

پیش‌بینی تأثیر کود دامی و تردد نایر تراکتور بر تراکم خاک رسی با استفاده از شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه

کامل قادرنژاد^۱، غلامحسین شاهقلی^{۲*} و عارف مردانی کرانی^۳

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

چکیده

یکی از راه‌های کاهش تراکم خاک، اضافه کردن کودهای آلی و مدیریت تردد در زمین‌های کشاورزی است. در این تحقیق، کود دامی بر مبنای صفر، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ تن در هکتار با خاک رسی مخلوط شد. پس از گذشت ۶ ماه (شهریور تا اسفندماه)، در چهار سطح تردد ۱، ۶، ۱۱ و ۱۶ و در سه سطح رطوبت ۸، ۱۱ و ۱۴ درصد در سه عمق ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری، تراکم خاک آزمایش شد. آزمایش‌ها در انباره خاک دانشگاه ارومیه زیر چرخ 220/65 R 21 تراکتور با استفاده از آزمونگر تک‌چرخ با بار ثابت ۴ کیلونیوتن، فشار باد تایر برابر ۱۱۰ کیلو پاسکال و سرعت پیشروی ۲/۸۸ کیلومتر بر ساعت، بررسی شد. در تیمار ۹۰ تن کود دامی بر هکتار، نسبت به تیمار بدون کود، میزان کاهش جرم مخصوص و نشست خاک به ترتیب ۱۴/۷ و ۶/۹۴ درصد اندازه‌گیری شد. با افزایش تعداد تردد از ۱ به ۱۶ و افزایش رطوبت از ۸ به ۱۴ درصد، جرم مخصوص ۷/۲۱ و ۷/۹۲ درصد افزایش نشان یافته است. برای مدل‌سازی، از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP-ANN)، با ۶ نورون در لایه پنهان با تابع انتقال سیگموئیدی و تابع انتقال خطی برای نورون خروجی، استفاده شد. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل و نتایج تجربی نشان‌دهنده ضریب همبستگی ۰/۹۹ بین این مقادیر است. مقدار میانگین مربعات خطای مدل (MSE) و درصد میانگین مطلق خطای سیستم (MAPE) به ترتیب ۰/۱۱۹۰۷۱ و ۰/۰۰۰۹۶۴۱ به دست آمد که نشان از دقت بالای مدل شبکه عصبی در تخمین مقادیر تراکم خاک دارد.

واژه‌های کلیدی

آزمونگر تک چرخ، استوانه نمونه‌برداری، انباره خاک، مدل‌سازی

مقدمه

می‌دهد و نیاز به کود و هزینه‌های تولید را بالا می‌برد. پیامدهای زیان‌بار بعدی به صورت کاهش رشد گیاه به دلیل میزان کمتر مواد آلی در دسترس در محیط کشت، کاهش چرخه مواد مغذی و مواد معدنی، کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و افزایش تخریب خاک بر اثر تردد ماشین‌ها نمایان می‌شود (Raper, 2005). بنا بر گزارش‌های اخیر، ۱۵ میلیون هکتار از زمین‌های شرق و مرکز اروپا دارای تراکم متوسط و ۳۶ میلیون هکتار دارای تراکم بالایی هستند (Ferrara et al., 2015). جرم مخصوص

گسترش استفاده از تراکتور و ماشین‌های کشاورزی موجب تراکم خاک می‌شود که یکی از دلایل عمده تخریب خاک برای تولید بهتر محصولات کشاورزی است. تراکم ناشی از خاک‌ورزی و تردد ماشین‌آلات، ساختمان منافذ و خصوصیات خاک‌های کشاورزی را تغییر می‌دهد. تراکم سبب افزایش استحکام یا مقاومت مکانیکی خاک می‌شود، حاصلخیزی خاک را بر اثر کاهش اندوخته مواد مغذی و مقدار رطوبت در دسترس گیاه کاهش

وجود دارد. از عوامل تأثیرگذار بر تراکم‌پذیری خاک‌ها، رطوبت و مقدار مواد آلی است. میزان رطوبت یکی از فاکتورهای مهم در تراکم شناخته شده است (Mosaddeghi *et al.*, 2000). راهکارهای مقابله با تراکم شامل کنترل رطوبت خاک در موقع خاک‌ورزی، کنترل تردد وسایط نقلیه روی خاک، کاهش وزن و فشار تماسی وسایط نقلیه با خاک و تغییر ساختمان خاک با اضافه کردن ماده آلی است. سه روش اول با روش‌های معمولی کشت و کار توأم است و اغلب وقت‌گیر و غیر مؤثر هستند. ولی اضافه کردن مواد آلی، علاوه بر کاهش تراکم‌پذیری خاک، آثار متعدد مفید دیگری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک دارد (Ohu *et al.*, 1994). مواد آلی خاک از دو راه تراکم‌پذیری خاک را کاهش می‌دهند: یکی افزایش پایداری ساختمان خاک و دیگری افزایش خاصیت الاستیسیته خاک. خاک در حالت اخیر مانند بالشتک در مقابل نیروی وارده عمل می‌کند. مواد آلی همچنین دامنه رطوبتی مناسب را برای تردد ماشین‌آلات افزایش می‌دهد (Ekwue & Stone, 1995). کود دامی باعث تقویت پیوندهای داخلی و خارجی خاکدانه‌ها (تقویت پیوستگی)، افزایش قابلیت ارتجاعی خاک، کاهش چگالی ظاهری خاک (پوک‌کنندگی)، تغییر در اصطکاک داخلی و ایجاد نرم‌کنندگی در خاک می‌شود؛ خاصیت ارتجاعی کود از انتقال تنش‌ها به خاک زیرسطحی جلوگیری می‌کند (Söane, 1990). بنابراین، کود مانند ضربه‌گیر در مراحل تردد ماشین‌آلات در سطوح مزرعه عمل می‌کند و به طور قابل توجهی تراکم خاک را کاهش می‌دهد (Hamza & Anderson, 2005). به طور کلی، مواد آلی موجب مقاومت بیشتر خاک به تراکم می‌شود (O'Sullivan, 1992). اوهیو و همکاران (Ohu *et al.*, 1994)

ظاهری خاک، نشست سطحی خاک و مقاومت به نفوذ خاک (شاخص مخروط خاک) معمولاً به عنوان مشخصه‌ای از تراکم خاک به کار گرفته می‌شود (Mosaddeghi *et al.*, 2000). تراکم خاک باعث ایجاد حساسیت بیش از حد گیاه به خشکی، تهویه ناکافی، کاهش جذب آب و عناصر غذایی، رشد غیریکنواخت گیاهان، گند شدن جوانه‌زنی، رشد ریشه‌ای بدشکل و ضعیف و سرانجام کاهش محصول می‌گردد. بررسی تراکم و فشردگی خاک‌های زراعی به دلیل تأثیر منفی آن در میزان رشد و تولید محصول اهمیت زیادی دارد، به طوری که فشردگی خاک می‌تواند عملکرد محصولات را تا ۱۰ درصد کاهش دهد و با تخریب ساختمان خاک و کاهش جریان آب در داخل خاک، کیفیت آن را نیز پایین آورد (Shahgholi & Abuali, 2015). تراکم خاک بیماری‌های ریشه، مانند پوسیدگی ریشه، را به دلیل کاهش زهکشی و فراهم شدن شرایط نامطلوب آب و خاک تشدید می‌کند (Allmaras *et al.*, 1998). طبق تحقیقات کورجنلوما و همکاران (Kurjenluoma *et al.*, 2009)، در حرکت تایر در شرایط غیر جاده‌ای (زمین کشاورزی)، مقاومت غلتشی حاصل از برهمکنش خاک و تایر به تراکم عمودی و جابه‌جایی افقی خاک می‌انجامد که در نهایت باعث افزایش نشست خاک و تراکم خاک می‌شود. میزان تراکم خاک به نوع خاک، درصد رطوبت، تعداد تردد و فشار تماسی تایر با سطح خاک بستگی دارد (Raghavan *et al.*, 1977). در این مورد در سراسر جهان تحقیقات زیادی شده تا میزان تأثیر تردد وسایل نقلیه بر کاهش محصول در زمین کشاورزی محاسبه شود. نتایج این تحقیقات متغیر بوده است ولی بی‌تردید بین تردد زیاد ادوات کشاورزی و کاهش محصولات رابطه‌ای مستقیم

روش‌های مدل‌سازی عددی و تحلیل ابعادی برای توضیح رفتار مکانیکی و تراکم خاک‌های کشاورزی تحت تأثیر تردد ماشین‌های کشاورزی طراحی و توسعه داده شده‌اند که با در نظر گرفتن تعداد محدودی از عوامل تأثیرگذار در گستره‌های محدود، به مدل‌سازی و پیش‌بینی دست زده‌اند. مشکل عمده این مدل‌ها، دشوار بودن تعریف و پیاده‌سازی و پیچیدگی‌های بیش از حد است؛ روش‌های محاسباتی و مدل‌های ساده عموماً به تخمین نادرست می‌انجامند. هرگاه روابط بین پارامترهای مستقل و وابسته پیچیده باشد، بهترین انتخاب، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی هوشمند است.

