



ارزیابی دستگاه‌های فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک منضم شده به ماشین کولتیواتور ردیفی برای افزایش بهره‌وری آب در چغندرقد[†]

Evaluation of soil surface compaction devices attached to row cultivator machine in order to increase water productivity in sugar beet

محمدعلی به‌آئین*؛ محسن بذرافشان^۱؛ محمدعلی شاهرخ‌نیا^۲ و ماشاءاله زارع^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2023.362218.1327

م، به‌آئین، م، بذرافشان، م، شاهرخ‌نیا و م، زارع. ۱۴۰۱. ارزیابی دستگاه‌های فشرده‌کننده سطحی خاک منضم شده به ماشین کولتیواتور ردیفی برای افزایش بهره‌وری آب در چغندرقد. چغندرقد، ۳۸(۲): ۱۸۹-۲۰۵.

چکیده

انجام عملیات آبیاری پس از استفاده از کولتیواتور، باعث نفوذ سریع آب در خاک شده و مصرف آب آبیاری افزایش می‌یابد. با هدف کاهش نفوذ عمقی آب، دستگاه‌های فشرده‌کننده سطحی خاک به صورت چرخ‌های فشاردهنده و دستگاه فشاردهنده‌ی دوزنقه‌ای ساخته شد و به پشت تیغه‌های یک کولتیواتور پنجه‌غازی الحاق گردید. آزمایش در گیاه چغندرقد به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرگان استان فارس و در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایش، استفاده از کولتیواتور با تیغه پنجه‌غازی در سه سطح دستگاه فشاردهنده‌ی دوزنقه‌ای (I₁) چرخ فشاردهنده‌ی فلزی (I₂) و چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی (I₃) و سرعت پیشروی تراکتور در سه سطح ۴ (S₁)، ۵/۵ (S₂) و ۷ (S₃) کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شد. پارامترهای شاخص مخروطی خاک، ارزیابی پروفیل عرضی خاک در جویچه‌های آبیاری، جرم‌مخصوص ظاهری خاک، شاخص کنترل علف‌های هرز، سرعت نفوذ و بهره‌وری آب و عملکرد کمی و کیفی محصول چغندرقد اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که استفاده از ماشین‌های فشرده‌کننده سطحی خاک و کولتیواتور، با تغییر پارامترهای فیزیکی خاک، می‌تواند میزان بهره‌وری آب و عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار دهند. در میان دستگاه‌های فشرده‌کننده سطحی خاک، دستگاه چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی در سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت (تیمار I₃S₃)، نسبت به دو دستگاه دیگر از نظر تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده، وضعیت مطلوب‌تری داشت. داده‌های حاصل از عملکرد ریشه چغندرقد، بهره‌وری آب و عملکرد شکر سفید در تیمار I₃S₃ به ترتیب ۷۷/۹۳ تن بر هکتار، ۴/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب و ۸/۶۶ تن بر هکتار بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، چغندرقد، شاخص مخروطی خاک، فشرده‌کننده سطحی خاک، کولتیواتور



†- این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی به شماره مصوب (۹۷۱۲۷۷-۰۷۴-۱۴-۵۰-۲۴) می‌باشد.

۱- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج، شیراز، ایران. *- نویسنده مسئول ali_behaeen@yahoo.com

۲- استادیار بخش تحقیقات چغندرقد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

۳- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج، شیراز، ایران.

۴- کارشناس بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج، شیراز، ایران.

مقدمه

آبیاری سطحی (جوی و پشته‌ای)، روشی رایج و کم‌هزینه در تولید محصولات کشاورزی است. از مشکلات این روش، پایین بودن بازده آبیاری است که در کشور ایران حدود ۳۳ تا ۳۷ درصد گزارش شده است. یکی از دلایل تلفات زیاد آب در سیستم‌های آبیاری سطحی، افزایش نفوذ آب به داخل خاک در اثر کارکرد کولتیواتورها به علت زبری جدار جویچه‌ها و سستی خاک بستر است (Abbasi 2012) در هر صورت، اگر به هر وسیله و از جمله متراکم کردن خاک سطحی، سرعت نفوذ آب به داخل خاک کاهش یابد، تلفات آب نیز کاهش خواهد یافت. کولتیواتور به‌عنوان یک ماشین داشت چندمنظوره در کنترل علف‌های هرز، خاک‌دهی پای‌بوته و تهویه خاک و نیز کاهش مصرف سموم شیمیایی در مزارع محصولات ردیفی مانند چغندر قند استفاده می‌شود. انجام عملیات آبیاری پس از استفاده از کولتیواتور، به دلیل به هم خوردگی و سست شدن خاک، باعث نفوذ سریع آب در خاک شده و مصرف آب آبیاری افزایش می‌یابد.

با توجه به این که خاک سطحی در هنگام عملیات کولتیواتور به هم خورده و نفوذپذیری آن زیاد می‌شود، در هنگام آبیاری مقدار زیادی از آب، پیش از آنکه به دسترس گیاه برسد، به صورت عمقی نفوذ کرده و هدر می‌رود. کشاورزان نیز به این نکته اذعان دارند که زمان مورد نیاز برای آبیاری مزرعه، بعد از عملیات کولتیواتور زنی بیشتر از عملیات آبیاری در بقیه‌ی فصل است. بنابراین به نظر می‌رسد، با استفاده از ماشین‌های مرکب فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک و کولتیواتور، از نفوذ عمقی آب به درون زمین جلوگیری و بیشتر آب، صرف آبیاری گیاه اصلی (چغندر قند) شود. با این عمل، بهره‌وری آب افزایش می‌یابد. در ارتباط با فشردگی سطحی خاک، نتایج یک تحقیق نشان داد که یک تا سه بار عبور تراکتور در جویچه‌های کاشت ردیفی چغندر قند، باعث افزایش عملکرد چغندر قند گردید (Arvidsson et al. 2012). کاربرد چرخ‌های سنگین مثل

چرخ تراکتور، ممکن است برای کاهش نفوذپذیری و افزایش سرعت آب در جویچه‌ها مناسب باشد ولی باعث فشردگی خاک در لایه‌های پایین خاک شده و نامطلوب است. از این رو بایستی دستگاه‌هایی برای فشرده کردن خاک گسیخته شده، استفاده کرد که خاک را به‌طور سطحی فشرده نماید (Yonts Eisenhauer 2007). در آزمایشی به منظور از دسترس خارج نشدن آب به صورت نفوذ عمقی درون جویچه‌های آبیاری، از یک و دو بار عبور تراکتور استفاده شد. نتایج نشان داد که با یکبار عبور تراکتور، فشردگی خاک در عمق ۷/۵ سانتی‌متری افزایش و هیچ تغییری تا عمق ۲۲/۵ سانتی‌متری مشاهده نگردید. همچنین با دو بار عبور، زمان پیشروی و مقدار نفوذ تجمعی آب کاهش پیدا کرد (Nimah et al. 2000).

وزن یا فشار فنی که می‌تواند بر دستگاه فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک اثرگذار باشد، حائز اهمیت است. بر این اساس در پژوهشی، چهار وزن ۵/۴، ۸/۳، ۱۰/۲ و ۱۰/۵ کیلوگرم بر هر سانتی‌متر از چرخ فشاردهنده‌ی بذر و سه سطح رطوبت ۷/۱، ۱۴/۳، و ۲۰/۶ درصد برای خاک بر اساس وزن خشک در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که کمترین وزن (۵/۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر) و نیز رطوبت ۱۴/۳ درصد، بیشترین اثر را بر فشردگی سطحی خاک داشته و در این وزن و رطوبت، جرم مخصوص ظاهری، کمترین مقدار (۱/۴۶ مگاگرم بر مترمکعب) را به خود اختصاص داد (Asoodar et al. 2012). فشردگی خاک بعد از کاشت گیاه، تأثیر معنی‌داری روی خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل جرم مخصوص ظاهری، محتوای رطوبتی و شاخص مخروط دارد (Altikat and Celik 2006; Altikat et al. 2011). با توجه به این که الحاق دستگاه فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک به کولتیواتور، به افزایش نیروی کششی تراکتور نیاز دارد، بنابراین باید از تیغه‌هایی استفاده نمود که مقاومت کششی را به حداقل برساند. با بررسی چهار نوع تیغه لبه مستقیم، مثلثی، منحنی شکل و پنجه‌غازی، این نتیجه حاصل گردید که نوع پنجه‌غازی به حداقل نیروی

بدون غلتک زنی عملکرد ریشه‌ی چغندر قند را به ترتیب ۱۳/۱، ۱۸/۶ و ۱۷/۸ درصد و نیز عملکرد شکر سفید را ۱۳/۲، ۲۳/۵ و ۲۵ درصد افزایش داد (Noorjou 2012). غلتک زنی و ایجاد فشردگی در جوی‌های آبیاری در چغندر قند باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود. به طوری که مقدار مصرف آب در تیمار بدون غلتک، ۱۴۰۸۰ مترمکعب بر هکتار گزارش شد که با یک، دو و سه بار غلتک زنی، ۱۰/۶، ۱۴/۹ و ۱۸/۸ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی گردید (Behmanesh and Noorjou 2016).

نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که سرعت‌های مختلف و نوع تیغه‌ی به کار رفته در کولتیواتورها، گسیختگی‌های متفاوتی ایجاد می‌کند. همچنین استفاده از یک وسیله برای فشردن سطحی خاک بعد از کاربرد کولتیواتور، راندمان آبیاری را افزایش می‌دهد. این تحقیق با هدف ساخت و ارزیابی سه نوع وسیله (دو نوع چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی و فلزی و دستگاه فشاردهنده‌ی دوزنقه‌ای) و الحاق آن به پشت هر تیغه کولتیواتور در سرعت‌های مختلف، برای انجام فشردگی سطحی خاک و کاهش نفوذ عمقی آب به درون زمین و نیز افزایش بهره‌وری آب و اثر آن بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان استان فارس در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۵۱۵ متر از سطح دریا در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا گردید. خاک مزرعه‌ی مورد آزمایش؛ لوم-رسی بود (جدول ۱).

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش، استفاده از کولتیواتور با تیغه‌ی پنجه‌غازی در سه سطح دستگاه فشاردهنده‌ی دوزنقه‌ای، (I₁) چرخ فشاردهنده‌ی فلزی، (I₂) و

کششی نیاز دارد و نفوذ آن در خاک بهتر و علف‌های هرز را بهتر برش می‌دهد (Biswas et al. 2000). مقایسه‌ی سه نوع تیغه‌ی کولتیواتور (پنجه‌غازی مسطح، پنجه‌غازی و قلمی)، در سرعت‌های ۳، ۶/۵ و ۹ کیلومتر بر ساعت، نشان داد که افزایش سرعت در تیغه‌ی پنجه‌غازی مسطح، سطح سست شده‌ی بیشتری نسبت به سایر تیغه‌ها ایجاد کرده و در عمق ۱۰ سانتی‌متری، اختلاف معنی‌داری از نظر نیروی مقاومت کششی بین این تیغه و تیغه‌ی پنجه‌غازی و قلمی وجود نداشت (Fazeli et al. 2017).

گزارش یک پژوهش در چغندر قند نشان داد که استفاده از سه مرتبه کولتیواتور نسبت به دو بار استفاده از این ماشین، اقتصادی‌تر است. بنابراین به نظر می‌رسد که در سه بار استفاده از کولتیواتور در چغندر قند و افزایش نفوذ آب در خاک، استفاده از دستگاه‌های فشردن کننده، ضروری به نظر می‌رسد (Afzalinia et al. 2008). نوع تیغه در کولتیواتور و زمان استفاده از این ماشین نیز مهم است. نتایج تحقیق کاربرد کولتیواتور با تیغه‌های پنجه‌غازی نشان داد که استفاده از این نوع تیغه، تقریباً تمام مزایای استفاده از کولتیواتور مانند کنترل علف‌های هرز و خاک دادن پای بوته را در بر دارد (Behaen 2012). در آزمایشی، اثر کاربرد شش نوع غلتک در بهبود پارامترهای آبیاری در جوی‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. وزن، قطر و عرض غلتک از پارامترهای ساخت غلتک‌ها در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که قطر ۵۵ سانتی‌متر، عرض ۱۵ سانتی‌متر و وزن ۷۵ کیلوگرم، بیشترین مقدار راندمان آبیاری را ایجاد نموده است (Mohammadi-Mazraeh and Noorjou 2012). در تحقیقی به منظور بهبود راندمان آبیاری، بعد از کاشت چغندر قند با ردیف کار، تیمارهای یک، دو و سه نوبت غلتک زنی با تیمار بدون غلتک زنی در جوی‌های آبیاری انجام گرفت. نتایج نشان داد که غلتک زنی به طور متوسط افزایش راندمان آبیاری را در شیار، ۵۱/۷ درصد افزایش داد. همچنین یک، دو و سه نوبت غلتک زنی نسبت به تیمار

گرفته شد. آزمایش در کرت‌هایی به ابعاد 3×20 مترمربع، شامل چهار ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر انجام شد.

چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی، (I_3) و سرعت پیشروی تراکتور در سه سطح ۴ (S_1)، ۵/۵ (S_2) و ۷ (S_3) کیلومتر بر ساعت در نظر

جدول ۱ مشخصات خاک مزرعه مورد آزمایش

عمق نمونه‌گیری (سانتی‌متر)	اسیدپته گل‌اشباع	شوری عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک
۱۵-۰	۷/۹	۰/۳۶	۰/۵۶	۲۶/۴	۳۹/۶	۳۴/۰	لوم-رسی
۳۰-۱۵	۸/۰	۰/۵۴	۰/۳۷	۲۶/۴	۳۶/۲	۳۷/۴	لوم-رسی



بذر چغندر قند، رقم هیبرید مونوزرم با نام شکوفا و به مقدار دو یونیت بر هکتار (هر یونیت صد هزار عدد بذر) بود. مشخصات اجزای دستگاه‌های فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک به شرح زیر است:

۱- چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی

چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی از یک چرخ فلزی به قطر ۳۲ سانتی‌متر، عرض ۸ سانتی‌متر و ضخامت ورق یک سانتی‌متر ساخته شد. روی این چرخ فلزی و به فاصله ۱۲/۵ سانتی‌متری، ۸ عدد قوطی 3×3 سانتی‌متر مربعی به‌وسیله جوشکاری نصب و روی قوطی‌های فلزی از یک نوار لاستیکی به ضخامت ۸ میلی‌متر استفاده شد. نوار لاستیکی روی قوطی‌های فلزی و در کنار آن طوری به‌وسیله پیچ و مهره نصب گردید تا حالت موجدار پیدا نموده و عمل کاهش سطح لایه لاستیکی و فشار به خاک به‌طور مناسب صورت پذیرد (اصل پاسکال). همچنین برای قرارگیری این چرخ بر روی شاسی از یک محور ۲۲ سانتی‌متری به قطر ۲/۵ سانتی‌متر استفاده شد (شکل ۱).

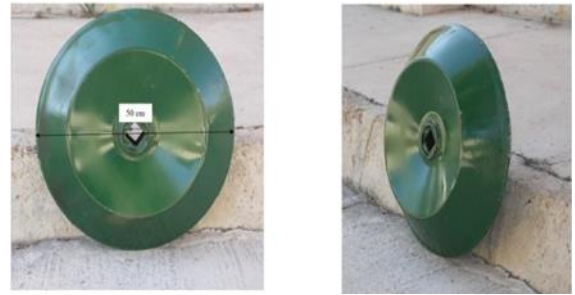


شکل ۱ دستگاه فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک با چرخ لاستیکی

۲- چرخ فشاردهنده‌ی فلزی

این چرخ به قطر ۵۰ سانتی‌متر و پهنای ۲۵ سانتی‌متر از جنس ورق آهن ۶ میلی‌متری ساخته شد و روی یک بازو سوار و به‌وسیله یک رابط به شاسی کولتیواتور نصب گردید (شکل ۲).

تیغه‌های پنجه‌غازی ساخته شد. کل ماشین به وسیله اتصال سه نقطه به تراکتور وصل گردید.



شکل ۲ دستگاه فشردننده‌ی سطحی خاک با چرخ فلزی

شکل ۳ دستگاه فشردننده‌ی سطحی خاک با قطعه‌ی دوزنقه‌ای

ارزیابی پروفیل عرضی خاک در جویچه‌های آبیاری

یکی از شاخص‌های ارزیابی دستگاه‌های فشردننده‌ی سطحی خاک، ایجاد سطح مقطع مناسب برای حرکت آب آبیاری است. سطح مقطع نامناسب و ناهمواری سطح خاک، باعث جلوگیری از پیشروی آب بوده که خود یکی از دلایل نفوذ آب در خاک و افزایش مصرف آب است. به همین منظور از دستگاه پروفیل‌متر با میله‌های عمودی به فاصله ۲ سانتی‌متری استفاده و قبل و بعد از انجام عملیات با ماشین کولتیواتور و دستگاه‌های الحاقی فشردننده، سطح مقطع شیار از رابطه ۱ محاسبه گردید (Fazeli et al. 2017):

$$A = \left(\left(2 \sum_{i=1}^n d_i \right) - (d_1 + d_n) \right) \times h / 2 \quad (1)$$

در این رابطه:

A = سطح مقطع شیار (سانتی‌متر مربع)، d_i = اعداد اندازه‌گیری شده با پروفیل‌متر (سانتی‌متر)، d_1 = اولین عدد نشان داده شده

۳- قطعه‌ی فشاردهنده‌ی دوزنقه‌ای

این دستگاه با مقطع دوزنقه‌ای با سطح قاعده کوچک ۲۰ و قاعده بزرگ ۳۰ سانتی‌متر و اضلاع ۱۸ سانتی‌متر ساخته شد و از سمت قاعده کوچک، طوری درون جویچه‌های آبیاری قرار گرفت که علاوه بر فشار مناسب روی سطح خاک، به شکل جویچه‌ها و تثبیت دیواره‌ی جویچه‌های آبیاری نیز کمک نماید. همانند چرخ فشاردهنده‌ی فلزی، این قطعه نیز به وسیله بازو و رابط به شاسی کولتیواتور نصب گردید. قابلیت بالا و پایین شدن بازوها در هر سه دستگاه به صورت عمودی لحاظ گردید (شکل ۳). لازم به ذکر است که عمق کار با کولتیواتور پنجه‌غازی که در جلو دستگاه‌های فشردننده‌ی خاک قرار گرفت، ۱۰-۱۲ سانتی‌متر بود.

