[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]

ارزیابی تراکم خاک مزارع نیشکر تحت حالت‌های مختلف کشت به کمک چگالی ظاهری، چگالی ظاهری نسبی و شاخص مخروط خاک

عالیه ویسی‌تبار[۱]، عباس همت[۱*] و محمدرضا مصدقی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۴)

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی معضل تراکم خاک در مزارع شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی اهواز انجام گرفت. نمونه‌های دست‌نخورده از کف جوی‌ها برای اندازه‌گیری درصد رطوبت (mc) و چگالی ظاهری (BD) خاک جمع‌آوری شد. با توجه به تغییر بافت در مزارع، برای بیان درجه فشردگی خاک‌های مختلف و مقایسه آنها با هم، علاوه بر چگالی ظاهری، چگالی ظاهری نسبی (RBD، نسبت چگالی ظاهری به چگالی ظاهری مرجع) نیز تعیین شد. تغییرات مقاومت مکانیکی (شاخص مخروط؛ CI) خاک نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که اکثر مقادیر BD اندازه‌گیری شده در مزارع نیشکر، در محدوده "ریشه‌های اندک" (محدودیت زیاد) می‌باشد. با مقایسه مقادیر BD به‌دست آمده با حد بهینه (۰/۸۵) دیده شد که بیشتر مقادیر به‌دست آمده بیش از حد بهینه برای رشد ریشه گیاه بود که بیان‌گر فشردگی بیش از حد خاک‌های مزارع نیشکر می‌باشد. مقادیر CI در نیم‌رخ خاک‌ها نشان داد که در اکثر عمق‌ها مقادیر اندازه‌گیری شده در کف جوی‌ها از حدود محدودکننده (۲ MPa) و بحرانی (۳ MPa) برای رشد و نمو ریشه بیشتر می‌باشد. بنابراین، به‌منظور بهبود حاصلخیزی و کیفیت فیزیکی خاک، مدیریت تردد ماشین‌های برداشت نی در مزارع نیشکر، باید مورد بازنگری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: چگالی ظاهری نسبی، شاخص مخروط، فروسنج، مقاومت مکانیکی خاک، هاروستر نیشکر، واگن حمل نی

۱. گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:ahemmat@cc.iut.ac.ir

مقدمه

نیشکر گیاهی چندساله بوده که اخیراً به‌صورت دو ردیف روی هر پشته پهن کاشته می‌شود. فواصل بین ردیف‌های کاشت (جویچه‌ها)، علاوه بر محل آبیاری، مکان تردد چرخ ماشین‌ها نیز می‌باشد. عملیات برداشت مزارع نیشکر امروزه اغلب به‌صورت مکانیزه انجام می‌شود. به این ترتیب که گیاهان هر ردیف به‌صورت مجزا به‌وسیله واحد برش ماشین برداشت نیشکر از محل طوقه قطع شده و به قطعه‌های ۳۰ سانتی‌متری تقسیم شده و سپس با واگن حمل نی به کارخانه حمل می‌شود. به این ترتیب، هر جویچه حداقل دارای ۴ تردد شامل ۲ تردد چرخ‌های ماشین برداشت و ۲ تردد چرخ‌های ماشین حمل نی می‌باشد، اگرچه برخی از جویچه‌های دارای تردد بیشتری نیز می‌باشند (۳).

تراکم خاک به فرآیندی گفته می‌شود که سبب افزایش چگالی ظاهری خاک شده و موجب کاهش حجم و پیوستگی منافذ، کاهش نفوذپذیری آبی و هوایی خاک، افزایش مقاومت مکانیکی و تخریب ساختمان خاک می‌شود. تراکم خاک می‌تواند در اثر: ۱) ویژگیهای ذاتی مربوط به پیدایش و تکامل خاک، ۲) انقباض طبیعی در اثر خشک شدن، ۳) آبیاری سطحی که موجب وارفتگی کلوخه‌ها و خاک‌دانه‌های ناپایدار خاک شده و موقعیت ذرات را نسبت به یکدیگر تغییر می‌دهد، ۴) تحکیم‌بخشی موضعی و تراکم طبیعی و مجدد خاک در طول فصل زراعی و ۵) عبور تراکتور و سایر ماشین‌های کشاورزی روی خاک به‌ویژه در حالتی که مقاومت مکانیکی خاک به‌علت زیاد بودن مقدار رطوبت خاک کم بوده و امکان صدمه به ساختمان خاک وجود دارد، ایجاد شود (۱۳). افزایش چگالی ظاهری و مقاومت فروروی خاک، به‌ترتیب شاخص‌های فیزیکی و مکانیکی مقدار فشردگی خاک به شمار می‌آیند.

مشخصه خاک‌های تحت زراعت تک‌محصولی نیشکر، داشتن ساختمان ضعیف و متراکم می‌باشد. این به‌علت ترکیبی از عوامل شامل عملیات خاک‌ورزی شدید پیش از کاشت، استفاده از ماشین‌های بسیار سنگین و تراکتورهای قوی برای برداشت و حمل و نقل نی که اغلب در شرایط رطوبتی نامناسب انجام می‌شود و عدم هماهنگی فاصله بین ردیف‌های کاشت و فاصله بین چرخ‌های ماشین‌ها به‌ویژه در سبدهای حمل نی می‌باشد که موجب می‌شود تردد چرخ‌ها علاوه بر فاصله بین ردیف‌ها، در ردیف‌های کاشت نیز رخ دهد (۲۶). بنابراین، از یک سو ساختمان ضعیف به‌علت کم‌بودن ماده آلی خاک و از سوی دیگر عملیات سنگین تهیه زمین و تسطیح در کشت نیشکر خوزستان، باعث تخریب ساختمان خاک شده و خاک را در هنگام عملیات برداشت مستعد فشردگی می‌کند. بنابراین، تراکم خاک یک معضل اساسی در مزارع نیشکر خوزستان می‌باشد که منجر به دشواری‌های زیادی همچون نبود تهویه کافی و محدودیت در دسترس بودن آب و مواد غذایی می‌شود. چگالی ظاهری بهینه خاک برای رشد ریشه نیشکر در دامنه $1/2-1/3\ Mg\ m^{-3}$ گزارش شده است (۱۹). هامبرت (۱۸) بیان می‌دارد که با افزایش چگالی ظاهری خاک از ۱/۱ به $1/6\ Mg\ m^{-3}$، توسعه ریشه نیشکر به‌تدریج کند می‌شود. حد بحرانی چگالی ظاهری خاک برای رشد ریشه نیشکر در دامنه $1/8-1/9\ Mg\ m^{-3}$ است که در این حد از فشردگی خاک، رشد و توسعه ریشه عملاً متوقف می‌شود. در چنین خاک‌های فشرده، دسترسی به اکسیژن کم بوده که منجر به کاهش جذب آب و مواد غذایی می‌شود. با توجه به این‌که حد بحرانی چگالی ظاهری خاک برای ریشه گیاه بسته به نوع بافت خاک فرق می‌کند، بنابراین، اخیراً پژوهشگران حد بحرانی چگالی ظاهری را به‌عنوان تابعی از درصد رس خاک بیان نموده و برای مستقل‌نمودن چگالی ظاهری بحرانی از بافت خاک، از کمیت چگالی ظاهری نسبی (درجه تراکم) استفاده کرده‌اند (۱۷).

