بررسی تاثیر عوامل کاری روتیواتور بر شاخص‌های فیزیکی مهم خاک در استان مازندران

مجید رجبی وندچالی[1*]، محمدحسین عباسپور فرد[2]، عباس قنبری مالیدره[3]

۱- مربی گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، جویبار، ایران

۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، جویبار، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول:m_rajabivandechali@stu.um.ac.ir

چکیده

امروزه استفاده از روتیواتور در بسیاری از مناطق به ویژه در مناطق شمالی کشور در حال گسترش است. کاربرد نادرست روتیواتور سبب اعمال صدمات شدید به خاک گشته، خواص فیزیکی خاک را به شدت تحت تاثیر قرار داده و باعث تخریب ساختمان خاک و خاک‌دانه‌ها می‌گردد. از این رو به منظور بررسی برخی عوامل کاری روتیواتور بر خواص فیزیکی خاک، آزمایشی در یکی از مزارع گندم شهرستان جویبار به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عمق کار به عنوان عامل اصلی در سه سطح (۱۲، ۱۶ و ۲۰ سانتی‌متر)، زاویه‌ی استقرار درپوش حفاظتی به عنوان عامل فرعی در چهار سطح (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به خط قائم) و سرعت پیشروی به عنوان عامل فرعی فرعی در دو سطح (۲/۱۲ و ۳/۱۶ کیلومتر بر ساعت) بود. پارامترهای اندازه‌گیری شامل: چگالی ظاهری خاک و نفوذ تجمعی آب به خاک بود. نتایج نشان داد تاثیر عمق کار بر نفوذ تجمعی؛ تاثیر وضعیت درپوش، سرعت پیشروی و برهم‌کنش سه‌گانه بر چگالی ظاهری و نفوذ تجمعی معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). به طوری که با افزایش عمق کار، نفوذ تجمعی افزایش یافت. با افزایش زاویه‌ی درپوش، چگالی ظاهری کاهش و نفوذ تجمعی افزایش یافت. با کاهش سرعت پیشروی، چگالی ظاهری و نفوذ تجمعی به ترتیب کاهش و افزایش معنی‌دار داشتند ($P<۰/۰۱$). برای انتخاب ترکیب مناسب، معیاری معرفی شد که بر اساس آن، مناسب‌ترین ترکیب، عمق کاری ۱۶ سانتی‌متر، زاویه‌ی درپوش ۹۰ درجه و سرعت پیشروی ۲/۱۲ کیلومتر بر ساعت بود.

واژه‌های کلیدی: روتیواتور، ساختمان خاک، سرعت پیشروی، عمق کار، وضعیت استقرار درپوش

مقدمه

عملیات خاک‌ورزی مناسب، موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش خلل و فرج، توزیع بهتر خاک‌دانه‌ها و نهایتاً اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود (عاکف و باقری، ۱۳۷۸). خواص فیزیکی خاک عامل تعیین کننده اصلی رشد گیاهچه تا زمان سر برآوردن از خاک و جوانه زنی می‌باشد (Malhi *et al*., 2006). یک بررسی منابع نشان داد که تغییرات خواص خاک به دلیل خاک‌ورزی، با چندین عامل در ارتباط است که عبارتند از: نوع خاک، نوع وسیله‌ی خاک‌ورزی، عمق خاک‌ورزی، شرایط خاک نظیر محتوی رطوبت در زمان خاک‌ورزی و شرایط اقلیمی (Chang and Lindwall, 1990). استفاده از روتیواتورها (گاوآهن های دوار) به عنوان یکی از کارآمدترین ماشین‌های خاک‌ورزی در باغات و شالیزارها به صورت روزافزونی مورد استقبال قرار گرفته است. در عملیات سبزی و صیفی‌کاری، آماده‌سازی خاک شرایط متفاوتی نسبت به دیگر محصولات زراعی می‌طلبد و عمق آماده‌سازی بستر بذر و دانه‌بندی آن متفاوت است. در این شرایط می‌توان خاک را با روتیواتورها آماده کرد (طباطبائی کلور و کیانی، ۱۳۸۵). با این وجود نرم‌شدگی خاک‌دانه‌ها به واسطه‌ی اعمال تنش‌های اضافی به سطح خاک، یکی از نتایج نامطلوب کاربرد روتیواتورها می‌باشد که اثر نامطلوبی بر ساختمان خاک دارند (الهی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۷).