ماشین مرکب فشردننده‌ی سطحی خاک و کولتیواتور، از یک شاسی با چهار عدد تیغه‌ی پنجه‌غازی در جلو و چهار عدد قطعه فشردننده‌ی سطحی خاک (چرخ لاستیکی، چرخ فلزی و دوزنقه‌ای) در پشت و هم راستای

پس از استفاده از دستگاه‌های فشرده‌کننده‌ی خاک، میزان فشرده شدن سطحی خاک در عمق ۱-۲۰ سانتی‌متری در پنج نقطه هر کرت، اندازه‌گیری شد.

روش اندازه‌گیری آب آبیاری

در این تحقیق، آبیاری به روش آبیاری سطحی (جوی و پشته‌ای) انجام گردید. مقدار آب آبیاری ورودی به هر کرت آزمایشی با سیفون اندازه‌گیری شد. قبل و بعد از عملیات کولتیواتور، سرعت نفوذ آب در جوی با استفاده از فرمول کوستیاکوف (Kostiakov) (رابطه ۴) اندازه‌گیری و مقایسه به عمل آمد (Alizadeh 2009; Sohrabi and Paydar 2005).

$$I=at^b \quad (4)$$

در این رابطه: I = عمق آب نفوذ یافته از شروع نفوذ (سانتی‌متر)، t = زمان نفوذ از شروع (دقیقه)، a, b = ضرایب تجربی که به نوع خاک بستگی دارد.

از تقسیم مقدار محصول به دست آمده بر مقدار آب آبیاری، بهره‌وری آب در هر تیمار از رابطه ۵، اندازه‌گیری گردید. در این رابطه: WP = بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، Y = مقدار عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم بر هکتار و V = مجموع حجم آب آبیاری داده شده به مزرعه بر حسب مترمکعب بر هکتار در طول فصل رشد است (Farshi et al. 2003).

$$WP = \frac{Y}{V} \quad (5)$$

صفات کمی و کیفی محصول

در هر کرت پس از حذف پنج متر از بالا و پایین هر کرت، در یک فاصله طولی ۱۰ متری و از دو ردیف میانی ردیف‌های کاشت، چغندر قند توسط کارگر برداشت شد و به وسیله ترازوی دقیق دیجیتالی وزن و عملکرد محصول بر حسب تن بر هکتار محاسبه شد. تجزیه‌های کیفی محصول چغندر قند شامل درصد قندخالص (مقدار شکر سفید یا شکر

با پروفیل متر (سانتی‌متر)، d_n = آخرین عدد نشان داده شده با پروفیل متر (سانتی‌متر) $= h$ فاصله میان میله‌های پروفیل متر (سانتی‌متر)

جرم مخصوص ظاهری خاک

به منظور بررسی اثربخشی فشردگی خاک به وسیله دستگاه فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک، از عمق‌های ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر، قبل و بعد از کاربرد تیمارها، جرم مخصوص ظاهری خاک طبق رابطه ۲ اندازه‌گیری شد:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

در این رابطه: ρ = جرم مخصوص ظاهری (کیلوگرم بر مترمکعب)، m = جرم نمونه (کیلوگرم)، v = حجم نمونه (مترمکعب)

شاخص کنترل علف‌های هرز

ابتدا پس از کاشت و قبل از اعمال تیمارهای دستگاه فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک نسبت به شمارش تعداد علف‌های هرز در داخل هر شیار (فارو) اقدام شد. برای این منظور از یک کادر 0.25 m^2 ($0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$) با چهار مرتبه کادراندازی در داخل هر کرت اقدام شد. پس از اعمال تیمارهای دستگاه فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک و شمارش مجدد تعداد علف‌های هرز باقی مانده، این شاخص طبق رابطه ۳ محاسبه گردید (Smith et al. 1994).

$$F = \frac{N_p - N_e}{N_p} \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه: F = شاخص کنترل علف‌های هرز، N_p = تعداد علف‌های هرز داخل شیار قبل از اعمال تیمار، N_e = تعداد علف‌های هرز داخل شیار بعد از اعمال تیمار

شاخص مخروطی خاک

به وسیله دستگاه پنترولاجر (Penetrologer ART.NR.06.15.01) پیش از انجام عملیات کولتیواتور و

جدول زیر، برهم‌کنش دستگاه‌های فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک و سرعت پیشروی، روی پروفیل جوی‌های آبیاری، عملکرد ریشه چغندر قند، درصد قندخالص و عملکرد شکر سفید در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است. هم‌چنین اثر دستگاه‌های فشرده‌کننده خاک بر بهره‌وری مصرف آب نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار است که نشان‌دهنده‌ی تأثیر الحاق دستگاه‌های فشرده‌کننده‌ی خاک به کولتیواتور است.

تأثیر قطعات فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک و سرعت پیشروی بر پروفیل عرضی جوی‌های آبیاری ایجاد شده، پیش و پس از انجام عملیات در جدول ۳ نشان داده شده است.

قابل استحصال)، مقدار سدیم و نیتروژن آمینه با دستگاه بتالایزر صورت گرفت. عملکرد شکر سفید نیز از ضرب درصد قندخالص در عملکرد ریشه چغندر قند محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 26 صورت گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۲، تجزیه واریانس مقادیر پروفیل عرضی جوی‌های آبیاری، جرم مخصوص ظاهری خاک، شاخص کنترل علف‌های هرز، بهره‌وری آب، عملکرد ریشه چغندر قند، درصد قندخالص و عملکرد شکر سفید را نشان می‌دهد. با توجه به

جدول ۲ تجزیه واریانس مرکب پارامترهای آزمایش

منابع تغییر	درجات آزادی	پروفیل عرضی جوی‌های آبیاری	جرم مخصوص ظاهری خاک	شاخص کنترل علف‌های هرز	بهره‌وری آب	عملکرد ریشه چغندر قند	درصد قندخالص	عملکرد شکر سفید
تکرار	۲	۱۰۱۵۰/۰۸ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۷۷/۵۵ ^{ns}	۱/۵۲ ^{ns}	۸۲۷/۶۳ ^{ns}	۱۱/۰۵ ^{ns}	۵/۹۰ ^{ns}
دستگاه‌های فشرده‌کننده خاک	۲	۱۳۳۳۶/۳۷ [*]	۰/۰۱ ^{ns}	۷۴/۰۳ ^{ns}	۴/۴۰ [*]	۱۵۳۵/۰۸ [*]	۱۲/۱۵ [*]	۸/۴۴ [*]
سرعت پیشروی	۲	۱۳۰۶۱/۱۶ [*]	۰/۰۳ ^{ns}	۱۶/۳۲ ^{ns}	۱/۰۲ ^{ns}	۱۳۲۹/۳۵ [*]	۹/۹۱ ^{ns}	۱۰/۵۷ [*]
دستگاه‌های فشرده‌کننده خاک × سرعت پیشروی	۴	۱۳۵۹۹/۷۷ [*]	۰/۰۴ ^{ns}	۱۳۲/۴۸ ^{ns}	۰/۷۳ ^{ns}	۱۲۳۵/۹۷ [*]	۱۳/۴۳ [*]	۷/۱۷ [*]
خطا	۱۶	۳۴۶۳/۱۳	۰/۰۴	۲۲۵/۲۲	۱/۰۵	۳۵۵/۶۳	۳/۴۳	۱/۷۸

* = اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد؛ ns = عدم اختلاف معنی‌دار

جدول ۳ برهم‌کنش متغیرهای آزمایش بر پروفیل عرضی جوی‌های آبیاری

تیمار	پارامتر	قبل از عملیات (سانتی‌متر مربع)	بعد از عملیات (سانتی‌متر مربع)	درصد تغییرات
I ₁ S ₁	۱۷۹/۷۰ ^b	۱۱۳/۱۰ ^g	-۳۷/۰۶	
I ₁ S ₂	۱۸۵/۳۹ ^a	۲۲۵/۳۳ ^b	۲۱/۵۴	
I ₁ S ₃	۱۵۲/۱۸ ^d	۲۴۳/۱۷ ^a	۵۹/۷۹	
I ₂ S ₁	۱۷۵/۷۷ ^b	۱۵۰/۱۷ ^e	-۱۴/۵۶	
I ₂ S ₂	۱۵۷/۳۹ ^{cd}	۱۹۹/۵۸ ^c	۲۶/۸۱	
I ₂ S ₃	۱۳۷/۱۶ ^e	۱۶۷/۱۷ ^d	۲۱/۸۸	
I ₃ S ₁	۱۶۱/۷۰ ^c	۱۴۰/۴۲ ^f	-۱۳/۱۶	
I ₃ S ₂	۱۱۳/۴۰ ^f	۲۰۲/۱۷ ^c	۷۸/۲۸	
I ₃ S ₃	۱۵۸/۳۴ ^{cd}	۱۴۶/۹۲ ^{ef}	-۷/۱۵	

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند، در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (آزمون دانکن).

خاک در سرعت پیشروی ۷ کیلومتر بر ساعت (تیمار I₁S₃) با مقدار ۵۹/۷۹ به‌دست آمده است. هم‌چنین مقایسه تیمارهای

در استفاده از دستگاه فشاردهنده ذوزنقه‌ای به‌منظور تحکیم جوی‌های آبیاری، بیشترین درصد تغییرات سطح پروفیل

چه سطح ادوات درگیر با خاک بیشتر یا عریض‌تر باشد، سطح بیشتری از خاک بسته به نوع دستگاه به کار رفته، گسیخته یا تحکیم می‌شود (Fazeli et al. 2017). هم‌چنین در تحقیق مشابهی بر این موارد تاکید شد (Solhjou et al. 2006).

