اثر تراکم خاک ناشی از تردد تراکتور بر رشد و عملکرد ذرت آبی

عباس معلمی اوره و سید حسین کارپرور فرد[1*]

(تاریخ دریافت: ۸۵/۳/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۱/۲۴)

چکیده

به منظور بررسی تراکم خاک در اثر تردد ماشین‌های کشاورزی آزمایش‌های مزرعه‌ای در طی دو سال زراعی (۸۳-۸۴) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه، روی گیاه ذرت انجام گرفت. تیمارها شامل وزن تراکتور در دو سطح و الگوی تردد در چهار سطح (بدون تردد اضافی، تردد بین خطوط کشت، تردد روی ردیف کشت و تردد در کل زمین) بود. اثر وزن روی نرخ رشد، جرم حجمی ریشه و عملکرد محصول معنی‌دار نبود، اما اثر تیمار تردد روی نرخ رشد، جرم حجمی ریشه و عملکرد معنی‌دار بود. تیمار تردد در کل زمین به طور متوسط ۳/۹۷ تن در هکتار و تیمار بدون تردد اضافی با ۶/۶۵ تن در هکتار به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: فشردگی خاک، الگوی تردد، رشد و عملکرد ذرت، جرم حجمی ریشه

مقدمه

فشردگی خاک یکی از عوامل مهم محدود کننده رشد گیاه و عملکرد محصول است. به عبارت دیگر فشردگی خاک باعث کاهش نسبت تخلخل، مواد غذایی قابل دسترس، آب و اکسیژن مورد نیاز گیاه می‌شود. در اثر تراکم خاک، درصد خلل و فرج خصوصاً خلل و فرج‌های بزرگ خاک کاهش می‌یابد. بنابراین رشد ریشه گیاه محدود شده و برای رشد طولی و عرضی خود نیاز به صرف انرژی بیشتری نسبت به حالت عادی دارد. در صورتی‌که خاک خیلی متراکم شده باشد، رشد ریشه متوقف شده و قادر به عبور از لایه متراکم شده نمی‌باشد. از طرفی تولیدات کشاورزی وابسته به تردد ماشین‌های کشاورزی است به نحوی که در کشاورزی مدرن کاشت و برداشت بدون تراکتور و کمباین غیر ممکن است. آسیب ناشی از تردد ممکن است به صورت قابل مشاهده در سطح زمین و یا غیر قابل مشاهده در لایه‌های زیرین خاک صورت گرفته باشد که در هر دو صورت آثار منفی بر تولید محصول می‌گذارد(۱۲). راگاوان و همکاران(۱۱) با ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ بار تردد تراکتور و با فشار تماسی (Contact pressure) ۳۱، ۴۱ و ۶۲ کیلو پاسکال بیشترین فشار تماسی ۴۰ تا ۵۰٪ کاهش عملکرد ذرت بوده است. گامدا و همکاران(۴) گزارش کردند با افزایش وزن

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: karparvar@shirazu.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]

و بدون تردد در خاک شنی منطقه کیوبک کانادا تحقیقی انجام دادند و گزارش کردند که در تیمار ۱۵ بار تردد و تحت تراکتور از ۱۰ به ۱۸ تن در خاک رسی کانادا کاهش عملکرد محصول ۲۷-۱۸٪ در شرایط مناسب آب و هوایی و کاهش عملکرد ۸۶-۵۵٪ در شرایط نامناسب آب و هوایی برای محصول ذرت به وجود آمده است. هامل(۷) با اعمال بار محوری ۵، ۱۰ و ۲۰ تن روی خاک سیلتی لومی در آیداهو، گزارش نمود که با افزایش بار، جرم مخصوص خاک و شاخص مخروطی در عمق ۷۵ سانتی‌متری افزایش پیدا کرده و بار ۱۰ و ۵ تن در کاهش محصول اثر معنی‌داری نداشته ولی در بار۲۰ تن کاهش رشد ریشه و محصول نشان داده شده است. لووری و اسچولر(۹) بار محوری ۸ و ۱۲ تن را روی دو نوع خاک لومی سیلتی و رسی سیلتی اعمال کردند و گزارش نمودند عملکرد ذرت دانه‌ای در سال اول در هر دو نوع خاک و در سال دوم در خاک لومی سیلتی و در سال چهارم در خاک رسی سیلتی کاهش یافته است. گالتنی و همکاران(۵) در طی تحقیقی گزارش نمودند، در تراکم شدید ۵۰ ٪ کاهش عملکرد ذرت و در تراکم متوسط ۲۵٪ کاهش عملکرد ذرت به وجود آمده، جرم مخصوص خاک در تراکم شدید ۱/۸۲ و در تراکم متوسط ۱/۷۶ و در بدون تراکم ۱/۷۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده است.

تردد ماشین‌های کشاورزی باعث کاهش فضای بین ذرات خاک شده و چگالی خاک را افزایش می‌دهد. گیاه برای رشد ریشه در خاک متراکم ناچار به تحمل نیرو می‌شود، زیرا با مقاومت مکانیکی و کمبود اکسیژن قابل دسترس برای گیاه مواجه است(۱۶). اولین مطالعه‌ها در مورد کاهش رشد ریشه در مقابل خاک متراکم توسط تیلور و گاردنر(۱۵) صورت گرفت. آنها گزارش کردند که در خاکی با مقاومت به نفوذ ۲/۹۶ مگا پاسکال، به علت افزایش جرم مخصوص و کمبود رطوبت در خاک، ریشه قادر به نفوذ نبوده و مواد مغذی به آن نمی‌رسد.

برای مطالعه توسعه ریشه در بعضی تحقیقات تردد تراکتور در کل زمین یک‌نواخت انجام می‌شود. راگاوان و همکاران(۱۰) به کاهش عمق ریشه از ۹۰ سانتی‌متر در پلات بدون تردد، به ۳۷ سانتی‌متر در پلات با ۱۵ بار تردد، در فشار تماسی ۶۲ کیلو پاسکال دست یافتند. اما در بعضی تحقیقات هم تردد تراکتور در کل زمین یک‌نواخت انجام نشده است، به نحوی که کاهش رشد ریشه در سمت تردد شده باعث افزایش رشد در سمت دیگر گردیده اما عملکرد در کل پایین آمده است(۱۳).

بیکی و سیمنس(۳) نیز گزارش کردند که تراکم به وجود آمده از تردد در زمین با رطوبت پایین، باعث افزایش عملکرد ذرت نسبت به کرت‌های بدون تراکم شده ولی تراکم در زمین با رطوبت بالا باعث کاهش عملکرد ذرت گردیده است. ورهیس(۱۸) در تحقیقی ۵ ساله، اثر تردد تراکتور بر جرم مخصوص خاک و شاخص مخروطی و عملکرد سویا را در خاک لومی شنی مینسوتا بررسی کرد و گزارش نمود که در ردیف‌هایی که دو طرف آنها تردد صورت گرفته باشد، جرم مخصوص خاک و شاخص مخروطی افزایش پیدا کرده ولی کاهش عملکرد نسبت به ردیف‌هایی که دو طرف آنها تردد نشده بود، تنها در سال دوم و پنجم رخ داد.

تاکنون تحقیقات زیادی روی تراکم خاک بر اثر تردد ماشین‌های کشاورزی انجام شده که اکثر این تحقیقات تردد در کل زمین می‌باشد. در تحقیق حاضر، تردد در سطح زمین به صورت یک‌نواخت انجام نگرفته و اثر تراکم خاک با دو تیمار:

۱) وزن تراکتور در دو سطح :

۱- سبک، تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵(P_1)،

۲- سنگین، تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ سنگین شده (P_2).

۲) الگوی تردد در چهار سطح :

۱- بدون تردد اضافی (T_1)،

۲- تردد بین خطوط کشت(T2)،

۳- تردد روی ردیف کشت(T3)،

۴- تردد در کل زمین (T_4).

