

تأثیر فشردگی خاک بر برخی صفات کمی و کیفی چغندر قند

Effect of soil compaction on some quantity and quality characters of sugar beet

حسن ابراهیمی کولائی^{۱*}، عباس نوروزی^۱، مهدی حسنی^۱، محمدرضا بختیاری^۱، عادل پدram^۲ و حمید نوشاد^۳

تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۱

ح. ابراهیمی کولایی، ع. نوروزی، م. حسنی، م.ر. بختیاری، ع. پدram و ح. نوشاد. ۱۳۸۹. تأثیر فشردگی خاک بر برخی صفات کمی و کیفی چغندر قند. مجله چغندر قند ۲۶(۲): ۲۱۴-۲۰۵

چکیده

فشردگی خاک باعث کاهش رشد ریشه‌های موئین، کاهش تهویه خاک و در نتیجه پائین آمدن توان گیاه در جذب عناصر غذایی، آب و کاهش درصد کلروفیل چغندر قند شده، عملکرد و درصد قند را کاهش می‌دهد. برای بررسی اثر فشردگی خاک بر عملکرد و عیار چغندر قند، نفوذپذیری خاک ۴۰ کرت ۱۰۰ مترمربعی در ۴۰ مزرعه چغندر کاری در شهرستان‌های همدان، اسدآباد، ملایر و بهار با دستگاه نفوذسنج تا عمق ۸۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. از سطحی معادل ۱۴/۴ متر مربع از هر کرت، نمونه ریشه برداشت و برخی صفات مهم کمی و کیفی آن‌ها اندازه‌گیری و تحلیل گردید. نتایج برازش رابطه رگرسیونی چندگانه خطی عملکرد و عیار قند ریشه چغندر قند به عنوان متغیر وابسته با فشردگی خاک در عمق صفر تا هشتاد سانتی‌متر به عنوان متغیر مستقل نشان داد که فشردگی در لایه ۶۰-۴۱ سانتی‌متری عمق خاک (متوسط ۴/۲ مگاپاسکال)، عملکرد ریشه، محصول قند و محصول قند سفید را به شدت کاهش داد اما فشردگی در لایه ۴۰-۲۱ سانتی‌متر تأثیری در میزان این صفات نداشت و فشردگی در لایه ۲۰-۰ سانتی‌متر موجب افزایش این صفات نیز شد. در نتیجه، فشردگی بیشتر از چهار مگاپاسکال در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری خاک موجب افت کمی و کیفی محصول چغندر قند خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: چغندر قند، دستگاه نفوذسنج، فشردگی خاک، عمق توسعه ریشه، عملکرد ریشه،

koulaee@Gmail.com

۱- مری پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان * - نویسنده مسئول

۲- مری پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی

۳- مری پژوهشی موسسه تحقیقات چغندر قند

مقدمه

و نفوذ ریشه چغندر قند، تهویه خاک و حرکت آب در خاک را مشکل می‌سازد. هم‌چنین عنوان شده است که افزایش وزن حجمی خاک موجب کند شدن رشد ریشه، اندام‌هوایی، کاهش طول ریشه و ریشه‌های موئین چغندر قند می‌گردد. در خاک فشردده، عامل اصلی بازدارندگی رشد ریشه و اندام هوایی چغندر قند، مقاومت در مقابل نفوذپذیری است (Hoffmann and Jungk 1995). در گزارش زارادنیک و همکاران (Zahradnicek et al. 2001) آمده است که درصد کلروفیل و وزن ریشه به شدت با مقاومت نفوذپذیری خاک همبستگی منفی داشته و با افزایش فشردگی خاک، درصد قند و عملکرد شکر خالص چغندر قند کاهش یافت.

