنابراین، تراکم خاک یک معضل اساسی در مزارع نیشکر خوزستان بوده که دشواری‌های زیادی هم‌چون نبود تهویه کافی و محدودیت در دسترس بودن آب و مواد غذایی را به دنبال دارد. در پاسخ به محیط خاک، ریشه‌ها تحت تأثیر پاسخ گیاهان به تنش‌ها دچار تغییرات فنوتیپی می‌شوند (Smith et al, 2005). بنابراین، سیستم ریشه اولین مؤلفه گیاهی است که اثرات تراکم خاک را احساس می‌کند و باعث محدودیت در توسعه ریشه شده و منجر به اثرات منفی بر رشد و بهره‌وری گیاه می‌شود (Reichert *et al*, 2007; Otto *et al*, 2011). بر اساس نظر هامبرت (Humbert, 1968)، با افزایش جرم ویژه ظاهری خاک از ۱/۱ به ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب، توسعه ریشه نیشکر به‌تدریج کند می‌شود. هانسیگی (Hunsigi, 2001) جرم ویژه ظاهری بهینه خاک برای رشد ریشه نیشکر در دامنه ۱/۲ تا ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب گزارش کرده است. حد بحرانی جرم ویژه ظاهری خاک برای رشد ریشه نیشکر در دامنه ۱/۸ تا ۱/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که در این حد از فشردگی خاک، رشد و توسعه ریشه متوقف می‌شود (Humbert, 1968). نوع بافت خاک بر حد بحرانی جرم ویژه ظاهری خاک برای ریشه گیاه اثرگذار است، بنابراین، حد بحرانی جرم ویژه ظاهری، به‌عنوان تابعی از درصد رس خاک بیان شده و برای مستقل نمودن جرم ویژه ظاهری بحرانی از بافت خاک، از کمیت جرم ویژه ظاهری نسبی (درجه تراکم) استفاده شده است (Håkansson & Lipiec, 2000). تراکم، مقاومت مکانیکی خاک را افزایش داده و به دنبال آن بر نفوذ ریشه گیاه در خاک تأثیر منفی دارد. در واقع ریشه برای نفوذ در خاک، باید حفره‌ای به اندازه حجم خود در خاک ایجاد نماید. این امر در نهایت منجر به کاهش و یا توقف رشد ریشهٔ گیاه خواهد شد. لرزاده و همکاران (Lorzadeh, *et al*, 2002) نشان دادند با افزایش بیش‌تر تراکم خاک تا ۳۲۵۰ کیلوپاسکال، ارتفاع گیاه، تعداد ساقه در واحد سطح، وزن ماده خشک برگ، ساقه و عملکرد نیشکر در سطح احتمال پنج درصد کاهش یافت، اما از دیدگاه کیفی، تراکم خاک بر عملکرد ساکارز اثر معنی‌داری نداشت. عملکرد قسمت‌های هوایی گیاهان، بازتابی از توزیع و فعالیت سیستم ریشه‌ای است. از سوی دیگر، چگونگی توسعه ریشه گیاهان کشت‌شده از نظر وضعیت، گسترش و فعالیت‌های منجر به جذب آب و عناصر غذایی در مراحل گوناگون رشد، در تولید محصول، بسیار مهم می‌باشد

(Vischi Filho *et al*, 2017; Alameda *et al*, 2012). از آنجایی که زیرشکن‌زنی (زیرشکن‌زنی)، به‌طور مستقیم بر محل توسعه ریشه تأثیرگذار است؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی عمق زیرشکن‌زنی مزارع بازرویی نیشکر بر جرم ویژه ظاهری خاک و اثر آن بر توسعه ریشه گیاه و به دنبال آن، عملکرد کمّی و کیفی نیشکر انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ و به‌منظور بررسی پاسخ نیشکر (رقم CP48-103، سن بازرویی اول (R1)) به عمق مختلف زیرشکن‌زنی در یکی از مزارع شرکت کشت و صنعت کارون (طول ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض ۳۱ درجه ۵۵ دقیقه شمالی) در استان خوزستان، اجرا شد. از نظر اقلیمی بر اساس داده‌های هواشناسی خوزستان، در منطقه مورد مطالعه، متوسط بارندگی سالیانه در حدود ۲۹۰ میلی‌متر و متوسط بیشینه و کمینه دمای سالیانه به ترتیب ۲۳ و ۳۱ درجه سلسیوس می‌باشد. به طورکلی، اقلیم منطقه جزء اقلیم‌های گرم و خشک و بافت خاک اغلب مزارع نیمه‌سنگین محسوب می‌شود. به‌طور مرسوم، پس از برداشت نیشکر و به‌منظور نرم‌سازی و تهویه خاک بین ردیف‌های کاشت، زیرشکن‌زنی (عملیات راتونینگ) توسط بولدوزر به عمق ۴۵ تا ۵۰ سانتی‌متر و در رطوبت حدود ۱۴ درصد انجام می‌گیرد. مرحله بعد، اجرای دیسک زنی بین ردیف‌های کاشت به‌منظور کاهش اندازه کلوخه‌ها و شکل‌دهی مجدد به پشته‌ها (Reshape) می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر عمق زیرشکن‌زنی بر جرم ویژه ظاهری خاک و شاخص‌های کمّی و کیفی نیشکر، طرح کاملاً تصادفی در مساحت دو هکتاری به ازای هر تیمار با سه تکرار در دو عمق ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر برای عملیات زیرشکن‌زنی توسط بولدوزر D8 (یک ناخن در هر فارو با عرض پاشنه ۴۵ سانتی‌متری) انجام شده (شکل ۱) و بخشی از مزرعه بدون زیرشکن‌زنی به‌عنوان تیمار شاهد درنظر گرفته شد.

