

ارزیابی میزان فشردگی خاک ناشی از برداشت مکانیزه نیشکر در رطوبت‌های مختلف خاک در مزارع کشت و صنعت دعبل خزاعی اهواز

علی قناعتی^{۱*}، هوشنگ بهرامی^۲ و محمدجواد شیخ داودی^۲

* نویسنده مسؤؤل: دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی از دانشگاه شهید چمران اهواز (alighanaati2001@yahoo.com)

^۲ به ترتیب استادیار و دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۸۷/۹/۲۲

چکیده

تأثیر عملیات برداشت نیشکر با دو نوع ماشین برداشت (چرخ زنجیری و چرخ لاستیکی) در رطوبت‌های مختلف بر فشردگی خاک مزارع نیشکر شرکت کشت و صنعت دعبل خزاعی اهواز بررسی شد. جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروط خاک به عنوان خواص فیزیکی و مکانیکی مشخص کننده میزان فشردگی خاک اندازه‌گیری گردیدند. میزان رطوبت خاک در سطح کم ۹-۱۴٪، متوسط ۱۹-۱۴٪ و بالا ۲۳-۱۹٪ در نظر گرفته شد. در عمق ۱۵-۱۰ سانتی متری خاک قبل و بعد از دو بار عبور ماشین برداشت نیشکر، ماشین برداشت نیشکر چرخ لاستیکی در خاک مرطوب در بیشینه افزایش، جرم مخصوص ظاهری خاک را از $1/6 \text{ g/cm}^3$ برای خاک شاهد به $1/7 \text{ g/cm}^3$ رسانید، ضریب افزایش چگالی خاک در این تیمار ۶/۱٪ گردید. در حالی که این ضریب برای ماشین برداشت نیشکر چرخ زنجیری در رطوبت مشابه ۳/۹٪ بود، که حاکی از برتری اولیه ماشین برداشت چرخ زنجیری در میزان فشردگی خاک می‌باشد. حداکثر ضریب افزایش چگالی ایجاد شده بر اثر عبور تمام ادوات برداشت به ۱۱/۹٪ برای تیمار برداشت با ماشین چرخ لاستیکی و ۹/۵٪ برای ماشین چرخ زنجیری در رطوبت بالا رسید. با افزایش رطوبت خاک از کم به متوسط، تغییرات شاخص مخروط در خاک توسط هر دو نوع ماشین برداشت نیشکر سیر صعودی داشت؛ اما از سطح متوسط به سطح بالا سیر نزولی پیدا کرد. بررسی میانگین شاخص مخروط لایه‌های ۵ سانتی متری خاک در عمق ۸۰-۱۰ سانتی متری نشان داد. در سطح رطوبت کم تغییر معنی‌داری در شاخص مخروط ایجاد نمی‌گردد؛ اما در دو سطح متوسط و بالا تفاوت معنی‌داری در میزان افزایش شاخص مخروط مشاهده گردید. در بحرانی‌ترین وضعیت، به وسیله ماشین برداشت چرخ زنجیری در سطح رطوبت متوسط و تا عمق ۵۰ سانتی متری خاک شاخص مخروط افزایش یافت. حداکثر میزان افزایش شاخص مخروط در خاک زیرین در همین تیمار و در عمق ۳۵ سانتی متری به میزان $1/1 \text{ MPa}$ به دست آمد که شاخص مخروط خاک را به $3/95 \text{ MPa}$ رساند. مقایسات انجام شده پس از انجام عملیات برداشت با دو نوع ماشین نشان دادند که از لحاظ کاهش میزان فشردگی خاک برداشت با ماشین چرخ زنجیری بر ماشین چرخ لاستیکی برتری ندارد. شرایط مطلوب جهت برداشت نیشکر رطوبت خاک کمتر از ۱۴٪، زهکشی مناسب، استفاده از ماشین برداشت چرخ زنجیری همراه با تریلرهای با ظرفیت کمتر و عبور ادوات در بین ردیف‌های کاشت می‌باشد.

کلید واژه‌ها: دستگاه برداشت نیشکر چرخ زنجیری و چرخ لاستیکی، فشردگی خاک، جرم مخصوص ظاهری، ضریب افزایش چگالی ظاهری، شاخص مخروط

مقدمه

می‌آورد. گیاهان به شرایط ترد و نرم خاک برای رشد ریشه، تنفس مناسب و ذخیره آب نیاز دارند و از طرف دیگر چرخ‌های ماشین‌های کشاورزی برای

تولید محصولات گیاهی با دستیابی به شرایط مورد نیاز خاک برای رشد گیاه امکان‌پذیر است و عملیات ماشین‌های کشاورزی این امکان را فراهم

و میزان مواد آلی خاک تأثیر می‌گیرد، ساختمان لایه شخم در معرض عبور چرخ، میزان رطوبت خاک و بار اعمالی ادوات که به بار روی محور، ابعاد تایر و سرعت پیشروی بستگی دارد (اثر متقابل خاک-تایر).

میزان رطوبت خاک مهم ترین عامل مؤثر بر فرآیند فشردگی خاک می‌باشد. در تمام سطوح فشردگی، مقاومت به نفوذ با افزایش رطوبت خاک، افزایش می‌یابد. به بیان دیگر، افزایش میزان رطوبت خاک باعث کاهش ظرفیت تحمل بار توسط خاک می‌گردد. آگاهی از تغییر در فشردگی خاک با تغییر میزان رطوبت به ما کمک می‌کند تا عبور و مرور و عملیات خاک‌ورزی را در میزان رطوبت مناسب خاک برنامه‌ریزی کرده تا اصطلاحاً "کنترل ترافیک" صورت گیرد. نکته بسیار مهم برای هر سطح انرژی فشردگی، ارتباط فشردگی با میزان رطوبت خاک در حد روانی، خمیری و انقباض می‌باشد. این حدود به میزان رس و خواص معدنی آن بستگی دارند (۱۰).