بیشترین درصد تأثیر در سطح به وجود آمده پروفیل خاک در جوی‌های آبیاری، پیش و پس از عملیات استفاده از ماشین فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک و کولتیواتور، مربوط به چرخ فشرده‌کننده‌ی لاستیکی و تیمار I₃S₂ با ۷۸/۲۸ درصد است. با توجه به شکل چرخ لاستیکی مورد مطالعه (شکل ۱)، در هنگام برخورد چرخ با خاک، مساحت کوچکی از آن با خاک گسیخته شده به وسیله تیغه‌های کولتیواتور برخورد کرده و طبق اصل پاسکال، فشار بر سطح خاک بیشتر و تحکیم و شکل‌دهی جوی‌های آبیاری نسبت به پیش از عملیات نسبت به تیمارهای دیگر بیشتر است. البته باید توجه داشت که سرعت برخورد چرخ‌های فشرده‌کننده‌ی لاستیکی با خاک نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این نوع چرخ فشرده‌کننده، در سرعت ۴ کیلومتر بر ساعت، چرخ‌ها به آرامی از روی خاک گسیخته شده عبور کرده و قادر به تحکیم و شکل‌دهی مناسب جوی‌های آبیاری و سطح مقطع زیاد نیستند. هم‌چنین در سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت، چرخ‌های فشرده‌کننده‌ی لاستیکی بر روی سطح خاک گسیخته شده، لغزیده و عمل فشار بر سطح خاک، شکل‌دهی و تحکیم را به‌طور مناسب انجام نمی‌دهند. در این چرخ فشرده‌کننده، سرعت ۵/۵ کیلومتر بر ساعت، با سطحی معادل ۲۰۲/۱۷ سانتی‌مترمربع برای پروفیل ایجادشده و ۷۸/۲۸ درصد افزایش تأثیر در قبل و بعد از عملیات، بیشترین اثر را در بین چرخ‌های فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک داشته است.

جدول ۴ مقایسه میانگین‌های جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای مختلف آزمایش اثر تیمارهای کاربرد دستگاه‌های فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک و سرعت‌های مختلف بر جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد.

I₁S₂ و I₁S₃ نشان می‌دهد که اختلاف افزایش سطح در این دو تیمار ۳۸/۲۵ درصد است. این در حالی است که در تیمار I₁S₂، قبل از انجام تیمار کولتیواتور و تحکیم جوی‌های آبیاری، سطح اختصاص داده شده به جوی، ۱۸۵/۳۹ سانتی‌مترمربع بوده که از تیمار I₁S₃ با ۱۵۲/۱۸ سانتی‌متر مربع بیشتر است. کاهش ۳۷/۰۶ درصدی در سطح پروفیل به‌دست آمده با دستگاه فشاردهنده دوزنقه‌ای در تیمار I₁S₁ بیان‌گر نقش سرعت پیشروی، در سطوح پروفیل عرضی خاک در جوی‌های آبیاری به‌وجود آمده توسط دستگاه فشرده‌کننده سطحی خاک است.

سطح به‌وجود آمده در تیمار دستگاه فشاردهنده دوزنقه‌ای با سرعت پیشروی ۴ کیلومتر بر ساعت، اختلاف معنی‌داری را با همین دستگاه در سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۳، متغیر سرعت پیشروی در چرخ فشاردهنده فلزی نیز تأثیرگذار است؛ به‌طوری که افزایش سرعت از ۴ به ۵/۵ کیلومتر بر ساعت، باعث افزایش سطح پروفیل به وجود آمده، بعد از عملیات فشرده‌کردن سطحی خاک در جوی‌های آبیاری شده است. در چرخ فشاردهنده فلزی، بیشترین سطح به وجود آمده از پروفیل جوی‌های آبیاری مربوط به تیمار I₂S₂ بوده که تفاوت معنی‌داری را در سطح پنج درصد با تیمار I₂S₃ نشان می‌دهد. در دو دستگاه فشاردهنده دوزنقه‌ای و فلزی، درگیری و اصطکاک با خاک زیاد بوده و انجام عملیات فشرده‌کردن و تحکیم خاک بیشتر انجام می‌شود.

با توجه به جدول ۳، در دستگاه فشاردهنده دوزنقه‌ای، سطح بیشتری از پروفیل خاک نسبت به چرخ فشاردهنده فلزی به‌دست آمده است (افزایش سطح پروفیل ۵۹/۷۹ سانتی‌مترمربعی در مقایسه با سطح پروفیل ۲۱/۸۸ سانتی‌مترمربعی در سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت). مورد اخیر نشان می‌دهد که نوع دستگاه به‌کار رفته، در سطح پروفیل به‌وجود آمده در جوی‌های آبیاری تأثیر دارد. نتایج حاصل از یک تحقیق نشان داد که تأثیر ویژگی هندسی ادوات، روی عملیاتی که بر خاک انجام می‌شود، تأثیر دارد، به‌طوری که هر

جدول ۴ جرم مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمکعب) در عمق‌های مختلف آزمایش

تیمار	پارامتر	۰-۱۰ سانتی‌متر (قبل از عملیات)	۰-۱۰ سانتی‌متر (بعد از عملیات)	درصد تغییرات (۱۰-۰)	۱۰-۲۰ سانتی‌متر (قبل از عملیات)	۱۰-۲۰ سانتی‌متر (بعد از عملیات)	درصد تغییرات (۲۰-۱۰)
I1S1	۱/۱۳ ^{ab}	۱/۲۰ ^a	۶/۱۹	۱/۲۸ ^a	۱/۲۸ ^a	۰	۰
I1S2	۱/۰۴ ^b	۱/۱۳ ^a	۸/۶۵	۱/۲۴ ^a	۱/۰۶ ^b	-۱۴/۵۲	-۱۴/۵۲
I1S3	۱/۱۷ ^a	۱/۲۰ ^a	۲/۵۶	۱/۲۳ ^a	۱/۱۵ ^{ab}	-۶/۵۰	-۶/۵۰
I2S1	۱/۰۸ ^{ab}	۱/۱۷ ^a	۸/۳۳	۱/۱۶ ^a	۱/۲۴ ^{ab}	۶/۹۰	۶/۹۰
I2S2	۱/۰۶ ^{ab}	۱/۲۲ ^a	۱۵/۰۹	۱/۲۱ ^a	۱/۲۴ ^{ab}	۲/۴۸	۲/۴۸
I2S3	۱/۱۳ ^{ab}	۱/۱۴ ^a	۰/۸۸	۱/۱۵ ^a	۱/۲۳ ^{ab}	۶/۹۶	۶/۹۶
I3S1	۱/۱۳ ^{ab}	۱/۲۰ ^a	۶/۱۹	۱/۱۸ ^a	۱/۲۰ ^{ab}	۱/۶۹	۱/۶۹
I3S2	۱/۱۲ ^{ab}	۱/۱۹ ^a	۶/۲۵	۱/۱۷ ^a	۱/۳۰ ^a	۱۱/۱۱	۱۱/۱۱
I3S3	۱/۰۹ ^{ab}	۱/۱۳ ^a	۳/۶۷	۱/۲۲ ^a	۱/۲۷ ^a	۴/۱۰	۴/۱۰

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند، در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (آزمون دانکن).

به افزایش ۱۵/۰۹ درصدی در چرخ فشاردهنده فلزی در همان سرعت).

داده‌های به‌دست آمده از جرم‌مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد که اثر چرخ‌های فشاردهنده‌ی لاستیکی، بیشتر از دو نوع دستگاه فشرده‌کننده‌ی دیگر است. در این عمق، تیمار I3S2، با ۱۱/۱۱ درصد افزایش در جرم‌مخصوص ظاهری خاک، بیشترین فشردگی را در جوی‌های آبیاری ایجاد نموده است. سایر تیمارهای دستگاه فشرده‌کننده‌ی خاک که در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر باعث افزایش درصد جرم‌مخصوص ظاهری خاک شده بودند، در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر، اثر کمی در افزایش جرم‌مخصوص ظاهری خاک داشتند. نکته‌ای که باید به آن توجه داشت، عدم تأثیر عملیات تیغه‌های پنجه‌غازی در جلو دستگاه فشرده‌کننده‌ی خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری است. تیغه‌های پنجه‌غازی حداکثر تا ۱۰ سانتی‌متری خاک را مورد عملیات قرار داده و همانطور که از داده‌های جدول ۴ مشاهده می‌شود، در تمام تیمارها در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری، درصد تغییرات در جرم‌مخصوص ظاهری خاک کم می‌باشد. در این عمق، تغییرات ایجاد شده در جرم‌مخصوص ظاهری خاک مربوط به استفاده از سه نوع دستگاه فشرده‌کننده خاک است. افزایش در جرم‌مخصوص ظاهری خاک پس از تحکیم جویچه‌های آبیاری