شکل ۱- نحوه انجام عملیات زیرشکن‌زنی توسط بولدوزر-D8
Figure1. Subsoiling operations with bulldozer-D8

پیش از تیمار، نمونه‌برداری از عمق ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک به‌منظور بررسی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک از جمله تعیین هدایت الکتریکی (EC) (Rhoades, 1986) و pH (Thomas, 1996) در عصاره اشباع خاک، به ترتیب از Ec متر و pH متر استفاده گردید. درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم (Loeppert & Suarez, 1996) و کربن آلی (به روش اکسیداسیون تَر) (Nelson & Sommers, 1996) تعیین گردید. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986) اندازه‌گیری و کلاس بافت خاک به کمک مثلث بافت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) تعیین گردید.

در پایان دوره داشت گیاه، فاکتورهای کمّی نیشکر شامل ارتفاع، قطر، تراکم نی در واحد سطح، وزن تک ساقه، عملکرد نیشکر قابل آسیاب و عملکرد شکر در سه تکرار اندازه‌گیری شد. علاوه براین، به‌منظور بررسی اثر زیرشکن‌زنی بر تراکم خاک به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر

توسعه ریشه، جرم ویژه ظاهری (BD) در سه تکرار اندازه-گیری شد. بدین منظور، از هر تکرار دو نمونه دست-نخورده از حاشیه پشته‌ها در دو عمق ۳۰ (دامنه عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری، BD_{30}) و ۵۰ (دامنه عمق ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متری، BD_{50}) سانتی‌متری سطح خاک برای اندازه-گیری جرم ویژه ظاهری تهیه گردید. برای تهیه نمونه‌های دست‌نخورده از دستگاه نمونه‌برداری (Core sampler) و استوانه‌هایی به قطر پنج و ارتفاع چهار سانتی‌متر استفاده شد (شکل ۲). برای ارزیابی تراکم‌پذیری (degree of compactness (DC)) خاک‌های مورد بررسی، صرف نظر از نوع (بافت) خاک، از شاخص دیگری تحت عنوان جرم ویژه ظاهری نسبی (RBD) استفاده شد. برای محاسبه این شاخص در ابتدا جرم ویژه ظاهری مرجع (BD_{Ref}) با توجه به درصد رس خاک و با استفاده از معادله جونز (Jones, 1983) محاسبه شد.

$$BD_{Ref}\ (g\ cm^{-3}) = 1.985 - 0.00857 \times Clay\ \%$$

$$\text{RBD or DC} = \frac{BD}{BD_{Ref}}$$

شکل ۲- دستگاه نمونه‌برداری خاک دست‌نخورده

Figure2. Core sampler for intact soil sampling

پیش از برداشت، عملکرد کمّی شامل اندازه‌گیری ارتفاع و قطر نی، تعداد نی در واحد سطح و نیز وزن تَر ساقه در واحد سطح اندازه‌گیری شد. پس از حذف سر نی، محصول اقتصادی ساقه تعیین و شربت ساقه‌ها به‌وسیله پرس هیدرولیک استحصال شد. مقدار ساکارز و درصد مواد جامد محلول شربت بر حسب بریکس (Brix) به‌ترتیب با استفاده از ساکاریمتر (Saccharimeter) و رفرکتومتر (Refractometer) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس تعیین گردید. پولاریزاسیون (Polarization) واقعی شربت با استفاده از جدول استاندارد و ضریب اصلاحی مربوطه محاسبه و خلوص شربت، از نسبت درصد ساکارز به درصد مواد جامد محلول شربت (بریکس شربت) تعیین شد. میزان ساکارز قابل استحصال (Recoverable Sucrose, RS) با استفاده از فرمول‌های استاندارد محاسبه شد (Rice & Hebert, 1972; Meade & Chen, 1977).

$$\text{Sucrose}\ (\%) = \frac{POL \times 26}{105.811 + [(Brix - 15) \times 0.44]}$$

$$CBrix = Brix + (Temperature - 20) \times 0.075$$

$$96°\ sugar = [(Sucrose \times 21.058) - (CBrix \times 6.15)] \times VCF$$

که در آن Pol: پولاریزاسیون واقعی شربت بر حسب درصد، CBrix: بریکس اصلاحی بر اساس دمای ۲۰ درجه سلسیوس، 96° Sugar: شکر قابل استحصال (kg sugar per ton cane) و VCF: فاکتور تصحیح واریته‌ای (Rice & Hebert, 1972). پس از برداشت، از هر تکرار حجم مشخصی از خاک پشته به‌منظور بررسی توسعه ریشه در عمق‌های مختلف خاک جمع‌آوری گردید (شکل ۳). پیش

از انجام تجزیه‌های آماری، ابتدا پیش‌فرض‌های تجزیه واریانس از قبیل همگنی واریانس و توزیع نرمال داده‌های خام بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل خطی جامع (General Linear Model) توسط نرم-افزار SAS در سه تکرار انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. به‌منظور بررسی ارتباط بین متغیرها، ضریب همبستگی پیرسون (Pearson's Correlation) در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS محاسبه گردید.

شکل ۳- نمونه‌برداری ریشه نیشکر به منظور بررسی توسعه ریشه

Figure 3. Sugarcane root sampling for investigation of root extension

نتایج و بحث

خاک مزرعه مورد مطالعه در کلاس بافتی لومی رسی سیلتی، با میانگین ۳۶ درصد رس قرار داشت (جدول ۱). مقدار زیاد آهک (۴۱ درصد) در خاک مورد مطالعه نیز می‌تواند سبب کاهش ویژگی‌های شکل‌پذیری و نگه‌داشت آب در خاک شود (Barzegar *et al*, 2005). هم‌چنین جرم ویژه ظاهری خاک در مزارع تحت کشت و کار دراز مدت (بیش از ۴۰ سال) نیشکر به طور میانگین ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب تعیین گردید که از مقدار محدودکننده (۱/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بیش‌تر بود (جدول ۱). برزگر و همکاران (Barzegar *et al*, 2005) گزارش کردند کشت و کار دراز مدت نیشکر منجر به افزایش جرم ویژه ظاهری، کاهش پایداری ساختمان و افزایش منافذ ریز خاک می‌شود.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Some physiochemical soil properties that used for this experiment