بوته و همکاران با بررسی تأثیر فشردگی ناشی از برداشت مکانیزه نخودفرنگی عقیده دارند، میزان بالای فشردگی خاک ایجاد شده در اولین عبور ادوات در مزارع گیاهان ردیفی این ذهنیت را ایجاد کرده است که فشردگی در عبورهای بعدی کمتر خواهد شد؛ اما داده‌های به دست آمده با این موضوع سازگار نیستند. فشردگی خاک بر اثر تعداد عبور زیاد ادوات، وزن تراکتور و کمباین در عملیات برداشت (به خصوص زمانی که عملیات در رطوبت بالای خاک یا فشار بالای تایرها انجام می‌شود) اتفاق می‌افتد. نتایج بررسی نشان داد کاهش عبور و مرور در برداشت باعث افزایش عملکرد و کاهش فشردگی خاک در کشت ردیفی نخودفرنگی می‌گردد (۵).

در گزارش محققان آمده است، بار روی چرخ تأثیر بسیار بالایی بر فشار ایجاد شده در خاک زیرین دارد؛ در حالی که فشار باد تایر تأثیر بالایی بر فشار اندازه‌گیری شده در عمق ۱۰ سانتی متری و

ایجاد کشش مناسب نیاز به شرایط فشردگی خاک برای ایجاد تکیه‌گاهی جهت تحمل بارهای وارده دارد. محققان پیشنهاد داده‌اند تا منطقه رشد گیاه و منطقه عبور و مرور ماشین‌ها به صورت فیزیکی از هم جدا شوند. در سیستم کنترل ترافیک، فاصله ردیف‌های کاشت و عرض ماشین به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که عبور و مرور ادوات همواره در محل مشابهی اتفاق افتد (۱۱).

فشردگی را به عنوان فرآیندی از چیدمان دوباره ذرات خاک به گونه‌ای که خلل و فرج خاک کاهش یافته و جرم مخصوص ظاهری افزایش یابد، تعریف می‌کنند (۱). با فشردگی شدن خاک، چیدمان ذرات خاک تغییر کرده و ذرات خاک یکدیگر را تنگ‌تر در بر می‌گیرند. خلل و فرج که باعث نفوذ آب و ذخیره هوا بودند کاهش می‌یابند. هنگامی که خاک فشردگی می‌شود، رشد گیاه و عملکرد محصول به سرعت کاهش می‌یابد. برای اکثر محصولات زراعی مهم، زمانی که حجم نهایی هوا در خاک کمتر از ۱۵ تا ۱۰ درصد کل حجم و یا شاخص مخروط خاک بیش از ۲ MPa گردد؛ مسائل فشردگی اهمیت پیدا می‌کند. به باور همگان تراکتورها و ادوات خاک-ورزی عامل اصلی فشردگی خاک می‌باشند، اما بار سنگین وارده به مزارع بیشتر از طرف ماشین‌های برداشت و تریلرهای حمل بار می‌باشد. ماشین‌های کشاورزی در تولید اکثر محصولات زراعی (حتی در سیستم‌های بی‌خاک‌ورزی) نیز در سطح مزرعه فعالیت دارند. خاک‌ورزی، برداشت و پخش کود و سم در تولید اکثر محصولات زراعی وجود دارد. بیشتر این عملیات توسط ماشین‌های سنگین چرخدار صورت می‌گیرد. فشردگی خاک به وسیله چرخ‌ها به صورت کاهش خلل و فرج خاک واقع شده در زیر منطقه عبور چرخ‌ها و نیز رد چرخ باقیمانده بر سطح خاک توصیف می‌گردد. درجه فشردگی به موارد زیر بستگی دارد: مقاومت مکانیکی خاک که از خواص ذاتی خاک مانند بافت

مجموع خاک‌ورزی در سطح رطوبت پایین شرایط مطلوب را برای رشد محصول ایجاد نمود و کمترین شاخص‌های منفی را داشت؛ در صورتی که خاک-ورزی در سطح رطوبت مرطوب بیشترین تغییرات منفی را در خصوصیات خاک ایجاد نمود. آنها تفاوت معنی‌داری در جرم مخصوص ظاهری تیمارها مشاهده نکردند.

مقایسه تأثیر ماشین‌های چرخ‌لاستیکی و چرخ زنجیری بر فشردگی خاک توسط جیسون و همکاران^۳ (۷) انجام گرفت. آنها گزارش کرده‌اند که ماشین‌های چرخ‌لاستیکی رد چرخ عمیق‌تری نسبت به نوع چرخ‌زنجیری ایجاد کردند. ماشین‌های چرخ‌لاستیکی باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری گردیدند؛ در حالی که ماشین‌های چرخ زنجیری (با وجودی که فشار وارد بر زمین از طرف آنها کمتر است) نیز این افزایش را ایجاد می‌کنند.

در سطح وسیعی که نیشکر در واحدهای تولیدی طرح توسعه کشت می‌گردد و سرعت کم برداشت (به علت یک ردیفه بودن ماشین برداشت) برداشت را که در فصل‌های پاییز و زمستان صورت می‌گیرد (فصل‌های بارندگی در خوزستان)، با مشکل کمبود زمان روبرو می‌سازد. با شروع فصل بارندگی، با هر بارندگی عملیات برداشت تعطیل می‌گردد و تا زمانی که رطوبت مزارع کاهش نیابد، ادوات وارد مزرعه نمی‌گردند. با کاهش رطوبت مزرعه ابتدا ماشین برداشت چرخ‌زنجیری که در رطوبت‌های بالاتری می‌تواند وارد مزرعه شود بدون این که گیر کند، عملیات برداشت را شروع می‌کند. در ادامه با پایین آمدن کافی رطوبت مزارع ماشین برداشت چرخ‌لاستیکی که سرعت کار بیشتری نسبت به ماشین برداشت چرخ زنجیری دارد نیز به کمک عملیات برداشت می‌شتابد. معمولاً در طول زمان برداشت بعضی از مزارع به دلیل عملکرد نادرست زهکش‌ها

تأثیر بسیار کمی بر خاک زیرین (۳۰ سانتی متری و پایین‌تر) دارد (۹).