روی خصوصیات خاک، رشد، جرم حجمی ریشه و عملکرد گیاه ذرت بررسی شده است. هدف از این تحقیق، مطالعه و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]

جدول ۱ . خصوصیات بافت خاک محل تحقیق

افق	عمق cm	شن	سیلت درشت	سیلت ریز	رس	بافت
		---------٪---------				
A11P	۰-۳۰	۳۵	۳۰	۵	۳۰	رسی و شنی
A12P	۳۰-۵۴	۲۳	۳۰	۸	۳۹	رسی و شنی
A21P	۵۴-۱۱۲	۲۱	۳۱	۸	۴۰	رسی
A22P	۱۱۲-۱۵۸	۱۹	۳۸	۸	۲۵	رسی و شنی سیلت دار
C	۱۵۸-۱۸۰	۳۳	۴۵	۶	۱۶	رسی و شنی سیلت دار

بررسی اثر تراکم ایجاد شده در لایه‌های زیرین خاک ناشی از تردد تراکتور بر خصوصیات خاک، رشد و عملکرد گیاه ذرت می‌باشد. لازم به ذکر است فشردگی ایجاد شده در لایه‌های زیرین خاک ناشی از ترددهای انجام شده، شبیه سازی تراکم به وجود آمده ناشی از ترددهای انجام شده در عملیات خاکورزی به خصوص عملیات خاکورزی ثانویه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

وضعیت عمومی مزرعه تحقیقاتی

این آزمایش در قطعه زمینی از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۵ کیلومتری شمال غربی شیراز در منطقه باجگاه اجرا گردید. از لحاظ جغرافیایی در عرض ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی قرار دارد و ارتفاع دشت باجگاه در محل اجرای این تحقیق ۱۸۱۰ متر نسبت به سطح آزاد دریا می‌باشد. مشخصات کلی خاک آن در خیلی عمیق به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد تا قهوه‌ای مایل به زرد روشن با بافت رسی و شن بر روی طبقه‌ای به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد بافت رسی با بیش از ۵٪ آهک به صورت پودر و ذرات سخت طبقه زیرین به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد روشن با بافت شنی و رسی سیلت دار و بدون ساختمان می‌باشد. در جدول ۱، خصوصیات بافت خاک محل تحقیق موسوم به "سری دانشکده " مشخص شده است(۱).

مراحل انجام آزمایش

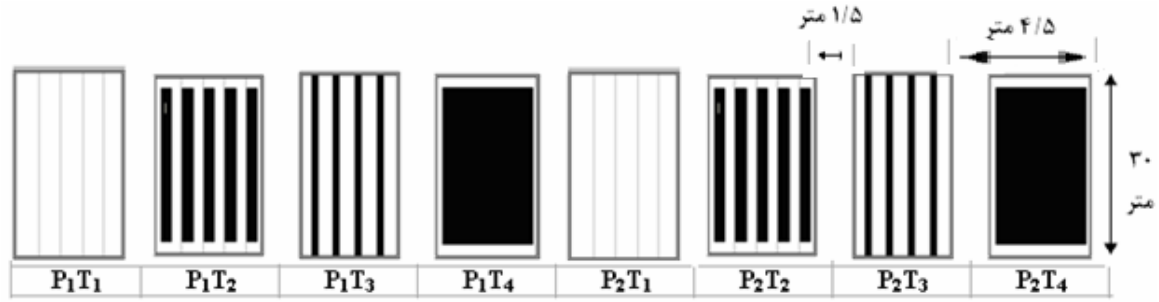
پس از انتخاب زمین، اواخر فروردین ماه خاک ورزی اولیه توسط گاوآهن برگردان دار و در اواسط اردیبهشت ماه خاک ورزی ثانویه به وسیله دیسک و تسطیح کن در هر دو سال (۸۳-۸۴) انجام شد. در این مراحل از تراکتور جاندیر۴۲۳۰ دو چرخ محرک به وزن۵/۲ تن استفاده شد. عمق شخم تقریبا ۲۳ سانتی‌متر بود. پس از مراحل فوق الذکر عملیات کرت بندی و تعیین خطوط ردیف‌های کشت توسط متر, طناب, ژالن و چوب‌های علامت گذار به منظور اعمال تیمار الگوهای تردد، انجام گرفت. در اواخر اردیبهشت با آب دادن، رطوبت زمین مورد نظر بالا برده شد و پس از گذشت ۴ روز از آبیاری رطوبت در هر کرت در سه عمق (۱۵-۰)، (۳۰-۱۶) و (۴۵-۳۱) سانتی‌متری تعیین گردید. مقدار رطوبت در کل زمین اختلاف معنی‌داری نداشت و مقدار رطوبت در هر سه عمق به ترتیب ۲۲/۴، ۲۴/۹ و۲۵/۸ درصد در سال ۱۳۸۳و ۲۳/۱، ۲۵/۳ و ۲۶/۳ درصد در سال ۱۳۸۴ بود. سپس قبل از اعمال تیمارها شاخص مخروطی و جرم مخصوص ظاهری خاک اندازه گیری و نهایتا" تیمارها روی زمین اعمال شد. برای انجام تیمار وزن در دو سطح سبک از تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵(P_1) و سنگین از تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ سنگین شده(P_2) استفاده گردید. مشخصات وزن و فشار باد لاستیک تراکتور در هر دو تیمار، در جدول۲ مشخص شده است. هنگام استفاده از این تراکتور فاصله مرکز به مرکز دو چرخ عقب و جلو، ۱۵۰

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]

جدول۲. مشخصات تراکتور در حین اعمال تیمار

وزن تراکتور (Mg)		فشار باد لاستیک تراکتور(psi)	
تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ (P_1)	تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین شده(P_2)	چرخ جلو	چرخ عقب
۲/۸	۳/۶	۲۶	۱۲



شکل ۱. محل‌های تردد تراکتور برای اعمال تیمارهای تراکم خاک

P_1- سبک ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ ، P_2- سنگین ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین شده

T_1- بدون تردد اضافی ، T_2 - تردد بین خطوط کشت، T_3 - تردد روی ردیف کشت، T_4- تردد در کل زمین

سانتی‌متر تنظیم شد. سرعت تراکتور در حین اعمال تیمار ۲/۴۲ کیلومتر بر ساعت بود.

تیمار الگوی تردد، با توجه به آن که محل تمامی کرت‌ها و مکان ردیف‌ها در هر کرت(۴ ردیف در هر کرت)، قبل از کاشت مشخص شده بودند، روی زمین اعمال شد. از آنجایی که فاصله دو چرخ تراکتور ۱۵۰ سانتی‌متر و فاصله دو ردیف ذرت ۷۵ سانتی‌متر بود، با هر گذر تراکتور دو خط را متراکم می‌کرد که یا هر دو خط روی ردیف و یا بین ردیف قرار داشتند. برای اعمال تیمار الگوی تردد بین ردیف، از ابتدای کرت، تراکتور به طول ۳۰ متر حرکت می‌کرد و روی همان مسیر پس از دور زدن در خارج از کرت برمی‌گشت تا تعداد تردد به ۵ بار برسد زیرا در لایه‌های زیرین خاک، فشردگی نسبتاً قابل ملاحظه‌ای ایجاد شود، سپس بین آن دو خط نیز ۵ بار تردد تکرار می‌شد. برای اعمال الگوی تردد روی ردیف نیز با توجه به خطوط علامت‌گذاری شده روی ردیف، قبل از مرحله کاشت به ترتیب بالا عمل می‌شد. برای اعمال الگوی تردد در کل زمین، تمام مراحلی که در دو الگوی تردد فوق انجام می‌شد، صورت گرفت. اما برای الگوی بدون تردد، هیچ ترددی اضافی صورت نگرفت. بین هر کرت، که شامل ۴ ردیف بود، فاصله‌ای ۱/۵ متری در نظر گرفته شده بود که هر گونه تردد در مراحل داشت از آن فاصله صورت گرفته تا بدین صورت حرکت تراکتور روی تیمارهای تردد تأثیری نداشته باشد. تمامی تیمارها در سه تکرار انجام گرفت. در شکل۱، تیمار الگوهای تردد و تیمار وزن در یک تکرار نشان داده شده است. دقیقاً بعد از اعمال تیمارها شاخص مخروطی و جرم مخصوص ظاهری خاک اندازه‌گیری شد. پس از ۵ روز از اعمال تیمار، کودهای سوپر فسفات تریپل و اوره به ترتیب به مقدارهای ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به زمین داده شد. البته لازم به ذکر است، کود اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک ۷۰ روز پس از سبز شدن گیاه، به زمین داده شد. سپس ۱۰روز بعد پس از پایین آمدن رطوبت سطحی خاک دو بار دیسک عمود بر هم در سطح زمین زده شد که با توجه به رطوبت پایین در این زمان تردد انجام شده روی تراکم

