

## اثر تردد ماشین‌های برداشت بر فشردگی خاک‌های مزارع نیشکر جنوب غربی خوزستان

علیرضا مهردادیان\*<sup>۱</sup>، محمدامین آسودار<sup>۲</sup> و فاطمه عباسی<sup>۳</sup>

۱- نویسنده مسؤو: کارشناس ارشد مهندسی مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(Alireza\_mehrdadian@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۳- کارشناس ارشد مهندسی مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۷

### چکیده

به منظور بررسی اثر تردد ماشین‌های برداشت نیشکر در رطوبت‌های مختلف بر تغییرات جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی خاک در شرایط آب و هوایی مزارع خوزستان، این آزمایش به صورت پیمایشی در ۱۰ مزرعه در کشت و صنعت دعبل خزائی اهواز در سال زراعی ۸۵-۸۴ اجرا گردید. در این آزمایش از دو نوع دروگر نیشکر آستافت چرخ لاستیکی و نیم‌زنجیری جهت برداشت نیشکر با وزن ۱۴ تن و همچنین تراکتور مدل MF ۳۹۹ و دو نوع سبد حمل کشتی آن به وزن‌های ۱۰ تن و ۱۸ تنی هر دو با دو محور جهت حمل بار استفاده گردید. قبل و بعد از انجام آزمایش، جرم مخصوص ظاهری خاک در سه عمق ۵-، ۳۵-۳۰ و ۶۵-۶۰ سانتی‌متر و شاخص مخروطی خاک از سطح خاک تا عمق ۸۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید. نتایج بیش‌ترین مقدار افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۵- تا ۰ سانتی‌متر با ۶/۶۹ درصد نشان داد. در عمق ۵- تا ۰ سانتی‌متر دروگرهای نیم‌زنجیری با ۷/۷ درصد افزایش در جرم مخصوص ظاهری خاک با احتمال ۹۵ درصد تأثیر بیش‌تری در افزایش این شاخص در مقایسه با دروگر چرخ لاستیکی با ۴/۸۷ درصد داشت. اما در عمق ۶۵- تا ۶۰ سانتی‌متر دروگر چرخ لاستیکی با افزایش ۵/۸۹ درصد در جرم مخصوص ظاهری خاک در سطح ۵ درصد افزایش بیش‌تری را در جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به دروگر نیم‌زنجیری نشان داد. تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک در هر دو سبد حمل مشابه بود. نتایج نشان از حساسیت شدید شاخص مخروطی خاک به رطوبت داشت به گونه‌ای که در دروگرهای نیم‌زنجیری که رطوبت مزارع نزدیک به ظرفیت مزرعه‌ای بود، تغییر شاخص مخروطی خاک معنی‌دار بود. به طور مشخص در تیمار دروگر نیم‌زنجیری و سبد ۱۸ تنی و در عمق ۸۰-۶۰ سانتی‌متر تیمار دروگر نیم‌زنجیری و سبد ۱۰ تنی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بودند؛ اما در بقیه تیمارها و اعماق تفاوت‌ها معنی‌دار نبود.

### کلیدواژه‌ها: برداشت، نیشکر، جرم مخصوص ظاهری، شاخص مخروطی

#### مقدمه

چه مزیت‌هایی را به دنبال داشته است؛ اما باعث فشردگی و افزایش گسترده تراکم خاک شده و اثرات منفی بر تولید محصولات کشاورزی گذاشته است. مخرب‌ترین اثر تردد ماشین‌های کشاورزی در مزارع، فشردگی خاک است (رادفورد و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶).

با پیشرفت و توسعه تکنولوژی در سال‌های اخیر، کشاورزان به استفاده مفیدتر از نیروی کارگری، کاهش هزینه‌های تولید در هکتار و افزایش ظرفیت کاری ادوات ترغیب شده‌اند. در پی این تغییرات، تراکتورها، دروگرها و سایر ماشین‌ها، بزرگ‌تر و قوی‌تر گردیده‌اند. افزایش ظرفیت ماشین‌های کشاورزی، اگر

حرکت از ۶۰ به ۲۰ کیلومتر در ساعت کاهش یابد، از ۵ به ۸/۵ سانتی متر می رسد (تورنر و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۷). به طوری که آزمایش ها نشان داده است طی عملیات برداشت که وزن دروگرها تا ۱۴ و حمل کننده ها تا ۲۵ تن می رسد، بیش ترین فشردگی خاک در چرخه تولید نیشکر ایجاد می گردد. مقدار رطوبت موجود در خاک یک عامل بحرانی بالقوه در فشردگی خاک است. در یک خاک خشک که اصطکاک بین ذرات خاک وجود دارد فشردگی به راحتی صورت نمی گیرد. آب به صورت یک روان کننده بین ذرات خاک عمل کرده و به ذرات خاک کمک می کند تا به راحتی در هم فشرده شوند (کوک و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۹۹۶). بچمن و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۵) بارهای ۹ و ۱۸ مگاگرم را در دو نوع خاک به کار بردند. ایشان تغییرات خصوصیات خاک در لایه های زیرین را در زمانی که خاک خشک بود، ناچیز مشاهده نمودند؛ ولی با افزایش رطوبت در خاک، جرم مخصوص ظاهری به صورت معنی داری افزایش یافت. ایشان همچنین گزارش نمودند که در اثر فشار ناشی از بارهای زیاد، فشردگی در لایه های زیرین خاک نفوذ کرده و خصوصاً در شرایط مرطوب باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می گردد. تیلر و همکاران<sup>۶</sup> (۱۹۸۰) تسمه های فلزی، تسمه های لاستیکی و تایرها را در آزمایشگاه خاک ورزی بررسی کرده و نتیجه گرفتند که بیش ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری و فشار وارده روی خاک توسط تایرهای لاستیکی ایجاد می گردد.

از آنجا که تراکم خاک تابعی از جرم مخصوص و محتوای رطوبتی خاک می باشد (برزگر و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۰). تعیین رطوبت مناسب خاک در زمان برداشت که خسارت ناشی از فشردگی خاک را افزایش ندهد،

افزایش فشردگی و تراکم باعث کاهش خلل و فرج خاک شده، تهویه خاک و اکسیژن آن را کاهش و دی اکسید کربن را افزایش می دهد؛ همچنین تراکم باعث افزایش مقاومت به نفوذ ریشه در خاک شده و رشد ریشه را با مشکل مواجه می کند که اگر این مقاومت از ۳ مگا پاسکال افزایش یابد رشد ریشه متوقف می شود (چن و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). از آنجا که فشردگی به خصوص در لایه های عمقی به راحتی قابل رفع نیست، بهترین راه مقابله با مشکل فشردگی خاک پیشگیری از آن است (واز<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱).