در آزمایش دیگری پژوهشگران نشان دادند؛ فشردگی خاک زیرین با افزایش بار کل روی محور تراکتورها افزایش می‌یابد و به فشار باد چرخ‌ها بستگی ندارد. در شرایط یکسان، تایرهای رادیال فشردگی کمتری نسبت به تایرهای چند لایه^۱ ایجاد نمودند (۶).

محققان با بررسی تأثیر وزن تراکتور، عمق شخم و محل نصب چرخ تثبیت عمق دریافتند؛ استفاده از تراکتور سنگین (۵-۷ تن) باعث افزایش اندکی در جرم مخصوص ظاهری خاک سطحی در خاک لومی می‌شود. همچنین در صورت استفاده از چرخ تثبیت عمق درون شیار شخم، کاهش خلل و فرج و قابلیت نفوذ هوا در عمق ۱۸-۲۲ سانتی متری خاک صورت می‌گیرد (۳).

رطوبت مناسب جهت عملیات خاک‌ورزی رطوبت‌های کمتر از حد خمیری (۱۳) و مناسب‌ترین میزان رطوبت خاک جهت انجام عملیات ماشین‌های کشاورزی ۹۵-۹۰ درصد حد خمیری است (۴). در رطوبت‌های بالاتر از حد خمیری، اختلاف مقاومت خاک بین خاک فشرده شده توسط عبور و مرور و خاک فشرده نشده (بدون عبور و مرور) کم است و معمولاً "کوچک‌تر از مقداری است که رشد ریشه را محدود کند (مقاومت خاک بیش از ۲ MPa). با این حال هر چه رطوبت خاک کاهش پیدا می‌کند، فشردگی خاک در خاک سطحی قابل مشاهده می‌گردد (۱۲).

آرویدسن و بالینیوس^۲ (۸) تغییرات خواص مکانیکی خاک و میزان رشد و عملکرد محصول ناشی از انجام شخم پاییزه با گاوآهن چینل در رطوبت‌های مختلف (۰/۷۶، ۰/۹۱ و ۱/۰۱ حد پلاستیسیته) را در خاک رسی بررسی کردند. در

1- Cross-Ply

2-Arvidsson & Bo'lenius

3- Jansson & Johansson

اول می‌توان تا ۵ سال از مزرعه محصول برداشت کرد.

مواد و روش‌ها

آزمون در کشت و صنعت دعبل خزاعی از واحدهای طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی در ۱۵ کیلومتر جاده اهواز-آبادان صورت گرفت. مزرعه انتخابی جهت انجام آزمون، مزرعه ۴-۵-L در فصل زراعی ۸۴-۸۵ برای اولین بار کشت گردیده و در زمان انجام آزمایش‌های نیشکر در مرحله داشت بود و بعد از انجام عملیات کاشت تاکنون هیچ‌گونه ادوات کشاورزی وارد مزرعه نگردیده بود. خاک مزرعه دارای بافت لومی^۲ و فاقد مواد آلی بود. حد خمیری و حد روانی خاک مزرعه به ترتیب ۱۸/۷ و ۲۸/۴ درصد بودند. تأثیر دو نوع ماشین برداشت چرخ‌زنجیری و ماشین برداشت چرخ‌لاستیکی در سه سطح رطوبت خاک بر میزان فشردگی خاک مورد بررسی قرار گرفت. تکرارها در طرح بلوک‌های خرد شده، کاملاً^۱ تصادفی قرار گرفتند که نوع ماشین برداشت به عنوان فاکتور اصلی و رطوبت خاک به عنوان فاکتور فرعی بودند (۲). چهار تکرار جهت هر تیمار در نظر گرفته شد. سطح رطوبت متوسط با بارندگی ایجاد شد؛ اما برای رسیدن به سطح بالا مزرعه آبیاری گردید. میزان رطوبت خاک (رطوبت وزنی خاک بر اساس وزن خشک خاک) در سطح کم ۹-۱۴٪، متوسط ۱۹-۱۴٪ و بالا ۲۳-۱۹٪ در نظر گرفته شد. پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به شاخص مخروط، پروفیل خاک به دو سطح عمقی ۰-۳۰ سانتی متری و ۳۰-۸۰ سانتی متری تقسیم گردید تا مقایسات با وضوح بهتری مشاهده گردند.

برای برداشت نیشکر دو مدل ماشین برداشت چرخ‌لاستیکی و چرخ‌زنجیری در اختیار می‌باشد. این دو ماشین ساخت شرکت آوستافت^۳ استرالیا

یا تراز نبودن مزرعه و آب‌گرفتگی در زمان بارندگی دارای رطوبت بالاتری می‌باشند که برداشت این مزارع نیز توسط ماشین برداشت چرخ‌زنجیری صورت می‌گیرد. با توجه به شتابی که در عملیات برداشت وجود دارد و تعداد کم ماشین برداشت چرخ‌زنجیری موجود در واحدهای نیشکر می‌توان گفت سهم کوچکی از وسعت مزارع توسط این نوع ماشین برداشت می‌گردد.

نیشکر بر روی ردیف‌هایی با عرض ۱/۸ متر کشت می‌گردد. عرض چرخ‌های ماشین برداشت نیز ۱/۸ متر می‌باشد، بنابراین در زمان برداشت، بار ناشی از وزن ماشین برداشت بر جوی ردیف‌ها وارد می‌گردد و می‌توان گفت با توجه به وزن ۱۴/۵ تنی ماشین برداشت و حرکت بین ردیفی آن تأثیر چندانی در آسیب رساندن به گیاه موجود بر روی ردیف‌های کشت ندارد؛ اما تریلر حمل نیشکر که در کنار ماشین برداشت حرکت می‌کند، در صورتی که راننده آن مهارت چندانی نداشته باشد و درحین حرکت پشته‌های ردیف‌های گیاه را زیر بگیرد، باعث آسیب به گیاه شده و به علت این که بر روی اثر چرخ‌های ماشین برداشت حرکت نکرده (عبور اول)، با افزایش فشردگی خاک می‌تواند بسیار مضر باشد. این نحوه حرکت غیرحرفه‌ای ادوات در مزرعه را تردد تصادفی^۱ می‌گویند. فشردگی ناشی از عملیات برداشت در خاک سطحی را پس از عملیات برداشت با استفاده از ریپر (چیزل) اصلاح می‌کنند. اما همان طور که ذکر گردید فشردگی عمقی که ناشی از کل بار وارده بر مزرعه می‌باشد، در خاک باقی می‌ماند و با جلوگیری از نفوذ ریشه به سطح قابل توجهی از خاک زیرین وعدم نفوذ آب‌های نفوذی خاک به درون زهکش، بر عملکرد گیاه تأثیر منفی دارد. عملیات برداشت نیشکر، مهم‌ترین مرحله از مراحل تولید محصول می‌باشد. زیرا با کاشت نی در سال