ورود آب به داخل خاک در نتیجه‌ی تاثیر توأم نیروهای ثقلی و مویینگی صورت می‌گیرد. نیروی ثقل فقط در جهت قائم، اما نیروی مویینگی هم در جهت عمودی و هم در جهت افقی عمل می‌کند، ولی به تدریج که منافذ از آب اشباع شد تنها نیروی ثقل دخالت کرده و جریان نفوذ عمدتاً عمودی می‌باشد. به همین دلیل، سرعت نفوذ در ابتدا زیاد و سپس به تدریج تقلیل یافته و به مقدار ثابتی که فقط نتیجه‌ی عمل نیروی ثقل است می‌رسد (علیزاده، ۱۳۸۳). چگالی ظاهری خاک در میزان نفوذ آب به خاک و رشد ریشه‌های گیاه موثر است. با این وجود، افزایش بیش از حد قطر کلوخه‌ها و کاهش شدید چگالی ظاهری خاک باعث کاهش سبز شدن گیاهچه می‌شود (Nasr and Selles, 1995).

با توجه به آن چه گفته شد، کاربرد نادرست روتیواتور و شرایط کاری نامناسب آن ممکن است سبب اعمال تنش‌های شدید به خاک گشته، خواص فیزیکی خاک را به شدت تحت تاثیر قرار داده و باعث از بین بردن ساختمان خاک و خاک‌دانه‌ها گردد. تخریب ساختار خاک ممکن است منجر به غیریکنواختی جوانه زنی بذر، کاهش رشد ریشه و کاهش نفوذ آب به درون خاک گردد که در نتیجه‌ی آن، هزینه‌های تولید افزایش یافته و عملکرد محصول به شدت کاهش می‌یابد. آنچه در حال حاضر در مناطق شمالی ایران رواج دارد استفاده توام گاوآهن برگرداندار و رتیواتور است. از این رو تحقیق حاضر سعی بر آن دارد تا با توجه به اهمیت موضوع، تاثیر برخی از اجزای کاری اصلی روتیواتور در استفاده توام از آن با گاوآهن برگردن دار را بر برخی شاخص‌های فیزیکی مهم خاک در منطقه‌ی مازندران مورد ارزیابی قرار دهد و با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری، ترکیب مناسب پارامترهای کاری دستگاه و تراکتور جهت دست‌یابی به شرایط مطلوب ساختار خاک و بستر بذر را با توجه به شرایط خاک منطقه ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در یکی از مزارع گندم در روستای کوکنده از توابع شهرستان جویبار، استان مازندران، در سال ۱۳۹۱ اجرا گردید. از نظر آب و هوایی، منطقه دارای اقلیم مرطوب بود. مطالعه از نوع میدانی و مزرعه‌ای بود که پس از برداشت محصول انجام گرفت. قبل از انجام آزمایش، چند نمونه خاک از نقاط مختلف از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر، برای تعیین نوع بافت خاک و حدود آتربرگ خاک تهیه گردید. بافت خاک مزرعه لوم رسی بود. حد روانی و حد خمیری آن (بر مبنای وزن تر) به ترتیب برابر ۴۷/۹۳ درصد و ۲۷/۸۱ درصد بود و در نتیجه شاخص خمیری خاک ۲۰/۱۲ درصد محاسبه گردید.

آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عمق کار به عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل: عمیق (۲۰ سانتی‌متر)، عمق متوسط (۱۶ سانتی‌متر) و کم عمق (۱۲ سانتی‌متر)، وضعیت استقرار درپوش انتهایی روتیواتور به عنوان عامل فرعی در چهار سطح شامل: کاملاً بسته، نیمه بسته، نیمه باز و کاملاً باز (به ترتیب، زاویه صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به خط قائم) و سرعت پیشروی تراکتور به عنوان عامل فرعی فرعی در دو سطح شامل: دنده‌ی یک و دنده‌ی دو (به ترتیب، با سرعت ۲/۱۲ و ۳/۱۶ کیلومتر بر ساعت) بود. تمامی آزمایشات در رطوبت ۸۰ تا ۸۵ درصد حد خمیری (۲۳/۶۴-۲۲/۲۵ درصد بر مبنای وزن تر) انجام شد. پارامترهای اندازه‌گیری شامل: درجه‌ی نرم‌شدگی خاک (با معیار چگالی ظاهری) و نفوذپذیری خاک (نفوذ تجمعی آب به خاک پس از ۱۴۰ دقیقه) بود.

جهت انجام شخم اولیه از یک دستگاه گاوآهن برگردان‌دار سه خیش متداول در منطقه (با عرض کار ۳۰ سانتی‌متر برای هر خیش) در شرایط گاورو و با عمق شخم ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد (Ahmadi and Mollazade, 2009). مشخصات فنی روتیواتور مورد آزمایش (روتیواتور مدل HIBM 70 C ساخت شرکت تولید ادوات کشاورزی و دامداری هادی) در جدل ۱ آمده است. تمامی عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه با استفاده از یک دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ (تراکتور متداول منطقه) انجام گرفت (Ahmadi and Mollazade, 2009). شکل ۱ مزرعه‌ی آزمایشی را پس از شخم برگردان و در حین آزمایش با روتیواتور نشان می‌دهد.