در گزارش جونگ و همکاران (2001) واکنش متفاوت محصولات زراعی به فشردگی خاک نشان داده شد. در مینسوتا عکس‌العمل محصولات مختلف از جمله ذرت، سویا، گندم، سیب‌زمینی و چغندر قند به فشردگی سطحی مطالعه شد. سویا، ذرت و گندم در شرایط خشک و خاک با فسفر کم در فشردگی ملایم افزایش عملکرد داشتند اما در شرایط مرطوب و یا فشردگی بالا عملکرد آن‌ها کاهش یافت. فشردگی خاک محدودکنندگی زیادی بر عملکرد سیب‌زمینی داشت. دلیل آن، الگوی رشد غده‌ها و ناحیه نسبتاً محدود ریشه سیب‌زمینی است. چغندر قند به فشردگی سطحی حساسیت کمتری نشان داد. اما در زمان جوانه‌زنی، فشردگی ملایم خاک استقرار نهایی بوته و

فشردگی عامل تغییر ساختمان و افزایش وزن حجمی خاک است. در اثر کوبیده شدن، ذرات خاک به هم نزدیک‌تر شده و می‌چسبند، اندازه و پایداری دانه‌بندی کاهش یافته، اندازه خلل و فرج درشت خاک کم و در فشردگی شدید دانه‌بندی خاک شکسته شده و امتداد خلل و فرج قطع می‌شود (Gemtos et al. 2000). بنابر نظر گمتوز و همکاران (Gemtos et al. 2000)، خاک با بافت متوسط و فشردگی کم معمولاً برای رشد ریشه مناسب است اما انشعاب و تشکیل ریشه‌های موئین در آن‌ها کم خواهد بود، لذا فشردگی ملایم مفید است. اما فشردگی زیاد خاک رشد ریشه را کند و از توانائی گیاه در جذب عناصر غذایی و آب می‌کاهد. فشردگی خاک در شرایط خشک باعث بروز تنش خشکی و در شرایط مرطوب باعث کاهش تهویه خاک، کاهش جذب عناصر غذایی، کاهش سوخت و ساز ریشه و در نهایت کاهش رشد گیاه و عملکرد می‌شود. هم‌چنین، نتیجه تحقیق جونگ و همکاران (Jung et al. 2001) در امریکا و اروپا نشان داد که در شرایط خشک و در خاک با وزن مخصوص خیلی کم، ابتدا با افزایش فشردگی عملکرد افزایش و در فشردگی مناسب به حداکثر رسید و پس از آن وقتی فشردگی خاک به‌طور خطی افزایش یافت عملکرد شروع به کاهش نمود ولی در شرایط مرطوب، عملکرد با افزایش فشردگی کاهش یافت. مینائی و همکاران (۱۳۸۵) گزارش داده‌اند که وجود لایه‌های فشردده در خاک، رشد

عبور تراکتور سنگین در خاک رسی، مجموع تخلخل و منافذ درشت در عمق ۴۰ تا ۵۰ سانتی متر کاهش ولی در خاک آلی، در اثر بار سنگین منافذ درشت به منافذ ریز تبدیل و تعداد آن کاهش یافت ولی منافذ ریز افزایش یافت. هاکانسون و ریدر (Hakansson and Reeder 1994) تردد وسیله نقلیه با محورهای سنگین در خاک مرطوب را باعث فشردگی زیرسطحی عمیق دانستند. محورهای با بار بیش از ۱۰ تن موجب فشردگی در عمق ۵۰ سانتی متر و بیشتر شدند. فشردگی زیر سطحی خیلی پایدارند و در عمق بیش از ۴۰ سانتی متر پایداری بالقوه‌ای حتی در خاک‌های رسی مناطق با یخبندان سالانه دارند. فشردگی زیرسطحی عمیق باعث کاهش مداوم و همیشگی عملکرد محصولات زراعی می‌شود. مینائی و همکاران (۱۳۸۵) نیز گزارش داده‌اند که تردد مداوم ماشین‌ها و ادوات سنگین و استفاده پی در پی از ادوات خاک‌ورزی برگردان‌دار باعث فشردگی خاک خواهد شد و برای برطرف کردن معضل فشردگی خاک‌های سنگین، استفاده از خاک‌ورزهای عمیق مانند زیرشکن را توصیه کردند. ایشان یادآور شدند که گرچه کاربرد زیرشکن در شکستن سخت لایه و بهبود خواص فیزیکی خاک مفید است اما در بیشتر موارد، به دلیل عمق زیاد کار، به نیروی کششی بسیار زیادی نیاز است که در توان هر تراکتوری نیست. زیرشکنی خاک باعث کاهش شاخص مخروط و جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود (صلح‌جو و همکاران ۱۳۸۰؛ ۱۳۸۴؛ صلح‌جو و نیازی