۲- ۳۵٪ ماسه، ۴۷٪ لای و ۱۸٪ رس

خاک از پارامتر ضریب افزایش^۳ استفاده گردید.

$$I.R. = 100 \times (B.D. \text{ after} - B.D. \text{ before}) / B.D. \text{ before}$$
 جهت داده برداری در ردیف‌های کشت صد متری به تصادف ۴ نقطه انتخاب و شاخص مخروط و جرم مخصوص ظاهری برای خاک شاهد اندازه‌گیری شدند در ادامه دو بار ماشین برداشت بر روی ردیف کشت عبور کرد و در نزدیک ترین محل نسبت به نقطه شاهد داده برداری انجام شد و در نهایت تراکتور و تریلر حمل نیشکر نیز دو بار بر روی ردیف کشت عبور نموده و داده برداری صورت گرفت.
 مقایسات میانگین با استفاده از نرم افزار SAS در سطح معنی دار ۵ درصد در آزمون دانکن صورت گرفت. ضریب همبستگی بین ضریب افزایش چگالی خاک و رطوبت خاک نیز با استفاده از نرم افزار EXCEL به دست آمد.

نتایج و بحث

الف- شاخص مخروط

داده‌های حاصل از آزمون اندازه‌گیری شاخص مخروط خاک شاهد و فشرده شده به دو دسته‌ی ۰-۳۰ سانتی متری عمق خاک و ۸۰-۳۰ سانتی متری عمق خاک تقسیم شدند تا با توجه به میزان تغییرات شاخص مخروط، بررسی‌ها به صورت بررسی فشردگی خاک سطحی و خاک زیرین صورت گیرد. مقدار افزایش شاخص مخروط نسبت به خاک شاهد برای عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری در اثر عبور ماشین برداشت در جدول ۱ نشان داده شده است. بعد از عبور ماشین برداشت در سطوح رطوبتی و نوع ماشین برداشت تفاوت معنی‌داری در میانگین مقدار افزایش شاخص مخروط به‌عنوان یکی از پارامترهای افزایش فشردگی مشاهده می‌شود. در شکل‌های ۱ تا ۳ شاخص مخروط پروفیل خاک تا عمق ۸۰ سانتی متری در سطوح رطوبت بالا، متوسط و کم قبل از عبور ادوات، پس از دو بار عبور

مدل ۷۰۰۰ و ۷۷۰۰ با وزن ۱۴/۵ تن می‌باشند. از مدل چرخ‌زنجیری برای برداشت در باتلاق‌ها و برداشت پس از وقوع بارندگی استفاده می‌شود. برای بهبود فرمان‌پذیری ماشین برداشت نیشکر به صورت نیمه زنجیری^۱ ساخته می‌شود. چرخ‌های لاستیکی جلو که قابلیت فرمان‌پذیری و چرخ‌های زنجیری عقب که نقش محرک دستگاه را دارند. هر دو مدل ماشین برداشت دارای چرخ‌های جلو با اندازه (PLY ۱۲ × ۱۸ × ۱۴/۵) و فشار باد ۴۰۰ کیلوپاسکال بودند. چرخ‌های عقب ماشین برداشت چرخ‌لاستیکی با اندازه (PLY ۱۴ × ۱۶ × ۲۳/۱) و فشار باد ۲۷۵ کیلوپاسکال و چرخ عقب ماشین برداشت چرخ-زنجیری با مشخصات طراحی کشاورزی برای شرایط سخت بود. وزن تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹، ۳/۶۷ تن و وزن تریلر حمل نیشکر مدل ۱۴ تنی با بار نیشکر در زمان آزمایشات ۲۱/۳ تن بود (بدون بار ۱۱/۵ تن). تریلر تک محوره با ۴ چرخ و تایرهای چند لایه (۲۰ لایه) و فشار باد ۵۵۰ کیلو پاسکال بود.

تأثیر نوع ماشین برداشت نیشکر در رطوبت‌های مختلف خاک بر فشردگی خاک با اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروط خاک بررسی گردید. برای اندازه‌گیری شاخص مخروط از دستگاه نفوذ سنج مخروطی دیجیتال با قابلیت داده برداری تا عمق ۸۰ سانتی متری استفاده گردید. این دستگاه می‌توانست در هر سانتی متر افزایش عمق خاک، شاخص مخروط را اندازه‌گیری و در پایان به صورت یک نمودار شاخص مخروط-عمق خاک نمایش دهد. همچنین برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۰-۱۵ سانتی متری خاک^۲ از استوانه نمونه‌گیری خاک استفاده گردید؛ اما جهت بررسی دقیق‌تر تغییرات جرم مخصوص ظاهری