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]

لایه زیری خاک تأثیری نداشت. نهایتاً در اواسط خرداد ماه کاشت توسط کارنده پنوماتیکی چهار ردیفه در طول ۳۰ متر صورت گرفت. از بذر ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ از نوع هیبرید دیر رس با قوه نامیه ۸۵٪ و درصد خلوص۹۸٪ استفاده شد. در هنگام کاشت مقدار بذر مصرف شده ۲۰ کیلوگرم در هکتار و فاصله بین دو ردیف کشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۸ سانتی‌متر و عمق کاشت ۵ سانتی‌متر تنظیم شد. سم‌های به کار رفته برای از بین بردن علف‌های باریک برگ و پهن برگ در این تحقیق، آترازین و آلاکلر بود. آترازین WP80% به مقدار ۵ کیلوگرم به همراه ۱ لیتر آلاکلر امولسیون ۴۸٪ در۴۰۰ لیتر آب حل شد و مزرعه پس از کاشت و قبل از آبیاری اول سم پاشی شد. آفت کش استفاده شده جهت از بین بردن آفت در ۲۰ روز پس از کاشت دسیس نام داشت که به صورت یک لیتر در ۴۰۰ لیتر آب محلول شده و مورد استفاده قرار گرفت. تمامی این مراحل در دو سال زراعی ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ انجام گردید.

متغیرهای اندازه‌گیری شده

در هر کرت تمام اندازه‌گیری‌ها از ردیف‌های ۲ و۳ انجام گرفت، تا آثار حرکت تراکتور در بین کرت‌ها در مراحل داشت، حذف شود.

۱- جرم مخصوص ظاهری خاک: برای به‌دست آوردن جرم مخصوص ظاهری خاک، به‌وسیله حلقه نمونه برداری به قطر ۵/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۴ سانتی‌متر ازسه عمق (۱۵-۰)، (۳۰-۱۶) و (۴۵-۳۱) سانتی‌متر قبل و بعد از اعمال تیمارها، به صورت تصادفی از ۶ نقطه روی ردیف‌های ۲ و ۳ هر پلات نمونه گیری انجام شد. لازم به ذکر است که در هر یک از ۳ عمق دو نمونه به ارتفاع ۴ سانتی‌متر به فاصله ۳ سانتی‌متر نمونه‌گیری، سپس میانگین آن دو منظور می‌گردید.

۲- شاخص مخروطی: در بعضی تحقیق‌ها نشان داده شده است که حساسیت شاخص مخروطی نسبت به چگالی خاک در مقابل تردد ماشین بیشتر می‌باشد(۲)، اما یکی از معایب شاخص مخروطی آن است که رطوبت خاک در آن بسیار تأثیر گذار بوده و باید هنگامی که بین انواع خاک‌ها مقایسه‌ای انجام می‌گردد رطوبت خاک‌ها نزدیک به ظرفیت مزرعه‌ای باشد(۱۲). از این رو تمام اندازه گیری‌ها در رطوبت نزدیک به ظرفیت مزرعه‌ای انجام شد. برای به‌دست آوردن شاخص مخروطی خاک، تا عمق ۴۵ سانتی‌متری قبل و بعد از اعمال تیمارها، به صورت تصادفی از ۶ نقطه از ردیف‌های ۲ و۳ در هر پلات نمونه گیری انجام شد. شاخص مخروطی خاک مزرعه توسط نفوذسنج مخروطی ثبات مدل SP-1000 اندازه‌گیری گردید.

۳- ارتفاع حداکثر گیاه: به طور تصادفی ارتفاع حداکثر ۳ گیاه از ردیف‌های ۲ و ۳ در ۲۶، ۳۶، ۴۶، ۵۶،۷۰ و ۸۰ روز پس از کاشت از طریق کشیدن برگ‌ها به طرف بالا، اندازه‌گیری شد.

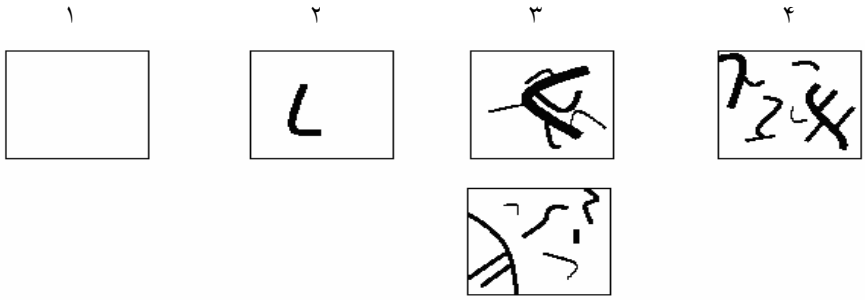
۴- تعیین وزن ماده خشک: جهت تعیین وزن ماده خشک پوشش سبز گیاه، تعداد دو بوته از هر کرت بریده می‌شد و به مدت ۴ روز در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد داخل آون خشک می‌گردید. وزن ماده خشک پس از ۲۶، ۳۶، ۴۶، ۵۶،۷۰ و ۸۰ روز از مرحله کاشت اندازه‌گیری گردید.

۵- جرم حجمی ریشه: زمان به دست آوردن جرم حجمی ریشه درست بعد از مرحله بلال دهی بود. برای به دست آوردن جرم حجمی ریشه از روش تاردیو و مانیچون(۱۴) استفاده شد. در این روش در هر پلات گودالی به عمق ۸۰ سانتی‌متر و به عرض۷۶ سانتی‌متر در طول ردیف گیاه زده شد. این گودال‌ها در ردیف‌های ۲ یا ۳ در هر پلات طوری زده می‌شد که دو ساقه ذرت در دو طرف طولی آنها قرار گیرد. در هر پلات جرم حجمی ریشه این دو گیاه اندازه‌گیری می‌شد. در این گودال، در مقابل سطح ریشه هر گیاه شبکه‌ای که سلول‌های آن ۲×۲ سانتی‌متر بود، قرار می‌گرفت. در شکل۲ محل قرار گیری و طرز استفاده از شبکه مشخص شده است. شاخص ریشه برای هر مربع از شبکه به این صورت تعریف می‌شود که اگر در یک سلول ریشه‌ای دیده نشود شاخص ریشه برابر با صفر و اگر بیشترین مقدار ریشه را دارا باشد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]

شکل ۲. قرار گرفتن شبکه توری سیمی عمود بر ردیف گیاه ذرت برای خواندن شاخص ریشه



۱. بدون ریشه (N=۰)
۲. یک ریشه با قطر بیشتر از ۰/۵ میلی‌متر(N=۲)
۳. یک ریشه با قطر برابر با ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر به همراه ریشه‌های کوچک یا چند ریشه با قطر کمتر از ۰/۵ میلی‌متر(N=۴)
۴. دو ریشه با قطر بیشتر از ۰/۵ میلی‌متر به همراه ریشه‌های کوچک(N=۸)

شکل۳. تعیین شاخص ریشه به وسیله شمارش و اندازه ریشه(۱۴)

شاخص ریشه آن برابر ۸ می‌باشد. شاخص ریشه به صورتی که در شکل۳ مشاهده می‌شود، تعریف شده است. پس از به دست آوردن شاخص ریشه، جرم حجمی ریشه با استفاده از رابطه (۱) تخمین زده شد.

$$D_r = \frac{۰.۰۲۹ + ۰.۰۴۷N + ۰.۰۱۱۹N^۲}{V}\left(\frac{g}{cm^۳}\right) \quad [۱]$$

که در آن:

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]

D_r: دانسیته ریشه هر سلول

N : شاخص ریشه هر سلول

V : حجم هر سلول ($V=۲\times۲\times۲=۸\,cm^۳$)

۶- عملکرد: مقدار محصول تولیدی نیز با انتخاب تصادفی ۴ بلال از ردیف‌های ۲ و۳ هر پلات از طریق برداشت دستی و مالش روی لاستیک عاجدار و دمیدن و وزن کردن آنها (وزن دانه در هر بلال) به دست آمد. تعداد کل بلال‌ها نیز در طول ۱۰ متر در وسط دو ردیف۲ و۳ شمرده شد. تا براساس تعداد بلال در واحد سطح و وزن دانه در هر بلال عملکرد ذرت(تن در هکتار) به دست آید.