شکل ۱- مزرعه‌ی آزمایشی پس از شخم برگردان (سمت چپ) و حین انجام آزمایش با روتیواتور (سمت راست).

جدول ۱- مشخصات فنی روتیواتور مورد استفاده

شرح	طول دستگاه	عرض کار دستگاه	ارتفاع دستگاه	وزن دستگاه	تعداد ردیف تیغه‌ها	تعداد تیغه در هر ردیف	سرعت دورانی محور	توان مورد نیاز
مشخصات فنی	۹۰ *cm*	۲۱۰ *cm*	۱۲۵ *cm*	۴۴۵ *Kg*	۸ ردیف	۶ عدد	۱۷۹ *rpm*	۵۰ -۶۵ *hp*

برای تغییر عمق کار دستگاه، از کفشک‌های تنظیم عمق؛ برای تغییر وضعیت استقرار درپوش انتهایی روتیواتور از زنجیر نگهدارنده‌ی آن و برای تغییر سرعت پیشروی تراکتور از دو دنده‌ی تراکتور (دنده‌ی ۱ و دنده‌ی ۲) استفاده گردید. در تمام آزمایشات دور محور گردنده‌ی روتیواتور، ثابت بود.

چگالی ظاهری خاک توسط استوانه‌ی مخصوص از عمق خاک‌ورزی ثانویه در هر کرت، پس از خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت، به دست آمد (Arvidsson and Bolenius, 2006).

برای اندازه گیری نفوذ تجمعی آب به خاک از روش استوانه مضاعف (همت و همکاران، ۱۳۷۹) استفاده شد (شکل ۲).

شکل ۲- استوانه‌های مضاعف اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک در حین آزمایش

تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق نرم‌افزار SAS و مقایسه مقادیر میانگین پارامترها توسط نرم‌افزار MSTATC (از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد) انجام شد (Arvidsson and Bolenius, 2006; Ahmadi and Mollazade, 2009).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌ی واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تاثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در جدول ۲ و مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تاثیر هر یک از عوامل آزمایشی در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه‌ی واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تاثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		چگالی ظاهری	نفوذ تجمعی
بلوک	۲	۰/۰۰۴۹ ^{ns}	۱۶/۶۷ ^{ns}
عمق کار (A)	۲	۰/۰۰۸۷ ^{ns}	۱۳۶/۸۱ **
خطای a	۴	۰/۰۰۱۱	۹/۶۰
وضعیت درپوش (B)	۳	۰/۰۸۹۹ **	۱۰۶۸/۷۰ **
B×A	۶	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۳۸/۱۸ ^{ns}

خطای b	۱۸	۰/۰۰۴۲	۱۲/۸۱
سرعت پیشروی (C)	۱	۰/۲۵۰۹ **	۲۱۰/۸۱ **
C×A	۲	۰/۰۰۲۵ ns	۱۶/۴۹ ns
C×B	۳	۰/۰۱۹۱ ns	۵/۰۰ ns
C×B×A	۶	۰/۰۴۷۴ **	۸۳/۴۹ **
C.V.		۵/۹۲	۷/۶۳

** و ns به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن اثر عامل آزمایشی در سطح یک درصد و غیر معنی‌دار بودن می‌باشند.

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد که عمق کار دستگاه بر نفوذ تجمعی آب به خاک (در سطح احتمال یک درصد) تاثیر معنی‌دار داشت اما چگالی ظاهری خاک تحت تاثیر عمق کار قرار نگرفت (جدول ۲). اثر عمق کار بر پارامترهای اندازه‌گیری در شکل ۳ نشان داده شد. با افزایش عمق کار، چگالی ظاهری خاک کاهش یافت که به دلیل کاهش انرژی ویژه مصرف شده (انرژی به ازای واحد حجم خاک) بود اما به هر صورت از نظر آماری، تغییرات معنی‌دار نبود (جدول ۳). عدم وجود تفاوت معنی‌دار در درجه‌ی نرم-شدگی خاک احتمالاً به دلیل استفاده‌ی توأم گاوآهن برگردان‌دار و روتیواتور و در نتیجه پودر شدن بیش از حد خاک به ویژه در لایه‌های سطحی بود. مزرعه با توجه به آنچه که در منطقه متداول است، ابتدا توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد و سپس عملیات روتیواتور زنی اجرا گردید. در واقع، شاید دو بار عمل خاک‌ورزی منجر به افزایش درصد خاک‌دانه‌های ریز و نرم‌شدگی بیش از حد خاک شد. البته حرکت دورانی تیغه‌های روتیواتور و نوع مکانیزم خاک‌ورزی این دستگاه به عنوان یک وسیله‌ی خاک‌ورز فعال نیزدر این امر بی تاثیر نبود. در واقع می‌توان گفت که کارکرد روتیواتور اساساً به گونه‌ای است که ذرات ریز بیش‌تری به جای می-گذارد. بنابراین می توان گفت که استفاده توأم از گاوآهن برگردان‌دار و روتیواتور که در منطقه مرسوم است می تواند منجر به پودر شدن بیش از حد خاک و احتمالاً اثر سوء بر ساختمان خاک گردد و بهتر است از استفاده‌ی توأم این دو دستگاه در عملیات خاک-ورزی، اجتناب گردد.