تراکم همچنین باعث افزایش مقاومت فروروی خاک شده و رشد ریشه در خاک را دشوار می‌کند که اگر این مقاومت از فشار رشد ریشه بیشتر باشد رشد آن متوقف می‌شود (۱۶). تیلور و همکاران (۲۸) اثر تراکم در انواع خاک‌ها بر رشد ریشه پنبه را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که هیچ ریشه‌ای به عمق خاکی با مقاومت فروروی ۲/۵ MPa در هر چهار نوع

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]

خاک مورد بررسی نفوذ نمی‌کند.

پژوهش‌هایی که تاکنون در زمینه مدیریت تراکم خاک در مزارع نیشکر خوزستان توسط سایر پژوهشگران انجام شده است شامل بررسی ویژگی‌های فیزیکی زمین‌های تحت کشت درازمدت نیشکر (۱۰)، اندازه‌گیری چگالی ظاهری بیشینه خاک با آزمون پروکتور برای تعیین زمان (شرایط رطوبتی خاک) مناسب برای تردد ماشین‌ها (۱)، بررسی تأثیر تردد ماشین‌های برداشت و حمل نی بر ویژگی‌های فیزیکی (چگالی ظاهری) و مکانیکی (مقاومت فروروی) خاک (۶ و ۲۴) و ارزیابی تأثیر تردد ماشین‌ها بر عملکرد محصول بوده است (۵). مهردادیان و همکاران (۶) تأثیر تردد ماشین‌های برداشت نیشکر (چرخ لاستیکی و نیم‌زنجیری با وزن ۱۴ تن) و سبدهای حمل نی (به وزن‌های ۱۰ و ۱۸ تنی؛ هر دو از نوع دومحور) در مقادیر مختلف رطوبت خاک بر چگالی ظاهری و شاخص مخروط خاک در مزارع کشت و صنعت دعبل خزائی اهواز را بررسی نمودند. تردد ماشین‌ها موجب افزایش فشردگی در لایه‌های مختلف خاک گردید؛ بیشترین افزایش چگالی ظاهری (BD) در خاک رویین (صفر تا ۵ سانتی‌متر) و کمترین آن در لایه‌های ۳۵-۳۰ و ۶۵-۶۰ سانتی‌متر دیده شد. مقادیر شاخص مخروط خاک اندازه‌گیری شده پیش و پس از تردد ماشین‌ها نشان داد که در اغلب مزارع، فشردگی خاک تا اعماق ۶۳ تا ۷۰ سانتی‌متری خاک قابل مشاهده بود. نتایج نشان‌گر حساسیت شدید شاخص مخروط به مقدار رطوبت خاک در هنگام تردد ماشین‌ها بود. لرزاده و همکاران (۵) به‌منظور بررسی تأثیر تراکم ناشی از عبور صفر، ۳، ۶ و ۹ بار تراکتور به همراه سبد حمل نی (در فواصل بین ردیف‌های کاشت) در رطوبتی برابر با گنجایش زراعی (FC) بر شاخص مخروط یک خاک با بافت رس سیلتی و بر عملکرد و میزان قند نیشکر واریته CP48-103، یک پژوهش یک‌ساله در مزارع کشت و صنعت امام خمینی انجام دادند. سطوح تراکم وارد شده به خاک به‌ترتیب منجر به میانگین شاخص مخروط در لایه صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برابر ۶۵۰، ۱۲۵۰، ۲۳۵۰ و ۳۲۵۰kPa شد. نتایج نشان داد که تراکم خاک تا مقادیر شاخص مخروط ۱۲۵۰kPa-۶۵۰، هیچ‌گونه اثر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی نیشکر نداشت. با افزایش بیشتر تراکم خاک تا ۳۲۵۰ kPa، ارتفاع گیاه، تعداد پنجه در واحد سطح، وزن ماده خشک برگ، ساقه و نی و عملکرد نی در سطح احتمال ۵٪ کاهش یافت. ولی از دیدگاه کیفی، سطوح تراکم خاک بر عملکرد ساکارز اثر معنی‌داری نداشتند.

هدف از این پژوهش، ارزیابی تراکم خاک در مزارع نیشکر از طریق اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی (شامل چگالی ظاهری و چگالی ظاهری نسبی) و مقاومت مکانیکی (شاخص مخروط) خاک‌های مزارع نیشکر تحت حالت‌های مختلف کشت (آیش، کشت اولیه و بازرویی‌های اول و دوم) با بافت‌های متفاوت در شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی دعبل خزائی، اهواز بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی (شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی واقع در دعبل خزاعی، اهواز)، بخشی از زمین‌های دشت وسیع خوزستان واقع در جنوب اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون را در بر می‌گیرد، که مساحت آن بالغ بر ۳۱۱۵۰ هکتار می‌باشد. طول و عرض جغرافیایی مرکز آن N ′ ۵۷ °۳۰ و E ′ ۳۰ °۴۸ است. ارتفاع این منطقه در مجاورت رودخانه ۷/۵ تا ۹ متر و در بخش‌های مرکزی محدوده طرح ۴ متر از سطح دریا می‌باشد. بدین ترتیب شیب کلی زمین‌ها از سمت غرب و جنوب به طرف مرکز محدوده است (۲).

بازسازی مزارع پس از برداشت محصول سالانه انجام می‌گیرد. پس از برداشت، برای نرم‌سازی و تهویه خاک بین ردیف‌های کاشت، زیرشکن‌زنی (عملیات راتونینگ) به عمق ۴۵-۴۰ سانتی‌متر انجام می‌گیرد. مرحله بعد اجرای دیسک‌زنی بین ردیف‌های کاشت به‌منظور کاهش اندازه کلوخه‌ها و شکل‌دهی مجدد به پشته‌ها می‌باشد. رشد مجدد گیاه نیشکر از قلمه‌های موجود در خاک، در سال‌های دوم و سوم به‌ترتیب بازرویی‌های اول و دوم نامیده می‌شود. پس از اتمام آخرین

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]

سال برداشت، برای دستیابی به شرایط بهینه در زمین و کشت مجدد یک دوره آیش یک‌ساله در نظر گرفته می‌شود. پس از دوره آیش، زمین تسطیح می‌شود. اولین عملیاتی که پس از تسطیح زمین انجام می‌گیرد، عملیات شخم برگردان به‌منظور نرم شدن خاک رویین تا عمق ۳۵-۳۰ سانتی‌متر خاک می‌باشد. سپس دو مرحله زیرشکن‌زنی عمیق توسط تراکتورهای پرقدرت در نوبت اول تا عمق ۷۵-۷۰ سانتی‌متر و در نوبت دوم تا عمق ۹۰-۸۵ سانتی‌متر انجام می‌گیرد. در نهایت عملیات دیسک‌زنی و ماله‌کشی به‌منظور خردکردن کلوخه‌ها و نرم‌کردن زمین خاتمه‌دهنده مرحله دوم تهیه زمین می‌باشند. کاشت دو ریف قلمه با فاصله ۵۰ سانتی‌متر روی هر پشته پهن، پس از ایجاد جوی و پشته‌هایی با فواصل بین ردیفی ۱۸۳ سانتی‌متر انجام می‌گیرد. این حالت کشت را کشت اول می‌گویند (۱). در این پژوهش، چهار حالت کشت (آیش، کشت اول و بازرویی‌های اول و دوم) انتخاب گردید. برای هر حالت کشت، سه گروه بافتی شامل خاک درشت‌بافت (شن لومی)، میانه‌بافت (لوم، لوم سیلتی و لوم رسی) و ریزبافت (رسی) در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری‌ها پس از اتمام مراحل تهیه زمین، کاشت و داشت مربوط به هر مزرعه متناسب با حالت کشت آن مزرعه انجام گرفت.