طرح مورد استفاده در تحقیق

این آزمایش به صورت طرح فاکتوریل ۲×۴ در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش از نرم افزار MSTATC استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ انجام شد. نمودارهای مورد نیاز با استفاده از نرم افزار EXCEL رسم گردید.

نتایج و بحث

جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی خاک

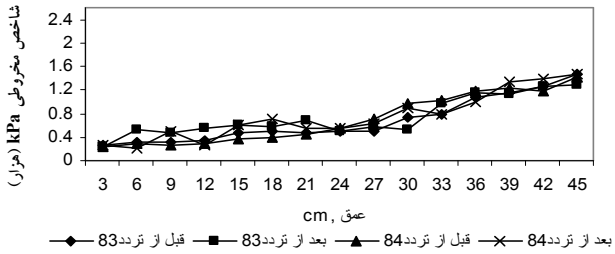
با توجه به جدول ۳ اثر تیمار وزن تراکتور بر جرم مخصوص ظاهری خاک به جز در عمق ۱۵-۰ معنی‌دار نمی‌باشد. البته این نتیجه به علت آن است که اختلاف زیادی بین دو سطح وزن وجود ندارد. البته در عمق ۱۵-۰ نیز به دلیل آن که عمقی سطحی محسوب می‌شود و در هنگام تردد دارای رطوبت بالایی بوده، تغییرات وزن سبب اختلاف معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک شده است(جدول ۴-۲). اثر تردد با توجه به جداول۳ و۴-۱ بر جرم مخصوص ظاهری خاک، حدوداً تا عمق ۳۰ سانتی‌متری معنی‌دار می‌باشد. با توجه به شکل ۴ شاخص مخروطی خاک در تیمارهای تردد در کل زمین و تردد روی ردیف تا عمق حدود ۳۰ سانتی‌متری و در تیمار تردد در بین ردیف تا عمق حدود ۲۰ سانتی‌متری اثر معنی‌داری گذاشته است. این به آن علت است که اندازه‌گیری‌ها از روی ردیف گرفته شده بنابراین هنگامی که تردد در بین ردیف صورت گرفته در عمق کمتری اثر گذار بوده است. در تحقیقات دیگر نیز نتایج مشابهی به دست آمده است به این ترتیب که کاسپر و همکاران(۸) در تحقیقی یافتند که در ناحیه آیووا جرم مخصوص ظاهری خاک در وسط مسیرهای تردد بیشتر از محیط‌های غیر تردد می‌باشد. هم‌چنین در این ناحیه هملت و همکاران(۶) جرم مخصوص ظاهری خاک را در عمق ۳۰ سانتی‌متری مسیرهای تردد ($Mg/m^۳$) ۱/۴ و غیر تردد را ($Mg/m^۳$)۱/۱ به دست آوردند. ورهیس و لیندستران (۱۷) نیز در عمق ۲۰ سانتی‌متری جرم مخصوص ظاهری خاک لومی شنی سیلتی در ناحیه مینسوتا بین ($Mg/m^۳$) ۱/۶۵- ۱/۴ برای مسیرهای تردد شده و ($Mg/m^۳$) ۱/۴- ۱/۱ برای خاک‌های غیر تردد به‌دست آوردند.

نرخ رشد

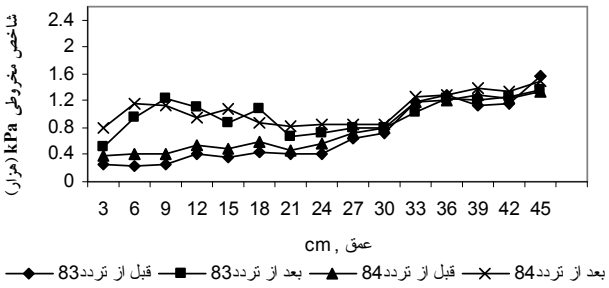
در این تحقیق نرخ رشد بر اساس اندازه گیری ارتفاع و تعیین ماده خشک گیاه در روزهای مختلف پس از کاشت تعیین شده است. در این مورد نیز با توجه به جدول ۳ اثر تیمار وزن معنی‌دار نبوده، زیرا تیمار وزن در لایه‌های زیرین خاک با توجه به نتایج جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی خاک اختلاف معنی‌داری در تراکم به‌وجود نیاورده است. اما اثر تردد روی نرخ رشد اثر معنی‌دار داشته است، زیرا تیمار تردد در لایه‌های زیرین خاک با توجه به نتایج جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی خاک اختلاف معنی‌داری در تراکم داشته است. با توجه به جداول ۵ و۶ تردد در کل زمین به طور معنی‌داری باعث کاهش ارتفاع و جرم ماده خشک گیاه شده است، زیرا بیشترین فشردگی را در لایه‌های زیرین خاک ایجاد کرده است. به عنوان مثال پس از۷۰ روز از کاشت گیاه در تیمار تردد در کل زمین، ارتفاع گیاه به طور میانگین ۱۳۳ سانتی‌متر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

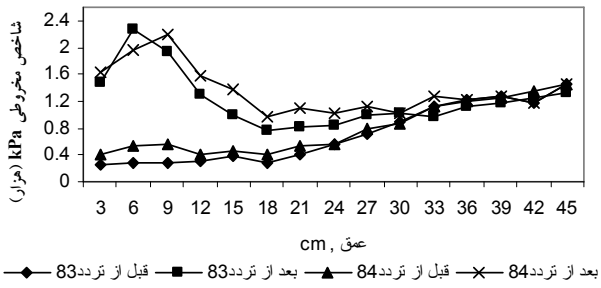
[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]



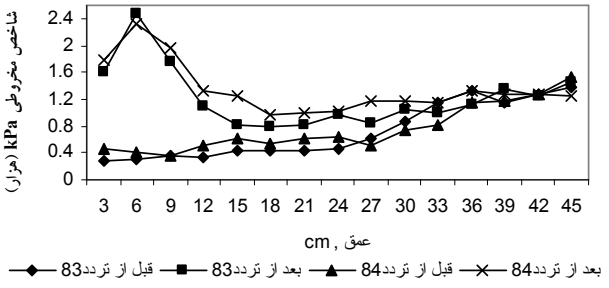
(T_1)



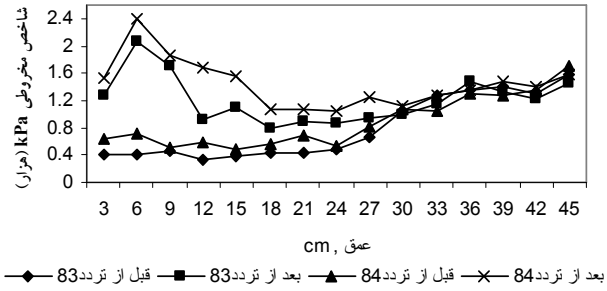
(P_1T_2)



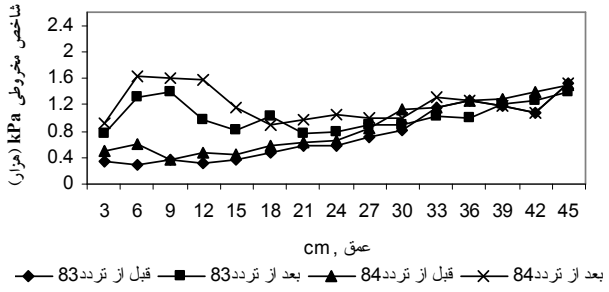
(P_1T_3)