گیاه نیشکر به دلیل دوام بیش از یک سال در زمین، عملیات خاک ورزی شدید، برداشت سالیانه در شرایط مرطوب و عملکرد بالای محصول آن (حدود ۱۰۰ تن در هکتار)، جهت برداشت و حمل و نقل، نیاز به ادوات بسیار سنگین و تراکتورهای قوی دارد و نیروی وزن اعمال شده توسط این دستگاه ها باعث ایجاد تراکم شدید در خاک می شود. از طرف دیگر عملیات سنگین تهیه زمین، آب شویی و تسطیح در کشت نیشکر، باعث تخریب ساختمان خاک شده و خاک را در هنگام عملیات، برداشت مستعد فشردگی می کند. حد بحرانی جرم مخصوص ظاهری خاک برای ریشه نیشکر  $1/9 - 1/8 \text{ Mg/m}^3$  است که با این حد از فشردگی خاک، ریشه ها به صورت سطحی و محدود رشد می کنند (لرزاده و همکاران، ۱۳۸۱).

نیرویی که در اثر تردد ماشین ها در مزرعه به خاک وارد می شود، تابع ۳ عامل وزن، سرعت و تعداد تردد ماشین ها است. هر قدر نیروی وارده ماشین ها در سطح کمتری باشد، تراکم خاک هم بیش تر است. با افزایش سطح تماس چرخ ها، میزان تراکم کاهش می یابد؛ زیرا تنش کمتری به سطح خاک وارد می شود. سرعت بیش تر ماشین های کشاورزی میزان و عمق تراکم را کاهش می دهد (واز، ۲۰۰۱). عمق رد چرخ هنگامی که سرعت

3- Turner *et al.*4- Kok *et al.*5- Bachman *et al.*6- Taylor *et al.*7- Barzegar *et al.*1- Chen *et al.*

2- Vaz

شده به عنوان قطر بزرگ بیضی، برای اندازه گیری سطح تماس چرخ با زمین استفاده شد. بارگیری نیشکر همزمان توسط تراکتورهای مسی فرگوسن مدل ۳۹۹ و سبدهای حمل با ظرفیت ۱۰ و ۱۸ تن انجام گرفت (جدول ۱).

### نمونه برداری خاک

در هر جوی پیش از عبور ماشین ها ۳ نمونه خاک در ۳ عمق ۵-۰، ۳۵-۳۰، ۶۵-۶۰ سانتی متر گرفته شد. برای نمونه برداری از وسایل مخصوص نمونه برداری خاک استفاده شد. از آنجا که فشردگی خاک در کف جوی بسیار بیش تر از روی پشته صورت می گیرد، نمونه برداری ها در کف جوی انجام شدند. حجم سیلندرها ۱۰۰ سانتی متر مکعب بود. برای هر بار نمونه برداری و جهت رسیدن به عمق مورد نظر، خاک توسط آگر (مته) حفر شده و نمونه برداری انجام گردید. نمونه برداری ها پس از عبور ماشین های برداشت مجدداً تکرار گردید. شاخص مخروطی خاک قبل و بعد از عبور ماشین ها توسط دستگاه نفوذسنج الکترونیکی Part Number: 0325KL1 ساخت استرالیا اندازه گیری شد از آنجا که به دست آوردن منطقه ای یکنواخت از نظر رطوبت، غیر ممکن است و از سوی دیگر نمی توان با استفاده از روش بلوک بندی، غیر یک نواختی رطوبت را در خاک توجیه کرد، از روش تجزیه کواریانس (فرشاد فر، ۱۳۸۰)، با در نظر گرفتن رطوبت به عنوان متغیر کمکی برای تحلیل داده ها هم در جرم مخصوص ظاهری هم در شاخص مخروطی خاک، استفاده گردید. به دلیل این که تردد همه ماشین ها در مزارع در شرایط یکسان صورت نمی گرفت، برای تحلیل بهتر نتایج از متغیر جدید درصد افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک با رابطه (۱) استفاده گردید.

ضروری است. به همین منظور مطالعه حاضر به منظور تعیین پروفیل فشردگی خاک در لایه های سطحی و عمقی زیر چرخ های ماشین های برداشت و حمل و نقل نیشکر و همچنین مقایسه تأثیر ماشین های برداشت نیشکر بر تراکم خاک انجام گردید.

### مواد و روش ها

این مطالعه در ۱۰ مزرعه به صورت پیمایشی<sup>۱</sup> با ۲ تکرار انجام شد. مزارع مذکور شامل مزارعی با برداشت سال اول، برداشت سال دوم (راتون) و برداشت سال سوم (راتون ۲) بودند. این مزارع از نظر رشد نیشکر تقریباً یکنواخت بوده و آماده برداشت بودند. قبل از عبور ماشین ها، نمونه برداری برای اندازه گیری رطوبت، جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی خاک در ۲ تکرار انجام گرفت و مجدداً پس از عبور ماشین ها، نمونه برداری ها تکرار گردید. تیمارهای مورد بررسی شامل ۴ تیمار: (۱) دروگر چرخ لاستیکی و سبد حمل ۱۸ تنی با تراکتور، (۲) دروگر چرخ لاستیکی و سبد حمل ۱۰ تنی و تراکتور، (۳) دروگر نیم زنجیری<sup>۲</sup> و سبد حمل ۱۸ تنی و تراکتور و (۴) دروگر نیم زنجیری و سبد حمل ۱۰ تنی بود. نمونه برداری پس از دو بار عبور دروگر از یک جوی (اثر چرخ در رفت و برگشت) و ۲ بار عبور تراکتور و سبد پر از نیشکر حمل شده به کارخانه بود. بارگیری سبدهای حمل به صورت همزمان انجام گردید.

برای برداشت نیشکر از دروگرهای آستافت<sup>۳</sup> ساخت کشور استرالیا استفاده شد. مشخصات این دروگرها در جدول (۱) آمده است. سطح تماس چرخ سبدهای حمل و دروگرها در جهت حرکت در دو طرف محل تماس چرخ با زمین اندازه گیری شد. عرض چرخ به عنوان قطر کوچک بیضی و فاصله اندازه گیری

1- Survey  
2- Half truck  
3- Austoft

## جدول ۱- مشخصات ماشین های برداشت و حمل نیشکر (۱ و ۲)

نوع ماشین	تراکتور ۳۹۹	سبد ۱۸ تنی	سبد ۱۰ تنی	دروگر لاستیکی	دروگر هاف تراک
فشار باد چرخ عقب KPa	۱۷	۶۰-۷۰	۶۰-۷۰	۳۸	-
فشار باد چرخ جلو KPa	۲۱	-	-	۶۰	۶۰
اندازه چرخ عقب (اینچ)	۳۴-۱۸/۴	۲۵-۱۷/۵	۲۵-۱۷/۵	۲۶-۲۳/۱	-
اندازه چرخ جلو (اینچ)	۲۴-۱۴/۹	۲۵-۱۷/۵	۲۵-۱۷/۵	۱۸-۱۴/۵	۱۸-۱۴/۵
سطح تماس چرخ (m <sup>2</sup> )	-	۰/۲۶۴	۰/۱۹	۰/۱۸۳	۰/۴۲۹

رابطه (۱)

$$\%Bd = \frac{Bd_{traffic} - Bd_{nottraffic}}{Bd_{nottraffic}} \times 100$$

$\%Bd$  درصد افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک  
(/.)