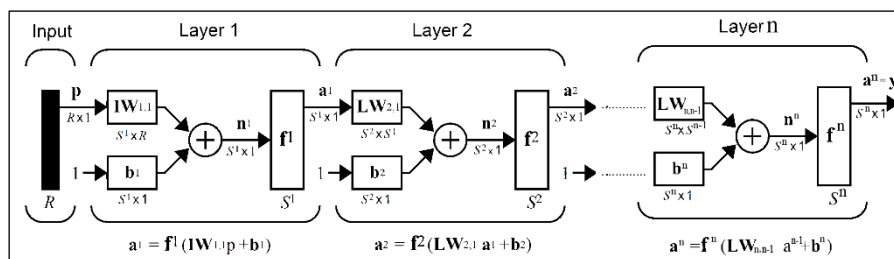
شبکه‌های عصبی مصنوعی با الهام از شبکه عصبی زیستی و از واحدهای ساده محاسباتی متصل به هم به نام نورون ساخته شده‌اند که به صورت موازی با یکدیگر کار می‌کنند (Anderson & Rosenfeld, 1993; Hewitson and Crane, 1994). مفهوم نورون عصبی را برای اولین بار در سال ۱۹۴۳ مک کولاک و پیتس^۱ معرفی کردند. معماری و ساختار اولیه شبکه‌های عصبی در منابع مختلف پوشش داده شده است (McClelland & Rumelhart, 1989). در این شبکه‌ها، مقادیر ورودی و خروجی بدون داشتن هرگونه دانش یا فرضیه از ماهیت ذاتی مسأله مورد بررسی، با آموزش به یکدیگر مربوط می‌شوند (Lam & Pupp, 1993). شبکه‌های چندلایه بسیار قدرتمند هستند، برای مثال، شبکه‌ای دولایه با لایه اول سیگموئید و لایه دوم خطی می‌تواند هر تابع دلخواهی را با تعداد نقاط محدود ناپیوستگی تخمین بزند (Demuth & Beale, 1993). در شبکه عصبی چندلایه (MLP)^۲، هر لایه دارای ماتریس وزن، بردارهای بایاس و خروجی‌های

گزارش کردند که کاربرد مواد آلی سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری، مقاومت نفوذ و مقاومت برشی خاک می‌شود و به طور کلی تراکم‌پذیری خاک با افزودن مواد آلی، به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این تأثیر، به خصوص در خاک‌های سنگین (رسی) که عملیات کشاورزی در آنها در رطوبت‌های بالا و پایین مشکل است، مدیریت خاک را آسان خواهد کرد. افزایش رطوبت تا حدی مشخص سبب افزایش تراکم‌پذیری می‌شود زیرا مواد آلی حدود پایداری خاک را افزایش می‌دهند و محدوده رطوبتی خاک را که در آن ماشین‌های کشاورزی می‌توانند بدون ایجاد تراکم در خاک کار کنند افزایش می‌دهد (Ohu *et al.*, 1994). در خاک دارای ۷ درصد ماده آلی، رطوبت ۵۲/۲ درصد وزنی، حداکثر رطوبت مطلوب برای اجرای عملیات خاک‌ورزی است اما همان خاک اگر ماده آلی نداشته باشد، در رطوبت ۲۷/۷ درصد وزنی، نسبت به تراکم حساس می‌شود (Mosaddeghi *et al.*, 2000).

شون (Söane, 1990) هر سال با اضافه کردن کود به مزرعه به میزان صفر، ۴۰ و ۸۰ تن در هکتار به مدت سه سال و اعمال تردد مزرعه‌ای با فشار تماسی حدود ۲۵۰ کیلوپاسکال نتیجه گرفت که شاخص مخروط در تیمارهای کودی نسبت به تیمار شاهد بسیار کمتر است.

تراکم خاک ناشی از تردد ماشین فرایندی است بسیار پیچیده که تعداد زیادی عوامل در آن دخیل است. به همین دلیل مدل‌های ریاضی فراوانی برای کمک به فهم این پدیده توسعه داده شده‌اند (Carman, 2008). دانش علمی فراوانی در این زمینه جمع‌آوری شده‌اند، اما این اطلاعات برای تصمیم‌گیری‌های مزرعه‌ای بی‌نتیجه‌اند.

مختص به خود است و خروجی هریک از لایه‌های میانی به‌عنوان ورودی لایه بعدی به کار می‌رود. شکل ۱، نمایشی از ساختار شبکه عصبی مصنوعی با R^1 ورودی، S^n نورون در لایه n ام را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمایشی از یک شبکه عصبی چندلایه با R^1 ورودی، S^n نورون در لایه n م

Fig. 1- A presentation of a multilayer artificial neural network with input R^1 and S^n neurons in the n^{th} layer

عصبی بررسی گردید؛ ضریب تعیین برای مدل شبکه عصبی و رگرسیون به ترتیب $R^2 = 0.95$ و $R^2 = 0.97$ به دست آمد (Günaydın, 2009). گروهی از محققان امکان برآورد سریع هدایت آبی خاک اشباع توسط شبکه عصبی مصنوعی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که در این مورد شبکه‌های عصبی مصنوعی، در مقایسه با روابط رگرسیونی، عملکرد بهتری دارند (Navabian et al., 2004).

چارمن (Çarman, 2008) با استفاده از توانایی‌های سیستم‌های فازی، تراکم خاک زیر تایر را با استفاده از آزمونگر تک‌چرخ در محیط انبارهای خاک پیش بینی کرد. در این تحقیق در یک خاک رسی- لومی، از دو نوع تایر متفاوت با بارهای محوری، فشار باد تایر و سرعت‌های مختلف پیشروی استفاده شد.

بررسی منابع نشان می‌دهد که مطالعات مختلفی در زمینه تراکم خاک صورت گرفته است ولی راهکارهای عملی برای کاهش تراکم خاک اتخاذ نشده است. یکی از موارد کاربردی و عملی در کاهش تراکم خاک‌های کشاورزی، استفاده از کود دامی است. هدف از این تحقیق، بررسی اثر کود دامی بر تراکم و نشست خاک در انبار خاک زیر چرخ تراکتور با استفاده از توانایی‌های یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه به‌عنوان یک رویکرد محاسباتی

در تحقیقی، ماکزیمم جرم مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک از نظر تراکم بر اساس رطوبت حد سیلان، رطوبت حد خمیرایی، شاخص خمیرایی، ذرات کوچک‌تر از ۷۵ میکرون و ذرات بزرگ‌تر از ۷۵ میکرون توسط شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد. ضریب تعیین (R^2) به ترتیب ۰/۹۴۷۸ و ۰/۹۴۶۳ در پیش‌بینی جرم مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک به دست آمد که نشان‌دهنده توانایی بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی پارامترهای تراکم خاک با دقت بالاست (Tenpe & Suneet, 2013). در مدل‌سازی رفتار مکانیکی خاک غیراشباع با شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه پیش‌خور با آموزش از طریق الگوریتم ژنتیک اعلام شد که تقسیم داده‌ها به بخش‌های داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و ارزیابی در افزایش کارایی و عملکرد شبکه عصبی بااهمیت است، مقایسه نتایج به دست آمده از مدل عصبی نشان می‌دهد که ضریب تعیین $R^2 = 0.92$ نشان‌دهنده دقت بالای شبکه در پیش‌بینی پارامترها نسبت به روش‌های مدل‌سازی کلاسیک است (Johari et al., 2011). در تحقیقی، پارامترهای فشردگی (حداکثر جرم مخصوص خشک خاک و مقدار رطوبت بهینه) خاک‌های مختلف با روش‌های آماری و مدل شبکه

مهیامی‌کنند. در این تحقیق چرخ تراکتور گلدونی 21 R 220/65 ساخت شرکت گودیر با بار ثابت ۴ کیلونیوتن و فشار باد تایلر ۱۱۰ کیلوپاسکال، بر پایه پیشنهاد شرکت سازنده، به کار گرفته شد. در خلال آزمایش‌ها، سرعت پیشروی ۰/۸ متر بر ثانیه نگه داشته شد. خاک داخل انباره (بدون اضافه کردن مواد آلی) متشکل بود از ۴۳/۵ درصد رس، ۲۲/۲ درصد سیلت و ۳۴/۳ درصد شن (شکل ۲). نکته‌ای که باید متذکر شد این است که کود اضافه شده به عنوان ماده آلی خالص در نظر گرفته شد و با توجه به این نکته بافت خاک در مواردی که به آن کود دامی اضافه شد مجدداً تعیین نشد.