در نهایت عملکرد ریشه چغندرقد را افزایش داد. بنابراین، اثر فشردگی سطحی بر رشد و عملکرد گیاه، به نوع محصول و شرایط محیطی که گیاه در آن رشد می‌کند، بستگی دارد. گمتوز و همکاران (2000) اعلام نمودند که فشردگی بالا رشد چغندرقد را کاهش داد. اینبردها نسبت به هیبریدها حساسیت بیشتری به فشردگی خاک داشتند، بین رقم‌های هیبرید اختلاف وجود داشت و رقم‌های گرده‌افشان باز پلی‌ژرم نیز شبیه هم نبودند. در نتیجه، ژنوتیپ‌های مختلف واکنش یکسانی نسبت به فشردگی خاک ندارند.

عدم مصرف کودهای آلی از جمله کمپوست، کود حیوانی، کود سبز و نداشتن تناوب زراعی مناسب و مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی نظیر کودهای نیتروژنی، از عوامل تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک‌های زراعی هستند (جواهری و همکاران ۱۳۸۴). الاکوکو (Alakukku 1996b) در بررسی اثر بلند مدت تردد تراکتور سنگین بر ساختمان خاک گزارش کرد که در اثر عبور تراکتور سنگین همراه با تریلر در پاییز، خاک در عمق ۴۰ تا ۵۰ سانتی متر فشرده شد. در سال‌های بعد، در اثر خاک‌ورزی و فرایندهای طبیعی در لایه شخم فشردگی کمتر شد در حالی که در لایه زیر سطحی، اثر فشردگی در همه آزمایش‌ها پس از نه سال چشمگیر بود. هم‌چنین الاکوکو (Alakukku 1996a) در بررسی اثر کوتاه مدت عبور تراکتور سنگین بر مجموع تخلخل و توزیع اندازه منافذ دریافت که در اثر

در این بررسی که به صورت میدانی در مزارع چغندرکاری استان همدان در سال ۱۳۸۲ اجرا شد، وضع موجود فشردگی این مزارع در شهرستان‌های اسدآباد، ملایر، بهار و همدان مطالعه گردید. برای این کار، قبل از کاشت بیش از ۶۰ مزرعه به طور تصادفی پایش و چهل مزرعه انتخاب شد. براساس نظر کارشناسان آن منطقه، در مزارع انتخابی از تراکتور سنگین یا نیمه سنگین برای خاک‌ورزی استفاده می‌شد و احتمال مشکل فشردگی خاک وجود داشت. در هر مزرعه یک کرت یک‌صد مترمربعی علامت‌گذاری شد. معمولاً دو یا سه روز پس از آبیاری، میزان نفوذپذیری خاک هر کرت از عمق صفر تا هشتاد سانتی‌متر با فاصله یک سانتی‌متر با دستگاه نفوذسنج (اندازه‌گیری با دستگاه نفوذسنج به نام Penetrologer ساخت شرکت Ejikamp مدل ART.NR.06.15.01 و با استفاده از مخروط‌هایی به قطر یک و یک و نیم سانتی‌متر انجام شد). برحسب مگاپاسکال ثبت گردید. قرائت‌ها با فاصله ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر و به تعداد حداقل ده نقطه در هر کرت انجام شد. پس از اندازه‌گیری فشردگی خاک، ریشه‌های ۱۴/۴ مترمربع از هر کرت در هر مزرعه برداشت، شمارش، توزین و عملکردریشه بر حسب تن در هکتار برآورد شد. از ریشه‌های هر کرت نمونه خمیر تهیه و در آزمایشگاه تکنولوژی قند مؤسسه تحقیقات چغندرقد، درصدقند و درصد قندسفید اندازه‌گیری و سپس عملکردقند و عملکرد قندسفید بر حسب تن در هکتار برآورد گردید. میانگین داده‌های

اردکانی (۱۳۸۰). حسین پور و لغوی (۱۳۷۷) نیز به تأثیر نوع خاک‌ورز، رطوبت خاک و عمق خاک بر شاخص مخروطی خاک اشاره نمودند.