$Bd_{traffic}$ : جرم مخصوص ظاهری خاک پس از تردد  
(مگاگرم بر متر مکعب)

$Bd_{nottraffic}$ : جرم مخصوص ظاهری خاک قبل از تردد  
(مگاگرم بر متر مکعب)

تجزیه های آماری و محاسبات رگرسیونی با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت، برای تحلیل داده ها از روش تجزیه کوواریانس استفاده شد و میانگین ها با استفاده از آزمون LSD مقایسه گردید.

عملیات سنگین خاک ورزی و ارتعاشات شدید خاک حاصل از تردد ماشین ها طی عملیات مختلف تولید نیشکر مخصوصاً خاک ورزی و برداشت منجر به تخریب شدید ساختمان خاک، از بین رفتن خاک دانه ها و کاهش اصطکاک داخلی خاک برای مقابله با نیروهای خارجی می شود و همین عامل به علاوه فقر مواد آلی در سطح خاک باعث تشکیل سله های سختی شده که مقاومت خاک را در مقابل نفوذ آب افزایش داده و شاخص مخروطی خاک را بالاتر نشان می دهد همچنان که شواهد زیادی نیز وجود دارد که نشان می دهد، تخریب ساختمان خاک در اثر عملیات شدید خاک ورزی از عوامل افزایش استعداد خاک برای فشردگی در اثر تردد ماشین ها است (راپر، ۲۰۰۵).

در عمق های ۶۵-۶۱ سانتی متر و همچنین ۷۵-۶۵ سانتی متر نیز تردد ماشین ها باعث تغییرات معنی داری در افزایش شاخص مخروطی خاک گردید ضمن این که در این اعماق، تردد دروگرها تأثیر معنی داری بر این افزایش داشت. این پدیده از افزایش رطوبت ناشی می شد که به دلیل کاهش مقاومت داخلی خاک فشردگی بیش تری در خاک ایجاد کرد و افزایش شاخص مخروطی خاک را تشدید نمود. همچنین دیده شده که

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس شاخص مخروطی خاک در عمق های ۸۰-۰ سانتی متر (جدول ۲) نشان داد که بین ماشین ها از نظر تأثیر بر شاخص مخروطی خاک در بعضی از اعماق تفاوت های معنی داری وجود دارد. در سطح خاک در عمق های ۳، ۵، ۷ و ۱۲ سانتی متر تردد ماشین ها باعث افزایش معنی داری در شاخص مخروطی خاک گردید. این تفاوت معنی دار بین ماشین ها وجود نداشت؛ ولی اثر متقابل ماشین و عمق معنی دار بود.

می‌دهد. از سوی دیگر وزن بالاتر سبدهای ۱۸ تنی و عدم توانایی تراکتورها برای کشش آنها امکان ورود این سبدها را به مزارعی با رطوبت‌های بالا نمی‌دهد، از این رو تأثیر این سبدها بر شاخص مخروطی خاک کمتر می‌شود.

### دروگرها

نتایج مقایسه میانگین‌ها در دروگرهای لاستیکی و نیم‌زنجیری نشان از یکسان بودن تغییرات شاخص مخروطی و جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متر و تفاوت تغییرات این دو شاخص در عمق ۸۰-۶۰ سانتی‌متر دارد. در سطح خاک همان‌طور که انتظار می‌رود، دروگر چرخ لاستیکی با افزایش شاخص مخروطی خاک تأثیر بیش‌تری بر این شاخص نسبت به دروگر نیم‌زنجیری دارد (شکل‌های ۳ و ۴). اما در عمق ۸۰-۶۰ سانتی‌متر با وجود افزایش بیش‌تر جرم مخصوص ظاهری خاک در دروگر چرخ لاستیکی، شاخص مخروطی خاک در دروگر نیم‌زنجیری به دلیل کاهش سرعت حرکت، بیش‌از دروگر چرخ لاستیکی افزایش یافته است. هر دو دروگر در عمق ۶۰-۲۰ سانتی‌متر تأثیر چندانی بر شاخص مخروطی خاک نداشته‌اند.

سطح تماس بیش‌تر محورهای عقب دروگرهای نیم‌زنجیری با خاک باعث کاهش بار وارده و تقلیل اثر آن در افزایش جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی خاک می‌گردد؛ ضمن این‌که تردد دروگرهای نیم‌زنجیری را در شرایط رطوبتی بالا که امکان تردد دروگرهای چرخ لاستیکی وجود ندارد، امکان‌پذیر می‌کند (بوتا و همکاران<sup>۱</sup> ۲۰۰۲). علت آن را می‌توان در افزایش قطر دوار تنش از ماشین‌های با سطح تماس بزرگ‌تر و در نتیجه انتشار تنش‌های فشاری به اعماق بیش‌تر ارتباط داد.

تأثیر تردد دروگرها در قسمت عمقی بیش‌تر از تأثیر آن‌ها در سطح خاک است.

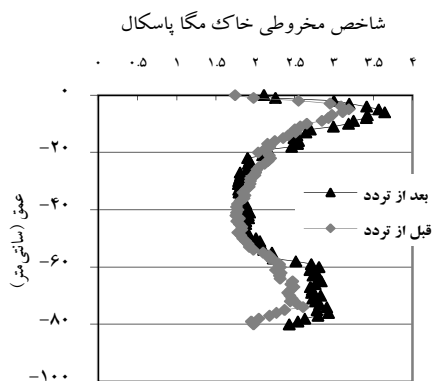
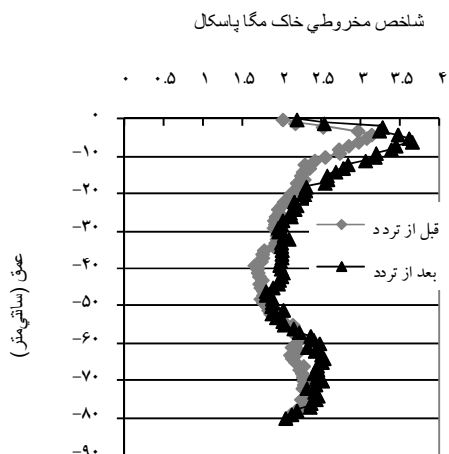
### سبدهای حمل نیشکر

نتایج در دو نوع سبد حمل نشان از تأثیر بیش‌تر سبدهای حمل ۱۰ تنی نسبت به ۱۸ تنی در افزایش شاخص مخروطی خاک مخصوصاً در عمق ۸۰-۵۰ سانتی‌متر دارد به طوری که در این اعماق تأثیر آن بر افزایش شاخص مخروطی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده، در عمق بین ۶۰-۷۵ سانتی‌متر این شاخص را تا مقدار ۳ مگا پاسکال افزایش می‌دهد، در سبدهای ۱۸ تنی اگر چه افزایش مشاهده می‌شود؛ اما این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نیست (شکل‌های ۱ و ۲).

در عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متر بررسی تغییرات شاخص مخروطی خاک در اثر تردد سبدهای حمل ۱۰ و ۱۸ تنی نشان از تغییرات محدود و مشابه در هر دو نوع سبد دارد. در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر، سبد حمل ۱۰ تنی با افزایش این شاخص از ۳/۲۶ به ۳/۶۹ مگا پاسکال اثری شبیه به سبد حمل ۱۸ تنی با افزایش شاخص مخروطی خاک از ۳/۱۲ به ۳/۴۵ مگا پاسکال داشته است. در عمق ۷۵-۷۰ سانتی‌متر هم تغییر در سبد حمل ۱۰ تنی از مقدار ۲/۵۷ به ۲/۸۵ مگا پاسکال همانند سبد حمل ۱۸ تنی که با افزایش این شاخص از ۲/۶۵ به ۳/۰۲ مگا پاسکال گردیده، بوده است. تنها در عمق ۳۵-۳۰ سانتی‌متر شاخص مخروطی خاک در سبد حمل ۱۸ تنی افزایش و در سبد حمل ۱۰ تنی کاهش یافته است. تفاوت در افزایش شاخص مخروطی همواره برای سبد حمل ۱۸ تنی بیش‌تر بوده است.

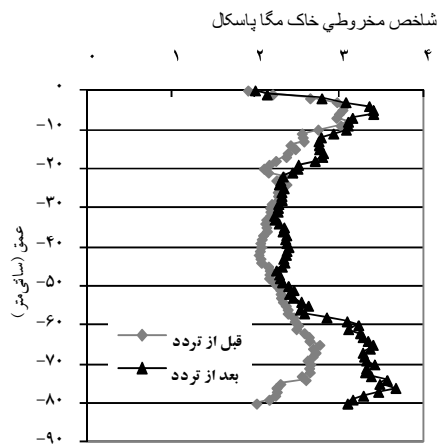
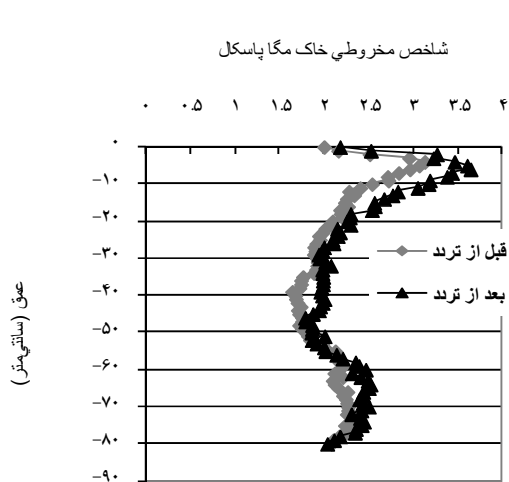
اگر چه وزن سبدهای ۱۸ تنی بیش‌تر از سبدهای ۱۰ تنی است اما سطح تماس بیش‌تر لاستیک‌های سبدهای ۱۸ تنی با زمین به دلیل فشار باد لاستیک کمتر این نوع سبدها باعث گسترش بیش‌تر بار در سطح خاک می‌شود که باعث افزایش دواير تنش حاصل از نیروی محوری شده و تنش وارده به خاک را کاهش

مهردادیان و همکاران: اثر تردد ماشین های برداشت بر...



شکل ۱- تغییرات شاخص مخروطی خاک در اثر تردد تراکتور و سبد حمل ۱۰ تنی

شکل ۴- تغییرات شاخص مخروطی خاک در اثر تردد دروگر چرخ لاستیکی



شکل ۳- تغییرات شاخص مخروطی خاک در اثر تردد دروگر چرخ زنجیری

شکل ۲- تغییرات شاخص مخروطی خاک در اثر تردد تراکتور و سبد حمل ۱۸ تنی

جدول ۲- خلاصه نتایج تجزیه واریانس شاخص مخروطی خاک (به صورت میانگین مربعات)

میانگین مربعات شاخص مخروطی خاک در هر عمق سانتی متر

شماره مزرحه

منابع تغییرات	درجه آزادی	شماره مزرحه											CV
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	
تردد × تراکتور	۱	۶۸۹۶ <sup>NS</sup>	۶۵۸۳ <sup>NS</sup>	۶۲۸۷۲*	۱۱۰۹۲ <sup>NS</sup>	۳۲۱۱۵*	۶۶۸۲۸ <sup>NS</sup>	۱۰۶۰۱۲**	۵۹۱۳۰ <sup>NS</sup>	۲۸۴۳۱ <sup>NS</sup>	۴۵۶۹۹ <sup>NS</sup>	۸۷۹۶۱ <sup>NS</sup>	۹۴۴۸۲*
	۱	۳۹۲۸ <sup>NS</sup>	۱۲۵۰۲ <sup>NS</sup>	۳۱ <sup>NS</sup>	۹۶۵ <sup>NS</sup>	۲۳۴ <sup>NS</sup>	۱۰۲۱۹ <sup>NS</sup>	۱۲۱۹۷ <sup>NS</sup>	۷۲۸۴ <sup>NS</sup>	۴۱۹۰ <sup>NS</sup>	۹۰۲۴ <sup>NS</sup>	۱۳۰۱ <sup>NS</sup>	۲۹۲۶ <sup>NS</sup>
تردد × هاروستر	۱	۷۴۶۹ <sup>NS</sup>	۱۳۸۱۲ <sup>NS</sup>	۲۲۵۱۹ <sup>NS</sup>	۱۸۹۶ <sup>NS</sup>	۱۱۶۹ <sup>NS</sup>	۳۷۶۶ <sup>NS</sup>	۵۲۵۴ <sup>NS</sup>	۸۶۵۴ <sup>NS</sup>	۸۴۶۱ <sup>NS</sup>	۲۱۰۶۴ <sup>NS</sup>	۴۶۱۷ <sup>NS</sup>	۳۴۹۹ <sup>NS</sup>
	۲	۱۰۰۵ <sup>NS</sup>	۹۳۹۶ <sup>NS</sup>	۸۷۰۱ <sup>NS</sup>	۲۸۰۹۰ <sup>NS</sup>	۱۴۲۴۷ <sup>NS</sup>	۸۶۴۰ <sup>NS</sup>	۲۰۸۷ <sup>NS</sup>	۱۷۶۱ <sup>NS</sup>	۱۰۱۷۹ <sup>NS</sup>	۱۴۵۷ <sup>NS</sup>	۳۸۸۸ <sup>NS</sup>	۶۶۶ <sup>NS</sup>
تردد × تراکتور × هاروستر	۱۴۳	۱۸۸۸۵	۱۸۶۸۰	۱۵۶۶۸	۱۲۵۶۸	۱۲۸۴۰	۱۴۵۰۶	۱۵۴۱۴	۱۷۵۲۹	۱۷۲۳۴	۱۷۲۳۳	۱۶۷۸۷	۱۶۲۹۰
	-	۶۸	۶۰	۴۴	۳۶	۳۴	۳۶	۳۸	۴۲	۴۳	۴۲	۴۵	۴۶