1-Half-Track

۲- نمونه برداری از خاک سطحی بدلیل سله شدید امکان‌پذیر نبود

3- Increment Ratio

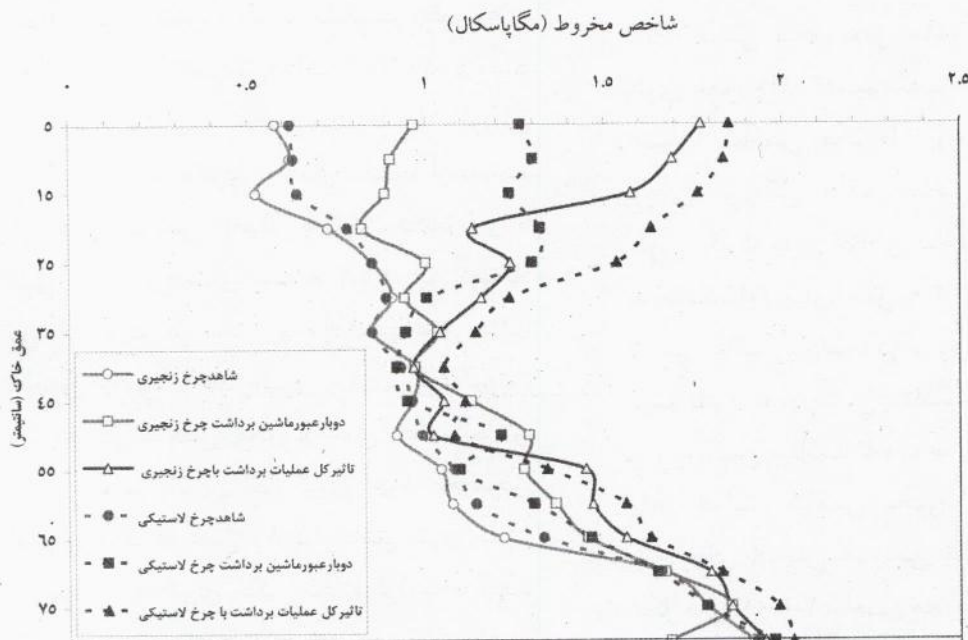
ماشین برداشت و پس از عبور تراکتور و تریلر حمل نیشکر برای هر دو مدل ماشین برداشت نشان داده شده است. در سطح رطوبت کم با توجه به شکل ۳ میزان فشردگی ایجاد شده ناچیز و قابل اغماض است. از دیگر نکات قابل توجه در سطح رطوبت کم افزایش شاخص مخروط مخروط در عمق‌های پایین

جدول ۱- مقدار افزایش شاخص مخروط در سطوح رطوبتی مورد بررسی به وسیله دو نوع ماشین برداشت نیشکر

مقدار افزایش شاخص مخروط (KPa)						نوع ماشین برداشت	سطح رطوبتی*
۳۰ cm	۲۵ cm	۲۰ cm	۱۵ cm	۱۰ cm	۵cm		
۰. f	۹۰. e	۱۱۰. d	۱۵۰. e	۲۰۰. e	۲۸۰. e	کم	چرخ لاستیکی
۳۵۰. b	۳۹۰. b	۲۴۰. c	۱۹۰. d	۳۰۰. c	۹۶۰. a	متوسط	
۱۱۰. c	۴۵۰. a	۵۴۰. b	۵۹۰. b	۶۷۰. a	۶۴۰. c	زیاد	
۴۰. d	۰. f	۰. f	۵۰. f	۱۲۰. f	۶۰. f	کم	چرخ زنجیری
۷۸۰. a	۳۴۰. c	۶۶۰. a	۶۵۰. ab	۳۵۰. b	۸۰۰. b	متوسط	
۳۰. e	۱۵۰. d	۹۰. e	۳۶۰. c	۲۸۰. d	۳۹۰. d	زیاد	

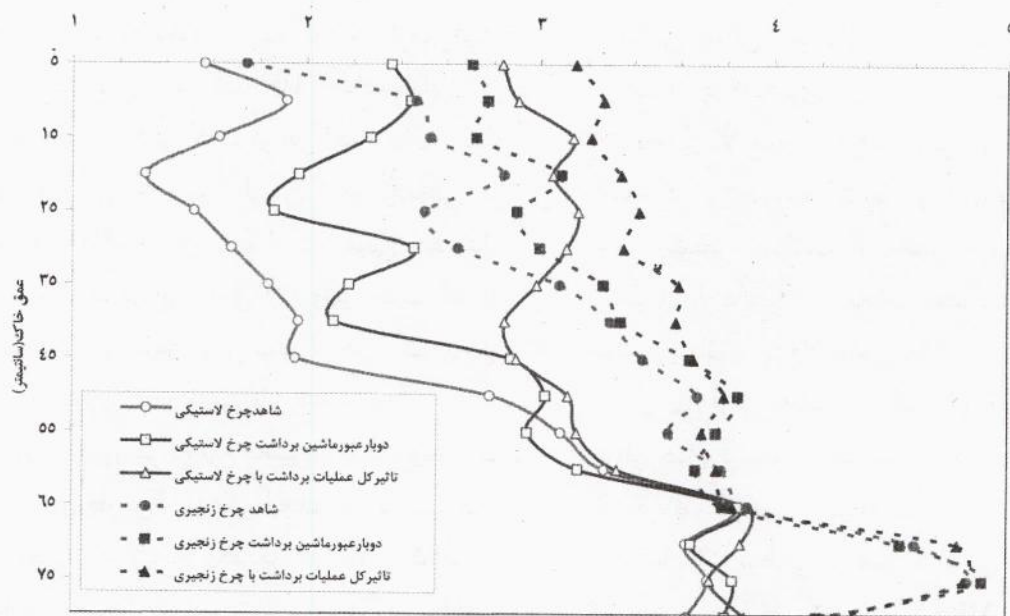
مقایسات میانگین به صورت ستونی انجام شده است و به دیگر ستون‌ها ارتباط ندارد.

*میزان رطوبت خاک در سطح رطوبت کم ۹-۱۴٪، در سطح رطوبت متوسط ۱۹-۱۴٪ و در سطح رطوبت بالا ۲۳-۱۹٪.