هر کدام از حالات مختلف فشردگی رفتار متفاوتی دارند. سله، فشردگی سطحی و سخت لایه یا پاشنه شخم که از سطح خاک تا زیر عمق شخم به وجود می‌آیند قابل حذف و اصلاح هستند اما حذف یا اصلاح فشردگی زیرسطحی که در عمق پایین‌تر قرار دارد و غالباً در اثر فشار تماس تجهیزات سنگین با زمین به وجود می‌آید و به طور مداوم ساختمان خاک را تغییر می‌دهد مشکل است بنابراین، در این مورد پیشگیری مهم است (Jung et al. 2001).

عملیات زیرشکنی پرهزینه و پرزحمت است نباید فشردگی به وجود آید تا نیازی به چاره‌جویی باشد. بنابراین، توصیه می‌شود با رعایت اصول خاک‌ورزی و تناوب از این هزینه‌گزار پرهیز و تولید را بهبود بخشید. مثلاً، چون ایجاد بستر خوب برای بذر چغندرقد اهمیت دارد بهتر است در تناوب، محصول چغندرقد بعد از محصولاتی مثل غلات قرار گیرد تا خاک‌ورزی اولیه بعد از برداشت این محصولات به موقع انجام شود. در این پژوهش به منظور معرفی یکی از عوامل کاهش محصول، اثر فشردگی لایه‌های مختلف خاک بر صفات مهم چغندرقد در مناطق چغندرکاری استان همدان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

خاک، d2 نمایان گر لایه ۲۱ تا ۴۰ سانتی متر، d3 نمایان گر لایه ۴۱ تا ۶۰ سانتی متر و d4 نمایان گر لایه ۶۱ تا ۸۰ سانتی متری خاک است.

نتایج

رابطه بین برخی صفات ریشه چغندر قند و فشردگی خاک

واریانس رابطه رگرسیونی ساده خطی بین برخی صفات چغندر قند و متوسط فشردگی هر کرت در عمق صفر تا ۸۰ سانتی متر معنی دار نشد. اما واریانس رابطه رگرسیونی چندگانه خطی بین صفات محصول ریشه، محصول قند، محصول قندسفید، درصد قند و درصد قندسفید به عنوان متغیر وابسته و میانگین فشردگی خاک در چهار لایه مختلف به عنوان متغیرهای مستقل، معنی دار بود. ضریب تبیین نسبتاً بالا نشان می دهد که ضرایب از دقت خوبی برخوردار بوده و قابل اعتماد هستند (جدول ۱).

قرائت شده از دستگاه نفوذسنج بر حسب مگاپاسکال در ده نقطه‌ی هر کرت به عنوان میزان فشردگی خاک آن مزرعه در نظر گرفته شد. ابتدا رابطه رگرسیونی ساده‌ی خطی بین صفات مورد بررسی ۲۸ مزرعه چغندر قند به عنوان متغیر وابسته و متوسط فشردگی خاک عمق صفر تا ۸۰ سانتی متر به عنوان متغیر مستقل با استفاده از نسخه ۲/۱ نرم افزار StatGraghics برازش شد. سپس به دلیل واکنش متفاوت گیاه چغندر قند به فشردگی در لایه‌های مختلف (Jung et al. 2001) عمق صفر تا ۸۰ سانتی متر خاک به لایه‌های با فاصله ۲۰ سانتی متر تقسیم شد (ابراهیمی کولایی و همکاران ۱۳۸۷) و میانگین فشردگی هر لایه به مگاپاسکال برآورد گردید. آنگاه، رابطه رگرسیونی چندگانه خطی بین صفات محصول ریشه، محصول قند، محصول قند سفید، درصد قند و درصد قندسفید به عنوان متغیر وابسته و میانگین فشردگی خاک در چهار لایه به عنوان متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله، d1 نمایان گر لایه صفر تا ۲۰ سانتی متر