جدول ۳- مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تاثیر هر یک از عوامل آزمایش

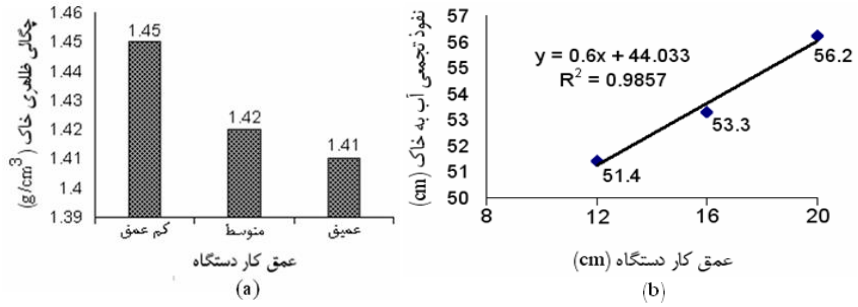
پارامترهای اندازه‌گیری	عمق کار			وضعیت درپوش				سرعت پیشروی	
	عمیق	عمق متوسط	کم‌عمق	کاملاً بسته	نیمه بسته	نیمه باز	کاملاً باز	دنده ۱	دنده ۲
چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۴۱ a	۱/۴۲ a	۱/۴۵ a	۱/۵۲ a	۱/۴۴ b	۱/۳۹ bc	۱/۳۶ c	۱/۳۷ b	۱/۴۸ a
نفوذ تجمعی (سانتی‌متر)	۵۶/۲ a	۵۳/۳ b	۵۱/۴ b	۴۴/۲ d	۵۱/۳ c	۵۶/۷ b	۶۲/۳ a	۵۵/۳ a	۵۱/۹ b

* میانگین‌ها در هر عامل آزمایشی و در هر ردیف که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

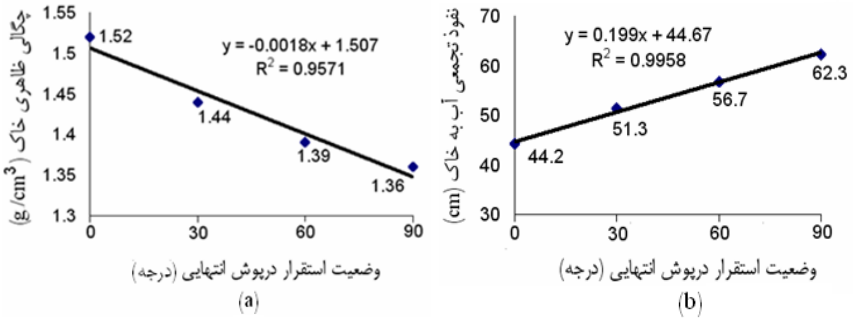
نفوذ تجمعی آب به خاک با افزایش عمق کار، افزایش یافت (شکل b- ۳). این امر توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است

(همت و همکاران، ۱۳۷۹) اما مقادیر چگالی ظاهری خاک در عمق‌های بیش‌تر کاهش یافت (شکل a– ۳). با افـزایش عمـق کـار، انرژی داده شده به واحد حجم خاک (انرژی ویژه) کاهش یافت و کلوخه‌های بزرگ‌تری بر جای ماند و احتمـالاً همـین امـر باعـث کاهش چگالی ظاهری و افزایش میزان نفوذ آب به خاک گردید. تحلیل‌های رگرسیونی نشان داد که نفـوذ تجمعـی بـا عمـق کـار دستگاه رابطه‌ی مستقیم و خطی با ضریب تعیین ۰/۹۸۶ داشت (شکل b– ۳).