NS، \*\*، \* به ترتیب تفاوت معنی دار در سطح ۵٪، ۱٪ و عدم تفاوت معنی دار را نشان می دهند.

## اثر تردد ماشین ها بر جرم مخصوص ظاهری خاک

نمودار جرم مخصوص ظاهری خاک (شکل ۵) نشان می دهد که در کلیه اعماق، جرم مخصوص ظاهری خاک پس از عبور ماشین های برداشت، افزایش معنی داری یافته است. بیشینه این افزایش در سطح خاک از میانگین ۱/۵۷ به ۱/۶۷ و کمینه آن در عمق ۳۰-۳۵ سانتی متر از ۱/۵۵ به ۱/۶۲ تن در متر مکب خاک رسیده است. در هر سه عمق تغییر فشردگی خاک در سطح ۰/۰۱ معنی دار است.

در سطح خاک عملیات مختلف خاک ورزی باعث تغییر در جرم مخصوص ظاهری خاک شده و تراکم خاک را به طور موقت کاهش می دهد و اگر چه این تغییر راه حلی موقت است؛ اما در عمق، فشردگی حاصل از تردد ماشین ها را بتدریج افزایش داده و تقریباً دائمی می سازد؛ زیرا عملیات زیرشکنی عموماً در لایه های عمقی کمتر نفوذ کرده و فشردگی را طی سال های بعدی به صورت تجمعی افزایش می دهد (حاج عباسی، ۱۳۷۸).

افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۳۵-۳۰ و ۶۵-۶۰ سانتی متر به دلیل بار محوری زیاد روی چرخ ها مخصوصاً در دروگرها اجتناب ناپذیر است. سطح تماس اندک لاستیک ها با زمین باعث وارد شدن نیروی فشاری زیاد به زمین شده و خاک مرطوب را در اثر تنش های وارده تغییر شکل می دهد.

بررسی جرم مخصوص ظاهری در خاک نشان می دهد که بین سطوح مختلف عمق قبل از تردد ماشین ها تفاوت معنی دار وجود دارد. این تفاوت احتمالاً به دلیل تخریب ساختمان خاک طی عملیات خاک ورزی و تسطیح است که باعث شده ساختمان خاک بسیار مستعد فشردگی می گردد. افزایش شدید در جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر تردد در خاک هایی که عملیات خاک ورزی شدید در آنها صورت گرفته است که قبلاً نیز گزارش شده بود (چی

و تسیر<sup>۱</sup> ۱۹۹۴). تخریب ساختمان خاک و از بین رفتن خاکدانه ها علاوه بر افزایش فشردگی خاک در اثر تردد ماشین ها باعث افزایش فرسایش شده و استعداد خاک را برای ایجاد سله در سطح خاک افزایش می دهد. تردد ماشین ها در این شرایط، جرم مخصوص خاک را به شدت افزایش داده و سله های مقاوم به رشد گیاه و نفوذ هوا را ایجاد می کند. در مورد فشردگی عمقی نیز عملیات زیرشکنی بعد از برداشت به دلیل عمق کم اجرای آن هیچ کمکی به اصلاح فشردگی خاک در عمق نمی کند و این امر معضل در سال های بعد برای کشت نیشکر مشکلاتی ایجاد می نماید.

### سبدهای حمل نیشکر

در عمق ۵-۰ سانتی متر تردد سبدهای حمل ۱۰ تنی افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک را از  $Mg/m^3$  ۱/۵۷ به  $Mg/m^3$  ۱/۶۸ و سبدهای حمل ۱۸ تنی افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک را از  $Mg/m^3$  ۱/۵۸ به  $Mg/m^3$  ۱/۶۵ نشان می دهند. در عمق ۳۵-۳۰ سانتی متر سبدهای حمل ۱۰ تنی جرم مخصوص ظاهری خاک را از ۱/۵۶ به ۱/۶۲ و سبدهای حمل ۱۸ تنی از ۱/۵۵ به  $Mg/m^3$  ۱/۶۳ افزایش داده است. این نتایج علیرغم وزن متفاوت این دو نوع سبد حمل بسیار مشابه است (شکل های ۶ و ۷).

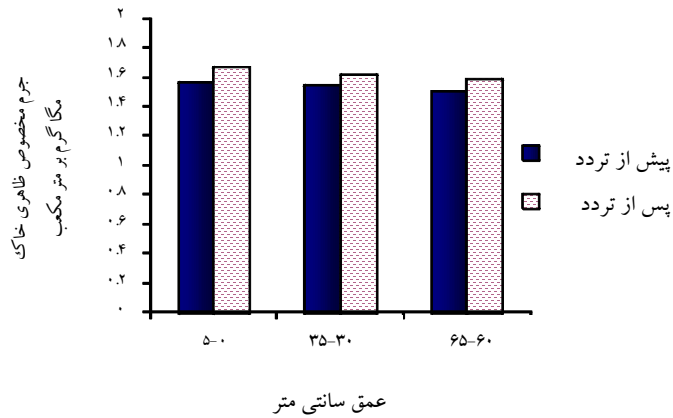
تجزیه واریانس جرم مخصوص ظاهری خاک نیز نشان می دهد که بین این دو نوع سبد حمل از نظر افزایش در فشردگی خاک در هیچ یک از ۳ عمق مطالعه شده تفاوت معنی داری وجود ندارد (شکل ۸). در عمق ۳۵-۳۰ سانتی متر تفاوت جزئی بین اثر تردد ماشین ها با مقدار ۴/۸۲ درصد در سبد حمل ۱۸ تنی و ۴/۲۵ درصد در سبدهای حمل ۱۰ تنی وجود دارد؛ اما در عمق ۶۵-۶۰ سانتی متر سبد حمل ۱۰ تنی با افزایش ۴/۷۱ درصد مجدداً نسبت به سبد حمل ۱۸ تنی با مقدار