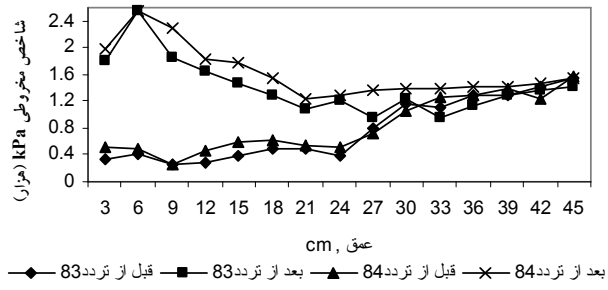
(P_1T_4)



(P_2T_3)



(P_2T_2)



(P_2T_4)

شکل۴. شاخص مخروطی در قبل وبعد از تردد

P_1- سبک ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ ، P_2- سنگین ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین شده

T_1- بدون تردد اضافی، T_2 - تردد بین خطوط کشت، T_3 - تردد روی ردیف کشت، T_4- تردد در کل زمین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2] [Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

جدول۳. نتایج تجزیه آماری تیمارهای آزمایشی

	سال کشت	جرم مخصوص ظاهری خاک						ارتفاع گیاه	وزن ماده خشک	جرم حجمی ریشه	عملکرد	وزن دانه‌ها در هر بلال
		قبل از تردد			بعد از تردد							
		۰-۱۵	۱۶-۳۰	۳۱-۴۵	۰-۱۵	۱۶-۳۰	۳۱-۴۵					
P[1]	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T[2]	ns	*	*	*	*	*	*	**	**	*	**	**
PT[3]	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

۱. اثر تیمار وزن:(P_1 – سبک، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ P_2– سنگین، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین شده)

۲. اثر تیمار تردد:(T_1– بدون تردد اضافی، T_2 – تردد بین خطوط کشت، T_3 – تردد روی ردیف کشت، T_4– تردد در کل زمین)

۳. اثر برهمکنش تیمارهای وزن و تردد

ns، *و **: به ترتیب معنی‌دار نیست، معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد

جدول۴-۱. مقایسه میانگین‌های[1] جرم مخصوص ظاهری خاک

	عمق (cm)	الگوهای تردد[2]			
		T_1	T_2	T_3	T_4
		جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3)			
قبل از تردد	۰-۱۵	۱/۲۷۵[a]	۱/۲۳۶[ab]	۱/۱۹۷[b]	۱/۲۵۳[ab]
	۱۶-۳۰	۱/۴۰۸[a]	۱/۳۷۷[a]	۱/۳۸۷[a]	۱/۳۹۰[a]
	۳۱-۴۵	۱/۴۷۶[a]	۱/۵۱۳[a]	۱/۵۰۰[a]	۱/۴۵۰[a]
بعد از تردد	۰-۱۵	۱/۲۳۶[d]	۱/۳۱۶[cd]	۱/۴۵۸[b]	۱/۵۳۸[a]
	۱۶-۳۰	۱/۴۴۳[c]	۱/۴۶۳[c]	۱/۵۳۳[b]	۱/۵۹۱[a]
	۳۱-۴۵	۱/۴۶۱[b]	۱/۵۴۵[a]	۱/۵۴۰[a]	۱/۵۳۰[a]

۱. در هر سطر تفاوت بین هر دو میانگین که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند, از نظر آماری معنی‌دار نیست(دانکن۵٪).

۲. T_1– بدون تردد اضافی، T_2 – تردد بین خطوط کشت، T_3 – تردد روی ردیف کشت، T_4– تردد در کل زمین

جدول۴-۲. مقایسه میانگین‌های[1] جرم مخصوص ظاهری خاک در قبل و بعد از تردد

	عمق (cm)	تیمارهای وزن[2]							
		P_1				P_2			
		الگوهای تردد[3]				الگوهای تردد			
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_1	T_2	T_3	T_4
		جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3)							
قبل از تردد	۰-۱۵	۱/۲۸۰^{a}	۱/۲۲۳^{ab}	۱/۱۸۷^{b}	۱/۲۵۳^{ab}	۱/۲۷۰^{ab}	۱/۲۵۰^{ab}	۱/۲۰۷^{ab}	۱/۲۵۳^{ab}
بعد از تردد	۰-۱۵	۱/۲۴۰^{d}	۱/۲۹۰^{cd}	۱/۴۱۳^{b}	۱/۵۳۴^{a}	۱/۲۳۳^{d}	۱/۳۴۳^{c}	۱/۵۰۳^{a}	۱/۵۴۳^{a}

۱. در هر سطر تفاوت بین هر دو میانگین که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند, از نظر آماری معنی‌دار نیست(دانکن۵٪).

۲. P_1 – سبک ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ P_2– سنگین ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین شده

۳. T_1– بدون تردد اضافی، T_2 – تردد بین خطوط کشت، T_3 – تردد روی ردیف کشت، T_4– تردد در کل زمین

جدول۵. مقایسه میانگین‌های[1] ارتفاع گیاه ذرت در روزهای مختلف پس از کاشت

روز پس از کاشت	الگوهای تردد[2]			
	T_1	T_2	T_3	T_4
	ارتفاع گیاه (cm)			
۲۶	۲۹/۳^{b}	۳۲/۷^{a}	۳۲/۸^{a}	۲۵/۵^{c}
۳۶	۶۲/۲^{b}	۶۳/۵^{a}	۶۳/۷^{ab}	۵۳/۳^{c}
۴۶	۸۴/۳^{c}	۸۶/۲^{ab}	۸۵/۵^{a}	۷۴/۲^{d}
۵۶	۱۱۹/۸^{b}	۱۲۴/۱^{a}	۱۲۴/۰^{a}	۱۱۱/۰^{c}
۷۰	۱۵۳/۶^{b}	۱۵۴/۳^{ab}	۱۵۵/۶^{a}	۱۳۳/۳^{c}
۸۶	۱۸۷/۰^{ab}	۱۸۳/۵^{c}	۱۸۵/۵^{bc}	۱۶۱/۳^{d}

۱. در هر سطر تفاوت بین هر دو میانگین که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند, از نظر آماری معنی‌دار نیست(دانکن۵٪).

۲. T_1– بدون تردد اضافی، T_2 – تردد بین خطوط کشت، T_3 – تردد روی ردیف کشت، T_4– تردد در کل زمین

جدول۶. مقایسه میانگین‌های[1] وزن ماده خشک گیاه ذرت در روزهای مختلف پس از کاشت

روز پس از کاشت	الگوهای تردد[2]			
	T_1	T_2	T_3	T_4
	وزن ماده خشک گیاه ذرت(*g/plant*)			
۲۶	۸/۳۵^{b}	۱۰/۸۳^{a}	۱۱/۰۸^{a}	۷/۵۳^{bc}
۳۶	۳۳/۷^{b}	۴۰/۷۳^{a}	۴۰/۹۶^{a}	۲۶/۶۸^{c}
۴۶	۷۴/۸۱^{b}	۷۹/۸۵^{a}	۸۰/۲۵^{a}	۶۷/۱۴^{c}
۵۶	۱۰۵/۳۱^{c}	۱۱۰/۱۵^{b}	۱۱۱/۲۵^{b}	۹۳/۰۸^{d}
۷۰	۱۴۶/۸۱^{ab}	۱۴۷/۱۲^{ab}	۱۴۶/۸۵^{a}	۱۲۸/۶۱^{c}
۸۶	۲۰۱/۰۵^{c}	۲۰۶/۸۰^{a}	۲۰۵/۵۰^{ab}	۱۹۲/۶۰^{d}

۱. در هر سطر تفاوت بین هر دو میانگین که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، از نظر آماری معنی‌دار نیست(دانکن۵٪).

۲. T_1– بدون تردد اضافی، T_2 – تردد بین خطوط کشت، T_3 – تردد روی ردیف کشت، T_4– تردد در کل زمین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]

جدول۷. مقایسه میانگین‌های[1] جرم حجمی ریشه گیاه ذرت در مرحله بلال دهی

الگوهای تردد[2]			
T_1	T_2	T_3	T_4
جرم حجمی ریشه(g/cm^3)			
۵/۲۷۱[a]	۴/۹۲۵[b]	۴/۴۵۵[c]	۴/۳۷۸[c]

۱. در هر سطر تفاوت بین هر دو میانگین که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، از نظر آماری معنی‌دار نیست(دانکن۵٪).