Parameters	unit	Value	Parameters	unit	Value
Sand	%	20	Electrical conductivity (EC)	dS m^{-1}	1.56
Silt	%	44	pH	-	7.8
Clay	%	36	Bulk density (BD)	g cm^{-3}	1.70
Soil texture	-	Silty Clay Loam	Reference of bulk density (BD_{Ref})	g cm^{-3}	1.68
Soil organic carbon	%	0.4	Relative bulk density (RBD)	-	1.01
$CaCO_3$	%	41			

جرم ویژه ظاهری نسبی (RBD) در خاک مورد مطالعه، بر اساس مقادیر جرم ویژه ظاهری و مرجع محاسبه شد (جدول ۱). نتایج هکنسون و لیپیک (Håkansson and Lipiec, 2000) و ریچرت و همکاران (Reichert *et al*, 2009) نشان داد مقدار بهینه RBD برای رشد و نمو ریشه و جذب عناصر غذایی در دامنه ۰/۸۵ تا ۰/۹۰ قرار دارد.

مقایسه مقادیر RBD محاسبه شده با مقدار بهینه پیشنهادی نشان می‌دهد که مقادیر بدست آمده از حدود بهینه بیش‌تر است که بیانگر تراکم و فشردگی بیش از حد خاک‌های مزارع نیشکر می‌باشد. یکی از اثرات تراکم خاک، کاهش تهویه خاک است که عمدتاً به خاطر تغییر در توزیع اندازه خلل و فرج خاک ایجاد می‌شود. با افزایش تراکم خاک، درصد منافذ درشت خاک کاهش یافته و در نتیجه حرکت آب و هوا در خاک شدیداً کاهش می‌یابد (Souza *et al*, 2014; Vischi Filho *et al*, 2017). این موضوع می‌تواند به کاهش غلظت اکسیژن، کاهش توسعه ریشه و افزایش غلظت گاز کربنیک منجر شده و در نتیجه، بر رشد و نمو گیاه اثر منفی بگذارد (Vischi Filho *et al*, 2017).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر عمق زیرشکن‌زنی بر برخی ویژگی‌های خاک و نیشکر

Table 3. ANOVA results for the influence of depth of rationing on some soil and sugarcane properties

Parameters	Df	MS_t	MSe	C.V.
Standard error	6	-	-	-
Cane height	2	1112**	99.0	5.27
Cane diameter	2	0.392ns	0.302	2.71
Cane number	2	5.91*	1.33	8.96
A millable cane weight	2	0.035**	0.002	9.18
Millable cane yield	2	1233***	33.7	8.99
Cane syrup Brix	2	0.114ns	0.089	5.52
Real Pole	2	0.001ns	0.197	2.46
Purity	2	1.11ns	5.03	2.45
Recoverable sugar (RS)	2	0.019ns	0.179	3.70
Sugar yield	2	15.4***	0.352	8.05
BD_{30}	2	0.0009ns	0.0003	3.09
BD_{50}	2	0.011***	0.0002	4.02
Root weight	2	27888***	39.0	3.52

ns: عدم معنی‌داری در سطح پنج درصد (P>۰/۰۵)، *: معنی‌دار در سطح پنج درصد (P≤۰/۰۵)، **: معنی‌دار در سطح یک درصد (P≤۰/۰۱) و ***: معنی‌دار در سطح یک‌دهم درصد (P≤۰/۰۰۱)، C.V.: ضریب تغییر، MSe: میانگین مربع‌های خطا.

ns, *, ** and ***: not significant and significant at P < 0.05, P<0.01 and P < 0.001, respectively. Df: Degree of freedom; MS_T: mean square of treatment; MSe: mean square error; C.V.: coefficient of variation.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد عمق زیرشکن‌زنی به طور قابل توجه ارتفاع نیشکر (P≤۰/۰۱)، تراکم نی در متر مربع (P≤۰/۰۵)، وزن تک نی (P≤۰/۰۱)، عملکرد نیشکر قابل آسیاب (P≤۰/۰۰۱) و عملکرد شکر (P≤۰/۰۰۱) را تحت تأثیر قرار داد. اما قطر نی، بریکس شربت نیشکر، پل حقیقی، درجه خلوص و درصد قند قابل استحصال در سطح پنج درصد تحت تأثیر عمق زیرشکن‌زنی قرار نگرفت (جدول ۲). از جمله ویژگی‌های کمی نیشکر، ارتفاع نی در تیمار زیرشکن‌زنی با عمق ۵۰ سانتی‌متر (R-50) ۲۸/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. این درحالی است که در تیمار زیرشکن‌زنی با عمق ۳۰ سانتی‌متر (R-30) تفاوت معنی‌داری با شاهد مشاهده نشد (شکل۴). تراکم نی در واحد متر مربع نیز در تیمار R-50 نسبت به شاهد و R-30 بیش‌تر بود، اما این تفاوت با تیمار شاهد معنی‌دار نبود. وزن تک نی در تیمارهای شاهد و R-30 تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (۴۳۵ گرم)، اما در تیمار R-50 بیش‌تر (۶۲۰ گرم) بود. عملکرد نیشکر قابل آسیاب واریته Cp48 سن بازرویی یک (R1) در تیمار شاهد معادل ۵۶/۷ تن در هکتار بدست آمد، درحالی که در تیمار R-30، ۴۹/۴ تن در هکتار (۱۲/۸ درصد کاهش) و تیمار R-50، ۸۷/۶ تن در هکتار (۵۴/۶ درصد افزایش) بود (شکل ۴). با این وجود، تفاوت بین شاهد و R-30 معنی‌دار نبود. در تیمار R-50 عملکرد شکر (۹/۹۴ تن در هکتار) نسبت به شاهد ۵۲/۷ درصد افزایش نشان داد، در حالی که در تیمار R-30 عملکرد شکر (۵/۶۷ تن در هکتار) ۱۲/۹ درصد کاهش نشان داد.