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد که وضعیت استقرار درپوش انتهایی روتیواتور بر هر دو پارامتر چگالی ظاهری خاک و نفوذ تجمعی آب به خاک تاثیر معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) داشت (جدول ۲). اثر وضعیت استقرار درپوش بر پارامترهای اندازه‌گیری در شکل ۴ نشان داده شد. چگالی ظاهری خاک و نفوذ تجمعی آب به خاک تحت تاثیر وضعیت درپوش (در سطح احتمال یک درصد) قرار گرفتند به طوری که بیش‌ترین مقدار چگالی ظاهری در وضعیت کاملاً بسته درپوش و کم‌ترین مقدار آن در وضعیت کاملاً باز، به ترتیب برابر ۱/۵۲ g/cm^3 و ۱/۳۶ g/cm^3 به دست آمد. بیش‌ترین مقدار نفوذ تجمعی نیز در وضعیت کاملاً باز درپوش و کم‌ترین مقدار آن در وضعیت کاملاً بسته، به ترتیب برابر ۶۲/۳ cm و ۴۴/۲ cm به دست آمد (جدول ۳). هنگام انجـام آزمایشـات مشـاهده گردید که هر چه درپوش انتهایی بسته‌تر می‌شد برگشت کلوخه‌ها پس از برخورد، از سمت درپوش به طرف تیغه‌ها بیش‌تـر بـوده و بعضاً باعث انباشت کلوخه‌ها بر روی هم گشته به طوری که این توده‌ی انباشته شده در جلوی درپوش، چندین بار توسط تیغه‌ها بـه هم زده می‌شد که نشان از افزایش انرژی ویژه دریافتی توسط خاک دارد. به عبارتی درپوش، کارکردی مشابه مالـه را از خـود بـروز می‌داد که در وضعیت کاملاً بسته درپوش، نمود زیادی داشت. این امر باعث شد تا بخشی از کلوخه‌هـا بـه صـورت پـودر درآینـد و احتمالاً به همین دلیل بیش‌ترین چگالی ظاهری خاک در وضعیت کاملاً بسته درپوش به دست آمد. تحلیل‌های رگرسیونی حاکی از آن بود که با افزایش زاویه‌ی درپوش، چگالی ظاهری به طور خطی با ضریب تعیین ۰/۹۵۷ کاهش یافت (شکل a– ۴) در حالی که نفوذ تجمعی به طور خطی با ضریب تعیین ۰/۹۹۶ افزایش یافت (شکل b– ۴). با کاهش چگالی ظاهری خاک، میزان خلل و فـرج افزایش یافت و فضاهای خالی بیش‌تری برای نفوذ و ذخیره‌ی آب ایجاد شد و احتمالاً همین امر باعث افزایش نفوذ تجمعی آب بـه خاک گردید.



شکل ۳- اثر عمق کار دستگاه بر (a) چگالی ظاهری خاک و (b) نفوذ تجمعی آب به خاک.



شکل ٤- اثر وضعیت استقرار درپوش انتهایی بر (a) چگالی ظاهری خاک و (b) نفوذ تجمعی آب به خاک.

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد که اثر سرعت پیشروی بر روی چگالی ظاهری و نفوذ تجمعی آب به خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به طوری که با افزایش سرعت پیشروی، چگالی ظاهری افزایش و نفوذ تجمعی کاهش یافت (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار چگالی ظاهری در دنده‌ی ۲ و کم‌ترین مقدار آن در دنده‌ی ۱، به ترتیب برابر ۱/۴۸ g/cm^3 و ۱/۳۷ g/cm^3 به دست آمد (جدول ۳). نتایج تحقیقی بر روی عوامل کاری تیغه‌های روتیواتور حاکی از آن بود که اثر سرعت پیشروی دستگاه بر ضخامت لایه‌ی بریده شده‌ی خاک، درصد ذرات ریز خاک (ذرات با قطر کم‌تر از ۴۰ mm) و درصد ذرات درشت خاک (ذرات با قطر بیش‌تر از ۸۰ mm)، در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار بود به طوری که با افزایش سرعت پیشروی، ضخامت لایه‌های بریده شده و درصد ذرات درشت خاک، افزایش و درصد ذرات ریز خاک، کاهش یافت اما سرعت پیشروی بر درصد ذرات متوسط خاک (۸۰–۴۰ mm) تاثیر معنی‌داری نداشت (طباطبائی کلور و کیانی، ۱۳۹۰). با افزایش سرعت پیشروی، چگالی ظاهری خاک افزایش یافت در حالی که انتظار می‌رفت در سرعت پیشروی بالاتر، به دلیل افزایش ضخامت لایه‌های خاک، خردشدگی خاک کاهش، درصد ذرات درشت افزایش و در نتیجه چگالی ظاهری خاک کاهش یابد. علت این امر احتمالاً به دلیل افزایش تنش‌های اعمالی به خاک در اثر افزایش سرعت پیشروی و در نتیجه نرم‌شدگی بیش‌تر خاک بود. در واقع افزایش سرعت پیشروی منجر به اعمال نیروی بیش‌تر به خاک و نیز افزایش سطح لقمه‌ی خاک گردید (الهی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۷) اما میزان افزایش سطح خاک نسبت به میزان افزایش نیروی اعمالی، کم‌تر بوده و احتمالاً همین امر سبب اعمال تنش‌های بزرگ‌تر به خاک و در نتیجه افزایش چگالی ظاهری خاک و کاهش نفوذ تجمعی آب به خاک گردید.