۲. T_1- بدون تردد اضافی، T_2 - تردد بین خطوط کشت، T_3 - تردد روی ردیف کشت، T_4- تردد در کل زمین

بود که حدود ۱۴ تا ۲۰ سانتی‌متر از دیگر تیمارهای تردد کمتر می‌باشد. و در همان تاریخ جرم ماده خشک در تیمار تردد در کل زمین ۱۲۸ گرم بود که حدود ۲۰ گرم از دیگر تیمارهای تردد کمتر بود. نکته مهمی که در جداول ۵ و۶ به چشم می‌خورد آن است که، در تیمارهای تردد روی ردیف و تردد در بین ردیف اختلاف‌های معنی‌داری مشاهده نمی‌شود، زیرا در هر دو تیمار تراکم به صورت یک‌نواخت نبوده است تا مانع نفوذ و گسترش ریشه شود. ولی اختلاف این دو تیمار با تیمار بدون تردد معنی‌دار می‌باشد که ناشی از توسعه بهتر ریشه و نهایتاً رشد محصول بوده است.

جرم حجمی ریشه

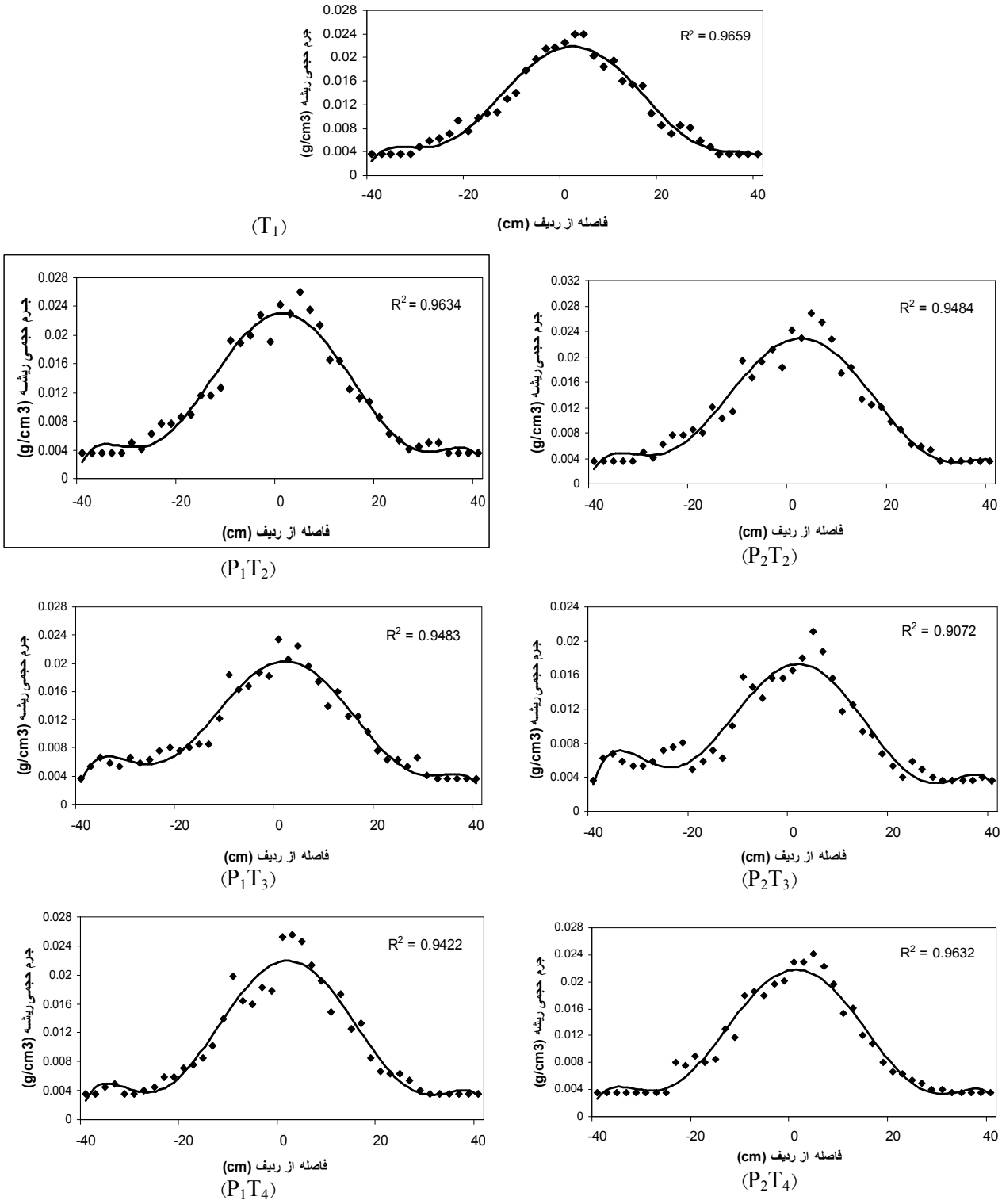
جرم حجمی ریشه درست بعد از مرحله بلال دهی ذرت اندازه‌گیری شد. با توجه به جدول ۷ اثر تردد روی جرم حجمی ریشه تأثیر معنی‌داری داشته است. در تیمار تردد در کل زمین کمترین جرم حجمی ریشه به دست آمد، زیرا تیمار تردد در کل زمین سبب تراکم در لایه‌های زیری خاک به صورت یک‌نواخت شده و مانع گسترش و توسعه ریشه شده است. کاسپر و همکاران (۸) نیز گزارش کردند که درکرت متراکم شده نسبت به کرت بدون تردد در ۳۰ سانتی‌متری خاک برای گیاه ذرت کاهش معنی‌دار رشد ریشه وجود داشته است. شکل ۵ نحوه توزیع ریشه در دو طرف گیاه ذرت در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. منحنی‌های رسم شده از درجه ۶ می‌باشند که در تمام تیمارها R^2 بیشتر از ۰/۹۴ می‌باشد. در شکل۶ نیز توزیع ریشه بر حسب عمق تا ارتفاع ۸۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. برای آن نیز منحنی درجه ۶ رسم شده است و در تمام تیمارها R^2 بیشتر از ۰/۹۶ می‌باشد. در شکل ۷ توزیع کلی ریشه مشخص شده است، که در مکان‌های تیره تر شاخص ریشه، بیشتر می‌باشد. با توجه به این شکل در تیمارهای تردد روی ردیف و بین ردیف توزیع ریشه به اطراف متمایل تر و به صورت غیر یک‌نواخت توزیع شده ولی در تیمار الگوی تردد در کل زمین و بدون تردد به صورت یک‌نواخت‌تری ریشه گسترش یافته است. البته لازم به ذکر است که در الگوی تردد در کل زمین با توجه به یک‌نواختی توسعه ریشه، کاهش رشد ریشه نسبت به دیگر الگوهای تردد به چشم می‌خورد، زیرا با توجه به نتایج جرم مخصوص خاک و شاخص مخروطی، بیشترین تراکم در لایه‌های زیرین خاک، در این تیمار مشاهده می‌شود.