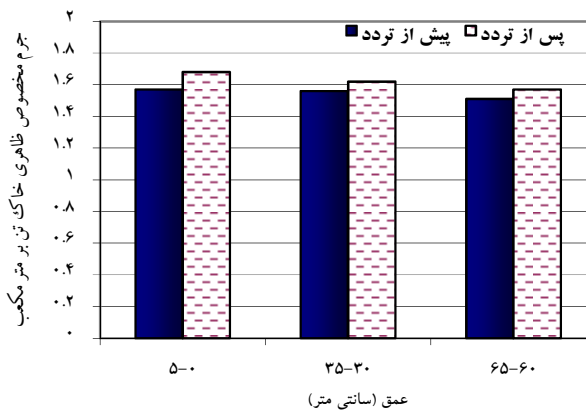
باعث تقسیم بار محوری آنها در نقاط کمتری از سطح تماس لاستیک با زمین شده و اثر اصلی آنرا در افزایش تنش و به تبع آن کرنش‌های حاصله (تراکم) کاهش می‌دهد (حاج عباسی، ۱۳۷۸).

۴/۱۵ درصد تأثیر بیش تری بر افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک داشته است.

اگر چه در سبدهای حمل ۱۸ تنی بار وارده به محورها زیادتر است؛ اما سطح تماس تر لاستیک این سبدها با سطح زمین، نسبت به سبدهای ۱۰ تنی

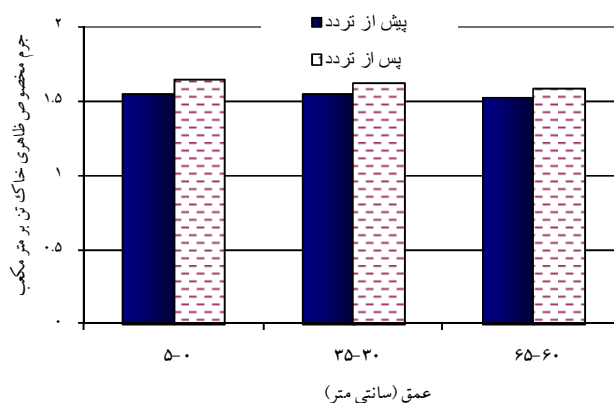


شکل ۵- تغییر جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر تردد ماشین‌های برداشت

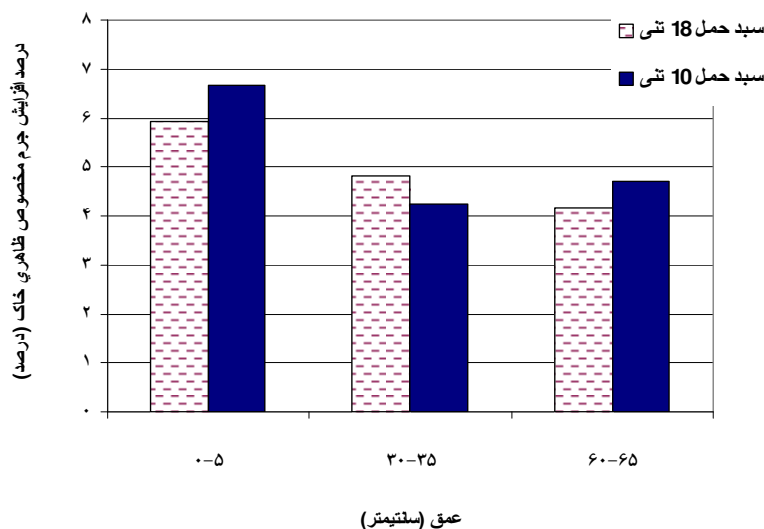


شکل ۶- تغییر جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر تردد سبدهای حمل ۱۰ تن

مهردادیان و همکاران: اثر تردد ماشین های برداشت بر...



شکل ۷- تغییر جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر تردد سبدهای حمل ۱۸ تن



شکل ۸- تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک در سبدهای حمل نیشکر

نیم‌زنجیری با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک از مقدار اولیه  $1/58$  به  $1/70 \text{ Mg/m}^3$  و دروگر چرخ لاستیکی با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک از مقدار  $1/56$  به  $1/63 \text{ Mg/m}^3$  بر فشردگی خاک سطحی مؤثر بوده‌اند. دروگر چرخ لاستیکی در عمق‌های ۳۰-۳۵ و ۶۵-۶۰ سانتی متر با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک از مقادیر اولیه  $1/54$  و  $1/47$  به مقادیر  $1/62$  و  $1/55 \text{ Mg/m}^3$  افزایش شدیدی را در جرم مخصوص ظاهری خاک داشته است؛ در صورتی

در سبدهای حمل ۱۰ تنی همچنین فشار باد لاستیک بیش تر و سطح تماس کمتر لاستیک با زمین، تنش وارده به سطح را نسبت به سبدهای با بار مشابه و سطح تماس بیش تر افزایش می‌دهد که به این سبب تأثیر آن در افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک مشابه سبدهای حمل ۱۸ تنی با وزن بیش تر است.

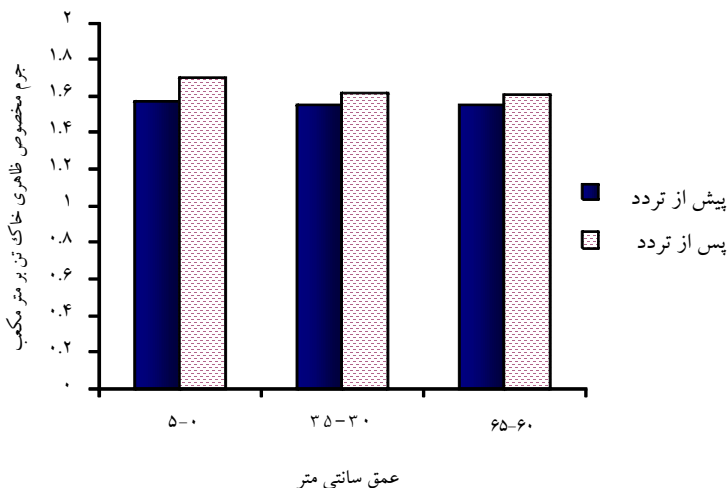
#### اثر تردد دروگرها

نتایج تأثیر تردد دروگر نیم‌زنجیری و چرخ لاستیکی (شکل‌های ۹ و ۱۰) نشان داد که دروگر