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد که تاثیر برهم‌کنش بین هر دو عامل آزمایشی بر هیچ یک از پارامترهای اندازه‌گیری معنی‌دار نبود اما تاثیر برهم‌کنش بین سه عامل بر هر دو پارامتر اندازه‌گیری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تاثیر برهم‌کنش بین سه عامل در جدول ۴ آمده است. بیش‌ترین مقدار چگالی ظاهری خاک تحت تاثیر برهم‌کنش بین سه عامل در ترکیب عمیق، درپوش کاملاً بسته و دنده‌ی ۲ و نیز در حالت کم عمق، درپوش کاملاً بسته و دنده‌ی ۱ برابر ۱/۶۱ g/cm^3 به دست آمد. کم‌ترین مقدار چگالی ظاهری خاک برابر برابر ۱/۲۵ g/cm^3 و بیش‌ترین مقدار نفوذ تجمعی آب به خاک برابر ۷۰/۵ cm، هر دو در ترکیب عمق متوسط، درپوش کاملاً باز و دنده‌ی ۱ به دست آمد (جدول ۴). ترکیب مناسب عوامل کاری دستگاه، ترکیبی است که در آن کم‌ترین چگالی ظاهری خاک به دست آید چرا که در چنین شرایطی، خلل و

فرج خاک بیش‌تر، رشد و نفوذ ریشه به درون خاک آسان‌تر، تهویه‌ی خاک بهتر و حجم ذخیره‌ی آب بیش‌تر است ضمن این که ساختمان و دانه‌بندی ذرات خاک نیز دست‌خوش تغییرات کم‌تری می‌شود. بر اساس نفوذ آب به خاک، ترکیبی مناسب‌تر است که ظرفیت نفوذپذیری بیش‌تری داشته باشد و در آن بیش‌ترین نفوذ تجمعی به دست آید. بنابراین نسبت نفوذ تجمعی به چگالی ظاهری خاک به عنوان یک معیار مناسب در آزمایشات محققین برای تشخیص ترکیب مناسب عوامل آزمایش معرفی می‌گردد به طوری که هر چه این نسبت بزرگ‌تر باشد مطلوب‌تر است. بیش‌ترین مقدار این نسبت زمانی است که بیش‌ترین نفوذ تجمعی و کم‌ترین چگالی ظاهری خاک، هر دو در یک ترکیب از عوامل آزمایشی به دست آید. با توجه به این که در تحقیق حاضر، این امر در ترکیب عمق متوسط، درپوش کاملاً باز و دنده‌ی ۱ به دست آمد بنابراین این ترکیب به عنوان مناسب‌ترین ترکیب کاری دستگاه برای منطقه‌ی مذکور، توصیه می‌شود. شکل ۵ نمودار نفوذ تجمعی آب به خاک بر حسب زمان در ترکیب فوق را نشان می‌دهد. بر اساس تحلیل رگرسیونی، معادله‌ی نفوذ تجمعی در این ترکیب، با ضریب تعیین ۰/۹۶۱ به دست آمد.

کم‌ترین مقدار نفوذ تجمعی تحت تاثیر برهم‌کنش بین سه عامل برابر ۳۶/۷ cm در ترکیب عمق متوسط، درپوش کاملاً بسته و دنده‌ی ۱ بود (جدول ۴).

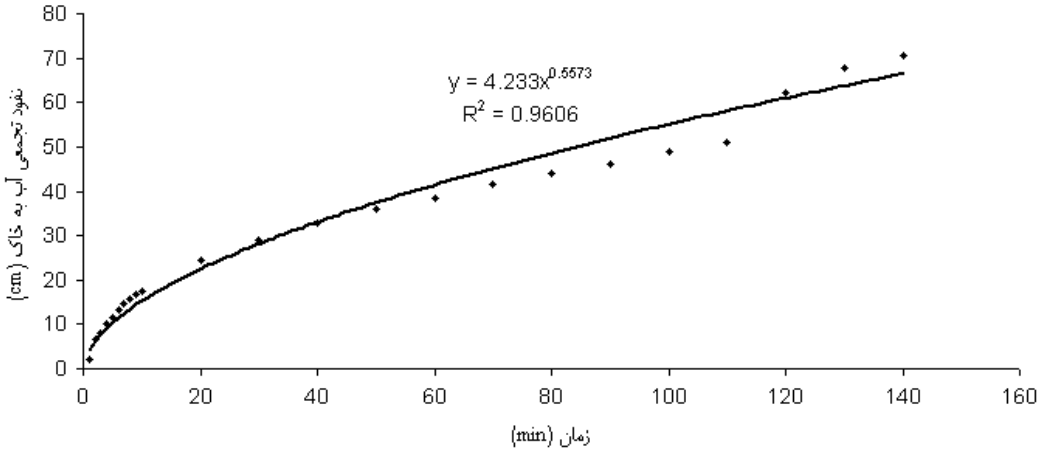
جدول ٤- مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تاثیر برهم‌کنش بین سه عامل آزمایشی