هوشمند در شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیستم‌های بیولوژیک است.

مواد و روش‌ها

انباره خاک موجود در گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه، که در این تحقیق از آن استفاده شد، ۲۴ متر درازا، ۲ متر پهنا و یک متر عمق داشت (Mardani *et al.*, 2010) که شرایط مناسب را برای آزمایش‌ها با حذف اثرهای مرزی فراهم کرد. شاسی حامل از دو قسمت تشکیل شده است که قسمت اول وظیفه حمل وزن حامل را دارد و بلبرینگ‌های چرخ متصل به آن قابلیت حرکت مجموعه حامل را درون ریل



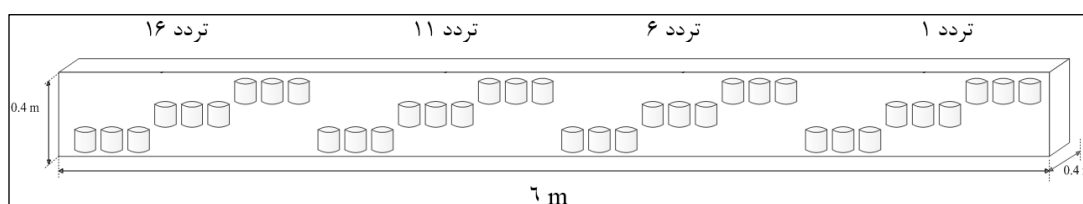
شکل ۲- نمایی از مجموعه انباره خاک و آزمونگر تک‌چرخ
Fig. 2- Soil bin facility and single-wheel tester

۶۰ و ۹۰ تن بر هکتار با خاک مخلوط شد. با اضافه کردن مقداری آب، مخلوط به مدت ۶ ماه (شهریور تا اسفندماه) رها شد. برای جلوگیری از تبخیر آب، روی توده‌ها با پلاستیک پوشانده شد. برای رسیدن به رطوبت از پیش تعیین شده، قبل از هر آزمایش مقداری معین آب به مخلوط خاک و کود پاشیده شد. در این پژوهش، نمونه‌ها در سه سطح رطوبت ۸، ۱۱ و ۱۴ درصد تهیه شدند. جرم مخصوص ظاهری خاک، که برابر است با وزن خشک خاک تقسیم بر

برای دستیابی به رطوبت بحرانی، از آزمون استاندارد پروکتور (Proctor) استفاده شد (Davis, 2008; Anon, 2007) که مقدار آن ۱۷ درصد به دست آمد. کود آلی مورد استفاده در آزمایش‌های این تحقیق از محل دپو کود تهیه شد که چند سال در زمین‌های زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انباشته و مراحل فرآوری آنها طی شده بود. جرم ویژه خشک کود ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری شد. کود دامی با نسبت‌های صفر، ۴۵،

هر گروه از خاک اختلاقی در گروه‌های مجاور ایجاد نشود. با استوانه‌ها از عمق‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت. در هنگام نمونه‌برداری دقت شد که خط وسط تایر منطبق بر خط نمونه‌برداری استوانه‌ها باشد. آزمایش‌ها در سه تکرار اجرا شد. تعداد تردهای ۱، ۶، ۱۱ و ۱۶ برای هر نمونه در نظر گرفته شد (شکل ۳).

حجم آن، با استوانه‌های نمونه‌برداری اندازه‌گیری و تغییرات بعد از عبور تایر تعیین شد. در این مرحله از آزمایش از ۳۶ استوانه فلزی استاندارد به قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر استفاده شد. استوانه‌ها به صورت گروه‌های سه‌تایی پشت سر هم که به عنوان سه تکرار داخل پروفیل قرار داده شدند؛ فاصله هر گروه از استوانه‌ها از یکدیگر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد تا هنگام خارج کردن



شکل ۳- شماتیک نحوه قرارگیری استوانه‌های نمونه‌برداری در داخل پروفیل خاک

Fig. 3- A schematic of placement of cylindrical cores in soil profile

آن، نمونه‌های خشک با ترازوی دیجیتالی (Kern & Sohn GmbH, Germany) با دقت صدم گرم اندازه‌گیری و جرم مخصوص ظاهری خشک تعیین شد. با استفاده از صفحه پلکسی‌گلاس مشبک (که به ازای هر دو سانتی‌متر سوراخ کاری شده بود) و کولیس دیجیتال عمق شیار رد اثر تایر اندازه‌گیری شد. این صفحه روی مسیر رد تایر قرار داده شد و با استفاده از کولیس دیجیتال بیشترین عمق رد اثر با میانگین‌گیری از سه نقطه اندازه‌گیری شد (شکل ۴).

بعد از تردد اول تایر، سه استوانه از عمق‌های مختلف به عنوان سه تکرار برداشته و به عنوان جرم مخصوص میانگین تردد اول در نظر گرفته شدند. بدین ترتیب برای تردهای بعدی نیز جرم مخصوص به کمک استوانه‌های نمونه‌برداری تعیین شد. خاک داخل استوانه‌های نمونه‌برداری برای هر تیمار در جعبه پلاستیکی قرار داده شد. پس از خارج کردن استوانه‌های نمونه‌برداری از داخل پروفیل، خاک درون نمونه‌ها در داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. پس از



شکل ۴- صفحه پلکسی‌گلاس مشبک و کولیس دیجیتال

Fig. 4- A digital-vernier-caliper and a plexiglass plate

مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی

برای طراحی مدل شبکه‌ی عصبی به منظور پیش‌بینی مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک و نشست خاک، از جعبه ابزار شبکه‌ی عصبی مصنوعی نرم‌افزار MATLAB R2014a استفاده شد. اولین قدم در پی‌ریزی شبکه‌ی عصبی، تعیین داده‌های فضای ورودی و هدف است. در این تحقیق، پارامترهای میزان کود دامی، رطوبت خاک، تعداد تردد و عمق به عنوان متغیرهای مستقل و ورودی شبکه و مقدار جرم مخصوص و نشست خاک اندازه‌گیری شده در هر تیمار به عنوان هدف شبکه در نظر گرفته شد. مهم‌ترین مرحله‌ی طراحی شبکه، تعیین ساختار شبکه‌ی عصبی و اولین قدم در تعیین ساختار شبکه، تعیین نوع شبکه است. در این تحقیق، برای پیش‌بینی مقادیر جرم مخصوص ظاهری و نشست خاک، از شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه استفاده شد که به دلیل توانایی فراوان در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و غیرخطی، یکی از متداول‌ترین انواع شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی هستند. شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه تشکیل شده است: لایه‌ی ورودی، لایه‌ی خروجی و لایه‌ی یا لایه‌های مخفی؛ خروجی لایه‌ی اول، بردار ورودی لایه‌ی دوم و به همین ترتیب خروجی لایه‌ی دوم، بردار ورودی لایه سوم را تشکیل می‌دهد. خروجی‌های لایه‌ی دوم پاسخ واقعی شبکه را نشان می‌دهند (Chelani et al., 2002). مسأله‌ی اصلی در طراحی این شبکه‌ها، تعیین تعداد مناسب لایه‌های پنهان و تعداد نورون‌های پنهان در لایه‌های میانی است. هر شبکه‌ی عصبی مصنوعی می‌تواند دو یا سه لایه‌ی مخفی داشته باشد. به طور کلی، هرچه تعداد لایه‌ها بیشتر باشد، سیستم توان درک پیچیدگی‌های بیشتری را دارد، هرچند زیاد بودن تعداد لایه‌ها دقت پیش‌گویی را نیز کم می‌کند

و ممکن است مانع همگرا شدن شبکه شود. در این مورد ثابت شده است که شبکه‌های عصبی با یک لایه‌ی پنهان با تابع سیگموئید در لایه‌ی میانی و تابع خطی در لایه‌ی خروجی قادر به تقریب تمامی توابع موردنظر با هر درجه تقریب خواهد بود، مشروط بر اینکه به اندازه‌ی کافی نورون در لایه‌ی پنهان موجود باشد (Hecht-Nielsen, 1987). این قضیه به تقریب‌ساز جهانی معروف است (Menhaj, 2005). بر همین اساس، در این تحقیق برای پیش‌بینی مقادیر جرم مخصوص ظاهری خاک، یک شبکه پرسپترون با یک لایه‌ی مخفی با تابع سیگموئید و تابع انتقال خطی برای نورون خروجی در نظر گرفته شد.