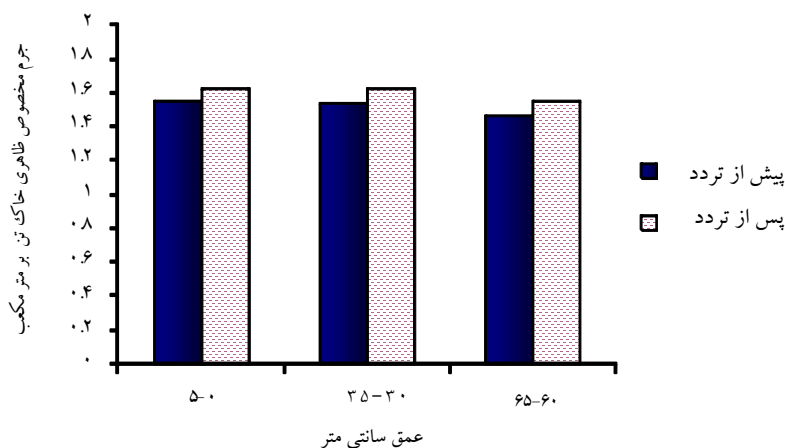
رفتارهای متفاوتی را نشان می‌دهند. در عمق ۵-۰ سانتی‌متر دروگر نیم‌زنجیری با مقدار ۷/۷ درصد با احتمال ۹۵ درصد تأثیر بیش تری در افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در مقایسه با دروگر چرخ لاستیکی دارد که افزایش آن ۴/۸۷ درصد است؛ اما در عمق ۶۵-۶۰ سانتی‌متر دروگر چرخ لاستیکی با افزایش ۵/۸۹ درصد در جرم مخصوص ظاهری خاک در سطح ۵ درصد افزایش بیش تری را در جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به دروگر نیم‌زنجیری با ۲/۹۳ درصد دارد.

که این افزایش در دروگر نیم‌زنجیری محدودتر بوده است (شکل ۱۰). تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک نشان می‌دهد در دروگر نیم‌زنجیری هرچه عمق افزایش یابد خاک با شدت کمتری متراکم می‌گردد که دلیل آن کاهش بار محوری در سطح خاک به دلیل افزایش سطح تماس محور چرخ‌های عقب با خاک است (چی و تسیر، ۱۹۹۴).

مقایسه میانگین‌های درصد افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر تردد دروگر نیم‌زنجیری و چرخ لاستیکی (شکل ۱۱) نشان داد که در دو عمق ۵-۰ و ۶۵-۶۰ سانتی‌متر دروگرهای لاستیکی و زنجیری

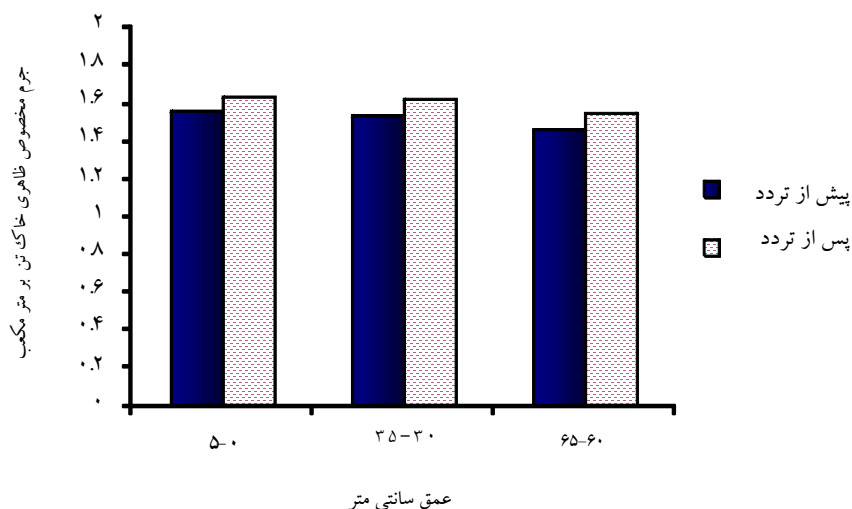


شکل ۹- تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک در دروگر



شکل ۱۰- تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک در دروگر چرخ لاستیکی

مهردادیان و همکاران: اثر تردد ماشین های برداشت بر...



شکل ۱۱- درصد افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در دروگرها

بار حاصل از وزن دروگرها به شکل ضربه ای به سطح خاک گردیده، اثر ضربه وارده را بسیار تشدید می کند. عمده دلیل استفاده از دروگرهای نیم زنجیری به جای دروگرهای چرخ لاستیکی توانایی کاری این نوع دروگر در شرایط بسیار مرطوب خاک است. همچنان که مقایسه مزارعی که این دو نوع دروگر در آنها به کار رفته است نشان می دهد، فشردگی اولیه مزارعی که دروگر نیم زنجیری در آنها بکار رفته است مخصوصاً در عمق ۶۰ سانتی متر از دروگرهای لاستیکی بیش تر است. از آنجا که یکی از نتایج فشردگی در لایه های عمقی خاک موجب سطح غیرقابل نفوذ در خاک و در نهایت آب ماندگی در سطح خاک است که باعث ایجاد رطوبت بالا در خاک شده و مزارع را برای کار نامساعد می نماید، مشاهده می شود که مزارعی که مستعد کار برای دروگر چرخ لاستیکی بوده اند دارای جرم مخصوص ظاهری کمتری در عمق هستند.