در هر بافت خاک مربوط به هر حالت کشت، سه نمونه دست‌نخورده با فاصله ۱۵ متر از هم از کف جویچه‌ها برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری (BD) و رطوبت خاک (mc) تهیه شد. برای تهیه نمونه‌های دست‌نخورده، از استوانه‌هایی به قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر استفاده شد. برای حذف ناهمواری‌های سطح خاک، نمونه‌گیری با کنارزدن ۵ سانتی‌متر از لایه رویین خاک تهیه گردید. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شده و وزن شدند و سپس درون آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند تا خشک شده و جرم خشک اندازه‌گیری شد. در نهایت BD با تقسیم جرم آون-خشک به حجم کل خاک محاسبه شد (۲۰).

برای ارزیابی تراکم‌پذیری خاک‌های مورد بررسی صرف نظر از نوع (بافت) خاک، از شاخص دیگری تحت عنوان چگالی ظاهری نسبی (RBD) استفاده شد. برای محاسبه این شاخص در ابتدا چگالی ظاهری مرجع (BD_{Ref})، با توجه به درصد رس خاک با استفاده از معادله جونز (۱۴) محاسبه شد:

$$BD_{Ref}\ (Mg\ m^{-3}) = ۱/۹۸۵ - ۰/۰۰۸۵۷Clay\% \qquad [۱]$$

در نهایت چگالی ظاهری نسبی (RBD) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$RBD=\frac{BD}{BD_{Ref}} \qquad [۲]$$

در کنار محل نمونه‌گیری خاک در هر مزرعه، شاخص مخروط (CI) خاک با استفاده از دستگاه فروسنج مخروطی مدل ایجکلکمپ با زاویه نوک و قطر قاعده مخروط به‌ترتیب ۳۰ درجه و ۱۲/۸ میلی‌متر و سرعت نفوذ $۲\ m\ min^{-۱}$ (استاندارد ASAE) اندازه‌گیری شد (۷). این فروسنج می‌تواند مقاومت مکانیکی خاک تا عمق ۸۰ cm را اندازه‌گیری کند. این دستگاه دارای پنترو لاگر، مخروط، میله رابط و صفحه تراز می‌باشد.

در هر مزرعه، نمونه‌های خاک دست‌خورده برای تعیین بافت، رسانایی الکتریکی (EC) و حد خمیری نیز تهیه شد. در این پژوهش، بافت خاک به روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد و کلاس بافت خاک به کمک مثلث بافت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) تعیین شد. رسانایی الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از EC متر اندازه‌گیری شد. حد خمیری خاک حداقل درصد رطوبتی است که خاک در آن به‌صورت خمیری (شکل‌پذیر) در می‌آید. حد خمیری حدفاصل بین حالت‌های خمیری و نیمه‌جامد خاک می‌باشد. در این پژوهش حد خمیری به روش فتیله ۳ mm اندازه‌گیری شد (۲۲).

با توجه به یکسان نبودن بافت‌ها در کشت‌های مختلف، تأثیر ترکیب‌های مختلف کشت-بافت‌ها (با ۱۲ تیمار) بر مقادیر چگالی ظاهری و چگالی ظاهری نسبی خاک در در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی گردید. در صورت معنی‌دار

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک رویین کف جوی مزارع مورد بررسی

حالت کشت	بافت	درصد سیلت	درصد رس	PL	EC_e
				(%w/w)**	($dS\ m^{-1}$)
آیش	لوم	۳۰	۲۵	۱۴/۱	۳/۵
	لوم رسی	۴۰	۳۹	۱۷/۰	۳/۱
	رسی	۳۶	۴۰	۱۷/۵	۳/۵
کشت اول	لوم سیلتی	۵۰	۲۲	۱۵/۳	۳/۸
	لوم رسی	۴۱	۳۸	۱۶/۸	۳/۵
	رسی	۳۸	۴۸	۱۷/۶	۳/۶
بازرویی اول	شن لومی	۱۲	۱۴	۱۵/۰	۳/۵
	لوم رسی	۴۷	۲۹	۱۷/۲	۳/۵
	رسی	۳۸	۴۹	۱۷/۵	۳/۷
بازرویی دوم	شن لومی	۱۱	۱۳	۱۵/۲	۳/۵
	لوم رسی	۳۱	۳۳	۱۶/۹	۳/۶
	رسی	۳۸	۴۹	۱۷/۴	۳/۵

PL و EC_e به‌ترتیب نشان‌دهنده حد خمیری و رسانایی الکتریکی عصاره اشباع خاک می‌باشند. ** درصد وزنی رطوبت بر اساس خاک خشک

بودن اثر عامل کشت- بافت، میانگین آنها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد با هم مقایسه شدند. از نرم‌افزارهای SAS و Excel برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

دامنه رس خاک‌های مزارع مورد آزمایش از ۱۳/۸ تا ۴۹/۰ درصد متغیر بود. اگرچه درصد رس خاک‌های مزارع مورد بررسی دامنه نسبتاً وسیعی داشت، ولی حد خمیری (PL) آنها در دامنه نسبتاً کمی (۱۴/۱ تا ۱۷/۵ درصد) تغییر کرد (جدول ۱). این یافته می‌تواند بیان‌گر غیرفعال بودن کانی‌های رسی خاک مزارع مورد آزمایش باشد. همچنین مقدار زیاد آهک در خاک‌های مورد بررسی می‌تواند سبب کاهش ویژگی‌های شکل‌پذیری و نگهداشت آب در خاک شود. درصد رطوبت بهینه برای تراکم خاک (در آزمون پروکتور) در مزارع نیشکر کشت و صنعت امیرکبیر در دامنه ۱۳/۱ تا ۱۸/۷٪ برای خاک‌های با مقدار رس ۱۹ تا ۴۳٪ گزارش شده است (۱). با توجه به نزدیک‌بودن مقدار رطوبت بهینه برای تراکم به PL خاک، نتایج به‌دست آمده در این کشت و صنعت همخوانی خوبی با نتایج کشت و صنعت امیرکبیر داشت. میانگین درصد ماده آلی و آهک برای تمام خاک‌های مورد بررسی به‌ترتیب حدود ۰/۵ و ۴۵٪ گزارش شده است. برای بیان درجه فشردگی یا تراکم اولیه خاک مزارع از شاخص‌های فیزیکی (چگالی ظاهری و چگالی ظاهری نسبی) و مکانیکی (شاخص مخروط) استفاده شد که در ادامه مورد بحث قرار گرفته‌اند.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]

جدول ۲. مقادیر چگالی ظاهری و چگالی ظاهری نسبی خاک رویین در کف جوی مزارع مورد بررسی