پارامتر دیگر، تعداد نورون‌ها در هر لایه است؛ نورون‌های لایه‌های میانی در شبکه به عنوان تشخیص‌دهنده‌ی الگو عمل می‌کنند (Benjamin & Cornell, 2014). بنابراین، تعداد نورون‌ها در لایه‌ی پنهان نقش عمده‌ای در قدرت شبکه دارد. کم بودن تعداد نورون‌ها قدرت تجزیه و تحلیل و به دنبال آن دقت عددی پیش‌گویی را کاهش می‌دهد (Haykin, 2004) و شبکه نمی‌تواند نگاهشت غیرخطی بین ورودی و خروجی را با دقت لازم منعکس کند. از سوی دیگر، بیش از حد بودن تعداد نورون‌های لایه‌های میانی منجر به تولید نگاهشتی غیرخطی و پیچیده می‌شود که در این حالت سیستم داده‌های آموزشی را به‌جای تجزیه و تحلیل به خوبی یاد می‌گیرد (حفظ می‌کند)، اما در مقابل داده‌های جدید عملکرد مناسبی ندارد و در واقع قدرت تعمیم خود را از دست می‌دهد. برای غلبه کردن بر این مشکل، باید تعداد نورون‌ها به گونه‌ای انتخاب شود که شبکه قدرت کافی و نه بیش از حد، برای تولید نگاهشت بین ورودی و خروجی داشته باشد. در این پژوهش، تعداد مناسب نورون‌های لایه‌ی پنهان برای

متخصص شدن شبکه و بروز پدیده حفظ کردن یا قرار گرفتن در مینیمم‌های موضعی در رسیدن به خطای حداقل و کاهش قدرت تعمیم شبکه است. به این منظور، ۱۵ درصد از داده‌ها برای اعتبارسنجی به کار گرفته شدند. این داده‌ها در واقع بخشی از داده‌های آموزشی هستند. بدین ترتیب که حین آموزش شبکه در بازه‌های منظم از روند بهینه‌سازی داده‌های حاصل از شبکه با استفاده از داده‌های اعتبارسنجی بررسی می‌شوند. در این مورد، آموزش شبکه تا زمانی ادامه می‌یابد که خطای بهینه‌سازی داده‌های ارزیابی شروع به افزایش کند؛ به محض اینکه این خطا تا میزان و تکرار مشخصی افزایش یابد، آموزش شبکه متوقف می‌شود (Beale et al., 2010). ۱۵ درصد داده‌های باقیمانده داده‌های آزمایشی هستند و برای آزمون عملکرد شبکه پس از آموزش به کار می‌روند. در خلال آموزش شبکه، از داده‌های آزمایشی استفاده نمی‌شود ولی این داده‌ها برای مقایسه میزان خطا به کار می‌روند. داده‌ها برای سه دسته فوق به صورت تصادفی تقسیم‌بندی شدند زیرا در این حالت داده‌های هر دسته از قسمت‌های مختلف مجموعه داده‌ها انتخاب می‌شوند و تمام خصوصیات را در بر می‌گیرند ضمن اینکه از میل کردن خصوصیات داده‌های هر دسته به سمت مجموعه‌ای خاص از داده‌ها جلوگیری می‌شود. الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت روش پیشرفته غیرخطی است که به جای روش گرادیان نزولی و به منظور بهبود سرعت و عملکرد عمومی پس انتشار خطا استفاده می‌شود. در این پژوهش، الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت که برای آموزش شبکه طراحی شده، به کار گرفته شد اما پس از ۶۱ تکرار آموزشی و به دلیل افزایش خطای داده‌های ارزیابی از خروجی شبکه، آموزش شبکه متوقف شد.

دستیابی به بهترین پیش‌بینی‌ها و کمترین میزان خطا در شبکه بر مبنای روش آزمون و خطا و برابر پنج نرون و با تابع انتقال سیگموئیدی تعیین شد. برای بررسی عملکرد شبکه، از میانگین مربعات خطا^۱ (MSE)، به عنوان معیاری برای سنجش دقت نتایج شبکه عصبی، استفاده شد (رابطه ۱). معمولاً هرچه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق^۲ باشد، مقدار میانگین مربعات خطا کمتر می‌شود. قابلیت پیش‌بینی سیستم توسعه داده شده با درصد میانگین مطلق خطای سیستم^۳ (MAPE)، که نشان‌دهنده انحراف بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی شده است، از رابطه ۲ محاسبه شد. در این دو رابطه، N تعداد مشاهدات، $Y_{measured}$ مقادیر اندازه‌گیری شده و $Y_{predicted}$ مقدار پیش‌بینی شده است.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Y_{measured} - Y_{predicted})^2 \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^n \frac{Y_{measured} - Y_{predicted}}{Y_{measured}} \quad (2)$$

آموزش شبکه

برای آموزش شبکه عصبی، داده‌ها به سه دسته تقسیم شدند: داده‌های آموزشی^۴، داده‌های اعتبارسنجی یا صحنه‌گذاری^۵ و داده‌های آزمایشی^۶. داده‌های آموزشی شامل ۷۰ درصد از داده‌هاست و در فرایند آموزش برای محاسبه گرادیان و بهینه‌سازی پارامترهای آزاد به کار گرفته می‌شوند. در روند آموزش مشاهده شد که با افزایش تعداد داده‌های آموزشی به بیش از ۷۰ درصد، رفته‌رفته از میزان دقت شبکه کاسته و بر میزان خطا در داده‌های ارزیابی و اعتبارسنجی افزوده می‌شود. از این رو ۷۰ درصد از داده‌ها برای فضای آموزشی در نظر گرفته شد. در این تحقیق، برای جلوگیری از

1- Mean squared error

3- Mean absolute percentage error

5- Validation data

2- Fit

4- Training data

6- Test data

نتایج و بحث

افزایش تردد از ۱ به ۶، ۶ به ۱۱ و ۱۱ به ۱۶، جرم مخصوص ظاهری به ترتیب ۵۱/۱۳، ۳۲/۱۳ و ۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب (به ترتیب ۳/۱۷، ۵/۱۶ و ۷/۲۱ درصد) افزایش می‌یابد. پاتل و مانی (Patel & Mani, 2011) گزارش می‌دهند که بیشترین تراکم در بیشترین تعداد تردد به وجود می‌آید.

در این تحقیق دیده شد که با افزایش رطوبت خاک، جرم مخصوص ظاهری آن در اثر تردد افزایش می‌یابد. در رطوبت‌های ۸، ۱۱ و ۱۴ درصد میانگین جرم مخصوص ظاهری به ترتیب ۱۵۷۸/۸۱، ۱۶۶۹/۳۴ و ۱۷۷۶/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب است. با افزایش رطوبت خاک از ۸ به ۱۱ و ۱۱ به ۱۴ درصد، مقدار جرم مخصوص ظاهری به ترتیب ۵/۷۳ و ۷/۹۲ درصد افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد با نزدیک شدن به رطوبت بحرانی، تراکم افزایش می‌یابد و بیشینه تراکم در رطوبت ۱۴ درصد، که به رطوبت بهینه پراکتور نزدیک است، به وجود می‌آید. با افزایش عمق، تراکم خاک کاهش می‌یابد به این دلیل که تنش خاک با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد. بیشترین جرم مخصوص خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متری ۱۷۸۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری شده است و با افزایش عمق به ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر، جرم مخصوص به ۱۶۳۹/۵۹ و ۱۶۰۴/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب رسیده و به مفهومی دیگر کاهش پیدا کرده است. نشان داده شده که با افزایش عمق از ۱۰ به ۲۰ و ۲۰ به ۳۰ سانتی‌متر، جرم مخصوص به ترتیب ۷/۹۰ و ۹/۸۶ درصد کاهش پیدا کرده است. بالبونا و همکاران (Balbuena et al., 2000) نشان دادند که بیشترین تراکم خاک به طور معمول در مسیر تردد و در لایه‌های بالایی مشاهده می‌شود؛ این نتیجه‌گیری با نتایج به دست آمده از این تحقیق همخوانی دارد.