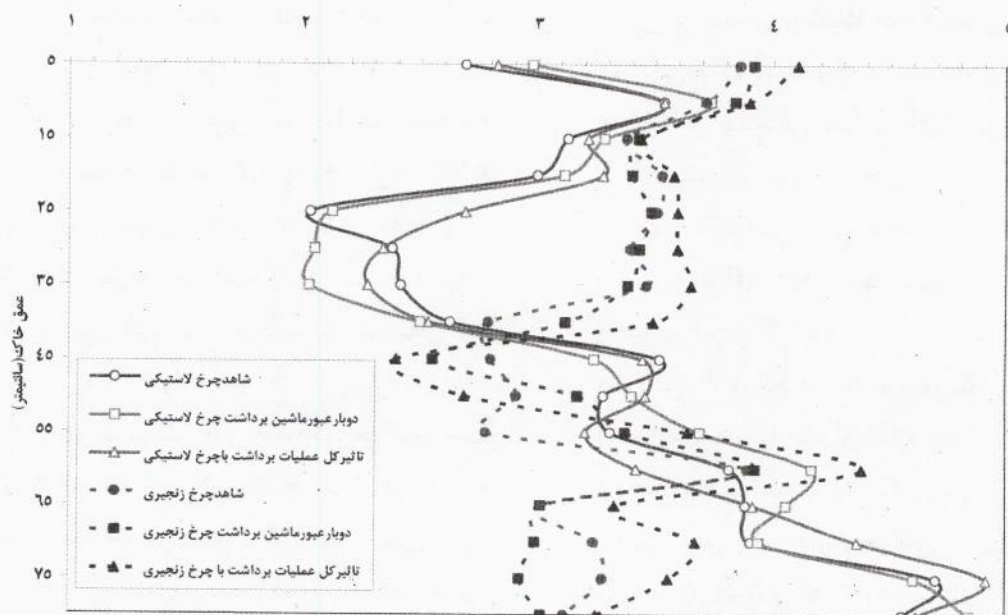
شکل ۱- شاخص مخروط پروفیل خاک (۰-۸۰ سانتی متری) در سطح رطوبت بالا

شاخص مخروط (مگا پاسکال)



شکل ۲- شاخص مخروط پروفیل خاک (۰-۸۰ سانتی متری) در سطح رطوبت متوسط

شاخص مخروط (مگا پاسکال)



شکل ۳- شاخص مخروط پروفیل خاک (۰-۸۰ سانتی متری) در سطح رطوبت پایین

می‌باشد. در عمق ۳۰ تا ۸۰ سانتی متر نیز تغییرات معنی‌داری در شاخص مخروط خاک در رطوبت‌های مختلف مشاهده نگردید. البته در یک آزمون یک ساله نمی‌توان تغییرات قابل ملاحظه‌ای در فاکتورهای فشردگی خاک در این اعماق را به دست آورد و برای به دست آوردن تأثیر احتمالی در فشردگی خاک زیرین لازم است آزمونی چند ساله صورت گیرد. در این عمق از پروفیل خاک گاه به علت خشک یا خیس بودن بیش از حد خاک زیرین، داده‌ها بسیار پراکنده و غیر قابل استناد بودند.

در اثر عبور هر دو نوع ماشین برداشت نیشکر در سه سطح رطوبتی، فشردگی ایجاد شده در تیمارها و در عمق یکسان، با یکدیگر در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند. بیشترین تغییر در شاخص مخروط خاک سطحی در عمق ۵ سانتی متری خاک با رطوبت متوسط و به میزان $0/96 \text{ MPa}$ توسط ماشین برداشت چرخ‌لاستیکی و بیشترین تغییر شاخص مخروط خاک زیرین در عمق ۵۵ سانتی متری خاک با رطوبت کم و به میزان $0/39 \text{ MPa}$ توسط ماشین برداشت چرخ‌زنجیری ایجاد گردیده است. در مقایسه سطوح رطوبتی، کمترین میزان فشردگی در رطوبت کم ایجاد گردیده است.

دلیل افزایش شاخص مخروط در عمق‌های پایین در سطح رطوبت کم، وجود رطوبت بالا در عمق پایین پروفیل خاک به علت عدم کارکرد مطلوب زهکش‌ها می‌باشد. وجود یک لایه سخت خاک بر روی این خاک مرطوب باعث انتقال فشار ناشی از وزن ادوات به خاک زیرین می‌گردد. همچنین علت بیشتر بودن فشردگی خاک در سطح رطوبت متوسط از دیگر سطوح بعد از دو بار عبور ماشین برداشت در عمق ۳۰ تا ۸۰ سانتی متری، واقع بودن این سطح رطوبت در نزدیکی حد خمیری می‌باشد. در جدول شماره ۲ که مقدار افزایش شاخص مخروط برای عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری خاک شاهد و خاک فشرده شده در اثر عبور تراکتور

و تریلر حمل نیشکر پس از دو بار عبور ماشین برداشت را نشان می‌دهد مشخص می‌کند که بیشترین میزان فشردگی در برداشت با ماشین برداشت چرخ‌زنجیری در هر دو سطح رطوبتی متوسط و بالا صورت گرفته است. این بدان معنی است که در صورت استفاده از تریلرهای سنگین حمل نیشکر، برداشت با ماشین برداشت چرخ‌زنجیری ارجحیتی بر انجام عملیات برداشت با ماشین برداشت چرخ‌لاستیکی ندارد.

در طی آزمون، ماشین برداشت دو بار و تراکتور و تریلر حمل نیشکر نیز دو بار از بین ردیف کاشت نیشکر گذر کردند. در نتیجه بیشترین تغییر شاخص مخروط خاک سطحی در عمق ۵ سانتی متری خاک با رطوبت متوسط و به میزان $1/7 \text{ MPa}$ توسط ماشین برداشت چرخ‌زنجیری و بیشترین تغییر شاخص مخروط خاک زیرین در عمق ۳۵ سانتی متری خاک با رطوبت متوسط و به میزان $1/15 \text{ MPa}$ توسط ماشین برداشت چرخ‌زنجیری ایجاد گردید. بنابراین می‌توان گفت انجام عملیات برداشت به وسیله ماشین برداشت چرخ‌زنجیری نه تنها مزیتی بر ماشین برداشت چرخ‌لاستیکی در کاهش فشردگی خاک ندارد، بلکه با بسترسازی باعث انتقال فشار عامل فشردگی به لایه‌های پایین خاک می‌گردد. بیشترین تغییر شاخص مخروط خاک زیرین در عمق ۳۵ سانتی متری خاک با رطوبت متوسط و به میزان $0/8 \text{ MPa}$ توسط ماشین برداشت چرخ‌زنجیری ایجاد گردیده است. این فشردگی ادامه فشردگی بالای ایجاد شده در عمق ۲۵ سانتی متری است که به دلیل ایجاد آن اشاره شد.