حالت کشت	بافت	چگالی ظاهری ($Mg\ m^{-3}$)	چگالی ظاهری مرجع$^{+}$ ($Mg\ m^{-3}$)	چگالی ظاهری نسبی
آیش	لوم	۱/۶۹^{b}	۱/۷۷	۰/۹۵^{cde}
	لوم رسی	۱/۶۰^{de}	۱/۶۵	۰/۹۷^{bc}
	رسی	۱/۷۹^{a}	۱/۶۴	۱/۰۹^{a}
کشت اولیه	لوم سیلتی	۱/۵۲^{fg}	۱/۷۹	۰/۸۵^{g}
	لوم رسی	۱/۶۱^{de}	۱/۶۶	۰/۹۷^{bcd}
	رسی	۱/۵۸^{ef}	۱/۵۷	۱/۰۱^{b}
بازرویی اول	شن لومی	۱/۷۰^{b}	۱/۸۷	۰/۹۱^{ef}
	لوم رسی	۱/۶۱^{cde}	۱/۷۴	۰/۹۳^{def}
	رسی	۱/۵۱^{fg}	۱/۵۷	۰/۹۶^{bcd}
بازرویی دوم	شن لومی	۱/۶۸^{bc}	۱/۸۷	۰/۹۰^{f}
	لوم رسی	۱/۶۸^{bcd}	۱/۷۰	۰/۹۸^{bc}
	رسی	۱/۵۰^{g}	۱/۵۱	۰/۹۶^{cde}

+ مقادیر چگالی ظاهری مرجع با رابطه پیشنهادی جونز (۲۱) محاسبه شده‌اند

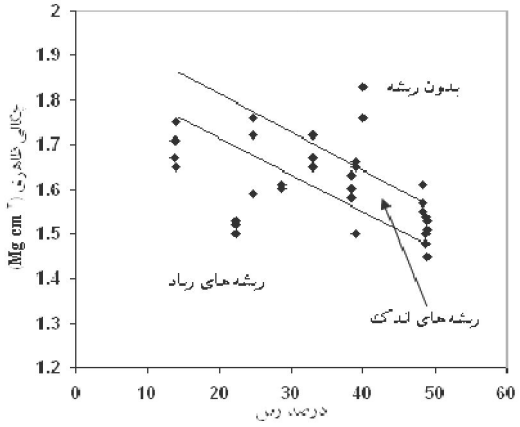
در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک‌اند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند

چگالی ظاهری و چگالی ظاهری نسبی خاک

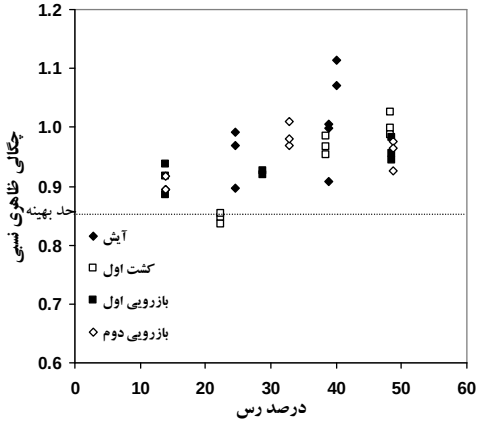
نتایج نشان داد که در اکثر بافت‌ها و تحت حالت‌های مختلف کشت، چگالی ظاهری خاک از مقدار محدودکننده ($Mg\ m^{-3}$ ۱/۶) بیشتر بود (جدول ۱)، اگرچه اندازه‌گیری‌ها حداقل دو ماه پس از عملیات خاک‌ورزی در محل کف جویچه‌ها انجام شده بود. برزگر و همکاران (۱۰) برخی ویژگی‌های فیزیکی زمین‌های نیشکر هفت تپه با ۳۸ سال سابقه کشت را اندازه‌گیری کرده و با ویژگی‌های زمین‌های بکر (کشت‌نشده) مجاور مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که کشت و کار درازمدت نیشکر منجر به افزایش چگالی ظاهری، کاهش پایداری ساختمان و افزایش منافذ ریز خاک شد.

با توجه به تفاوت بافت خاک در مزارع تحت کشت نیشکر، برای بیان درجه فشردگی خاک‌های مختلف و مقایسه نسبی آنها با هم، علاوه بر چگالی ظاهری (BD)، از چگالی ظاهری نسبی (RBD) نیز استفاده شد. مقادیر RBD خاک رویین کف جوی‌ها در مزارع مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است. این مقادیر با مقادیر اندازه‌گیری‌شده در کف جوی‌های مزارع نیشکر پس از عبور سبدهای حمل نی پر، از وسط ردیف‌های نیشکر در مزارع کوئینزلند استرالیا همخوانی دارد (۱۲). بررسی‌های هکنسون و لیپیک (۱۷) و ریچرت و همکاران (۲۷) نشان می‌دهد که برای رشد و نمو ریشه و جذب عناصر غذایی، RBD بهینه حدود ۰/۹۰–۰/۸۵ می‌باشد. مقایسه مقادیر

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]



شکل ۱. مقادیر چگالی ظاهری اندازه‌گیری شده در برابر درصد رس خاک در مزارع نیشکر و مقایسه آن با خطوط مربوط به چگالی ظاهری بحرانی خاک برای رشد ریشه (برگرفته از دکستر (۱۴) براساس داده‌های جونز (۲۱))



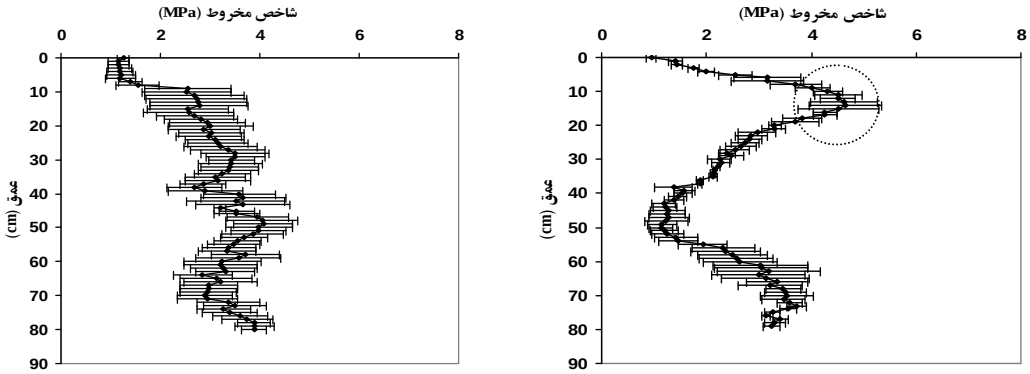
شکل ۲. مقایسه مقادیر چگالی ظاهری نسبی (RBD) در خاک مزارع نیشکر با حد بهینه RBD برای رشد ریشه گیاه

RBD محاسبه شده با مقدار بهینه پیشنهادی نشان می‌دهد که در اکثر موارد RBD خاک رویین کف جوی‌ها از این حدود بهینه بیشتر است که بیان‌گر تراکم و فشردگی بیش از حد خاک‌های مزارع نیشکر می‌باشد (۱۲). پاسخ نیشکر به تراکم خاک بسیار شبیه به پاسخ جو است، این مسئله به‌دلیل هم‌خانواده بودن جو و نیشکر می‌باشد. تفاوت بسیار کمی بین پاسخ‌های خانواده غلات به درجه تراکم خاک دیده شده است. همچنین درجه تراکم بهینه خاک تحت کشت نیشکر، مشابه خاک تحت جو حدود ۰/۸۵ گزارش شده است (۱۷).