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر مقدار کود آلی، مقدار رطوبت، تعداد تردد و عمق بر تغییرات جرم مخصوص ظاهری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). اثر متقابل کود آلی با عمق در سطح ۵ درصد و اثر چندگانه تعداد تردد با عمق و رطوبت در سطح ۱ درصد معنی‌دار است؛ اگرچه اثر متقابل کود با رطوبت، رطوبت با تعداد تردد و رطوبت با عمق معنی‌دار نیست. جدول ۲، مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار کود دامی، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. در تیمار شاهد (بدون اختلاط کود)، جرم مخصوص ۱۸۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. در بالاترین مقدار به کارگیری اختلاط کود، ۹۰ تن بر هکتار، کمترین مقدار جرم مخصوص ۱۵۴۶/۷ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده است و اختلاف آن در مقایسه با وقتی کود به میزان صفر، ۴۵ و ۶۰ تن بر هکتار اضافه می‌شود، معنی‌داری است. جرم مخصوص ظاهری در ۹۰، ۶۰ و ۴۵ تن بر هکتار نسبت به شاهد به ترتیب ۱۴/۷، ۹/۷ و ۶/۳ درصد کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که اضافه کردن ۴۵ تن کود دامی به ازای هر هکتار تراکم خاک را کاهش می‌دهد. استون و اکو (Stone & Ekwue, 1993) به این نتیجه دست یافتند که اختلاط کود دامی حتی در کمترین مقدار ممکن، از تراکم خاک می‌کاهد. نتایج به دست آمده از تحقیقات شون (Söane, 1990) در باره تأثیر کود دامی بر تغییرات جرم مخصوص با نتایج به دست آمده از این تحقیق تطابق دارد. با افزایش تردد، جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد. ماکزیم جرم مخصوص ظاهری ۱۷۲۸/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب در تردد ۱۶ به دست آمده است. نشان داده شد که با

در این پژوهش دیده شده است که کود دامی، رطوبت و تعداد ترددها به ترتیب بر تراکم خاک تأثیرگذارند. شون و ون اور کرک (Söane & Van Ouwerkerk, 1994) نشان دادند که رطوبت خاک مهم‌ترین فاکتور بر تراکم خاک است، اگرچه نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کود دامی مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار در کاهش تراکم خاک است و حتی در رطوبت‌های بالا و در تیمارهایی که کود دامی با خاک مخلوط شده از تراکم خاک کاسته شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، کود دامی می‌تواند دامنه رطوبتی برای عملیات کشاورزی را در خاک رسی و همچنین رطوبت حد خمیری خاک را بالا برد؛ این نتیجه با نتایج به دست آمده از بررسی‌های مصدقی و همکاران (Mosaddeghi *et al.*, 2000) همخوانی دارد.

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس کود آلی، تعداد تردد، رطوبت و عمق بر جرم مخصوص ظاهری

Table 1-Analysis of variance of farmyard manure, number of passes, moisture content and depth on soil density

F-value	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Source of variation
14.2*	79842.2	11417742	143	تیمار Treatment
24437*	1370921.2	4112768.8	3	کود دامی manure
47.2*	264794.9	794384.8	3	تردد passes
251.5*	1409012.8	2818025.6	2	رطوبت Moisture
222.2*	1244784	2489568	2	عمق depth
2.7*	15624.1	93744.8	6	کود × عمق manure×depth
1.8*	10530.7	63184.5	6	کود × رطوبت manure×moisture
1.7*	9504.8	85543.3	9	کود × تردد manure×passes
0.6*	3839.4	15357.6	4	رطوبت × عمق moisture×depth
3.3*	18865.4	113194.2	6	تردد × عمق passes×depth
5.1*	6870.3	172119.3	6	تردد × رطوبت passes×moisture
1.7*	5601.72	659557.3	96	کود × تردد × رطوبت × عمق manure×passes×moisture× depth
		1613295.94	288	خطا Error
		13030737	431	کل Total

ns, **, * به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی‌دار

Note: ** = statistically significant (P < 0.01); * = statistically significant (P < 0.05); n.s = not significant

جدول ۲- مقایسه میانگین برای تأثیرات کود دامی، رطوبت، تعداد تردد و عمق بر جرم مخصوص ظاهری

Table 2- Comparison of mean effect of farmyard manure, number of passes, moisture content and depth on soil density

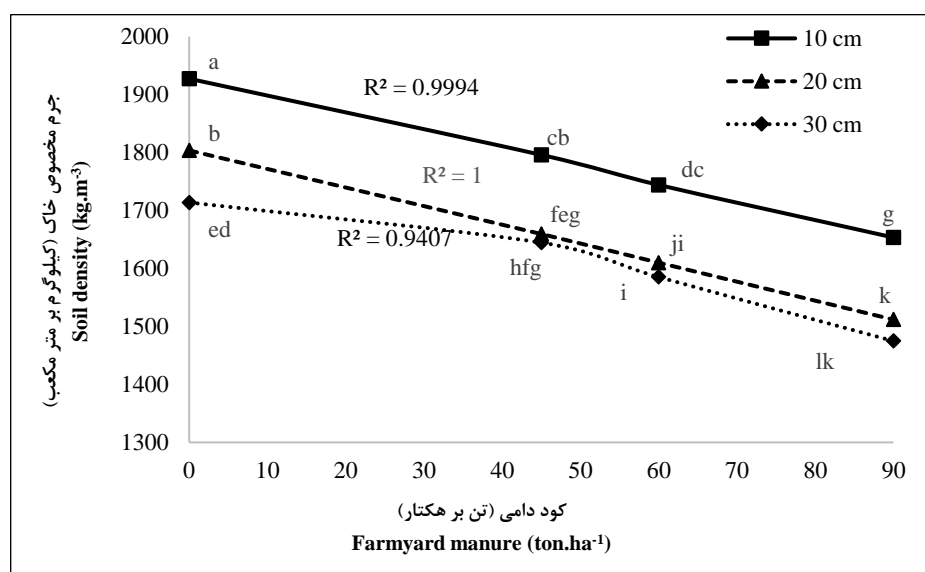
جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب) Density (kg.m ⁻³)	عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب) Density (kg.m ⁻³)	رطوبت (درصد) Moisture (%)	جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب) Density (kg.m ⁻³)	تعداد تردد number of passes	جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب) Density (kg.m ⁻³)	کود دامی (تن بر هکتار) farmyard manure (ton.ha ⁻¹)
1780.30 ^a	10	157881 ^c	8	1612.19 ^d	1	1815 ^a	0
1639.59 ^b	20	166934 ^b	11	1663.32 ^c	6	1700 ^b	45
1604.67 ^c	30	1776.41 ^a	14	1695.45 ^b	11	1637.5 ^c	60
				1728.44 ^a	16	1546.7 ^d	90

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار آماری است.

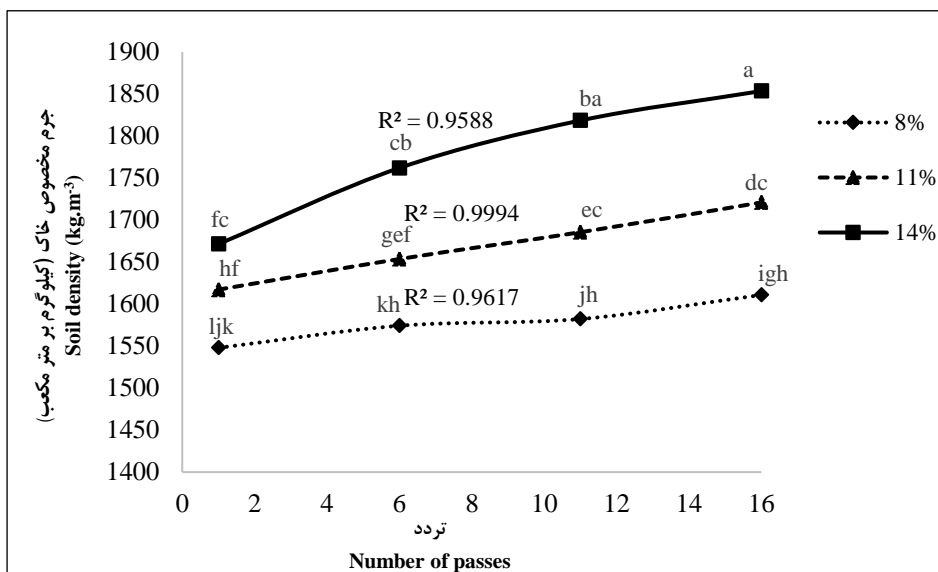
Note: different letters show statistically significant difference between treatments