به دلیل هزینه های بالای استفاده از دروگرهای نیم زنجیری و همچنین سرعت کم حمل و نقل در بین مزارع، از این دروگرها تنها در شرایط بسیار مرطوبی که امکان کار با دروگرهای چرخ لاستیکی وجود

در بررسی نتایج می توان مشاهده کرد که افزایش در جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۶۰-۶۵ سانتی متر، بیش تر متأثر از بار روی محور است تا فشار وارده به سطح خاک و از این رو افزایش در جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهایی که دروگرهای چرخ لاستیکی به کار رفته است، نسبت به دروگرهای زنجیری بیش تر است. همچنان که برخلاف دروگر نیم زنجیری، نتایج مقایسه میانگین ها نشان می دهد که در دروگر چرخ لاستیکی شدت فشردگی خاک در عمق بیش تر از سطح خاک است. کاهش فشردگی در سطح خاک در این نوع دروگرها به دلیل سرعت حرکت بیش تر دروگرهای چرخ لاستیکی و همچنین شناوری لاستیک است که از وارد نمودن یک باره بار به سطح خاک جلوگیری می کند. ارتعاشات شدید حاصل از تردد این ماشین ها همچنین حالت لرزشی به خاک وارد کرده و فشردگی را افزایش می دهد؛ اما در عمق به دلیل سطح تماس بسیار کم خاک و لاستیک فشار (تنش) وارد شده به خاک بسیار بیش تر از دروگر تسمه زنجیری است و به همین دلیل، فشردگی در عمق بسیار مشهود می باشد. وجود تراک ها و تسمه های سخت زیر محور عقبی دروگر نیم زنجیری باعث انتقال

ندارد، استفاده می‌شود که اغلب این مزارع در شرایط رطوبتی نزدیک ظرفیت مزرعه‌ای قرار دارند (تورنر و همکاران، ۱۹۹۷). به دلیل همین شرایط است که تردد ماشین‌ها در این مزارع باعث معنی‌دار شدن افزایش شاخص مخروطی خاک قبل و بعد از تردد در مزارع می‌شود؛ از این‌رو در بررسی تأثیر دروگرهای چرخ لاستیکی و نیم‌زنجیری بر شاخص مخروطی خاک دیده می‌شود که تردد دروگرهای چرخ لاستیکی به دلیل کار در رطوبت‌های پایین، نظر به حساسیت بسیار زیاد شاخص مخروطی خاک به رطوبت، تأثیر معنی‌داری بر شاخص مخروطی خاک در هیچ یک از اعماق مورد مطالعه ندارد. تأثیر شدید دروگرهای چرخ لاستیکی بر جرم مخصوص ظاهری خاک در سطح و همچنین عمق ۶۰ سانتی‌متر باعث افزایش شاخص مخروطی خاک در این اعماق شده است.

همچنین وزن بالای ماشین‌های برداشت نیشکر، فشردگی خاک در اعماق ۷۰-۶۳ سانتی‌متری خاک مشاهده می‌شود. اگر چه تردد دروگرهای نیم‌زنجیری در شرایط رطوبتی بالا امکان‌پذیر است؛ اما اثرات مخربی را در افزایش فشردگی خاک در قسمت عمقی خاک دارد. افزایش سطح تماس لاستیک در سبدهای حمل ۱۸ تنی با زمین باعث کاهش بار وارده توسط این سبدها به مزارع می‌گردد، به گونه‌ای که فشردگی حاصل از این نوع سبد حمل تقریباً مشابه سبدهای ۱۰ تنی است. تقریباً در تمامی تیمارهای به کار رفته مشکلات فشردگی وجود دارد؛ اما نظر به مشکلات فراوان ناشی از فشردگی عمقی تیمار دروگر نیم‌زنجیری و سبد حمل ۱۸ تنی کم‌ترین تأثیر را در ایجاد فشردگی عمقی دارد. سطح خاک بیش‌ترین تأثیر را از تردد دروگرهای نیم‌زنجیری و عمق بیش از ۵۰ سانتی‌متر بیش‌ترین تأثیر را از تردد دروگرهای چرخ لاستیکی می‌پذیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج شاخص مخروطی خاک نشان می‌دهد که در اغلب مزارع به دلیل برداشت در شرایط مرطوب و

### منابع

۱. بی‌نام. ۱۳۷۹. مشخصات دروگرهای نیشکر آستافت سری ۷۰۰۰ (منصوری، م ترجمه). استرالیا: شرکت آستافت. صص ۷۰.
۲. بی‌نام. ۱۳۷۷. مشخصات سبدها حمل نیشکر شرکت شاکر صنعت. تهران: انتشارات شرکت شاکر صنعت. صص ۱۰۰.
۳. حاج عباسی، م. ۱۳۷۸. فیزیک خاک و ریشه گیاه. اصفهان: انتشارات غزال. صص ۳۶۲.
۴. فرشاد فر، ع. ۱۳۸۰. طرح‌های آماری برای تحقیقات کشاورزی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی. صص ۷۶۱.
۵. لرزاده، ش. نادیان، ح. بخشنده، ع. نورمحمدی، ق. و درویش، ف. ۱۳۸۱. اثر سطوح مختلف تراکم بر روی عملکرد، اجزای عملکرد و میزان قند نیشکر واریته CP48-103 در استان خوزستان. مجله علوم زراعی ایران، جلد چهارم، شماره یک، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، صص ۳۶-۴۷.

6. Bachman, J., Contreras, K., Hartage, K. H., and MacDonald, R. 2005. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. *Soil and Tillage Research*, 89: 86-102.
7. Barzegar, A. R., Asoodar, M. A., and Ansari, M. 2000. Effectiveness of sugarcane residue incorporation at different water contents and the Proctor compaction loads in reducing soil compactibility. *Soil and Tillage Research*, 57(3): 167-172.
8. Bottaa, G. F., Jorajuriab, D., and Draghib, L. M. 2002. Influence of the axle load, tire size and configuration on the compaction of a freshly tilled clayey soil. *Journal of Terramechanics*, 39: 47-54
9. Chen, Y., Cavers, C., Tessier, S., Monero, F., and Lobb, D. 2005. Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil. *Soil & Tillage Research*, 82: 161-171.
10. Chi, L., and Tessier, S. 1994. Soil compaction and rup depth reduction with high rotation tires on heavy trucks. *ASAE Paper*; 94(1559): 1-18.
11. Hamza, M.A., and Anderson, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. 2005. *Soil and Tillage Research*, 82(2):121-145
12. Kok, H., Taylor, R.K., Lamood, R.E., and Kessen, S. 1996. Soil compaction, Cooperative extension service. *Crop and Soil*. 4-6 MS 7-96-5M., F-115
13. Radford, B.J., Yule, D.F., McGarry, D., and Playford, C. 2006. Amelioration of soil compaction can take 5 years on a Vertisol under no till in the semi-arid subtropics. *Soil and Tillage Research*. *Soil and Tillage Research*, 82: 57-64.
14. Raper, R.L. 2005. Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terra mechanics*, 42: 259-280.
15. Taylor, J.H., Burt, E., and Bailey, A.C. 1980. Effect of total load on subsurface soil compaction. *Trans ASAE*, 23(3): 568- 570.
16. Turner, R.J., Shell, L.R., and Zoz, F.M. 1997. Field performance of rubber belted and MFWD. *Society of Automotive Engineers*, pp: 75-85
17. Vaz, C. 2003. Use of a combined penetrometer-TDR moisture probe for soil compaction studies. *Empbra agri instrument*. Lecture given at the College on Soil Physics Trieste, 3-21. [www.cnpdia.embrapa.br](http://www.cnpdia.embrapa.br).