جدول ۳- اثر عمق زیرشکن‌زنی بر ویژگی‌های کمّی و کیفی نیشکر رقم CP48-103

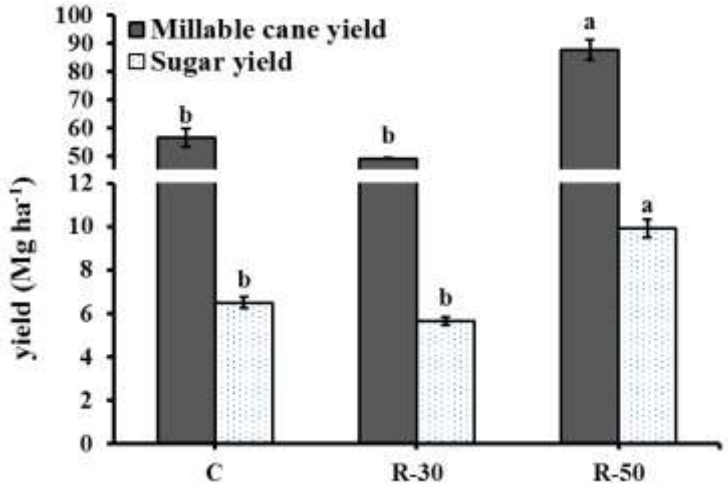
Table 3. The effect of ratooning depth on quantitative and qualitative characteristics of sugarcane cultivar CP48-103 (n=3).

Parameters	Unit	Treatments		
		C	R-30	R-50
Cane height	cm	116±4.0 b	114±6.0 b	148±6.0 a
Cane height	mm	20.4±0.2 a	19.8±0.6 a	20.5±0.2 a
Cane number	N-Stalk m^{-2}	13.1±0.4 ab	11.4±0.9 b	14.1±0.2 a
A millable cane weight	kg	0.43±0.01 b	0.44±0.03 b	0.62±0.02 a
Cane syrup Brix	%	19.9±0.32 a	19.8±0.15 a	19.5±0.01 a
Real Pole	%	18.1±0.31 a	18.1±0.48 a	18.0±0.34 a
Purity	%	91.1±0.20 a	91.1±1.7 a	92.2±1.7 a
Recoverable sugar (RS)	%	11.5±0.21 a	11.5±0.44 a	11.4±0.22 a

در هر ردیف حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست (P≤۰/۰۵). SE ±: نشان دهنده خطای استاندارد هستند (n=۳).

Different letters in each row indicated significant difference among treatments (Duncan's test. $P < 0.05$). ±SE: indicate the standard error of the mean (n=3).

با این وجود، مشابه عملکرد نیشکر قابل آسیاب، عملکرد شکر نیز بین شاهد و R-30 معنی‌دار بود (شکل ۴). عملکرد شکر همبستگی مثبت و معنی‌دار با ارتفاع (P≤۰/۰۱)، تراکم نی (P≤۰/۰۵)، وزن تک نی و عملکرد نی در واحد سطح (P≤۰/۰۰۱) داشت، اما همبستگی منفی (P≤۰/۰۰۱) با BD_{50} نشان داد (جدول ۴). وود (Wood, 1985) گزارش کرد کاهش عملکرد در نیشکر ناشی از تخریب ویژگی‌های فیزیکی خاک می باشد که خود متأثر از زراعت فشرده (Intensive) نیشکر می‌باشد.

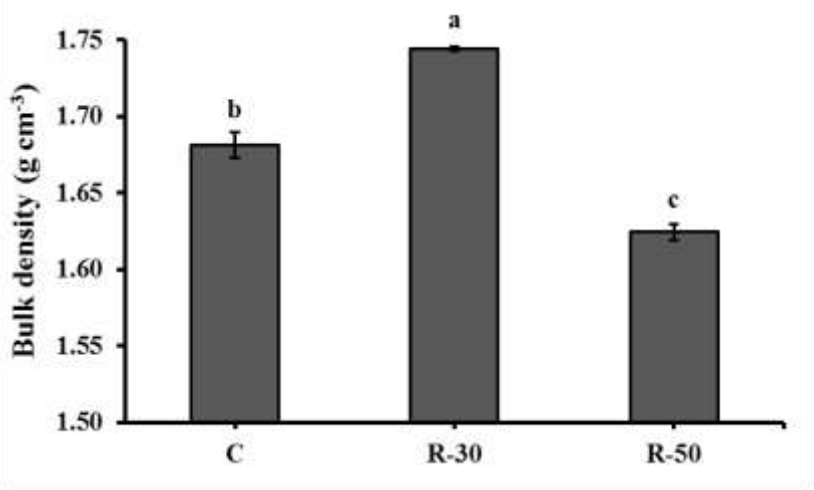


شکل ۴- اثر عمق زیرشکن‌زنی بر عملکرد نیشکر قابل آسیاب (مربع توپُر) و عملکرد شکر (مربع توخالی) در واریته CP48-103. **حروف متفاوت در بالای هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست (P ≤۰/۰۵). خطوط بالای هر ستون نشان‌دهنده استاندارد خطا از میانگین (n=۳). C: شاهد بدون زیرشکن‌زنی، R-30: زیرشکن‌زنی با عمق ۳۰ سانتی‌متر و R-50: زیرشکن‌زنی با عمق ۵۰ سانتی‌متر**

Figure 4. The interaction of depth of rationing on millable cane (solid square) and sugar (hollow square) yield of sugarcane (CP48-103) (n=3). Different letters above each column indicated significant difference among treatments (Duncan's test. $P < 0.05$). The vertical bars indicate the standard error of the mean.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد جرم ویژه ظاهری خاک در عمق ۵۰ سانتی متری سطح خاک (BD_{50}) به طور معنی-دار (P≤۰/۰۵) تحت تأثیر عمق زیرشکن‌زنی قرار گرفت (جدول ۱). با این وجود اثر عمق زیرشکن‌زنی بر BD_{30} معنی‌دار نبود. دامنه جرم ویژه ظاهری خاک در هر دو عمق مورد بررسی از ۱/۶۲ تا ۱/۷۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر بود (شکل ۵). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار BD_{50} به ترتیب در تیمارهای R-30 و R-50 مشاهده شد. این نشان