رطوبت‌های ۱۱ و ۱۴ درصد با افزایش تردد از ۱ به ۱۱ و ۱۶ جرم مخصوص ظاهری خاک اختلاف معنی داری وجود دارد. این نتایج نشانگر این نکته است که با افزایش رطوبت مقاومت خاک نسبت به تراکم خاک کاهش می‌یابد و در نتیجه تراکم خاک با افزایش تردد افزایش می‌یابد. شکل ۷، نمودار اثر متقابل تردد در عمق را نشان می‌دهد با توجه به نتایج به دست آمده جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق سطحی‌تر (۱۰ سانتی‌متر) خاک با افزایش تردد از ۱ به ۶ و ۱۱ به ۱۶ اختلاف معنی‌داری وجود دارد و با افزایش تردد تراکم خاک افزایش می‌یابد. ولی با افزایش تردد از ۱۱ به ۱۶ جرم مخصوص ظاهری خاک اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. ولی در عمق بیش‌تر (۱۰ سانتی‌متر) خاک بین تردد ۱، ۶ و ۱۱ جرم مخصوص ظاهری خاک اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و تنها با افزایش تردد از ۱ به ۱۶ در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک جرم مخصوص ظاهری خاک اختلاف معنی‌داری وجود دارد و این بیانگر این نکته است که تنها تردهای بیشتر می‌تواند به بخش‌های پایین‌تر خاک تنش وارد کند و باعث تراکم خاک شود.

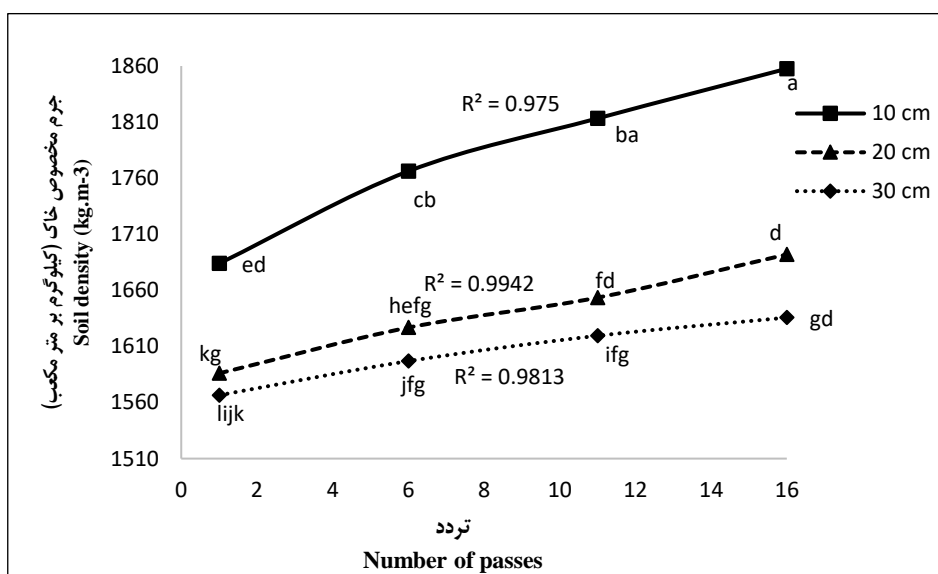
شکل‌های ۵ تا ۷ اثر متقابل کود، تعداد تردد، رطوبت و عمق را بر تراکم خاک نشان می‌دهند. در زمینه اثر متقابل کود و عمق، حداکثر جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمار بدون کود و عمق ۱۰ سانتی-متر، به میزان ۱۹۲۷/۴ کیلوگرم بر متر مکعب، به وجود آمده است، در حالی که با به کارگیری کود به میزان ۹۰ تن بر هکتار، جرم مخصوص ظاهری خاک به ۱۶۰۳/۵ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافته است. با افزایش عمق از ۱۰ به ۳۰ سانتی‌متر تراکم به ترتیب ۱۰ درصد کاهش یافته است (شکل ۵). این نتیجه با نتایج تحقیقات شون (Söane, 1990) مطابقت دارد. این محقق تأثیر کود دامی را در عمق‌های متفاوت بررسی کرد و به این نتیجه رسید که افزایش کود باعث افزایش خاصیت الاستیکی خاک می‌شود و از انتشار تنش به زیرسطحی خاک جلوگیری می‌کند. نمودار اثر متقابل تردد در رطوبت بر جرم مخصوص ظاهری خاک در شکل ۶ نشان داده شده است. در تمام سطوح تردد، با افزایش رطوبت تراکم خاک افزایش می‌یابد. در رطوبت ۸ درصد، اختلاف میانگین بین تعداد تردد بر جرم مخصوص ظاهری خاک وجود ندارد ولی در



شکل ۵- اثر متقابل کود دامی در عمق بر جرم مخصوص خاک
 Fig. 5- Mutual effect of manure and depth on soil density



شکل ۶- اثر متقابل تردد در رطوبت بر جرم مخصوص خاک
Fig. 6- Mutual effect of passes number and moisture on soil density



شکل ۷- اثر متقابل تردد در عمق بر جرم مخصوص خاک
Fig. 7- Mutual effect of passes number and depth on soil density

نشست معنی‌دار هستند ولی اثر متقابل تیمارها بر نشست خاک معنی‌دار نیست.

جدول ۴، میانگین نشست خاک را برای سه فاکتور اصلی نشان می‌دهد. با افزایش به کارگیری مقدار کود دامی، نشست خاک کاهش می‌یابد. در تیمار بدون کود، بیشترین مقدار نشست خاک به

نشست خاک دومین فاکتور برای بررسی تأثیر مقدار کود دامی، تعداد تردد تایر، رطوبت خاک و عمق اندازه‌گیری شد. جدول ۳ نتایج آنالیز واریانس را برای اثر کود دامی، تعداد تردد و رطوبت بر نشست خاک نشان می‌دهد. کود دامی در سطح ۵ درصد، رطوبت خاک و تعداد تردد در سطح ۱ درصد بر

نشست خاک دیده می‌شود. میانگین نشست خاک در رطوبت ۸ درصد برابر ۱۰/۶۲ سانتی‌متر است و با افزایش رطوبت به ۱۱ و ۱۴ درصد، مقدار نشست به ۱۲/۱۷ و ۱۳/۳۷ سانتی‌متر افزایش یافته است. با افزایش رطوبت از ۸ به ۱۴ درصد که در این مطالعه خاک رسی مورد ارزیابی قرار گرفت، نشست سطحی خاک ۲۵/۹ درصد افزایش یافته است که نشان می‌دهد خاک رسی به رطوبت حساس است و با افزایش رطوبت تمایل بیشتری به تراکم دارد.

وجود آمده و مقدار آن ۱۲/۳۸ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. با افزایش میزان به کارگیری کود دامی به ۴۵، ۶۰ و ۹۰ تن بر هکتار، نشست خاک به ترتیب به ۱۲/۲۹، ۱۲/۰۲ و ۱۱/۵۲ سانتی‌متر کاهش می‌یابد. در اولین تردد تایر، ماکزیمم نشست خاک ۱۰/۱۳ سانتی‌متر به وجود آمد و با افزایش تردد به ۱۱ و ۱۶ نشست خاک به ترتیب به ۱۱/۹۳، ۱۲/۸۳ و ۱۳/۳۳ سانتی‌متر افزایش یافت که به ترتیب ۱۷/۷۶، ۲۶/۶۵ و ۳۱/۵۸ درصد افزایش در

جدول ۳- آنالیز واریانس برای اثر کود دامی، تعداد تردد و رطوبت بر نشست خاک

Table 3- Analysis of variance of farmyard manure, number of passes and moisture on soil sinkage

F-value	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Source of variation
5.37**	10.5	493.5	47	تیمار Treatment
2.78*	5.4	16.3	3	کود دامی manure
36.46**	71.2	213.8	3	تردد passes
46.65**	91.1	182.3	2	رطوبت Moisture
0.37 ^{ns}	0.72	6.5	9	کود × تردد manure×passes
1.69 ^{ns}	3.29	19.78	6	کود × رطوبت manure×moisture
1.89 ^{ns}	3.69	22.16	6	تردد × رطوبت passes×moisture
0.93 ^{ns}	1.81	30.60	18	کود × تردد × رطوبت manure×passes×moisture
	1.95	178.6	96	خطا Error
		681.2	143	کل Total

ns, ** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی‌دار

Note: ** = statistically significant (P < 0.01); * = statistically significant (P < 0.05); ^{ns} = not significant

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر کود دامی، تعداد تردد و رطوبت بر نشست خاک

Table 4- Comparison mean effect of farmyard manure, number of passes and moisture on soil sinkage

نشست خاک (سانتی‌متر) Sinkage (cm)	رطوبت (درصد) Moisture (%)	نشست خاک (سانتی‌متر) Sinkage (cm)	تعداد تردد number of passes	نشست خاک (سانتی‌متر) sinkage (cm)	کود دامی (تن بر هکتار) manure (ton.ha ⁻¹)
10.62 ^c	8	10.13 ^d	1	12.38 ^a	0
12.17 ^b	11	11.93 ^c	6	12.29 ^b	45
13.37 ^a	14	12.83 ^b	11	12.02 ^c	60
		12.33 ^a	16	11.52 ^d	90

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار آماری است.