همان‌گونه که گفته شد، از معادله جونز (۲۱) برای محاسبه حد بحرانی چگالی ظاهری (چگالی ظاهری مرجع) خاک جهت رشد ریشه نیشکر در مزارع مورد بررسی استفاده شد. زمانی‌که رشد ریشه‌ها به ۲۰٪ بیشینه رشد ریشه در گنجایش زراعی خاک کاهش می‌یابد، جونز (۲۱) حد بالایی چگالی ظاهری بحرانی خاک را تعریف نمود. او روابط رگرسیونی برای تخمین چگالی ظاهری بحرانی در خاک‌های با دامنه وسیعی از درصد رس و سیلت را به‌دست آورد. این روابط خطی، اگرچه برای خاک‌های مناطق معتدل به‌دست آمده بود، ولی برای محاسبه چگالی ظاهری مرجع در خاک‌های مزارع نیشکر استفاده شد، چرا که چنین روابط کمی برای خاک‌های مورد بررسی موجود نبود. مصدقی و همکاران (۲۳) گزارش کردند که محاسبه چگالی ظاهری مرجع با روش جونز (رابطه ۱) همبستگی قوی با چگالی ظاهری طبیعی خاک دارد. عسگرزاده (۴) نشان داد که همبستگی بسیار قوی بین مقادیر چگالی ظاهری مرجع محاسبه‌ای با رابطه ۱ و چگالی ظاهری مرجع (بیشینه) اندازه‌گیری شده به روش پروکتور برای ۲۰ خاک در استان همدان وجود دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که روش جونز می‌تواند به خوبی بیان‌گر چگالی ظاهری مرجع در خاک‌های ایران باشد. ریچرت و همکاران (۲۷) نیز از روابط جونز برای محاسبه چگالی ظاهری مرجع برای خاک‌های مناطق گرمسیر در شرایط مزرعه استفاده نمودند.

روابط جونز به‌صورت دو خط موازی و مقادیر چگالی ظاهری اندازه‌گیری شده در خاک رویین مزارع تحت آزمایش به‌صورت نماد لوزی توپر در شکل۱ نشان داده شده است. دیده می‌شود که اکثر مقادیر چگالی ظاهری اندازه‌گیری شده در مزارع نیشکر، در محدوده ریشه‌های اندک (محدودیت زیاد) می‌باشد. با مقایسه مقادیر RBD به‌دست آمده با حد بهینه برای رشد ریشه گیاه (۰/۸۵) (شکل ۲)، دیده می‌شود که بیشتر

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]



شکل۳. تغییرات میانگین مقاومت مکانیکی (شاخص مخروط) خاک با عمق برای بافت‌های: الف) لوم با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۱۳/۲ و ۱/۶۹ مگاگرم بر متر مکعب و ب) لوم رسی با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۱۵/۲ و ۱/۶۰ مگاگرم بر متر مکعب. مقادیر رطوبت وزنی خاک زیرین به‌ترتیب برابر ۱۱/۱ و ۱۴/۸ درصد بود. این مزارع تحت آیش بودند. میله‌های افقی بیان‌گر ± یک خطای معیار می‌باشند. دایره خط‌چین محدوده سخت‌لایه را نشان می‌دهد

مقادیر به‌دست آمده بیش از حد بهینه برای رشد ریشه بود. ولی با توجه به این‌که این آزمایش‌ها در کف جوی‌ها که مکان عبور ماشین‌های کشاورزی می‌باشند انجام گرفت، ضروری است این بررسی بر روی خاک پشته‌ها که مکان اصلی رشد ریشه نیشکر می‌باشد نیز انجام گیرد و نتایج چگالی ظاهری در این مکان با مقدار بهینه آن برای رشد ریشه گیاه مقایسه گردد.

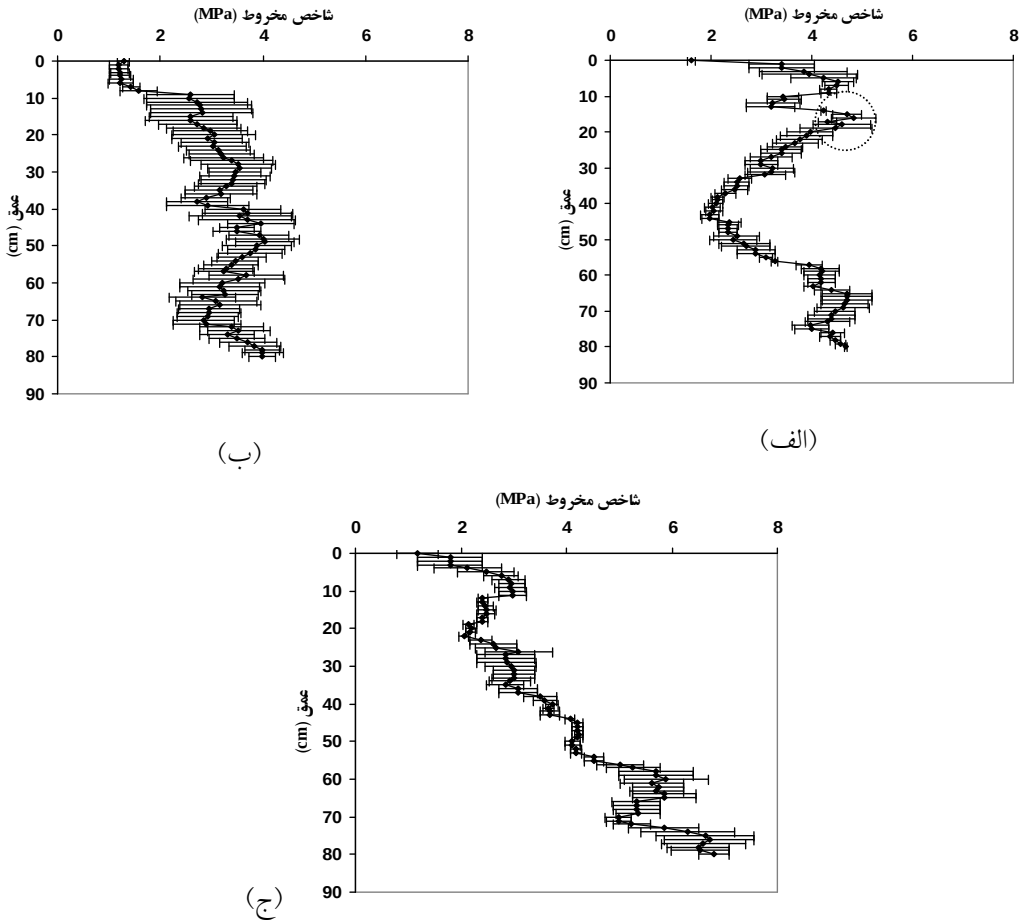
مقاومت مکانیکی (شاخص مخروط) خاک

از شاخص‌های دیگری که برای بیان درجه فشردگی خاک از دیدگاه رشد و نمو ریشه گیاه استفاده می‌شود، مقاومت مکانیکی خاک است که با شاخص مخروط (CI) بیان می‌گردد. تغییرات میانگین CI در خاک‌های با بافت‌های مختلف تحت آیش، کشت اول، بازرویی اول و بازرویی دوم به‌ترتیب در شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است.