در هیچ‌کدام از تیمارها فشردگی معنی‌داری در خاک زیرین (عمق پایین‌تر از سانتی متر ۷۰) مشاهده نگردید. در صورتی که در رطوبت‌های بالا فشردگی ناشی از بار سنگین روی محور تریلر به لایه زیرین خاک نیز برسد، لازم است پس از کاهش رطوبت خاک فشرده شده در رطوبت بالا، شاخص مخروط

اندازه‌گیری شود که این موضوع باید در یک آزمون چندساله صورت پذیرد.

ب- ضریب افزایش جرم مخصوص ظاهری

نتایج مقایسات میانگین در سطح معنی‌دار ۵ درصد برای میانگین‌های ضریب افزایش چگالی در عمق ۱۵-۱۰ سانتی متری خاک در جدول ۳ نشان داده شده است؛ بیشینه این ضریب برای دو نوع ماشین برداشت در رطوبت زیاد توسط ماشین برداشت چرخ لاستیکی به میزان ۶/۱٪ و برای ماشین برداشت چرخ‌زنجیری ۳/۹٪ در اثر دو بار

عبور به دست آمد. این بدان معنی است که فشردگی در رطوبت بالا بیشترین و ماشین برداشت چرخ‌لاستیکی نیز فشردگی بیشتری نسبت به ماشین برداشت چرخ‌زنجیری ایجاد می‌کند. در مقایسه ضریب افزایش چگالی خاک توسط دو نوع ماشین برداشت نیز تأثیر کمتر ماشین برداشت چرخ‌زنجیری بر افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک مشخص می‌گردد.

جدول ۲- مقدار افزایش شاخص مخروط در سطوح رطوبتی مورد بررسی به وسیله تراکتور و تریلر حمل نیشکر

مقدار افزایش شاخص مخروط (KPa)						عمق	سطح رطوبتی	تریلر حمل نیشکر
۳۰ cm	۲۵ cm	۲۰ cm	۱۵ cm	۱۰ cm	۵ cm			
۲۹۰ c	۵۷۰ b	۱۶۰ f	۰ f	۰ f	۰ f		کم	چرخ لاستیکی
۳۶۰ b	۵۲۰ c	۲۵۰ d	۴۹۰ d	۵۰۰ e	۴۴۰ d		متوسط	
۲۳۰ d	۲۴۰ d	۳۱۰ b	۵۳۰ c	۵۳۰ b	۵۸۰ b		زیاد	
۱۶۰ f	۱۱۰ e	۱۸۰ e	۱۰ e	۶۰ e	۱۸۰ e		کم	چرخ‌زنجیری
۶۵۰ a	۱۳۰۰ a	۱۰۸۰ a	۸۷۰ a	۴۶۰ d	۴۷۰ c		متوسط	
۲۱۰ e	۲۴۰ d	۳۱۰ c	۶۹۰ b	۷۹۰ a	۸۱۰ a		زیاد	

مقایسات میانگین به صورت ستونی انجام شده است و به دیگر ستون‌ها ارتباط ندارد. اندازه‌گیری شاخص مخروط بعد از عبور تریلر از روی ردیف فشرده شده توسط ماشین برداشت صورت گرفته است.

جدول ۳- میانگین ضریب افزایش چگالی خاک در سطوح رطوبتی مختلف توسط ادوات برداشت

ماشین برداشت	سطح رطوبتی*	عبور ماشین برداشت (%)	عبور تریلر (%)	کل عملیات برداشت (%)
چرخ‌لاستیکی کم		۰/۳۵ f	۰/۴۶ d	۰/۸۱ e
متوسط		۵/۳۴ b	۵/۸۶ aa	۱۱/۲۰ a
زیاد		۶/۱۵ a	۵/۸۳ a	۱۱/۹۸ aa
چرخ‌زنجیری کم		۱/۸۰ e	۰/۴۲ d	۲/۲۲ d
متوسط		۳/۱۲ d	۵/۲۰ c	۸/۳۲ c
زیاد		۳/۹۴ c	۵/۵۵ b	۹/۴۸ b

مقایسات میانگین به صورت ستونی انجام شده است و به دیگر ستون‌ها ارتباط ندارد. *میزان رطوبت خاک در سطح رطوبت کم ۹-۱۴٪، در سطح رطوبت متوسط ۱۹-۱۴٪ و در سطح رطوبت بالا ۲۳-۱۹٪.

ادامه خواهد داشت و بعد از حد روانی خاک، فشردگی ایجاد نخواهد گردید. فشردگی ایجاد شده در سطوح رطوبتی متوسط و بالا به یکدیگر نزدیک است، که با توجه به اینکه یکی در رطوبت زیر حد خمیری و دیگری در بالای حد خمیری است قابل توجه است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، در عمق ۱۵-۱۰ سانتی متری خاک، پس از دو بار عبور ماشین برداشت نیشکر چرخ لاستیکی در خاک مرطوب، بیشترین جرم مخصوص ظاهری $1/7$ گرم بر سانتی متر مکعب و ضریب افزایش چگالی خاک $6/1$ گرم بر سانتی متر مکعب بوده است. در حالی که برای ماشین برداشت نیشکر چرخ زنجیری در رطوبت مشابه ضریب افزایش چگالی خاک $3/9$ به دست آمد. بیشترین افزایش چگالی خاک $11/9$ برای ماشین چرخ لاستیکی و $9/5$ برای ماشین چرخ زنجیری در رطوبت بالا حاصل شد. آزمایشات نشان داد که در سطح رطوبت کم، تغییر معنی داری در شاخص مخروط ایجاد نشده است. اما در سطح رطوبت های متوسط و بالا، تغییرات شاخص مخروط معنی دار گردید. بیشترین میزان افزایش شاخص مخروط در خاک زیرین در تیمار ماشین چرخ زنجیری و در عمق 35 سانتی متری خاک به میزان $1/1$ Mpa به دست آمد که شاخص مخروط را به $3/95$ Mpa رسانید. هر دو ماشین برداشت چرخ لاستیکی و چرخ زنجیری از لحاظ کاهش میزان فشردگی خاک نسبت به یکدیگر برتری نداشته اند. بطور کلی شرایط مطلوب برای برداشت نیشکر در رطوبت کمتر از 14 ٪ خاک، زهکشی مناسب، استفاده از ماشین برداشت چرخ زنجیری همراه با تریلرهای با ظرفیت کمتر و عبور ادوات در بین ردیف های کاشت توصیه می شود.