Note: different letters show there is statistically significant difference

مدیریتی برای تصمیم‌گیری در مورد مقدار کود دامی، تعداد تردد و رطوبت خاک در عملیات کشاورزی خاک رسی باشد؛ در جدول ۵ آنالیز واریانس از مدل رگرسیون چندگانه برای جرم مخصوص و نشست خاک نشان داده شده است.

برای جلوگیری از تراکم خاک و آثار مخرب آن باید مدیریت مورد نیاز در نظر گرفته شود. توسعه مدل برای محاسبه تغییرات جرم مخصوص ظاهری و نشست خاک با توجه به مقدار کود دامی، تعداد تردد تایر، رطوبت خاک و عمق که می‌تواند راهکاری

جدول ۵- آنالیز واریانس از مدل رگرسیون چندگانه برای جرم مخصوص و نشست خاک

Table 5- Analysis of variance of the multiple regression model for bulk density and soil sinkage

F-value	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات Source of variation	
141.41**	1139872	5699385	5	رگرسیون	جرم مخصوص خاک Bulk density
	4721.75	2011466	426	باقیمانده	
		7710824	431	کل	
501.68**	119.22	596.1	5	رگرسیون	نشست خاک Soil sinkage
	0.23	32.79	138	باقیمانده	
		628.9	143	کل	

** معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ درصد

Note: ** = statistically significant (P < 0.01)

سیستم برای پیش‌بینی جرم مخصوص ظاهری و نشست خاک به ترتیب ۰/۰۶۳۷۸ و ۰/۰۴۰۴۵ به دست آمدند (روابط ۳ و ۴).

دو مدل پیشنهاد شده برای پیش‌بینی جرم مخصوص ظاهری و نشست خاک رسی با ضریب تعیین ۰/۷۴ و ۰/۹۴ و میانگین مطلق خطای

$$BD = 1918.135 - 3.34F.M + 3.137P + 5.605M - 9.74D + 0.152D^2 \quad (۳)$$

$$SS = -2.1916 + 0.4918P + 1.77M - 0.00015F.M^2 - 0.01266P^2 - 0.0589M^2 \quad (۴)$$

که در آنها، تراکم خاک در این است که با افزایش میزان به کارگیری کود دامی، حتی در رطوبت‌های بالاتر، تراکم خاک کمتر است ولی با توجه به نمودار به دست آمده در شکل ۸ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مقداری مشخص از رطوبت، نشست خاک افزایش می‌یابد و مقادیر متفاوت کود دامی تاثیر بارزی روی نشست خاک ندارد. مصدقی و همکاران (Mosaddeghi et al., 2000) می‌گویند افزایش کود دامی در رطوبت‌های زیاد سبب کاهش و در رطوبت‌های پایین سبب افزایش نشست خاک می‌شود ولی نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که در هر یک از سطوح کود دامی (صفر، ۴۵، ۶۰، ۹۰ تن بر هکتار)، افزایش رطوبت سبب افزایش نشست خاک می‌شود. مصدقی و همکاران (Mosaddeghi et al., 2000) گزارش داده‌اند که به کارگیری کود در خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک را کاهش می‌دهد که نتایج حاصل از این تحقیق با

که در آنها، جرم مخصوص ظاهری (کیلوگرم بر مترمکعب)؛ $SS =$ نشست خاک (سانتی‌متر)؛ $F.M =$ مقدار کود دامی (تن بر هکتار)؛ $P =$ تعداد تردد؛ $M =$ رطوبت خاک (درصد)؛ و $D =$ عمق خاک (سانتی‌متر).

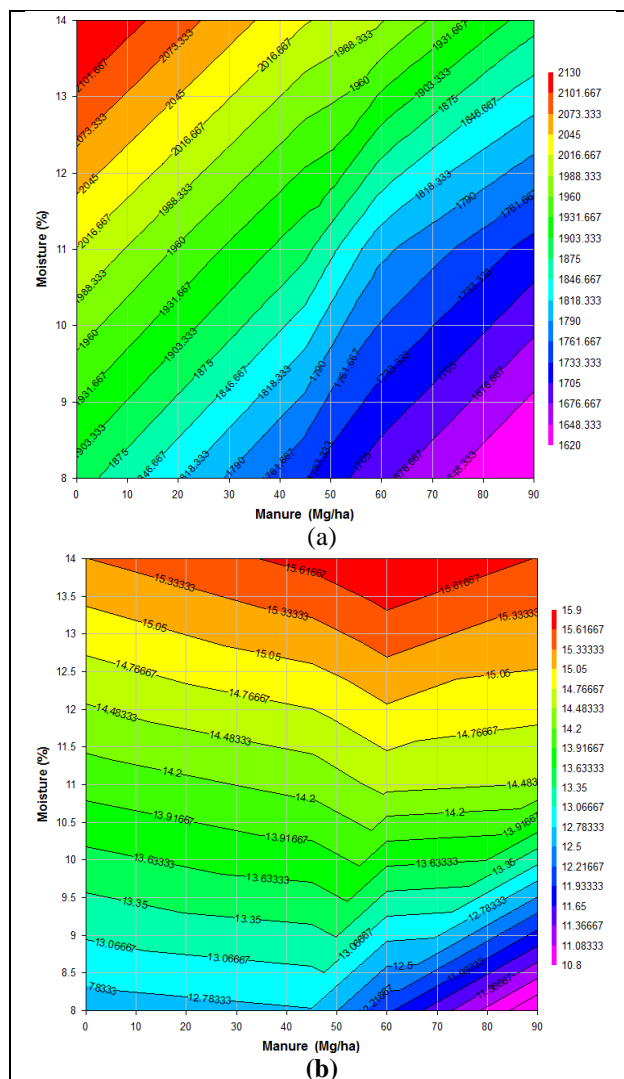
تحلیل و بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی

نتایج خروجی مدل شبکه عصبی (MLP) اثر کود دامی و رطوبت بر جرم مخصوص ظاهری و نشست خاک در شکل ۸ نشان داده شده است. مشابه با نتایج تجربی، با افزایش مقدار کود جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. در یک سطح کود دامی، با افزایش رطوبت، تراکم خاک افزایش می‌یابد. این روند در تمامی سطوح کود دامی صادق است؛ اما مقدار رطوبت بالا، در مقایسه با رطوبت کمتر، میزان نشست خاک بیشتر است حتی وقتی مقدار بیشتری کود به کار برده شود. تفاوت نشست سطحی خاک با

پیش‌بینی تأثیر کود دامی و تردد تاینر تراکتور بر تراکم ...

است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که برای مدیریت و کاهش تراکم خاک در زمین‌های زراعی، که فصل برداشت با فصل بارندگی همراه است، برای جلوگیری از اثر مخرب تراکم خاک باید پیش از مراحل کاشت کود دامی در مقادیر بالا به کار گرفته شود.