بررسی مقادیر شاخص مخروط در نیم‌رخ خاک‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که در اکثر عمق‌ها مقادیر اندازه‌گیری شده در کف جوی‌ها از حدود محدودکننده (۲ MPa) و بحرانی (۳ MPa) برای رشد و نمو ریشه (۱۱) بیش‌تر می‌باشند. سخت‌لایه‌های اصلی به‌صورت دایره روی برخی از شکل‌ها نشان داده شده است. تأثیر عملیات خاک‌ورزی (عملیات راتونینگ) پیشین (حدود ۲ ماه پیش از انجام آزمایش)، به‌صورت کاهش در مقادیر CI در محدود ۱۰ تا حدود ۴۰ سانتی‌متری از سطح خاک در برخی از نیم‌رخ‌های CI قابل مشاهده می‌باشد. مقادیر زیاد CI در لایه‌های رویین خاک احتمالاً به‌دلیل انجام عملیات دیسک‌زنی نهایی برای خردکردن کلوخه‌ها و یا بازسازی پشته‌ها می‌باشد (قسمت الف در شکل‌های ۴، ۵ و ۶). تغییرات CI با عمق در خاک رسی و تحت کشت‌های مختلف به‌صورت خطی و افزایشی می‌باشد (قسمت ج در شکل‌های ۴، ۵ و ۶).

برای اکثر گیاهان زراعی اگر مقاومت مکانیکی خاک (CI) از حدود ۲ MPa بیشتر شود، ریشه گیاه با محدودیت رشد روبه‌رو می‌شود. پژوهش‌های ویچ و همکاران (۲۹) نشان داد که رشد گیاه‌چه ذرت در مقاومت مکانیکی ۱/۱ MPa شروع به کاهش نموده و در مقاومت مکانیکی ۲MPa متوقف می‌شود. اتو و همکاران (۲۵) گزارش نمودند که در مقادیر مقاومت فروروی کمتر از ۰/۷۵ MPa، رشد ریشه نیشکر تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد، ولی در مقادیر بین ۰/۷۵ و ۲ MPa به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. رشد ریشه زمانی‌که مقاومت فروروی بیشتر از

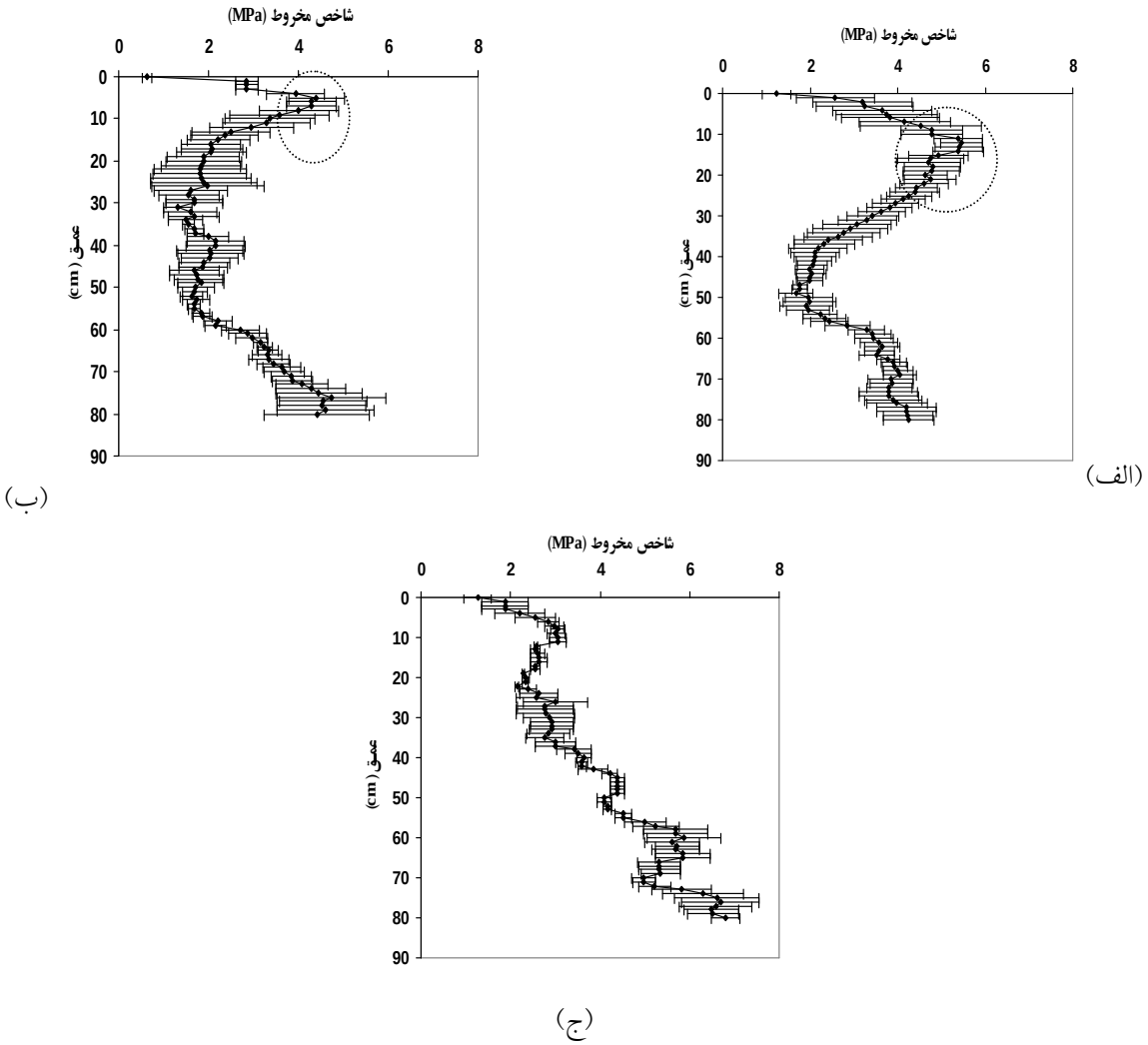
[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]



شکل۴. تغییرات میانگین مقاومت مکانیکی (شاخص مخروط) خاک با عمق برای بافت‌های: الف) سیلت لومی با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۱۲/۵ و ۱/۵۲ مگاگرم بر متر مکعب، ب) لوم رسی با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۷ /۱۵ و ۱/۶۰ مگاگرم بر متر مکعب و ج) رسی با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۱۵/۷ و ۱/۵۸ مگاگرم بر متر مکعب. مقادیر رطوبت وزنی خاک زیرین به‌ترتیب برابر ۱۳/۶، ۱۵/۷ و ۱۵/۸ درصد بود. این مزارع تحت کشت اول بودند. میله‌های افقی بیان‌گر ± یک خطای معیار می‌باشند. دایره خط‌چین محدوده سخت‌لایه را نشان می‌دهد