می‌دهد که عملیات زیرشکن‌زنی در عمق کم‌تر (تیمار R-30)، نه تنها اثری بر کاهش جرم ویژه خاک نداشته، بلکه افزایش تراکم خاک را در محل توسعه ریشه به دنبال داشته است. به نظر می‌رسد که تیمار زیرشکن‌زنی در عمق ۳۰ سانتی‌متر با متراکم کردن خاک زیرین، منجر به عدم توسعه بخش قابل توجهی از ریشه شده که بازخورد آن در عملکرد نیشکر مشاهده شد (Alameda *et al*, 2012). نتایج هم‌چنین نشان داد که BD_{50} با تمام فاکتورهای مورد مطالعه، به‌ویژه وزن ریشه ($P\leq ۰/۰۱$) و عملکرد نیشکر و شکر ($P\leq ۰/۰۰۱$) همبستگی منفی داشت (جدول ۴). نتایج مطالعات وود (Wood, 1985) نیز نشان داد که افزایش جرم ویژه ظاهری خاک از ۱/۳۱ به ۱/۴۹ باعث کاهش منافذ خاک از ۵۰/۶ به ۴۳/۶ درصد شده است. هم‌چنین گزارش گردند تأثیر مستقیم تردد ماشین-آلات، به‌میزان زیادی محصول نی را کاهش داد. کاهش رشد ریشه‌های نیشکر به دنبال افزایش تراکم خاک در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (Otto *et al*, 2011; Alameda *et al*, 2012; Souza *et al*, 2014; Vischi Filho *et al*, 2017). به‌طور مثال، آلامدا و همکاران (Alameda *et al*, 2012) کاهش توسعه ریشه با افزایش تراکم خاک را مشاهده نموده و این پاسخ گیاهان به تراکم خاک را در درجه اول با تغییر در ویژگی‌های ریشه و عملکرد آن‌ها گزارش کرده‌اند که منجر به کاهش طول و تعداد ریشه‌های ریز می‌شود (Alameda *et al*, 2012). لُرزاده و همکاران (Lorzadeh, *et al*, 2002) تراکم خاک بر روی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه نیز به شدت تأثیر گذاشته که این تأثیر ناشی از کاهش سطح برگ و وزن مادهٔ خشک کل در اثر افزایش تراکم خاک می‌باشد.



شکل ۵- اثر عمق زیرشکن‌زنی بر جرم ویژه ظاهری خاک در عمق ۵۰ سانتی‌متری در کشت واریته CP48-103. حروف متفاوت در بالای هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست ($P\leq ۰/۰۵$). خطوط بالای هر ستون نشان‌دهنده استاندارد خطا از میانگین (n=۳). C: شاهد بدون زیرشکن‌زنی، R-30: زیرشکن‌زنی با عمق ۳۰ سانتی‌متر و R-50: زیرشکن‌زنی با عمق ۵۰ سانتی‌متر

Figure 5. The interaction of depth of rationing on BD_{50} of soil cultivated with sugarcane (CP48-103) (n=3). Different letters above each column indicated significant difference among treatments (Duncan's test. $P < 0.05$). The vertical bars indicate the standard error of the mean.

علاوه بر این، نتایج تجزیه واریانس نشان داد وزن ریشه به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تیمارهای زیرشکن‌زنی قرار گرفت (جدول ۲). بررسی توسعه ریشه نیز نشان داد در تمام تیمارهای مورد بررسی، توسعه ریشه در لایه‌های سطحی خاک بیش‌تر بود و با افزایش عمق خاک، روند نزولی توسعه ریشه مشاهده شد (شکل ۶). طبق نظر بلک-بورن (Blackburn, 1984)، تقریبا ۸۵ درصد زیست‌توده ریشه در عمق ۶۰ سانتی‌متری بالای خاک تجمع دارد. کاهش نمایی تراکم ریشه، بسته به عمق خاک نیز توسط اتو و همکاران (Otto *et al*, 2011) گزارش شده است. هم‌چنین، نتایج نشان داد که وزن ریشه در مقیاس حجم

خاک در تیمار R-50 در مقایسه با شاهد (۱/۴۶ برابر) و به ویژه R-30 (۱/۵۴ برابر) بیش‌تر بود. توزیع ریشه در اعماق مختلف خاک نیز در تیمار R-30 تا حدودی با تیمارهای دیگر متفاوت بود (شکل ۶ و ۷). در تیمار R-30، بیش از ۵۰ درصد کل ریشه، در ۱۰ سانتی‌متر بالایی خاک مشاهده شد که به‌طور قابل توجهی نسبت به تیمارهای R-50 و شاهد بیش‌تر بود. هم‌چنین، وزن ریشه در تیمار R-30 در لایه ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک، تفاوت معنی‌داری با لایه بالایی (۲۰ سانتی‌متری سطح خاک) نداشت و به‌عبارت دیگر، از روند نزولی توسعه ریشه در اعماق پایین‌تر خاک تبعیت نکرد (شکل۷ و ۸). کاهش نفوذ ریشه، ناشی از وجود لایه با نفوذپذیری کم‌تر (جرم ویژه خاک بیش‌تر) در لایه زیرین (که تحت تأثیر عملیات زیرشکن‌زنی قرار نگرفته است) را می‌توان از دلایل تجمع ریشه در این لایه به حساب آورد (Torres and Villegas, 1992; Smith *et al*, 2005; Reichert *et al*, 2007).