جدول ۱ تجزیه واریانس رگرسیون چندگانه بین صفات مهم ریشه چغندر قند و فشردگی خاک در لایه‌های مختلف در استان همدان (سال ۱۳۸۲)

پارامتر	محصول ریشه	محصول قند	محصول قندسفید	عیار قند	عیار قندسفید
میانگین مجزورات	۱۶۶۹۹**	۳۶۴/۲۲**	۲۶۵/۴۵**	۱۵۲۱**	۱۱۰۴**
ضریب تبیین (R ²)	۹۰/۵۵	۹۱/۰۰	۹۰/۶۶	۹۴/۰۲	۹۳/۴۷
عیار دوربین واتسون	۱/۰۸	۱/۲۸	۱/۳۲	۱/۵۹	۱/۵۲

رابطه محصول ریشه با فشردگی خاک

در رابطه رگرسیونی محصول ریشه با فشردگی خاک، ضرایب رگرسیونی لایه ۲۰-۰ و لایه ۴۰-۲۱ سانتی متر معنی دار نبود اما بقیه ضرایب رگرسیونی، شامل فشردگی در لایه‌های ۶۰-۴۱ و ۸۰-۶۱ معنی دار شدند (جدول ۲). با توجه به ضرایب رگرسیونی برآورد شده می‌توان استنباط کرد که

افزایش فشردگی در عمق ۶۰-۴۱ سانتی متر موجب کاهش محصول ریشه چغندر قند شد. با توجه به عمق فشردگی می‌توان با استفاده از زیرشکن نسبت به حذف فشردگی در این لایه و افزایش محصول اقدام نمود. اما فشردگی در عمق ۸۰-۶۱ موجب افزایش محصول ریشه شد و افزایش فشردگی عمق‌های صفر تا ۲۰ و ۲۱ تا ۴۰ در افزایش محصول ریشه معنی دار نبود.

جدول ۲ برآورد ضرایب رگرسیون چندگانه رابطه بین برخی صفات ریشه چغندر قند و فشردگی در لایه‌های مختلف خاک و متوسط فشردگی هر لایه در استان همدان (سال ۱۳۸۲)

متوسط فشردگی مگا پاسکال	عیار قند سفید	عیار قند	محصول قند سفید	محصول قند	محصول ریشه	صفات عمق لایه‌ها (سانتی متر)
۱/۷۱	۳/۲۷۰۱۶ *	۳/۸۰۰۰۸ *	۱/۸۵۵۳۵ *	۲/۱۷۰۰۰ *	۱۲/۳۱۲۶۰ ^{ns}	۰ تا ۲۰ (d1)
۳/۲۳	-۰/۵۰۴۰۶ ^{ns}	-۰/۳۳۶۰۱ ^{ns}	۱/۱۳۴۵۰ ^{ns}	۱/۲۱۷۱۸ ^{ns}	۸/۴۵۱۷۸ ^{ns}	۲۱ تا ۴۰ (d2)
۴/۱۸	-۰/۵۵۲۰۸ ^{ns}	-۰/۳۰۸۶۷ ^{ns}	-۲/۱۶۰۹۹ **	-۲/۳۴۱۳۲ **	-۱۳/۹۱۶۸ *	۴۱ تا ۶۰ (d3)
۵/۰۸	۱/۹۵۱۹۰ **	۲/۱۱۸۳۶ **	۱/۵۲۹۵۴ **	۱/۷۱۱۱۲ **	۱۰/۶۹۰۴ **	۶۱ تا ۸۰ (d4)