عملکرد

با توجه به جدول ۳، اثر وزن روی عملکرد نیز معنی‌دار نبوده است، که به دلیل اختلاف کم بین سطوح وزن می‌باشد، زیرا همان‌طور که مشاهده شد تیمار وزن اثر معنی‌داری روی جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی خاک نداشته لذا روی رشد گیاه و توسعه ریشه و نهایتاً عملکرد اثر معنی‌داری روی نداده است. اما کاهش عملکرد در هنگام بارهای محوری زیاد گزارش شده است. به عنوان مثال در تحقیقی که هامل(۷) انجام داد، متوجه شد که عملکرد محصول تحت تأثیر نیروی ۱۰ تنی روی خاک لومی نبوده است، اما تراکم ناشی از

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]



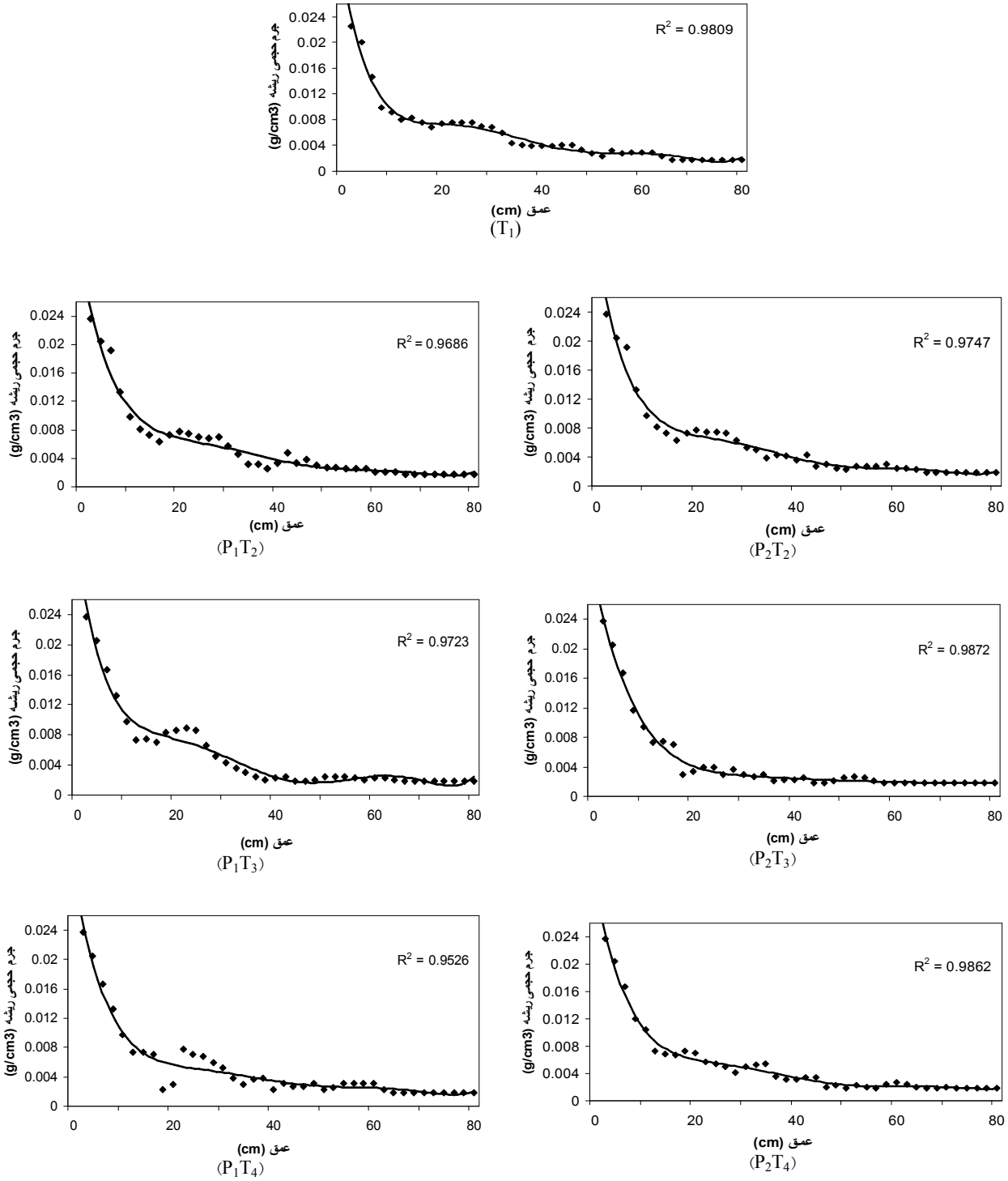
شکل۵ . جرم حجمی ریشه در دو سوی ردیف ذرت

P_1- سبک ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ ، P_2- سنگین ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین شده

T_1- بدون تردد اضافی، T_2 - تردد بین خطوط کشت، T_3 - تردد روی ردیف کشت، T_4- تردد در کل زمین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]



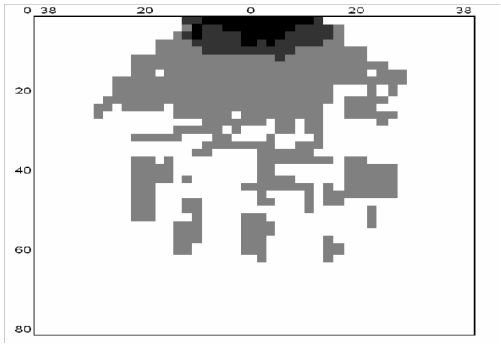
شکل۶ . میانگین جرم حجمی ریشه در عمق‌های مختلف

P_1- سبک ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ ، P_2- سنگین ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین شده

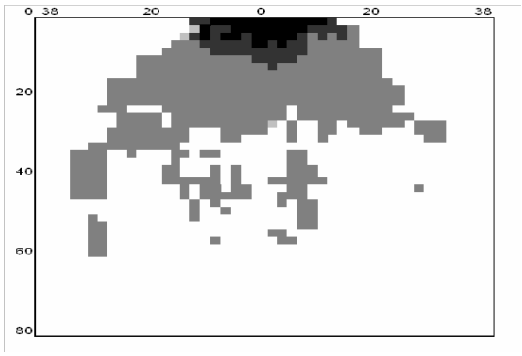
T_1- بدون تردد اضافی، T_2 - تردد بین خطوط کشت، T_3 - تردد روی ردیف کشت، T_4- تردد در کل زمین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

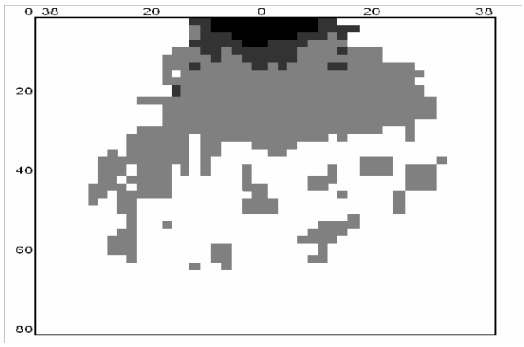
[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]



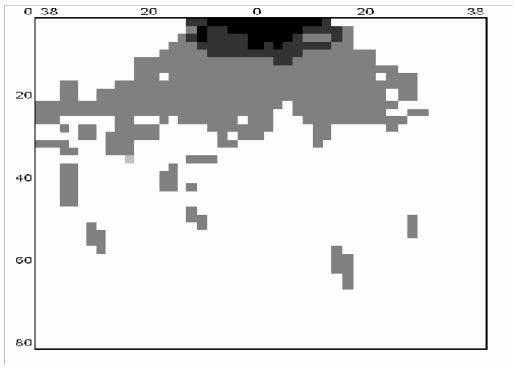
(T_1)



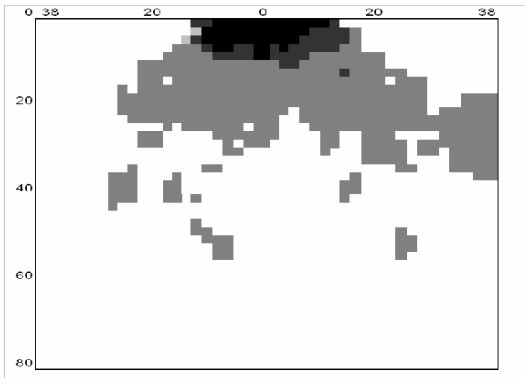
(P_1T_2)



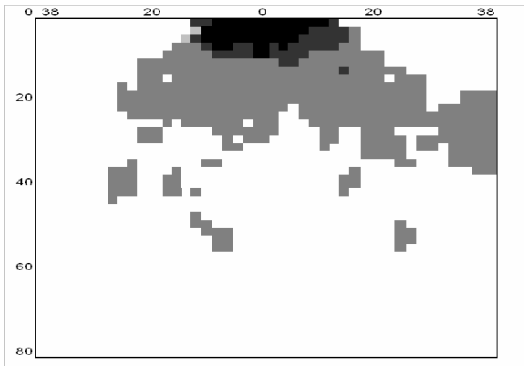
(P_2T_2)