۲MPa باشد به شدت محدود می‌شود. بررسی تغییر CI با عمق خاک برای شرایط مختلف کشت و بافت‌های مختلف خاک، نشان می‌دهد که در شرایط کشت اول در خاک‌های با بافت سیلت لوم و رسی، بازرویی اول در تمام شرایط و بازرویی دوم در خاک با بافت رسی مقدار CI بیشتر از ۲MPa می‌باشد (شکل‌های ۴ الف و ج، ۵ و ۶ ج). در تمام خاک‌های مورد بررسی (با بافت‌های متفاوت) تحت آیش، در کشت اول در خاک با بافت لوم رسی، در بازرویی دوم در خاک‌های با بافت لوم شنی و لوم رسی، مقادیر CI از عمق ۱۰ cm به پایین بیشتر از ۲ MPa می‌باشد (شکل‌های ۳، ۴ الف و ب و ۶ الف و ب). نتایج این پژوهش با نتایج گزارش شده توسط مهردادیان و همکاران (۶) همخوانی دارد. آنها تأثیر دوبار عبور (یک‌بار در زمان رفت و یک بار در زمان برگشت) دو نوع ماشین برداشت نیشکر (چرخ لاستیکی و نیم‌زنجیری) همراه با دو نوع سبد حمل نی دومحوری کششی به‌ترتیب با وزن‌های ۱۰ و ۱۸ تن را بر تراکم خاک کف جوی‌های مزارع شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی واقع در دعبل خزائی اهواز بررسی نمودند. آنها پیش و پس از عبورها، شاخص مخروط خاک را تا عمق ۸۰

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]



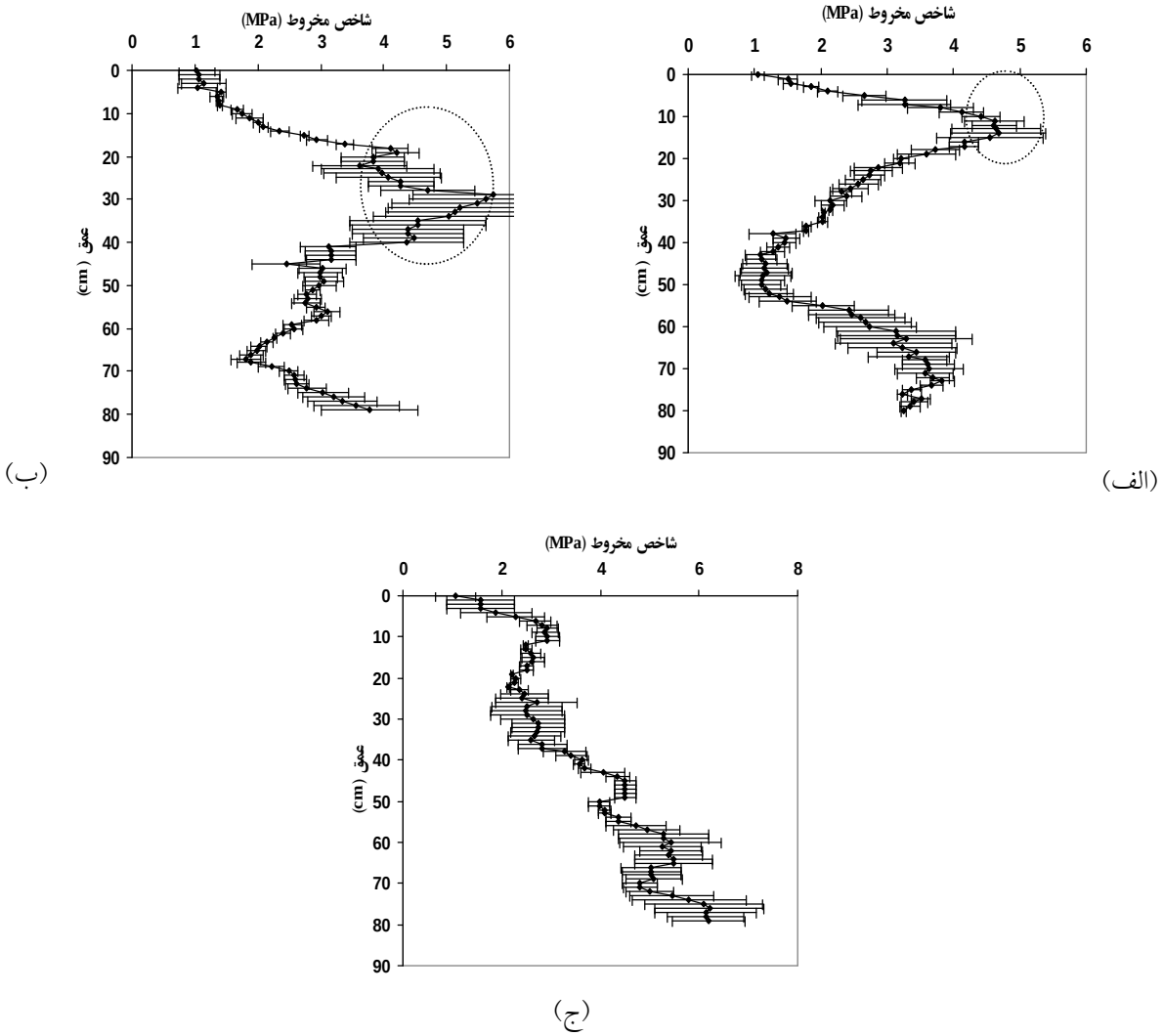
شکل۵. تغییرات میانگین مقاومت مکانیکی (شاخص مخروط) خاک با عمق برای بافت‌های: الف) لوم شنی با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۱۲/۱ و ۱/۷۰ مگاگرم بر متر مکعب، ب) لوم رسی با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۱۵/۶ و ۱/۶۰ مگاگرم بر متر مکعب و ج) رسی با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۱۵/۵ و ۱/۵۰ مگاگرم بر متر مکعب. مقادیر رطوبت وزنی خاک زیرین به‌ترتیب برابر ۱۳/۴، ۱۵/۶ و ۱۵/۷ درصد بود. این مزارع تحت بازرویی اول بودند. میله‌های افقی بیان‌گر ± یک خطای معیار می‌باشد. دایره‌های خط‌چین محدوده سخت‌لایه‌ها را نشان می‌دهند

سانتی‌متر اندازه‌گیری نمودند. نتایج شاخص مخروط خاک نشان داد که در اغلب مزارع به‌دلیل برداشت در شرایط مرطوب و همچنین وزن زیاد ماشین‌های برداشت نیشکر و سبد حمل نی، فشردگی خاک تا عمق ۷۰-۶۳ سانتی‌متری خاک قابل تشخیص بود.