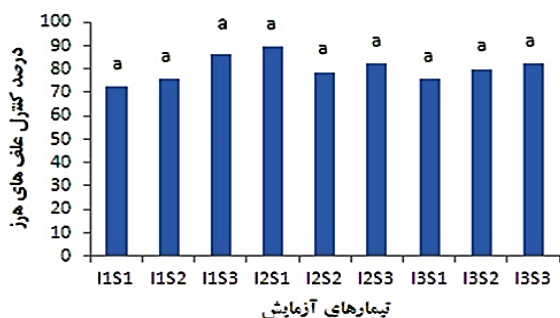
با توجه به جدول ۴، در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر، کاربرد دستگاه فشاردهنده دوزنقه‌ای، چرخ فلزی و چرخ‌لاستیکی در تمام تیمارها باعث افزایش جرم‌مخصوص ظاهری خاک شده است. در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر، بیشترین درصد تغییرات مربوط به تیمار I2S2 (استفاده از چرخ فشاردهنده فلزی و سرعت ۵/۵ کیلومتر بر ساعت) و مقدار ۱۵/۰۹ درصد است. پس از آن تیمارهای I1S2 و I2S1 با ۸/۶۵ و ۸/۳۳ درصد تغییرات و عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با یکدیگر قرار دارند. دو تیمار I3S1 و I3S2 (چرخ‌های فشرده‌کننده لاستیکی در سرعت‌های ۴ و ۵/۵ کیلومتر بر ساعت) با ۶/۲۵ و ۶/۱۹ درصد تغییرات پس از دو تیمار ذکر شده و عدم اختلاف معنی‌دار با یکدیگر قرار دارند.

در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک، چرخ فشاردهنده‌ی فلزی در سرعت ۵/۵ کیلومتر بر ساعت بهترین عملکرد را در افزایش جرم‌مخصوص ظاهری خاک داشته است. دلیل این امر، نوک زاویه‌دار این چرخ و سطح فشاردهنده است که از دو طرف به خاک فشار می‌آورد (شکل ۲). این مورد در دستگاه فشاردهنده‌ی دوزنقه‌ای نیز مشاهده می‌شود ولی در این دستگاه، سطح بیشتری از کف دستگاه در هنگام عملیات با خاک در تماس بوده که باعث می‌شود فشار کمتری بر خاک وارد شود (افزایش جرم‌مخصوص ظاهری ۸/۶۵ در دستگاه فشاردهنده دوزنقه‌ای در سرعت ۵/۵ کیلومتر بر ساعت نسبت

سرعت در بیشتر تیمارهای آزمایش، جرم‌مخصوص ظاهری خاک، افزایش محدودی داشته است. افزایش در جرم‌مخصوص ظاهری خاک با افزایش عمق، توسط سایر پژوهشگران نیز تأیید شده است که در بیشتر تیمارهای این تحقیق نیز مشاهده می‌شود (Solhjou *et al.* 2006).

بررسی شاخص کنترل علف‌های هرز

کنترل علف‌های هرز به‌وسیله کولتیواتور را می‌توان یکی از عملکردهای مهم این ماشین به‌شمار آورد. شکل ۴، درصد کنترل علف‌های هرز با استفاده از ماشین‌های فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک به همراه کولتیواتور پنجه‌غازی را در مزرعه چغندر قند مورد آزمایش نشان می‌دهد.



شکل ۴ شاخص کنترل علف‌های هرز در تیمارهای مختلف

(میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند، در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند (آزمون دانکن)).

داده‌های کنترل علف‌های هرز نشان می‌دهد که بیشترین درصد کنترل در جوی‌های آبیاری در تیمار I2S1 با ۹۷/۴۴ درصد به دست آمده است. این تیمار اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد با سایر تیمارها نشان نمی‌دهد.

نکته‌ای که باید به آن اشاره نمود، سرعت کار با ماشین‌های فشرده‌کننده سطحی خاک و کولتیواتور پنجه‌غازی در دفع علف‌های هرز می‌باشد. مقایسه تیمارهایی که نوع دستگاه فشرده‌کننده سطحی خاک در آنها یکسان و سرعت عملیات درون جوی‌های آبیاری متفاوت است، بیان‌گر این است

با ماشین‌های کشاورزی، توسط محققان دیگر نیز تأیید شده است (Allen Schneider 1992 ; Musick *et al.* 1981).

همان‌طور که بیان شد، افزایش ۱۱/۱۱ درصدی در جرم‌مخصوص ظاهری خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری در چرخ فشرده‌کننده لاستیکی و در سرعت ۵/۵ کیلومتر بر ساعت، مربوط به سطح اندک لاستیک‌های برجسته روی چرخ به‌کار رفته در این نوع دستگاه و نیز ضربه‌ای است که به خاک وارد می‌کند. هم‌چنین مقدار لغزش در این نوع چرخ لاستیکی نسبت به چرخ فشاردهنده فلزی به‌دلیل برجستگی قسمتی از سطح در هنگام درگیری با خاک، کمتر است. این لغزش کمتر باعث انجام عملیات کامل چرخ فشاردهنده لاستیکی بر خاک می‌شود. در چرخ فشاردهنده فلزی، در بعضی از قسمت‌ها، به خصوص در قسمت‌هایی که علف‌های هرز ریشه‌کن شده وجود داشت، لغزش این چرخ مشاهده گردید. مورد اخیر در استفاده از چرخ لاستیکی به‌دلیل درگیری قسمت‌های برجسته لاستیک با خاک مشاهده نشد. داده‌های به‌دست آمده از جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر، مورد ذکر شده را تأیید می‌نماید. در تیمار چرخ فلزی در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر و سرعت ۵/۵ کیلومتر بر ساعت، افزایش ۱۵/۰۹۵ درصد در جرم‌مخصوص ظاهری خاک به ۲/۴۸ درصد در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر کاهش یافت. این در حالی است که در چرخ فشرده‌کننده‌ی لاستیکی، افزایش ۶/۲۵ درصدی این پارامتر در همان سرعت به ۱۱/۱۱ درصد افزایش یافته است.

بررسی داده‌های سرعت پیشروی در استفاده از سه نوع دستگاه فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک نشان می‌دهد که سرعت S2 (۵/۵ کیلومتر بر ساعت)، فشردگی سطحی بیشتری در خاک ایجاد نموده است. سرعت ۴ کیلومتر بر ساعت (S1) باعث می‌شود که چرخ‌ها اثر کمی در اعمال فشار بر سطح خاک داشته باشند. هم‌چنین سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت (S3) باعث لغزش سه نوع دستگاه فشرده‌کننده سطحی خاک (دوزنقه‌ای، چرخ فلزی و چرخ لاستیکی) می‌شود. بنابراین در این دو

بررسی شاخص مخروط قبل و بعد از عملیات فشردگی سطحی خاک

نمودارهای مربوط به شکل ۵، افزایش شاخص مخروط خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی متری را در چند تیمار آزمایش نشان می‌دهد. این افزایش، بیان‌گر تأثیر استفاده از هر سه نوع دستگاه فشردگی سطحی خاک (ذوزنقه‌ای، چرخ فلزی و چرخ لاستیکی) در فشردگی لایه‌ی سطحی خاک در جوی‌های آبیاری و کاهش نفوذ آب به عمق خاک می‌باشد که نتیجه آن دسترسی آب در محل رشد ریشه است. کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت خاک به وسیله‌ی چرخ‌های تراکتور و تحکیم جویچه‌های آبیاری در تحقیقات اخیر گزارش شده است (Kemper *et al.* 1982).