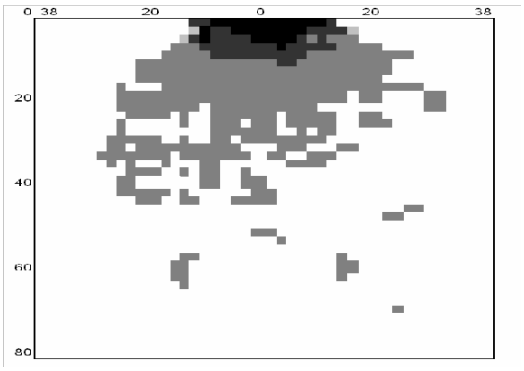
(P_1T_3)



(P_2T_3)



(P_1T_4)



(P_2T_4)

شکل ۷. توزیع جرم حجمی ریشه(محور افقی: فاصله از گیاه، عمود بر ردیف کشت و محور عمودی: عمق از سطح زمین)

P_1- سبک ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ ، P_2- سنگین ، تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ سنگین شده

T_1- بدون تردد اضافی ، T_2 - تردد بین خطوط کشت، T_3 - تردد روی ردیف کشت، T_4- تردد در کل زمین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]

جدول۸. مقایسه میانگین‌های[1] عملکرد دانه ذرت

الگوهای تردد[2]			
T_4	T_3	T_2	T_1
عملکرد(Mg/ha)			
۳/۹۷[c]	۶/۳۳[a]	۶/۲۰[b]	۶/۶۵[a]
وزن دانه ها در هر بلال (g)			
۲۱۴/۷[c]	۲۴۲/۱[b]	۲۵۳/۵[a]	۲۴۳/۸[b]

۱. در هر سطر تفاوت بین هر دو میانگین که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند, از نظر آماری معنی دار نیست(دانکن۵٪).

۲. T_1– بدون تردد اضافی، T_2 – تردد بین خطوط کشت، T_3 – تردد روی ردیف کشت، T_4– تردد در کل زمین

نیروی ۲۰ تنی حتی در رطوبت پایین، باعث کاهش رشد ریشه و رشد محصول شده است. به عبارت دیگر افزایش محدود وزن، اثر معنی‌داری روی عملکرد نمی‌گذارد مخصوصا" با توجه به نتیجه هامل اگر تردد در شرایط خشک صورت گرفته باشد، اثر وزن در مقادیر بالا نیز بی‌معنی می‌باشد. با توجه به جداول ۳ و ۸ اثر تیمارهای تردد روی عملکرد معنی‌دار می‌باشد، زیرا اثر تردد با توجه به جداول۳ و۴-۱ بر جرم مخصوص ظاهری خاک، حدودا" تا عمق ۳۰ سانتی‌متری معنی‌دار بوده لذا سبب کاهش توسعه ریشه و رشد محصول و نهایتا" عملکرد می‌شود. به طوری که در تیمار تردد در کل زمین به طور متوسط ۳/۹۷ تن در هکتار و در تیمار بدون تردد حدود ۶/۶۵ تن در هکتار عملکرد به دست آمده است. در تیمارهای تردد بین ردیف و تردد روی ردیف، میانگین عملکرد به ترتیب ۶/۲ و ۶/۳ تن در هکتار بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در الگوی تردد در کل زمین کاهش چشمگیر عملکرد نسبت به تردد روی ردیف و تردد بین ردیف رخ داده است، ولی با توجه به جدول ۷، با این که اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در جرم حجمی ریشه وجود دارد، اما از لحاظ عددی نزدیک به هم می‌باشند، که نشان دهنده آن است که کاهش جرم حجمی ریشه از حدی سبب کاهش چشمگیر عملکرد می‌شود، که این خود به دلیل یک‌نواختی فشردگی در لایه‌های زیرین خاک در الگوی تردد در کل زمین بوده است. به طور مشابه، با توجه به جداول ۳ و ۸ وزن دانه در هر بلال نیز در تیمار تردد در کل زمین کمترین مقدار را نسبت به تیمارهای دیگر داشت. با توجه به نتایج به دست آمده افزایش محدود وزن، روی تراکم خاک در لایه‌های زیرین خاک و هم‌چنین رشد و عملکرد محصول، حتی در شرایط مرطوب، اثر معنی‌داری نخواهد داشت. حال چنانچه افزایش قابل ملاحظه‌ای در وزن نداشته باشیم، تردد روی ردیف و تردد بین ردیف نیز با هم اختلاف معنی‌داری روی عملکرد نخواهند داشت. در صورتی که تردد در تمام زمین سبب کاهش چشمگیر عملکرد می‌شود. به عبارت دیگر با توجه به اجتناب ناپذیر بودن تردد تراکتور در زمین و با توجه به تراکتورها و ادوات موجود، بهتر است تراکم خاک بین خطوط کشت و یا روی ردیف‌های کشت در طی عملیات خاک ورزی به‌وجود آید. به نحوی که در سال‌های متمادی تراکم در لایه‌های زیرین خاک در کل سطح زمین،به طور یک‌نواخت به وقوع نپیوندد و موجب کاهش عملکرد بیشتر محصول نشود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله، از مساعدت‌های انجام شده توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شیراز تشکر و قدردانی به عمل می‌آورند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]

منابع مورد استفاده

۱. ابطحی، ع.، ن. کریمیان و م. صلحی. ۱۳۷۰. گزارش مطالعات خاک شناسی نیمه تفضیلی اراضی منطقه باجگاه- استان فارس. انتشارات دانشگاه شیراز.

2. Allen, R. R. and J. T. Musick. 1997. Furrow irrigation infiltration with multiple traffic and increased axle mass. Appl. Eng. Agric. 13: 49–53.
3. Bicki, T. J. and J. C. Siemens. 1991. Crop response to wheel traffic soil compaction. Trans. ASAE. 34: 909–913.
4. Gameda, S., G. S. V. Raghavan, E. McKyes, A. K. Watson and G. Mehuys. 1994. Response of grain corn to subsoiling and chemical wetting of a compacted clay subsoil. Soil Till. Res. 29: 179–187.
5. Gaultney, L, G. W. Krutz, G. C. Steinhardt and J. B. Liljedahl. 1982. Effects of subsoil compaction on corn yields. Trans. ASAE. 3: 563–569.
6. Hamlett, J. M., S. W. Melvin and R. Horton. 1990. Traffic and soil amendment effects on infiltration and compaction. Trans. ASAE. 33: 821–826.
7. Hammel, J. E. 1994. Effect of high-axle load traffic on subsoil physical properties and crop yields in the Pacific Northwest USA. Soil Till. Res. 29: 195–203.
8. Kaspar, T.C., J. K. Radke and J. M. Laflen. 2001. Small grain cover crops and wheel traffic effects on infiltration, runoff, and erosion. J. Soil Water Conserv. 56: 160–164.
9. Lowery, B. and R. T. Schuler. 1994. Duration and effects of compaction on soil and plant growth in Wisconsin. Soil Till. Res. 29: 205–210.
10. Raghavan, G. S. V., E. McKyes, R. Baxter and G. Gendron. 1979. Traffic–soil–plant (maize) relations. J. Terramech. 16: 181–189.
11. Raghavan, G. S. V., E. McKyes, F. Taylor, P. Richard and A. Watson. 1979. The relationship between machinery traffic and corn yield reductions in successive years. Trans. ASAE. 22: 1256–1259.
12. Raper, R. L. 2005. Agricultural traffic impacts on soil. J. Terramech. 42: 259-280.
13. Reeves, D. W., H. H. Rogers, J. A. Droppers, S. A. Prior and J. B. Powell. 1992. Wheel-traffic effects on corn as influenced by tillage system. Soil Till. Res. 23: 177–192.
14. Tardieu, F. and H. Manichon. 1986. Characterization as a water sink of the maize root system in cultivated fields, II. A method for studying vertical and horizontal distribution of roots. Agron. 6: 415-425.
15. Taylor, H. M. and H. R. Gardner. 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. Soil Sci. 96: 153–156.
16. Unger, P. W. and T. C. Kaspar. 1994. Soil compaction and root growth: a review. Agron. J. 86: 759–766.
17. Voorhees, W.B. and M. J. Lindstrom. 1984. Long-term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. Soil Sci. Soc. Amer. J. 48: 152–156.
18. Voorhees, W. B. 1991. Compaction effects on yield – are they significant. Trans. ASAE. 34: 1667–1672.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.42.48.2]