نتیجه‌گیری

تعیین چگالی ظاهری و چگالی ظاهری نسبی در بافت‌های متفاوت خاک و تحت حالت‌های مختلف کشت (آیش، کشت اولیه و بازرویی‌های اول و دوم) نیشکر نشان داد که شرایط فیزیکی خاک در کف جویچه‌ها برای رشد و توسعه ریشه محدود کننده می‌باشد. اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی (شاخص

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]



شکل۶. تغییرات میانگین مقاومت مکانیکی (شاخص مخروط) خاک با عمق برای بافت‌های: الف) لوم شنی با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۱۲/۴ و ۱/۶۸ مگاگرم بر متر مکعب، ب) لوم رسی با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۱۵/۹ و ۱/۶۸ مگاگرم بر متر مکعب و ج) رسی با درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری خاک رویین به‌ترتیب برابر ۱۵/۴ و ۱/۵۰ مگاگرم بر متر مکعب. مقادیر رطوبت وزنی خاک زیرین به‌ترتیب برابر ۱۳/۶، ۱۷/۶ و ۱۵/۵ درصد بود. این مزارع تحت بازرویی دوم بودند. میله‌های افقی بیان‌گر ± یک خطای معیار می‌باشند. دایره‌های خط‌چین محدوده سخت لایه‌ها را نشان می‌دهند

مخروط) خاک نیز این یافته‌ها را تائید نمود. مقاومت مکانیکی اندازه‌گیری شده در کلیه لایه‌های خاک بیشتر از معیارهای محدودکننده (۲MPa) و یا بحرانی (۳MPa) بود. در اکثر منحنی‌های نیم‌رخ عمقی شاخص مخروط، وجود سخت‌لایه در عمق‌های مختلف بسته به بافت خاک و حالت کشت قابل تشخیص بود. بنابراین، به‌منظور بهبود حاصلخیزی و کیفیت فیزیکی خاک و دستیابی به پایداری در تولید محصول، مدیریت تردد ماشین‌های برداشت نی در مزارع نیشکر باید مورد بازنگری قرارگیرد.

سپاسگزاری

از شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی که اجرای این پروژه را

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]

امکان‌پذیر نمودند صمیمانه تشکر می‌نماید. از کارشناسان وکارکنان محترم واحد کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی که در اجرای این پروژه ما را یاری نمودند، سپاسگزاریم. از معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی و دانشگاه صنعتی اصفهان به خاطر حمایت‌های آنها در طول اجرای پروژه کمال تشکر را داریم.

منابع مورد استفاده

۱. الهامی‌فرد، م.، س. جعفری، ن. بنی‌عباسی و ع. شینی دشتگل. (بدون تاریخ). اثر تردد ماشین‌آلات برداشت و رطوبت خاک بر تراکم خاک مزارع نیشکر. بخش آب و خاک، مرکز تحقیقات نیشکر، معاونت بهره‌برداری کشاورزی، شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی. ۱۰ ص.

۲. بی نام. ۱۳۸۵. طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی جنوب اهواز واحد دعبل خزاعی: مطالعات خاک‌شناسی. ۱۲۶ ص.

۳. راهدار، م. ر.، ۱۳۸۳. *نیشکر*، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۶۲۶ ص.

۴. عسگرزاده، ح.، ۱۳۹۱. مفاهیم نوین آب قابل استفاده خاک برای گیاه: ارزیابی همخوانی بین اندازه گیری های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای، رساله‌ی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۵. لرزاده، ش.، ح. نادیان، ع. بخشنده، ق. نورمحمدی و ف. درویش. ۱۳۸۱. اثر سطوح مختلف تراکم بر روی عملکرد، اجزای عملکرد و میزان قند نیشکر واریته CP48-103 در استان خوزستان. مجله علوم زراعی ایران۴(۱):۴۷-۳۶.

۶. مهردادیان، ع.ز، م.ا. آسودار، خ. عالمی سعید، و م.ر. انصاری. ۱۳۸۷. اثر تردد ماشین‌های برداشت بر فشردگی خاک‌های مزارع نیشکر خوزستان. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد. ۶ و ۷ شهریور ماه.

7. ASAE Standards. 1999. ASAE S313.3: Soil cone penetrometer. ASAE, Joseph, MI.

8. Asgarzadeh, H., M. R. Mosaddeghi, A. A. Mahboubi, A. Nosrati, and A.R. Dexter. 2010. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. Plant Soil 335(1-2): 229–244.

9. Asgarzadeh, H., M. R. Mosaddeghi, A. A. Mahboubi, A. Nosrati, and A. R. Dexter. 2011. Integral energy of conventional available water, least limiting water range and integral water capacity for better characterization of water availability and soil physical quality. Geoderma 166: 34–42.

10. Barzegar, A. R., Sh. Mahmoodi, F. Hamedi and F. Abdolvahabi. 2005. Long term sugarcane cultivation effects on physical properties of fine textured soils. J. Agric. Sci. Technol. (IRI) 7: 59–68.

11. Boone, F. R., G. D. Vermeulen and B. Kroesbergen. 1994. The effect of mechanical impedance and soil aeration as affected by surface loading on the growth of peas. Soil Till. Res. 32: 237–251.

12. Braunack, M. V., J. Arvidsson and I. Håkansson. 2006. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane *(Sacharum officinarum)* response to environmental conditions in Queensland, Australia. Soil Till. Res. 89: 103-121.

13. Chancellor, W. J. 1977. Compaction of soil by agricultural equipment. Bulletin No. 1881. Davis: Division of Agricultural Sciences, University of California.

14. Dexter, A. R. 2004. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma 120: 201–214.

15. Dexter, A .R. and N. R. A. Bird. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of water contents for tillage based on the water retention curve. Soil Till. Res. 57: 203–212.

16. Guérif, J., 1984. The influence of water-content gradient and structure anisotropy on soil compressibility. J. Agric. Eng. Res. 29: 367–374.

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

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

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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]

20. Klute, A. (Ed.). 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. SSSA/ASA Monograph, Madison, WI, 1188 pp.
21. Jones, C. A. 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 1208–1211.
22. Lipiec, J., A. Ferrero, V. Giovanetti, A. Nosalewicz and M. Turski. 2002. Response of structure to simulated trampling of wood land soil. Adv. GeoEcol. 35: 133-140.
23. Mosaddeghi, M. R., M. Morshedizad, A. A. Mahboubi, A. R. Dexter, and R. Schulin. 2009. Laboratory evaluation of a model for soil crumbling for prediction of the optimum soil water content for tillage. Soil Till. Res. 105: 242–250.
24. Naseri, A. A., S. Jafari and M. Alimohammadi. 2007. Soil compaction due to sugarcane (*Saccharum officinarum*) mechanical harvesting and the effects of subsoiling on the improvement of soil physical properties. J. Appl. Sci. 7: 3639-3648.
25. Otto, R., A. P. Silva, H. C. J. Franco, E. C. A. Oliveira, P .C. O. Trivelin.. 2011. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. Soil Till. Res. 117: 201-210.
26. Pankhurst. C. E., R. C. Magarey, G. R. Sirling, B. L. Blair, M. J. Bell and A. L. Garside. 2003. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. Soil Till. Res. 72: 125-137.
27. Reichert, J. M., L. Eduardo, A. S. Suzuki, D. J. Reinert, R. Horn and I. Håkansson. 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. Soil Till. Res. 102: 242-254.
28. Taylor**,** H. M.**,** 1971. Effects of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. PP. 292-395. *In: Compaction of Agricultural Soils*. ASAE Monograph.
29. Weaich, K., A. Cass and K. L. Bristow. 1992. Use of a penetration resistance characteristic to predict soil strength development during drying. Soil Till. Res. 25: 149-166.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-22]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.9.9]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.9]