رابطه محصول قند و محصول قند سفید با فشردگی خاک

در رابطه رگرسیونی محصول قند با فشردگی خاک در لایه‌های مختلف، ضریب رگرسیونی لایه d2 معنی دار نبود، اما ضرایب بقیه لایه‌ها، شامل d1، d3 و d4 معنی دار شد (جدول ۲). در رابطه رگرسیونی محصول قند سفید با فشردگی خاک در لایه‌های مختلف نیز ضرایب لایه‌های d1، d3 و d4 معنی دار شد ولی ضریب لایه d2 معنی دار نشد (جدول ۲). چنانچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، افزایش فشردگی در عمق ۶۰-۴۱ سانتی متر موجب کاهش محصول قند و

محصول قند سفید شد. می‌توان گفت که کاهش این دو صفت در اثر کاهش عملکرد ریشه بود و عیار تأثیر معنی دار بر کاهش آن‌ها نداشت. در حالی که افزایش فشردگی در عمق ۲۰-۰ و ۸۰-۶۱ سانتی متر باعث افزایش این دو صفت شد.

رابطه درصد قند و درصد قند سفید با فشردگی خاک

در رابطه رگرسیونی درصد قند با فشردگی خاک در لایه‌های مختلف، ضرایب رگرسیونی d2 و d3 معنی دار نبودند، اما ضرایب بقیه لایه‌ها، شامل d1 و

کشاورزی فراهم نموده و در نتیجه میزان غلظت چرخها، مصرف انرژی و سوخت کاهش می‌یابد و عملیات خاک‌ورزی و کشت نیز یکنواخت‌تر انجام خواهد شد. هر چند با افزایش فشردگی در این لایه استقرار بوته‌ها و جذب عناصر غذایی و آب بهتر انجام گرفت و از این طریق عملکرد ریشه افزایش یافت ولی چون حجیم شدن ریشه ذخیره‌ای با افزایش فشردگی خاک نسبت عکس دارد، انتظار می‌رود که افزایش فشردگی قدری از افزایش عملکرد ریشه بکاهد و افزایش عملکرد ریشه در اثر افزایش فشردگی در این لایه معنی‌دار نگردد.

افزایش میزان فشردگی خاک در عمق ۴۱ تا ۶۰ سانتی‌متر باعث کاهش صفات کمی و کیفی مورد بررسی شد (جدول ۲). به عبارتی، میزان فشردگی خاک در عمق ۴۱ تا ۶۰ سانتی‌متر (متوسط ۴/۱۸ مگاپاسکال) بیشتر از حد بهینه بود و می‌توان نتیجه گرفت که فشردگی بیش از چهار مگاپاسکال برای رشد چغندرقد مناسب نیست. بر اساس نظر محققان، فشردگی زیاد خاک رشد ریشه را کند و گسترش ریشه و دسترسی آن به آب و مواد غذایی را کم می‌نماید (Gemtos et al. 2000). چون فشردگی زیرسطحی که در عمق ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متر ایجاد می‌شود (Alakukku 1996b)، بسیار پایدار و در عمق بیش از ۴۰ سانتی‌متر پایداری بالقوه‌ای دارد، باعث کاهش مداوم عملکرد محصول می‌شود (Hakansson and Reeder 1994) و به دلیل عمق زیاد کار، برای

d4 معنی‌دار شد (جدول ۲). در رابطه رگرسیونی درصد قندسفید با فشردگی خاک در لایه‌های مختلف نیز، ضرایب لایه‌های d1 و d4 معنی‌دار شد اما ضرایب رگرسیونی d2 و d3 معنی‌دار نبودند (جدول ۲). بر اساس ضرایب جدول ۲، افزایش فشردگی در عمق صفر تا ۲۰ و ۶۱ تا ۸۰ سانتی‌متر باعث افزایش درصد قند و درصد قندسفید شد اما کاهش این دو صفت کیفی در عمق‌های ۲۱ تا ۴۰ و ۴۱ تا ۶۰ سانتی‌متر بر اثر افزایش فشردگی معنی‌دار نبود.