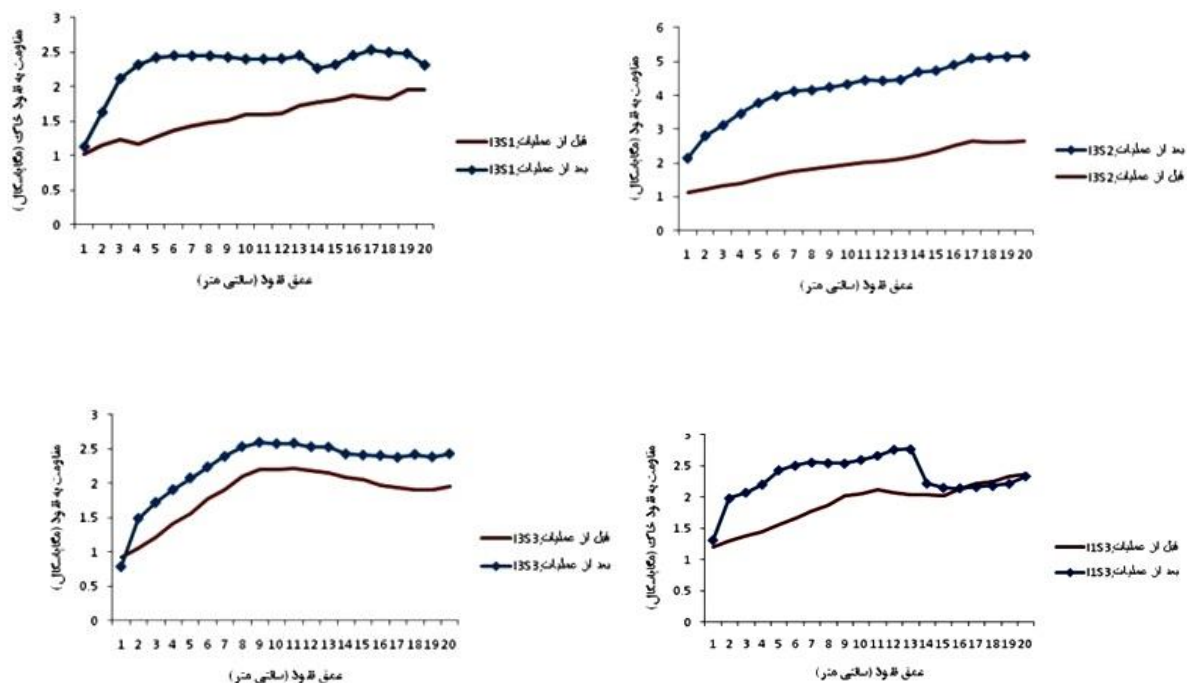
روند کاهش یا افزایش مقاومت نفوذ در خاک (شاخص مخروط خاک)، با افزایش یا کاهش درصد جرم مخصوص ظاهری خاک مطابقت دارد. در تیمار I_3S_2 در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر، افزایش ۱۱/۱۱ درصد در جرم مخصوص ظاهری خاک مشاهده شد که در شکل ۵ نیز این موضوع نمایان است به طوری که از عمق ۱ تا ۲۰ سانتی متری، افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت به نفوذ خاک مشاهده می‌شود. هم‌چنین در تیمار I_3S_1 ابتدا در عمق ۱۰-۰ سانتی متری، یک افزایش ۶/۱۹ درصد در جرم مخصوص ظاهری خاک مشاهده می‌شود و سپس در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری، این افزایش مقدار کمتری را به خود اختصاص داده و به ۱/۶۹ درصد می‌رسد. مطابقت این تیمار در شکل ۵ نیز نشان‌دهنده این روند و افزایش به مقاومت نفوذ در خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی متری و سپس افزایش با شیب ملایم نمودار در عمق ۲۰-۰ سانتی متری دارد. روند افزایش یا کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در مطابقت با مقاومت به نفوذ خاک توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Solhjou 2006 and Behaen *et al.* 2013). هم‌چنین در یک تحقیق، با یکبار عبور تراکتور

که افزایش سرعت، تقریباً در تمام تیمارها باعث افزایش کنترل علف‌های هرز درون جوی‌های آبیاری شده است. بنابراین می‌توان گفت که در یک ماشین مرکب شامل کولتیواتور (در این تحقیق، تیغه‌های پنجه‌غازی) و دستگاه فشردگی که در عقب آن قرار دارد، نوع دستگاه فشردگی تأثیری بر کار کولتیواتور در دفع علف‌های هرز نداشته و در این تحقیق، فقط سرعت پیشروی ماشین مرکب کولتیواتور و فشردگی تأثیر خود را در دفع علف‌های هرز گذاشته است.

نکته دیگری که باید به آن توجه داشت، رابطه کنترل علف‌های هرز و جرم مخصوص ظاهری در فشردگی لایه سطحی خاک است. مقایسه شکل ۴ و جدول ۳، نشان می‌دهد که در تیمارهایی که علف‌های هرز در آنها درصد بیشتری از کنترل را به خود اختصاص داده‌اند، درصد افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک بعد از عملیات با دستگاه فشردگی خاک، بیشتر است. در این مورد می‌توان به تیمار I_2S_1 با کنترل علف‌های هرز ۹۷/۴۴ درصد از و افزایش درصد جرم مخصوص ظاهری ۸/۳۳ درصد در عمق ۱۰-۰ سانتی متری خاک و نیز به تیمار I_3S_2 با کنترل ۸۴/۹۸ درصد از علف‌های هرز و افزایش ۶/۲۵ و ۱۱/۱۱ درصدی در جرم مخصوص ظاهری خاک به ترتیب در عمق‌های ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متری اشاره نمود. دلیل این امر را می‌توان حذف علف‌های هرز و شرایط بهتر عملیات برای دستگاه‌های فشردگی سطحی خاک دانست؛ چرا که با وجود علف‌های هرز کنترل نشده و به جای مانده درون جوی‌های آبیاری، کارایی دستگاه‌های فشردگی سطح خاک، کاهش می‌یابد. نتایج یک تحقیق در پنبه نشان داد که کارایی ماشین کولتیواتور پنجه‌غازی نسبت به کولتیواتور هلالی و دوار در کنترل علف‌های هرز درون جوی‌های آبیاری بیشتر است (Behaen *et al.* 2018). استفاده از تیغه‌های پنجه‌غازی در ماشین‌های مرکب مورد استفاده در این تحقیق نیز نتایج مشابهی در کنترل علف‌های هرز به جای گذاشت.

سانتی‌متر یک روند ثابت مشاهده گردید (Allen and Schneider 1992).

به‌منظور تحکیم جویچه‌های آبیاری، شاخص مخروطی خاک در عمق صفر تا ۷/۵ سانتی‌متری افزایش و سپس تا عمق ۳۰



شکل ۵ شاخص مخروط قبل و بعد از عملیات فشرده‌گی سطحی خاک

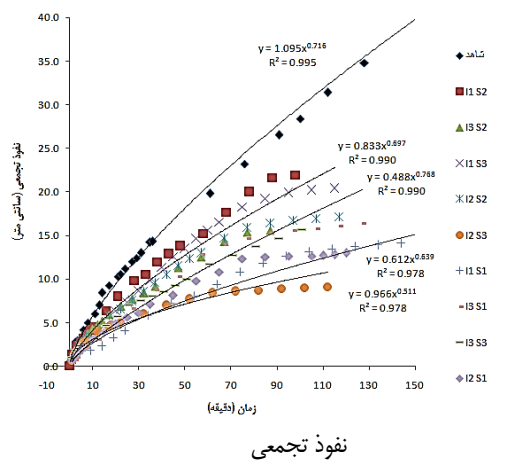
فشرده‌کننده‌ی لاستیکی در جوی‌های آبیاری و در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری در ناحیه‌ی رشد ریشه چغندر قند وارد شده است.

اندازه‌گیری آب آبیاری

شکل ۶ مقادیر نفوذتجمعی آب آبیاری در زمان‌ها و تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. معادلات نفوذ کوستیاکوف برازش شده به بعضی از تیمارها نیز آورده شده است. منحنی شاهد، نشان دهنده‌ی معادله‌ی نفوذتجمعی خاک مزرعه پیش از اعمال تیمارها است. مشاهده می‌گردد که منحنی‌های نفوذ همه تیمارها در زیر تیمار شاهد قرار گرفته که نشان دهنده‌ی این است که با اعمال تیمارهای آزمایش از مقدار نفوذ آب به خاک کاسته شده است. تغییرات کلی نفوذ با مقدار جرم‌مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای مختلف روند عکس داشته است. به این معنی که با متراکم شدن خاک و در نتیجه آن افزایش

نکته‌ی دیگری که باید مدنظر داشت، این است که فشرده‌گی در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری جوی‌های آبیاری باید سطحی و به مقدار کم باشد. این امر باعث نفوذ آب به کناره‌های پشته‌های محصول می‌شود. افزایش در جرم‌مخصوص ظاهری خاک در تیمار I_{1S_3} ۶/۷۲ درصد است. توجه به شکل ۵ مورد این تیمار نیز افزایش کم در مقاومت به نفوذ خاک به خصوص در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر را پیش و پس از عملیات فشرده کردن سطحی خاک نشان می‌دهد. همچنین در تیمار I_{3S_3} افزایش ۴/۱۰ درصد در جرم‌مخصوص ظاهری خاک و یک افزایش با شیب ملایم در مقاومت به نفوذ خاک را می‌توان مشاهده نمود. مقایسه دو تیمار ذکر شده با تیمار I_{3S_2} در افزایش ۱۱/۱۱ درصدی در جرم‌مخصوص ظاهری خاک و نیز افزایش مقاومت به نفوذ خاک، قبل و بعد از عملیات فشرده‌گی سطحی خاک، به دلیل فشرده‌گی بیشتری است که توسط دستگاه

نفوذ آب در خاک به این صورت است که در ابتدای آبیاری سرعت نفوذ زیاد است، سپس به تدریج کاهش یافته و به یک حد ثابت (سرعت نفوذ پایه)، می‌رسد. داده‌های نفوذ نشان می‌دهد که پس از یک ساعت، سرعت نفوذ تقریباً ثابت شده و به سرعت نفوذ پایه، رسیده است. این نتایج در سایر تحقیقات انجام شده توسط سایر محققان نیز گزارش و تأیید شده است (Reza Verdinejad and Noorjou 2015). تحقیقی گزارش شد که تحکیم جویچه‌های آبیاری با چرخ‌های تراکتور، آب نفوذ کرده در فصل آبیاری را از ۱۲۳ به ۸۲ میلی‌متر کاهش می‌دهد (Musick et al. 1981).