عمق کار دستگاه	وضعیت درپوش	چگالی ظاهری خاک (g/cm^3)		نفوذ تجمعی آب به خاک (cm)	
		دنده‌ی ۱	دنده‌ی ۲	دنده‌ی ۱	دنده‌ی ۲
عمیق	کاملاً بسته	۱/۳۶ defghi	۱/۶۱ a	۵۳/۵ defg	۳۹/۳ ij
	نیمه بسته	۱/۳۸ defghi	۱/۴۷ abcde	۵۴/۶ def	۵۲/۴ bc
	نیمه باز	۱/۳۰ fghi	۱/۴۴ bcdefg	۶۲/۵ bc	۵۹/۶ bcd
	کاملاً باز	۱/۳۸ defghi	۱/۳۲ efghi	۶۴/۴ ab	۶۳/۱ bc
عمق متوسط	کاملاً بسته	۱/۴۵ abcdefg	۱/۶۰ ab	۳۶/۷ j	۴۶/۸ fghi
	نیمه بسته	۱/۲۹ ghi	۱/۶۰ ab	۵۲/۵ defg	۵۱/۰ efgh
	نیمه باز	۱/۴۲ cdefgh	۱/۳۳ defghi	۵۷/۰ bcde	۵۱/۴ efgh
	کاملاً باز	۱/۲۵ i	۱/۴۵ abcdefg	۷۰/۵ a	۶۰/۲ bcd
کم عمق	کاملاً بسته	۱/۶۱ a	۱/۴۶ abcdef	۴۶/۴ ghi	۴۲/۸ ij
	نیمه بسته	۱/۳۵ defghi	۱/۵۸ abc	۵۱/۰ efgh	۴۶/۲ ghi
	نیمه باز	۱/۳۴ defghi	۱/۴۹ abcd	۵۵/۵ cde	۵۴/۰ def
	کاملاً باز	۱/۲۷ hi	۱/۴۷ abcde	۵۹/۴ bcd	۵۶/۲ cde

* میانگین‌ها در هر عامل آزمایشی و در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

بررسی مقادیر تکرارها در این ترکیب (۴۶/۳ cm، ۲۰/۳ cm و ۴۳/۵ cm) نشان داد که در یکی از تکرارها مقدار نفوذ تجمعی آب به

خاک، غیر عادی بود و همین امر باعث شد تا کم‌ترین مقدار نفوذ تجمعی در این ترکیب به دست آید. مشکل نفوذ آب به داخل خاک یک مشکل عمومی است که در انواع بافت‌ها، از لوم شنی تا رسی، می‌تواند وجود داشته باشد (همت و همکاران، ۱۳۷۹). لایه‌های متراکم یا سخت شده موجب کم شدن نفوذ آب به خاک می‌شوند. این لایه‌ها می‌توانند به طور طبیعی ایجاد شده (سخت لایه[1]) یا در اثر عملیات زراعی (کفه‌ی شخم[2]) و یا بر اثر آبیاری و تشکیل سله‌ی سطحی[3] ایجاد شوند (Fattah and Upadhyaya, 1996). تغییر ناگهانی در بافت لایه‌های مجاور در نیم‌رخ خاک نیز می‌تواند مشکلاتی در نفوذپذیری آب به خاک ایجاد نماید (Sakai *et al.*, 1992). علت نفوذ غیر عادی آب به خاک در یکی از تکرارهای ترکیب فوق‌الذکر، احتمالاً به دلیل شرایط لایه‌های زیرین خاک در کرت مربوطه و تشکیل لایه‌های سخت، به یک یا چند دلیل از دلایل ذکر شده بود و نمی‌توان آن را به کارکرد نامناسب دستگاه در ترکیب فوق، ربط داد زیرا در یک مزرعه بروز چنین لایه‌ای به صورت منطقه ای امری ثابت شده است چیزی که امروزه با کشاورزی دقیق و تهیه نقشه فشردگی خاک مورد مدیریت قرار می‌گیرد. با چشم‌پوشی از این ترکیب، کم-ترین مقدار نفوذ تجمعی در ترکیب عمیق، کاملاً بسته و دنده‌ی ۲ برابر ۳۹/۳ *cm* به دست آمد (جدول ۴). در همین ترکیب، چگالی ظاهری خاک در بالاترین کلاس آماری قرار دارد و احتمالاً همین امر باعث کاهش نفوذ آب به خاک گردید. بر اساس معیار ذکر شده (نسبت نفوذ تجمعی به چگالی ظاهری خاک) نیز همین ترکیب، کم‌ترین نسبت را داراست بنابراین این ترکیب چندان مناسب نبوده و استفاده از آن در منطقه‌ی مذکور توصیه نمی‌شود.



شکل ۵- نمودار نفوذ تجمعی آب به درون خاک بر حسب زمان در ترکیب عمق متوسط، درپوش کاملاً باز و دنده‌ی ۱.