بحث و نتیجه گیری

با افزایش میزان فشردگی خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر عملکرد قند و قندسفید، درصد قند و قندسفید چغندرقد افزایش یافت (جدول ۲). بنابراین حد بهینه فشردگی برای صفات ذکر شده باید بیش از ۱/۷ مگاپاسکال باشد. الاکوکو (1996a) خاک با بافت متوسط و متخلخل را برای رشد ریشه مناسب دانست اما انشعاب ریشه و تشکیل ریشه‌های موئین در این نوع خاک کمتر خواهد بود. در این حالت بنابر نظر گمتوز و همکاران (2000)، فشردگی ملایم با کاهش اندازه‌ی منفذهای درشت، بذر را به ذرات خاک چسبانده و میزان جوانه‌زنی بذر را افزایش می‌دهد. هم‌چنین در این شرایط، ریشه‌های ثانویه و موئین بیشتری تشکیل خواهد شد و با گسترش ریشه، گیاه عناصر غذایی بیشتری را جذب می‌نماید. از طرف دیگر، فشردگی ملایم شرایط مناسب را برای تردد ماشین‌های

در عمق ۱۱۰ سانتی‌متر مانع نفوذ عمقی ریشه چغندر قند می‌شود در حالی که در خاک با فشردگی کم‌تر ریشه تا عمق ۱۷۶ سانتی‌متر نفوذ کرده بود (ابراهیمی کولایی و بختیاری ۱۳۸۷)، تعیین علت اثرات مثبت فشردگی خاک در این لایه بر عملکرد ریشه نیاز به بررسی بیشتر دارد.

در مجموع، براساس نتایج این بررسی می‌توان استنباط کرد که در فشردگی حدود ۱/۷ مگاپاسکال یا کمتر با افزایش فشردگی عملکرد چغندر قند افزایش یافت و در فشردگی حدود سه مگاپاسکال به حداکثر رسید. اما در فشردگی حدود چهار مگاپاسکال و بیشتر با افزایش فشردگی خاک، عملکرد چغندر قند کاهش پیدا کرد. لذا برای بهبود عملکرد چغندر قند و کاهش هزینه‌ها توصیه می‌شود: ۱- چغندر قند در تناوب بعد از محصولات مثل غلات قرار گیرد تا پس از برداشت غلات، فرصت کافی برای خاک‌ورزی اولیه وجود داشته باشد. ۲- عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه در رطوبت مناسب خاک انجام شود تا ضمن تهیه بستر مناسب، نیازی به تردد ماشین‌آلات اضافی نباشد. ۳- تا حد امکان از ماشین‌های کشاورزی سبک و متوسط برای عملیات خاک‌ورزی استفاده شود. ۴- هر چند سال یک‌بار در رطوبت کم، در جهت عمود بر جهت شخم زیرشکن زده شد. ۵- با احداث جاده‌ی بین مزارع، از رفت و آمد ماشین‌های سنگین برای جابجایی بار در داخل مزرعه جلوگیری شود. ۶- به‌طور متناوب از کود حیوانی یا کود سبز استفاده شود تا خاک‌دانه‌ها به‌خوبی

شکستن فشردگی این لایه به تراکتوری با توان بالا نیاز است (مینائی و همکاران ۱۳۸۵)، که عملیات زیرشکنی را پرهزینه و پرزحمت خواهد نمود. لذا، باید سعی کرد در این لایه فشردگی به وجود نیاید تا نیازی به چاره‌جویی نباشد.

افزایش میزان فشردگی خاک در عمق ۲۱ تا ۴۰ سانتی‌متر (متوسط ۳/۱۸ مگاپاسکال) تأثیری بر افزایش یا کاهش صفات مورد بررسی نداشت (جدول ۲). به عبارتی، میزان فشردگی حدود سه مگاپاسکال در این لایه برای رشد چغندر قند مناسب است. با این که معمولاً لایه‌ی سخت کفه‌ی شخم در قسمتی از این لایه قرار می‌گیرد، انتظار می‌رفت در این لایه میزان فشردگی خاک زیاد و برای رشد ریشه نامناسب باشد، اما داده‌های جمع‌آوری شده این انتظار را برآورده نکرد. از مهم‌ترین دلایل آن، ممکن است وجود موادالی مناسب یا زیرشکنی در بعضی از مزارع مورد بررسی باشد.