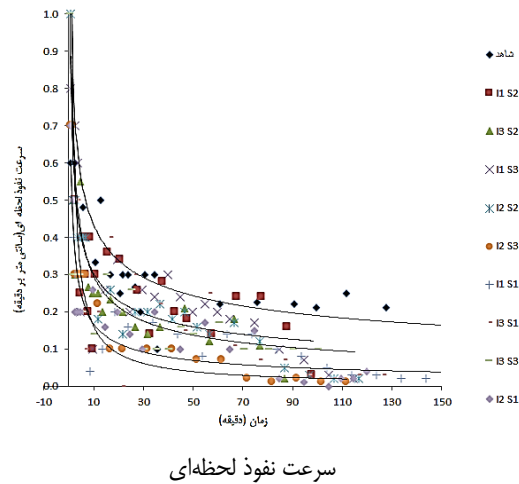


شکل ۵ منحنی‌های سرعت نفوذ لحظه‌ای و نفوذ تجمعی آب در تیمارهای مختلف

بر مترمکعب و عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با تیمار ذکر شده، قرار دارند. افزایش بهره‌وری مصرف آب از ۳/۴۴ به ۳/۶۱ و در نهایت به ۳/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب با یک، دو و سه مرتبه غلظت‌زنی در جویچه‌های آبیاری توسط سایر محققان تأیید شده که با نتایج تحکیم جویچه‌ها در این تحقیق مطابقت دارد (Rezaverdinejad Noorjou 2014).

مقدار جرم‌مخصوص ظاهری، مقدار نفوذ کاهش یافته است. به‌عنوان مثال در سه تیمار I_1S_3 ، I_1S_2 و I_1S_1 که مقدار متوسط جرم‌مخصوص ظاهری خاک به ترتیب ۱/۱۰، ۱/۱۸ و ۱/۲۴ گرم بر سانتی مترمکعب بوده، منحنی‌های نفوذ تجمعی نیز به ترتیب از زیاد به کم یا بالا به پایین قرار گرفته‌اند.

شکل ۷ منحنی‌های سرعت نفوذ لحظه‌ای در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. مطابق این شکل نیز سرعت نفوذ آب قبل از اعمال تیمارها (شاهد)، از کلیه تیمارها بیشتر است. تیماری که بیشترین و کمترین سرعت نفوذ آب به داخل خاک را داشته، به ترتیب تیمارهای I_1S_2 و I_2S_3 است. روند سرعت



عملکرد ریشه‌ی چغندر قند و بهره‌وری آب

نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد ریشه‌ی چغندر قند در تیمار I_1S_3 و به مقدار ۸۱/۶۰ تن بر هکتار به دست آمده است. همچنین دو تیمار I_2S_1 و I_3S_3 به ترتیب با ۷۷/۹۳ و ۷۳/۸۷ تن بر هکتار و اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با تیمار بیشینه عملکرد چغندر قند، در رده‌های بعدی قرار دارند (جدول ۵). با توجه به جدول ۴، بهره‌وری آب در تیمار I_1S_3 با ۴/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. تیمارهای I_2S_1 و I_3S_3 نیز با ۴/۲۶ و ۴/۰۲ کیلوگرم

جدول ۵ عملکرد ریشه چغندر قند و بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف

پارامتر	عملکرد ریشه چغندر قند (تن بر هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
I ₁ S ₁	۶۹/۴ ^d	۳/۷۶ ^{ab}
I ₁ S ₂	۶۶/۶۷ ^{de}	۳/۶۰ ^{ab}
I ₁ S ₃	۸۱/۶۰ ^a	۴/۴۳ ^a
I ₂ S ₁	۷۳/۸۷ ^c	۴/۰۲ ^a
I ₂ S ₂	۶۹/۵۳ ^d	۳/۷۸ ^{ab}
I ₂ S ₃	۶۹/۱۳ ^d	۳/۷۵ ^{ab}
I ₃ S ₁	۵۰/۱۳ ^f	۲/۷۱ ^c
I ₃ S ₂	۶۷/۴۰ ^{de}	۳/۶۵ ^{ab}
I ₃ S ₃	۷۷/۹۳ ^b	۴/۲۶ ^a

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح پنج درصد، دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (آزمون دانکن).

با توجه به جدول ۵، با افزایش یا کاهش بهره‌وری آب، عملکرد ریشه‌ی چغندر قند در تیمارهای مختلف افزایش یا کاهش می‌یابد. یافته‌های تحقیقاتی نیز نشان می‌دهد که افزایش عملکرد محصول با تحکیم جویچه‌های آبیاری، به دلیل توزیع یکنواخت آب در طول جویچه و کاهش نفوذپذیری، اتفاق می‌افتد که نتایج تحقیق حاضر را تأیید می‌کند (Kemper *et al.* 1982).

عملکرد شکر سفید و متغیرهای کیفی چغندر قند

در جدول ۶، عملکرد شکر سفید، درصد قندخالص (مقدار شکر سفید یا شکر قابل‌استحصال)، مقدار سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره در تیمارهای مختلف نشان داده شده است. بیشترین مقدار عملکرد شکر سفید، مربوط به تیمار I₁S₃ با ۹/۱۸

جدول ۶ ویژگی‌های کیفی چغندر قند در تیمارهای مختلف

پارامتر	قندخالص (درصد)	عملکرد شکر سفید (تن بر هکتار)	سدیم (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم ریشه چغندر قند)	پتاسیم (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم ریشه چغندر قند)	نیتروژن مضره
I ₁ S ₁	۹/۲۱ ^c	۶/۴۳ ^{cd}	۳/۹۴ ^{ab}	۸/۲۰ ^a	۴/۶۱ ^{ab}
I ₁ S ₂	۱۱/۵۱ ^a	۸/۰۰ ^b	۲/۷۵ ^b	۶/۶۴ ^b	۴/۰۳ ^{abc}
I ₁ S ₃	۱۱/۱۵ ^a	۹/۱۸ ^a	۳/۰۵ ^{ab}	۶/۴۰ ^b	۳/۰۰ ^c
I ₂ S ₁	۹/۳۷ ^c	۶/۸۹ ^{cd}	۴/۷۴ ^a	۶/۹۱ ^b	۴/۸۶ ^a
I ₂ S ₂	۱۰/۴۰ ^b	۷/۲۵ ^c	۳/۲۱ ^{ab}	۶/۵۰ ^b	۳/۱۴ ^c
I ₂ S ₃	۱۱/۳۹ ^a	۷/۸۸ ^b	۳/۰۸ ^{ab}	۶/۴۱ ^b	۳/۴۲ ^{abc}
I ₃ S ₁	۹/۲۵ ^c	۴/۶۷ ^e	۳/۸۱ ^{ab}	۷/۲۰ ^b	۳/۹۲ ^{abc}
I ₃ S ₂	۱۰/۹۲ ^b	۷/۱۲ ^c	۲/۹۵ ^b	۶/۵۶ ^b	۳/۳۲ ^{bc}
I ₃ S ₃	۱۱/۱۱ ^a	۸/۱۱ ^b	۲/۸۹ ^b	۶/۸۰ ^b	۳/۱۲ ^c

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند، در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند (آزمون دانکن).

تن بر هکتار است. این تیمار اختلاف معنی‌داری را در سطح پنج درصد با تیمار I₃S₃ و ۸/۱۱ تن بر هکتار نشان می‌دهد. درصد قند در تیمارهای ذکر شده به ترتیب ۱۱/۱۵ و ۱۱/۱۱ درصد است. همچنین مقدار سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره در تیمار I₁S₃ به ترتیب ۳/۰۵، ۶/۴۰ و ۳/۰۰ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه‌ی چغندر قند بوده که اختلاف معنی‌داری را در سطح پنج درصد با تیمار I₃S₃ و مقادیر ۲/۸۹، ۶/۸۰ و ۳/۱۲ در عناصر ذکر شده نشان نمی‌دهد. از دلایل افزایش عملکرد شکر سفید در تیمارهای بالا، می‌توان به افزایش عملکرد ریشه، افزایش درصد قند و کاهش مقدار ناخالصی‌های موجود در ریشه (سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره) نسبت به تیمارهای دیگر اشاره کرد. افزایش بهره‌وری آب، خوش فرم بودن ریشه‌ها و چند شاخه‌ای نشدن آنها، یکی از دلایل افزایش عملکرد ریشه بوده که می‌تواند به افزایش عملکرد شکر سفید منجر شود. در تحقیقی، بر افزایش بهره‌وری مصرف آب با تحکیم جویچه‌های آبیاری و در نهایت افزایش تولید شکر سفید تأکید شده است (Noorjou 2012). همچنین کنترل مناسب علف‌های هرز می‌تواند باعث افزایش درصد قند و در نهایت افزایش مقدار عملکرد شکر سفید گردد.

تیمارهای آزمایش شده، تیمارهای دستگاه فشاردهنده‌ی دوزنقه‌ای و چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی در سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت، از نظر شاخص‌های برآورد شده (جرم مخصوص ظاهری، شاخص کنترل علف‌های هرز و بهره‌وری آب)، تفاوت معنی‌دار آماری نداشته و از نظر نفوذتجمعی آب و سرعت نفوذ لحظه‌ای تقریباً در یک سطح بودند. نتایج حاصل از آزمایش بر ماشین‌های فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک و کولتیواتور نشان داد که افزایش سرعت در این ماشین‌ها باعث افزایش کارایی آنها می‌شود. نتایج حاصل از عملکرد ریشه‌ی چغندر قند، بهره‌وری آب و عملکرد شکر سفید در تیمار دستگاه چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی در سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت به ترتیب ۷۷/۹۳ تن بر هکتار، ۴/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب و ۸/۶۶ تن بر هکتار بود. در مجموع، این تیمار نسبت به دو دستگاه دیگر فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک، وضعیت مطلوب‌تری داشت.