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون (r) ارتفاع، تراکم نی، وزن تک نی، عملکرد شکر، عملکرد شکر و جرم ویژه ظاهری در عمق ۵۰ سانتی متری (BD_{50}) در کشت نیشکر (واریته CP48-103)

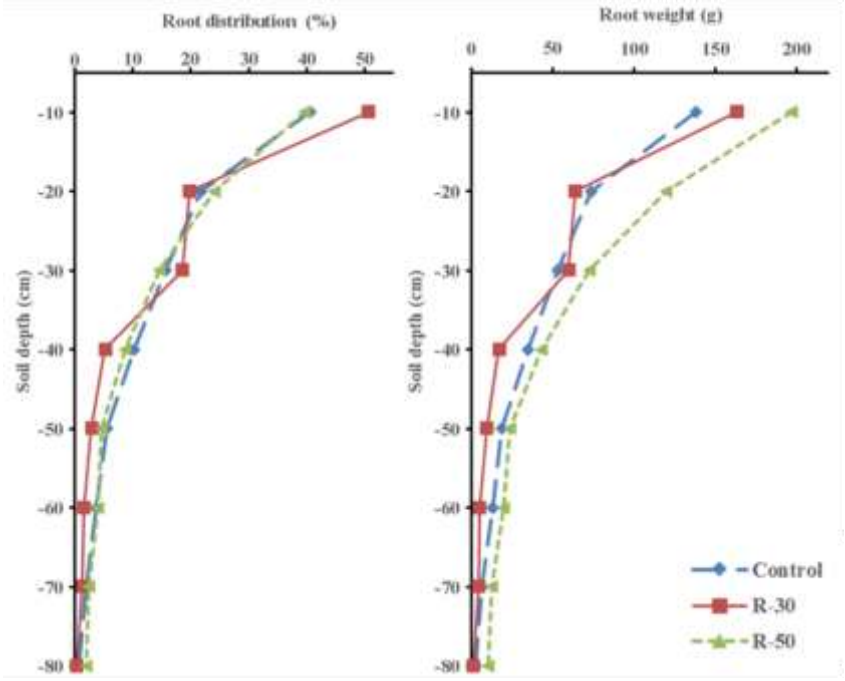
Table 4. Pearson correlation coefficient (r) between height, number, stalk weight and yield of cane, sugar yield and soil bulk density (BD_{50}) in sugarcane (CP48-103) cultivation (n=9).

Parameters	Cane height	Cane number	Cane weight	Cane yield	Sugar yield	BD_{50}
Cane height	1					
Cane number	048^{ns}	1				
Cane weight	0.95^{***}	043^{ns}	1			
Cane yield	0.91^{***}	0.70^{*}	0.90^{***}	1		
Sugar yield	0.87^{**}	0.71^{*}	0.88^{***}	0.99^{***}	1	
BD_{50}	-0.77^{*}	-0.71^{*}	-0.78^{*}	-0.91^{***}	-0.91^{***}	1
Root weight	0.89^{***}	0.75^{*}	0.94^{***}	0.93^{***}	0.92^{***}	-0.79^{**}

ns: عدم معنی‌داری در سطح پنج درصد (P>۰/۰۵)، *: معنی‌دار در سطح پنج درصد (P≤۰/۰۵)، **: معنی‌دار در سطح یک درصد (P≤۰/۰۱) و ***: معنی‌دار در سطح یک‌دهم درصد (P≤۰/۰۰۱). BD_{50}: جرم ویژه ظاهری در عمق ۵۰ سانتی‌متر از سطح خاک.

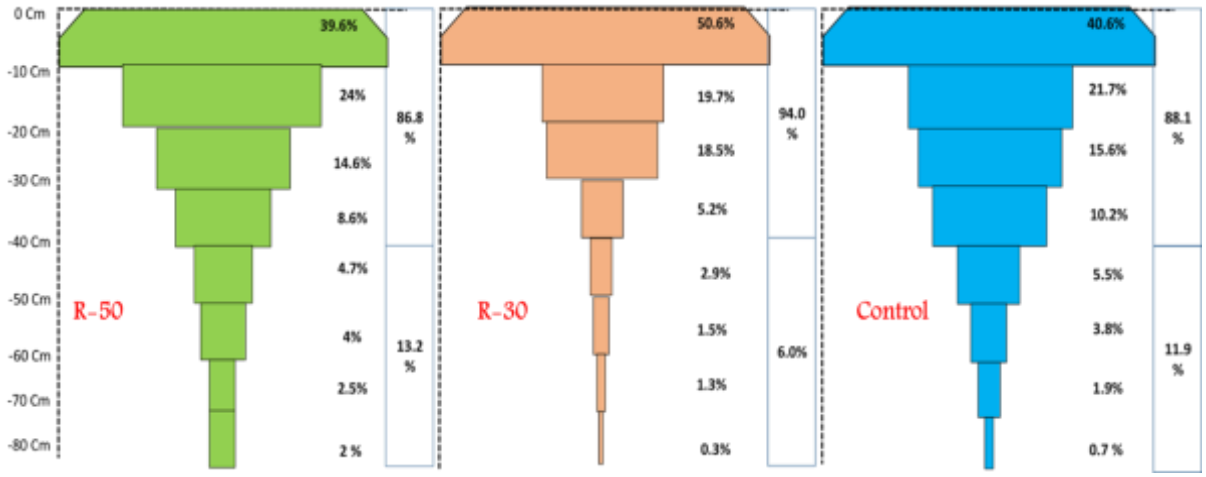
ns, *, ** and ***: not significant and significant at P < 0.05, P<0.01 and P < 0.001, respectively. Df: Degree of freedom; MS_T: mean square of treatment; MSe: mean square error; C.V.: coefficient of variation. BD_{50}: Bulk density in 50 cm depth.