افزایش میزان فشردگی خاک در عمق ۶۱ تا ۸۰ سانتی‌متر (متوسط ۵/۰۸ مگاپاسکال) موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی چغندر قند شد (جدول ۲). احتمالاً، چون بیشترین حجم ریشه‌های فرعی و قسمت حجیم ریشه در لایه‌های بالاتر قرار دارند، وجود فشردگی نسبی در این لایه ضرری برای رشد ریشه چغندر قند نداشت و به دلیل ممانعت از خروج رطوبت به لایه‌های پایین‌تر مفید باشد. از طرفی چون گزارش شده است که فشردگی شدید بالای هشت مگاپاسکال

شکل بگیرند و از فشرده شدن بیش از حد خاک لایه سطحی خاک ایجاد شود تا بذر به خوبی به بستر جلوگیری شود. ۷- هنگام کشت، فشردگی ملایمی در بچسبید و به راحتی از خاک، رطوبت جذب نماید.

منابع مورد استفاده:

References:

- ابراهیمی کولائی، ح و بختیاری، م. ر. ۱۳۸۷. تأثیر فشردگی خاک بر عمق توسعه ریشه، کمیت و کیفیت چغندرقد. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. مؤسسه تحقیقات چغندرقد ص ۱۴.
- جواهری، م. ع. رشیدی، ن و باقی‌زاده، ا. ۱۳۸۴. تأثیر کوددامی، پتاسیم بر روی عملکرد کمی و کیفی چغندرقد در منطقه بردسیر. چغندرقد ۲۱: ۵۶-۴۳.
- حسین‌پور، ع و لغوی، م. ۱۳۷۷. بررسی الحاق یک دستگاه خاک‌نشان به گاواهن برگردان‌دار به منظور انجام توأم عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- صلح‌جو، ع. ا. لغوی، م. روزبه، م و احمدی، ح. ۱۳۸۰. تأثیر درصد رطوبت خاک و عمق شخم بر میزان خردشدن خاک و کاهش عملیات خاک‌ورزی ثانویه. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۶: ۱۲-۱.
- صلح‌جو، ع. ا و نیازی اردکانی، ج. ۱۳۸۰. تأثیر عملیات زیرشکن بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد گندم آبی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۷: ۷۸-۶۵.
- صلح‌جو، ع. ا.، دهقانان، س. ا. سپاس‌خواه، ع. ر. و نیرومندجهرمی، م. ۱۳۸۴. تأثیر عملیات زیرشکن و دور آبیاری بر خواص فیزیکی خاک و عملکرد چغندرقد. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۲۵: ۱۴۴-۱۳۱.
- مینائی، س. نیک‌اندیش، پ و شیخ‌داودی، م. ج. ۱۳۸۵. تکمیل و آزمون زیرشکن ارتعاشی سه‌شاخه. دانش کشاورزی. ۱۶ (۱): ۶۰-۵۱.

Alakukku L. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils. Soil and Tillage Research. 1996a; 37(4): 211-222.

Alakukku L. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II. Long-term effects on the properties of fine-textured and organic soils. Soil and Tillage Research. 1996b; 37(4): 223-238.

Gemtos T, Goulas C, Lellis T. Sugar beet genotype response to soil compaction stress. European Journal of Agronomy. 2000; 12(3-4): 201-209.

- Håkansson I, Reeder RC. Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent, persistence and crop response. *Soil and Tillage Research*. 1994; 29(2-3): 277-304.
- Hoffmann C, Jungk A. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil compaction and water tension. *Plant and Soil*. 1995; 176(1): 15-25.
- Jung HD, Moncrieff JF, Voorhees WB, Swan JB. Soil compaction: causes, effects, and control. Section I: Soil compaction, causes and consequences. Section II: Surface compaction, (density effects due to tillage). 2001.
<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/components/3115s01.html>.
- Zahradnicek J, Beran P, Pulkrabek J, Svachula V, Famera O, Sroller J, Chochola J. The effect of physical soil properties on metabolism and technological quality of sugar beet. *Rostlinna Vyroba.*, 2001; 47 (1): 23-27.