پیشنهاد می‌گردد عوامل کاری دیگر دستگاه از جمله سرعت محور دورانی تیغه‌ها، تعداد تیغه در واحد عرض کار و غیره توسط محققین دیگر مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود عملکرد این دستگاه با دیگر دستگاه‌های خاک‌ورز نظیر سیکلوتیلر، هرس بشقابی و غیره مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

1- Cemented Pan
2- Plow Pan
3- Surface Crust

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

۱- نفوذ تجمعی با افزایش عمق کار به طور معنی‌داری افزایش یافت.

۲- با کاهش سرعت پیشروی و نیز با بازتر شدن درپوش روتیواتور، چگالی ظاهری و نفوذ تجمعی به ترتیب کاهش و افزایش معنی‌دار داشتند.

۳- استفاده‌ی توأم گاوآهن برگردان‌دار و روتیواتور به لحاظ خردشدگی بیش از حد خاک، تخریب ساختمان خاک و خاک-دانه‌ها، کاهش خلل و فرج خاک و در نتیجه کاهش نفوذپذیری خاک، توصیه نمی‌شود.

۴- توصیه می‌شود از ترکیب عمق کار ۲۰ *cm*، وضعیت درپوش کاملاً بسته و سرعت پیشروی ۳/۱۶ *Km/h* به دلیل نرم-کنندگی بالای خاک و نفوذپذیری پایین آب به خاک، استفاده نگردد.

۵- برهم‌کنش بین سه عامل به طور معنی‌داری چگالی ظاهری و نفوذ تجمعی را تحت تاثیر قرار داد. عمق کار ۱۶ *cm*، وضعیت درپوش کاملاً باز و سرعت پیشروی ۲/۱۲ *Km/h* به عنوان مناسب‌ترین ترکیب کاری دستگاه با رویکرد اصلاح ساختمان خاک، افزایش خلل و فرج و بهبود نفوذ آب به خاک به دست آمد.

سپاس‌گزاری

از جناب آقای دکتر عباس همت، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان، به دلیل راهنمایی‌های ارزنده‌شان کمال تقدیر و قدردانی را داریم. هم چنین از جناب آقای محمد چلنگری، ریاست محترم شرکت تولید ادوات کشاورزی هادی، به خاطر در اختیار نهادن دستگاه و اطلاعات تجربی، بی نهایت سپاس‌گزاریم.

منابع

عاکف م. و باقری ا. ۱۳۷۸. مدیریت خاک و نقش ماشین‌های کشاورزی در خصوصیات فیزیکی خاک (ترجمه). انتشارات دانشگاه گیلان. رشت. ایران.

علیزاده ا. ۱۳۸۳. فیزیک خاک. موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد.

الهی‌فرد ا.، حجتی م.ر. و علوی ن. ۱۳۸۷. مدل‌سازی فرآیند برش خاک در تیلر دوار با استفاده از روش اجزاء محدود. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران.

همت ع.، صادق نژاد ح. ر. و علیمردانی ر. ۱۳۷۹. مقاومت کششی زیرشکن ارتعاشی در دو حالت ارتعاشی و بدون ارتعاش و اثر آن بر خواص فیزیکی خاک. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۱(۱): ۱۴۴– ۱۲۷.

طباطبائی کلور ر. و کیانی غ. ۱۳۸۵. خاک‌ورزی در کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات فراغی. گرگان. ایران.

طباطبائی کلور ر. و کیانی غ. ۱۳۹۰. بررسی عوامل کاری تیغه‌های روتوتیلر در عملیات خاک‌ورزی باغات و شالیزارها. نشریه ماشین‌های کشاورزی. ۱(۱): ۴۰- ۳۴.

Ahmadi, H., and K. Mollazade. 2009. Effect of Plowing Depth and Soil Moisture Content on Reduced Secondary Tillage. Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal. Manuscript MES 1195, Vol. XI.

Arvidsson, J., and E. Bolenius. 2006. Effects of soil water content during primary tillage-laser measurements of soil surface changes. Soil and Tillage Research 90: 222-229.

Chang, C., and C.W. Lindwall. 1990. Comparison of the Effect of Long Term Tillage and Crop Rotation on Physical Properties of a Soil. Canadian Agriculture Engineering 32: 53-55.

Fattah, H.A., and S.K. Upadhyaya. 1996. Effect of soil crust and soil compaction on infiltration in a Yolo loam soil. Trans. of the ASAE 39(1): 79-84.

Malhi, S.S., R. Lemke, Z.H. Wang, S. Baldev, and S. Chhabra. 2006. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. Soil and Tillage Research 90: 171-183.

Nasr, H.M., and F. Selles. 1995. Seedling emergence as influenced by aggrigate size, bulk density and penetration resistance of the seedbed. Soil and Tillage Research 34: 61-67.

Sakai, K., S.K. Upadhyaya, and M. Sime. 1992. Variability of a double ring infiltration test. Trans. of the ASAE 35(4): 1221-1226.