فشردگی در دو سطح رطوبت متوسط و بالا در اثر عبور تراکتور و تریلر حمل نیشکر بعد از ماشین برداشت چرخ لاستیکی با هم تفاوت معنی داری ندارند. دلیل این امر فشرده شدن خاک در سطح رطوبت بالا توسط ماشین برداشت با ضریب افزایش چگالی $6/1$ ٪ در زمان دو بار عبور ماشین برداشت می باشد که ظرفیت فشرده شدن خاک را در این مرحله کاهش داده است. حداکثر ضریب افزایش چگالی خاک در اثر عبور تراکتور و تریلر حمل نیشکر بعد از ماشین برداشت چرخ لاستیکی $5/8$ ٪ در سطح رطوبت متوسط و مقدار $5/8$ ٪ در سطح رطوبت بالا و در اثر عبور تراکتور و تریلر حمل نیشکر بعد از ماشین برداشت چرخ زنجیری $5/5$ ٪ در سطح رطوبت بالا بود. با افزایش رطوبت، فشردگی خاک نیز افزایش می یابد؛ با رسیدن رطوبت به حد خمیری، فشردگی نیز در بیشترین مقدار خود می باشد.

اما در کل عملیات برداشت، تفاوت معنی داری بین رطوبت متوسط و زیاد در برداشت، با ماشین برداشت چرخ لاستیکی در ضریب افزایش چگالی خاک وجود ندارد. دلیل این امر نیز قرار گرفتن این دو سطح رطوبتی در فاصله مساوی از دو طرف حد خمیری می باشد. بیشترین ضریب افزایش چگالی خاک در حالت برداشت با ماشین برداشت چرخ لاستیکی $11/9$ ٪ و برای ماشین برداشت چرخ زنجیری به $9/5$ ٪ هر دو در سطح رطوبت بالا رسید. مقدار ضریب افزایش چگالی $0/8$ ٪ در حالت برداشت با ماشین برداشت چرخ لاستیکی و $2/2$ ٪ در حالت برداشت با ماشین برداشت چرخ زنجیری در سطح رطوبت کم مشخص می سازد که انجام عملیات برداشت در سطح رطوبت کم تأثیر مخرب چندانی بر خواص فیزیکی خاک ندارد.

در رطوبت بالاتر از حد خمیری، فشردگی خاک سیر نزولی پیدا می کند. این سیر نزولی تا حد روانی

منابع

۱. ابن جلال، ر. و شفاعی بجنستان، م.، ۱۳۸۳. اصول عملی و نظری مکانیک خاک. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۷۳۰ ص.
۲. بصیری، ع. ۱۳۵۷. طرح‌های آماری در علوم کشاورزی. انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۸۷ ص.
3. Bakken, A.K., Brandsæter, L.O., Eltun, R., Hansen, S., Mangerud, K., Pommeresche, R., and Riley, H. 2009. Effect of tractor weight, depth of ploughing and wheel placement during ploughing in an organic cereal rotation on contrasting soils. *Soil & Tillage Research*, 103: 433-441.
4. Allmaras, R.R., Burwell, R.E., and Holt, R.F. 1969. Plow layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. *Soil Science*, 31:550-556.
5. Botta, G.F., Pozzolo, O., Bomben, M., Rosatto, H., Rivero, D., Ressia, M., Tourn, M., Soza, E., and Vazquez, J. 2007. Traffic alternatives for harvesting soybean (*Glycine max L.*): Effect on yields and soil under a direct sowing system. *Soil & Tillage Research*, 96: 145-154.
6. Botta, G.F., Rivero, D., Tourn, M., Bellora Melcon, F., Pozzolo, O., Nardon, G., Balbuena, R., Tolon Becerra, A., Rosatto, H., and Stadler, S. 2008. Soil compaction produced by tractor with radial and cross-ply tyres in two tillage regimes. *Soil & Tillage Research*, 101: 44-51.
7. Jansson, K.J., and Johansson, J. 1998. Soil changes after traffic with a tracked and a wheeled forest machine: a case study on a silt loam in Sweden. *Forestry (Oxford)* 71: 57-66.
8. Arvidsson, J., Bo'lenius, E. 2006. Effects of soil water content during primary tillage- laser measurements of soil surface changes. *Soil & Tillage Research*, 90: 222-229
9. Arvidsson, J., and Keller, T. 2007. Soil stress as affected by wheel load and tyre inflation pressure. *Soil & Tillage Research*, 96: 284-291.
10. Jorajuria, D., and, Draghi, L. 2000. Pre-compaction of agricultural soil. Part I: influence of different number of pass. *Soil and Tillage Research*, 67: 445-452.
11. Braunack, M.V., and McGarry, D. 2006. Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane in Australia. *Soil & Tillage Research*, 89: 86-102.
12. Silva, V.R., Reinert, D.J., and Reichert, J.M. 2000. A Soil strength as affected by combine wheel traffic and two soil tillage systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 30: 795-801.

13. Spoor, G.; and Godwin, R.J. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 23:243-258.