از سوی دیگر، در تیمار R-30 کاهش سرعت نفوذ آب به لایه زیرین (به دلیل جرم ویژه ظاهری بالاتر) باعث می‌شود که خاک برای مدت زمان بیش‌تری در مقایسه با تیمارهای دیگر مرطوب باقی بماند که توسعه بیش‌تر ریشه به‌منظور تأمین آب را تا حدودی به تأخیر می‌اندازد (Dwyer, *et al*, 1988; Laboski, *et al*, 1998; Tekeste *et al*, 2008; Nguyen *et al*, 2018). لابوسکی و همکاران (Laboski, *et al*, 1998) بیان کردند مقدار رطوبت خاک عمق ریشه‌دوانی را کنترل می‌کند. به‌طور مثال، تکستی و همکاران (Tekeste *et al*, 2008) تغییرات رطوبتی در بالای لایه متراکم را در طول چهار روز پس از اشباع خاک مطالعه نموده و حداقل تغییرات رطوبتی با گذشت زمان (به ویژه در خاک دو بار متراکم شده) را در مقایسه با شاهد مشاهده کردند. به‌عبارت دیگر روند خشک‌شدگی خاک در منطقه بالای لایه متراکم به مراتب کُندتر از خاک بدون تراکم پیش می‌رود که می‌تواند تجمع بیش‌تر ریشه در بالای عمق عملیات R-30 را توجیه نماید. در هر حال، محدودیت توسعه ریشه به اعماق خاک، سبب تراکم بیش‌تر ریشه در سطح می‌شود که باعث جذب مواد غذایی در حجم محدودتری از خاک می‌شود و کاهش رشد گیاه و عملکرد را به دنبال دارد (Torres & Villegas, 1992; Vischi Filho *et al*, 2017).



شکل ۶- اثر عمق زیرشکن‌زنی بر توزیع ریشه نیشکر (CP48-103) در سطح نیم متر مربعی و اعماق مختلف خاک

Figure 6. Effect of ratooning depth on distribution of sugarcane (CP48-103) roots at 0.5 m^{-2} of soil surface and different depths of soil



شکل ۷- اثر عمق زیرشکن‌زنی بر توزیع مقایسه‌ای ریشه های نیشکر (CP48-103) در اعماق مختلف خاک

Figure 7. Effect of ratooning depth on comparative distribution of sugarcane (CP48-103) roots at different depths of soil

نتیجه‌گیری کلی

حذف عوامل محدودکننده از جمله تراکم خاک به منظور توسعه بهتر ریشه از طریق زیرشکن‌زنی در زمین‌های زیر کشت نیشکر حائز اهمیت است. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که عملیات زیرشکن‌زنی با حداقل عمق ۵۰ سانتی‌متر به‌منظور بهبود توسعه ریشه نیشکر در سنین بازرویی، فاکتورهای ارتفاع نیشکر، وزن نی، تراکم نی در واحد متر مربع، عملکرد نیشکر و شکر را افزایش و جرم ویژه ظاهری خاک را کاهش داد. اما کاهش عمق زیرشکن‌زنی به ۳۰ سانتی‌متر، نه تنها اثر مثبت بر فاکتورهای یادشده نداشته، بلکه افزایش جرم ویژه ظاهری خاک، کاهش توسعه ریشه و در نتیجه، کاهش عملکرد

را به دنبال داشت. هم‌چنین، به دنبال تراکم و جرم ویژه بیش‌تر خاک در لایه‌های پایین‌تر، وزن ریشه در مقیاس حجم خاک در تیمار R-30 در مقایسه با شاهد و به ویژه R-50 کم‌تر بود و ریشه نیشکر، بیش‌تر در لایه سطحی خاک گسترش یافت. به‌عبارت دیگر، محدودیت توسعه ریشه به اعماق خاک، سبب تراکم بیش‌تر ریشه در سطح خاک شده و باعث جذب مواد غذایی در حجم محدودتری از خاک می‌شود که در نهایت، کاهش رشد گیاه و عملکرد نیشکر را به دنبال داشت.

References

Alameda D., Anten N.P.R., and Villar R. 2012. Soil compaction effects on growth and root traits of tobacco depend on light, water regime and mechanical stress. *Soil and Tillage Research*, 120: 121-129.

Barzegar A.R., Mahmoodi Sh., Hamedi F., and Abdolvahabi F. 2005. Long term sugarcane cultivation effects on physical properties of fine textured soils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 7: 59-68. (In Persian).

Blackburn F. 1984. Sugar-cane. Longman, New York, ISBN: 0-582-46028-X, 414 p.

Camargo L.A., Marques Junior J., and Pereira G.T. 2010. Spatial variability of physical attributes of an Alfisol under different hill slope curvatures. *Brazilian Journal of Soil Science*, 34: 617- 630.

Cheong L.R.N., Kwong K.F.K., and Preez C.C.D. 2009. Soil compaction under sugar cane (*Saccharumhybrid* sp.) cropping and mechanization in Mauritius, *South African Journal of Plant and Soil*, 26: 199-205.

Dwyer L.M., Stewart D.W., and Balchin D. 1988. Rooting characteristics of corn, soybean and barley as a function of available water and soil physical characteristics. *Canadian Journal of Soil Science*, 68: 121-132.

Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis. *In*: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed. American Society of Agronomy, Madison, pp. 383-411.

Håkansson I., and Lipiec J. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, 53: 71-85.

Humbert R.P. 1968. The Growing of Sugarcane. Elsevier: Amsterdam.

Hunsigi G. 2001. Sugarcane in Agriculture and Industry. Prism Books, Bangalore, India.

Jones C.A. 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Science Society of America Journal*, 47: 1208-1211.

Klute A. 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods. 2nd Ed. SSSA/ASA Monograph, Madison, WI, 1188 pp.

Laboski C.A.M., Dowdy R.H., Allmars R.R., and Lamb J.A. 1998. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil. *Plant and Soil*, 203: 239-247.

Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. In: Sparks, D.L. (Ed.). Methods of Soil Analysis. SSSA Madison. pp. 437-474.

Lorzadeh Sh., Nadian H., Bbakhshandeh A.B., Nourmohamadi Gh., And Darvish F. 2002. Effects of different levels of soil compaction on yield, yield components and sucrose in sugarcane cv. CP48-103, in Khuzestan, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 4: 36-47. (In Persian).

Meade G.P., and Chen J.C.F. 1977. Cane sugar handbook. John Wiley and Sons, NY.

Nadian H., Smith S.E., Alston A.M. and Murray R.S. 1996. The effect of compaction on growth and P uptake by *Trifolium subterraneum*: Interactions with mycorrhizal colonisation. *Plant and Soil*, 182: 39-49.

Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. In: Sparks, D.L. (Ed.). Methods of Soil Analysis part 3 Chemical Methods. Soil Science Society of America: Madison WI SSSA Book Serie. pp. 153-188.

Nguyen D.T.N., Suralta R.R., Nakata M.K., Mitsuya S., Stella Owusu-Nketia S., and Yamauchi A. 2018. Genotypic variations in the plasticity of nodal root penetration through the hardpan during soil moisture fluctuations among four rice varieties. *Plant Production Science*, 21: 93-105.

Otto R., Silva A.P., Franco H.C.J., Oliveira E.C.A., and Trivelin P.C.O. 2011. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. *Soil Tillage Research*, 117: 201-210.

Pankhurst C.E., Magarey R.C., Sirling G.R., Blair B.L., Bell M.J., and Garside A.L. 2003. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. *Soil Tillage Research,* 72: 125-137.

Reichert J.M., Eduardo L., Suzuki A.S., Reinert D.J., Horn R., and Håkansson I. 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Tillage Research,* 102: 242-254.

Reichert J.M., Suzuki L.E.A., and Reinert D.J. 2007. Soil compaction in agricultural and forestry systems: identification, effects, critical limits and mitigation. *Topics in Soil Science,* 5: 49–134.

Rhoades J. 1986. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L. (Ed.). Methods of soil Analysis. Part 3: Chemial Properties. Soil Science Society of America. Madison Wisconsin. pp. 417- 435.

Rice E.R., and Hebert L.P. 1972. Sugarcane variety tests in Florida during the 1971-72 season. USDA Agr. Res. Ser. S-2.

Smith D.M., Inman-Bamber N.G., and Thorburn P.J. 2005. Growth and function of the sugarcane. Root system. *Field Crops Research,* 92: 169-184.

Souza G.S., Souza Z.M., Barboza R.S., Sobreira, R.B., and Silva F.A. 2014. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. *Brazilian Journal of Soil Science,* 8: 135–146.

Tekeste M.Z., Raper R. and Schwab., E. 2008. Soil Drying Effects on Soil Strength and Depth of Hardpan Layers as Determined from Cone Index Data. Agri. Engin. Int: CIGR E. J. Manuscript LW 07 010. Vol. X.

Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (Ed.). Methods of Soil Analysis. SSSA Madison. pp. 475-490.

Torres J.L.R., Pereira M.G., Cunha M.A., Martins M.E., and Vieira D.M.S. 2013. Physicochemical properties of soil and biomass in sugarcane harvesting systems. *Agricultural Science Magazine,* 56: 311-318.

Torres J.S., and Villegas F. 1992. Differentiation of soil compaction and cane stool damage. *Sugarcane*, 1:7-11.

United State Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook. 60. Washington, DC.

Vischi Filho O.J., Souza Z.M., Souza G.S., Silva R.B., Torres J.L.R., Lima M.E., and Tavares R.L.M. 2017. Physical attributes and limiting water range as soil quality indicators after mechanical harvesting of sugarcane. *Australian Journal of Crop Science,* 11: 169-176.

Wood K. 1985. Compaction of soil by agriculture equipment. *Soil Use and Management*, 1: 120-124.

Evaluation of Subsoiling Depth of Fields of Ratoon Cane on some Soil and Plant Indices

Ali Mahohi[1*], Hasanali Khatinzadeh[2]

(Received: June 2020 Accepted: January 2021)

Abstract

Heavy land preparation and leveling in sugarcane cultivation in Khuzestan damages soil structure. It makes the soil prone to compaction during harvesting. To reduce the effects of soil compaction and root improvement, rotation operations are common in ratoon field. Since subsoil (ratooning) plowing directly affects the development of sugarcane roots, therefore, this study was conducted to investigate the depth of ratooning operations of fields of ratoon cane on soil bulk density and its effect on plant root development and subsequent quantitative and qualitative yield of sugarcane. Ratooning operations were conducted at two depths of 30 and 50 cm and compared with no ratooning control. Quantitative yield including height, diameter, number of cane and shoot fresh weight per unit area were determined at the end of growth and before harvest. After harvest, cane root distribution was investigated in different depths. The results of analysis of variance showed that the ratooning depth operations were significantly affected cane height, stalk number per m^{-2}, stalk weight, millable cane yield, sugar yield, and soil bulk density. But the cane stalk diameter, syrup brix, recoverable sugar, and soil bulk density at a depth of 30 (BD_{30}) cm were not affected by the depth of ratooning. R-50 treatment increased cane height (28.2%), stem number (5.7%), stalk weight (42%), millable cane yield (55%) and sugar (53%) compared to control, and reduced soil bulk density in depth of 50 cm (3.6%). However, R-30 treatment resulted in increased soil bulk density (3.6%) and reduced yield of sugarcane (12.8%) compared to control. Also, root weight was higher in R-50 treatment compared to control and especially R-30. In addition, more than 50% of root distribution was observed in R-30 treatment in the first 10 cm layer of soil. In general, the results of this study showed that reducing the depth of ratooning to 30 cm, not only did not have a positive effect on the above factors, but also increased the soil bulk density, more root extending near the soil surface and eventually, reduced sugarcane yield. In other words, limiting root development to soil depth causes more root density on the soil surface and thus leads to the absorption of nutrients in a more limited volume of soil, which ultimately reduces plant growth and sugarcane yield.

Keywords: Soil compaction, Ratooning, Soil bulk density, Sugarcane, Root distribution

Mahohi A., Khatin Zadeh H.A. 2021. Evaluation of subsoiling depth of fields of ratoon cane on some soil and plant indices. *Applied Soil Research*, 9(3): 134-146.

1- PhD Graduate in Soil Sciences, Agricultural Researches Department, Karun Agro Industrial, Inc, Shushtar, Iran
2- BSc Graduate in Soil Sciences, Agricultural Researches Department, Karun Agro Industrial, Inc, Shushtar, Iran
* Corresponding Author Email: alimahohi@yahoo.com