بر اساس نتایج و مطالب بیان شده، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱- با توجه به لزوم افزایش بهره‌وری آب، به خصوص در محصولات با مصرف بالای آب مانند چغندر قند، در زمان استفاده از کولتیواتور، یک دستگاه چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی به همراه کولتیواتور به صورت یک ماشین مرکب، استفاده شود.

۲- دستگاه چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی و کولتیواتور، در سرعت مناسب ۵/۵ یا ۷، با توجه به نوع خاک و رطوبت، مورد استفاده قرار گیرد تا فشار مناسب به لایه سطحی خاک وارد شود.

۳- شاسی دستگاه فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک، با وزن کم ساخته شده و با طراحی مناسب قطعه‌ی فشاردهنده، فشار سطحی توسط این قطعه به خاک وارد و از فشردگی بیش از حد جلوگیری شود. مورد اخیر در دستگاه فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک با چرخ لاستیکی مشاهده گردید.

کمترین مقدار عملکرد شکر سفید مربوط به تیمار I_3S_1 و مقدار ۴/۶۷ تن بر هکتار است. در این تیمار درصد قند در مقداری پایین (۹/۲۵ درصد) و عملکرد ریشه نیز کمترین مقدار را در میان تیمارهای آزمایش به خود اختصاص داده است (۵۰/۱۳ تن بر هکتار). به‌آئین و همکاران (2013) نیز با آزمایش‌های کیفی روی محصول چغندر قند در کاربرد تیمارهای خاک‌ورزی، خوش‌فرم بودن ریشه‌ها، کاهش ناخالصی‌های موجود در ریشه و بالا قرار نگرفتن طوقه‌ها از سطح زمین را از عوامل افزایش عملکرد شکر سفید ذکر نموده‌اند. در تیمارهای I_3S_3 و I_3S_3 ، شاخص کنترل علف‌های هرز به ترتیب ۸۶/۵۶ و ۸۸/۳۷ درصد بود. هم‌چنین در تیمار I_3S_1 با کمترین مقدار عملکرد شکر سفید (۴/۶۴ تن بر هکتار)، کنترل علف‌های هرز به مقدار ۷۸/۷۰ درصد مشاهده گردید. نتایج تحقیقات محققان نیز نشان داد که افزایش کنترل علف‌های هرز باعث افزایش درصد قند در چغندر قند شده که با نتایج به دست آمده از تیمارهای آزمایش در این تحقیق مطابقت دارد (Toorabi (2018 and Afzalnia et al. 2008).

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از ماشین‌های مرکب فشرده‌کننده‌ی سطحی خاک و کولتیواتور نشان داد که این ماشین‌ها می‌توانند پارامترهای فیزیکی خاک (جرم مخصوص ظاهری، سرعت نفوذ آب و ...) را تغییر دهند. بیشترین درصد افزایش در جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمار چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی در سرعت ۵/۵ کیلومتر بر ساعت با ۱۱/۱۱ درصد به دست آمد. بالاترین مقدار کنترل علف‌های هرز با ۹۷/۴۴ درصد، در تیمار چرخ فشاردهنده‌ی فلزی در سرعت ۴ کیلومتر بر ساعت بود که تفاوت آماری با تیمار چرخ فشاردهنده‌ی لاستیکی در سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت، نداشت. در میان

منابع مورد استفاده

References:

Abbasi F, Flow principles in surface irrigation, IRNCID Publications, Tehran, Iran, 2012; pp. 232.

- Afzalinia S, Niroomand M, Mohammadi D. The effect of row crop cultivator types on sugar beet yield and quality. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2008; 9(2): 57-66. **[In Persian]**
- Alizadeh A. Irrigation system design: Surface irrigation system design, Vol. 1, Emam Reza University., 3rd Ed., 2009; pp. 450. **[In Persian]**
- Allen RR, Sschneider AD. Furrow water intake reduction with surge irrigation or traffic compaction. *Applied Engineering in Agriculture*. 1992; 8(4): 455-460. **doi:10.13031/2013.26092.**
- Altikat S, Celik A. The effects of tillage and intera-row compaction on seedbed properties and red lenti emergence under dry land locations. *Soil & Tillage Research*. 2011; 114(1): 1-8. **doi:10.1016/j.still.2011.03.003.**
- Altikat S, Celik A, Turgut N. The effects of different soil particle size distribution and seed row compaction levels on the germination and yield of spring wheat. *Research in Agricultural Sciences*. 2006; 37(2): 197-205.
- Arvidsson J, Bolenius E, Cavalieri KMV. Effects of compaction during drilling on yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*. 2012; 39: 44-51. **doi:10.1016/j.eja.2012.01.007.**
- Asoodar MA, Bakhshandeh AM, Afraseabi H, Shafeinia A. Effects of press wheel weight and soil moisture at sowing on grain yield. *Journal of Agronomy*. 2012; 5(2): 278-83. **doi:10.3923/ja.2006.278.283.**
- Behaen MA. Evaluation of in row cultivator and comparison with conventional cultivator on weed control and yield in cotton field. *Agricultural Engineering research Institute (Iran)*; 2012 Mar. 36 p. Report No.: 41712. **[In Persian]**
- Behaen MA, Ashrafmansoori GR, Hamdi F. Effect of different tillage methods in monogerm seedbed preparation on yield and quality of sugar beet. *Journal of Sugar Beet*. 2013; 28(2): 123-28. **doi:10.22092/JSB.2013.987. [In Persian]**
- Behaen MA, Fereidoonpur M, Hekmat MH. Study in the efficiency of singular and combined usage of three kinds of cultivators and its application time in cotton field. *Iranian Journal of Cotton Research*. 2018; 5(2): 91-108. **doi:10.22092/IJCR.2018.116835. [In Persian]**
- Behmanesh J, Norjoo A. The effect of within-furrow soil compaction and sowing pattern on water use efficiency of sugar beet. *Journal of Sugar Beet*. 2016; 32(1): 51-62. **doi:10.22092/JSB.2016.106110. [In Persian]**
- Biswas HS. Animal-drawn weeders for weed control in India. *Central Institute of Agricultural Engineering (Bhopal, India.)*; 2000 Technical Bulletin CIAE No.:/78/3.
- Farshi AA, Kheirabi J, Siadat H, Mirlatifei M, Darbandi S, Salamat AR, Entesari MR, Sadat MH. On-farm irrigation water management, *Iranian National Committee on Irrigation and Drainage*, 2003; pp. 178. **[In Persian]**
- Fazeli S, Abbaspour-Gilandeh Y, Shahgoli GH, Fazel-Niari Z. Effect of forward speed and tillage depth on fuel consumption and draft force of different types of cultivator blades. *Agricultural Mechanization and Systems Research*. 2017; 18(68): 71-88. **doi.org/10.22092/erams.2017.106044.1086. [in Persian]**
- Kemper WD, Ruffing BJ and Bondurant JA. Furrow intake rate and water management. *Transactions of the ASAE*. 1982; 25(2): 333-339. **doi: 10.13031/2013.32286.**
- Mohammadi-Mazraeh H, Nourju A. Design and manufacture of planter furrow firm rollers for improvement irrigation parameters. *Agricultural Engineering Research Institute (Iran)*; 2012 Apr. 33 p. Report No.: 78015. **[In Persian]**

- Musick JT, Dusck DA and Schneider D. Deep tillage of irrigation pull man clay loam a long-term evaluation. Transactions of the ASAE. 1981; 24(6): 1515-1519. **doi: 10.13031/2013.34474.**
- Nimah MN, Sidahmed M, Hatem G. Furrow irrigation design parameter as affected by soil compaction. Applied Ecology. 2000; 3(2): 60-7.
- Norjoo A. Impact of furrow firming and sowing pattern on water use efficiency, quality and yield of sugar beet. Agricultural Engineering Research Institute (Iran); 2012 Apr. 56 p. Report No.: 40234. **[In Persian]**
- Rezaverdinejad V, Norjoo A. Optimization of furrow irrigation performance using WinSRFR under furrow firming condition of sugar beet cultivation. Journal of Water and Soil. 2014; 27(6): 1281-1293. **doi:10.22067/JSW.V0I0.25268. [In Persian]**
- Rezaverdinejad V, Norjoo A. Designing and evaluation the compaction roller of furrows in order to reduce irrigation losses (case study furrow irrigation). Journal of Water and Sustainable Development. 2015; 1(3): 59-66. **doi:10.22067/JWSD.V1I3.36057. [In Persian]**
- Smith DW, Sims BG, O'Neil DH. Testing and evaluation of agricultural machinery and equipment. Principles and practices, F.A.O. Agricultural services bulletin, 1994; pp. 272.
- Sohrabi T, Paydar Z. Principles of irrigation system design, Tehran Univ., 2005; pp. 406. **[In Persian]**
- Solhjou AA, Dehghanian E, Sepaskhah A, Niroomand-Jahromi M. Effect of subsoiling and irrigation frequencies on soil physical properties and sugar beet yield. Journal of Agricultural Engineering Research. 2006; 6(25): 131-44. **[In Persian]**
- Toorabi S. Effect of integrated weed management systems on quantitative and qualitative yield of sugar beet under different irrigation regimes. Weed Science Research. 2018; 24(3): 267-77. **doi:10.28941/24-3(2018)-8.**
- Yonts DC, Eisenhauer DE. Firming irrigation furrow to improve irrigation performance. Published by University of Nebraska, Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, 2007; pp. 4.