آن مطابق است. در رطوبت ۸ درصد و حداکثر میزان استفاده از کود دامی (۹۰ تن در هکتار) کمترین جرم مخصوص ظاهری ۱۶۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده است. در حالی که در مقدار رطوبت ۱۴ درصد و تیمار شاهد، حداکثر جرم مخصوص ظاهری ۲۱۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده



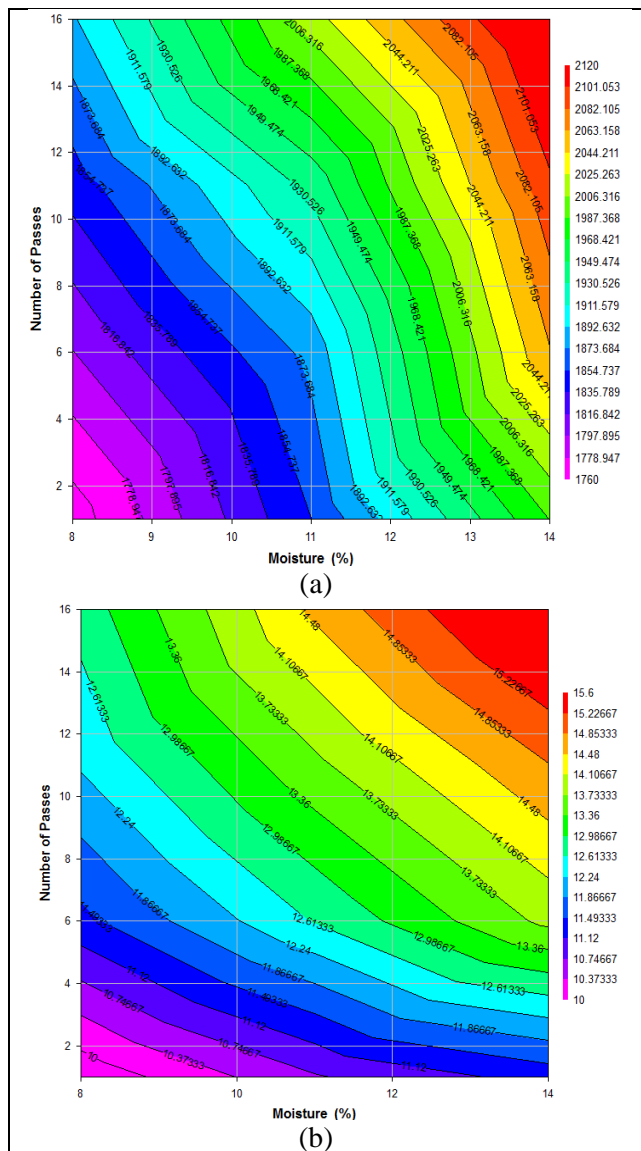
شکل ۸- نمودار تأثیر کود دامی و رطوبت بر تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک (a) و نشست خاک (b)
 Fig. 8- Effect of manure and moisture content on soil density (a) and soil sinkage (b)

در رطوبت‌های پایین‌تر خاک، افزایش تردد باعث افزایش تراکم خاک می‌شود (شکل ۹). جرم مخصوص ظاهری خاک وقتی تردد ۱۶ و رطوبت ۸ درصد باشد کمتر از وقتی است که تردد ۱ و رطوبت ۱۴ درصد است؛ این موضوع نشان می‌دهد که برای

شکل ۹، مدل شبکه‌ی عصبی اثر تردد و رطوبت بر جرم مخصوص ظاهری و نشست خاک را نشان می‌دهد. در هر سطح رطوبت، با افزایش تردد جرم مخصوص ظاهری و نشست خاک افزایش می‌یابد. این روند در تمامی سطوح رطوبت صادق است؛ حتی

شود. افزایش رطوبت خاک در مقادیر رطوبت بحرانی منجر به افزایش تراکم خاک می‌شود زیرا آب در خاک مانند روان کننده عمل می‌کند (Canillas & Salokhe, 2002).

جلوگیری از تراکم خاک باید از تردد در رطوبت‌های نزدیک به رطوبت بحرانی خاک حتی‌الامکان جلوگیری شود. حد نهایی میزان تراکم خاک در حداکثر تردد و حداکثر مقدار رطوبت مشاهده می‌

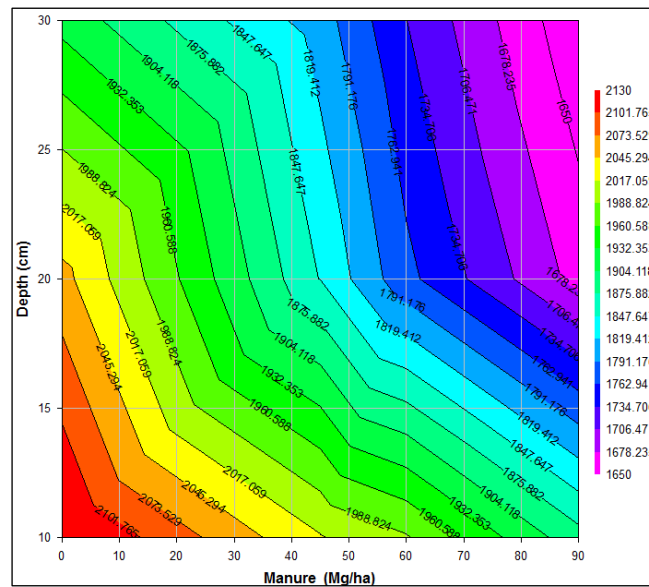


شکل ۹- نمودار تأثیر تردد و رطوبت بر تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک (a) و نشست خاک (b)
 Fig. 9- Effect of number of passes and moisture content on soil density (a) and soil sinkage (b)

لایه‌های زیرین خاک کاهش می‌یابد. حداکثر تراکم خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متر رخ داده است. افزایش کود دامی حتی در عمق‌های سطحی، تراکم خاک را کاهش داده است (شکل ۱۰).

در تمامی سطوح کود دام، با افزایش عمق از میزان تراکم خاک کاسته می‌شود. حداکثر مقدار تراکم ایجاد شده در عمق‌های سطحی‌تر دیده می‌شود. با افزایش عمق خاک، تراکم خاک زیر مسیر تایر نیز به دلیل کاهش تنش

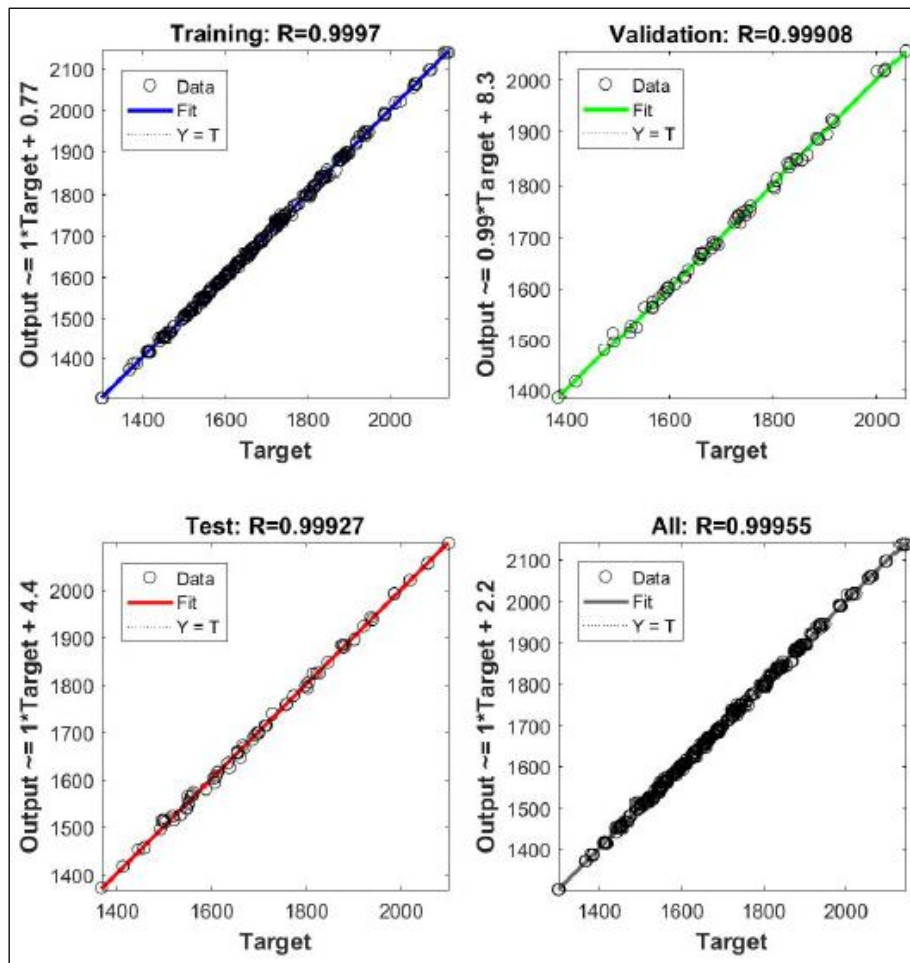
پیش‌بینی تأثیر کود دامی و تردد تاینر تراکتور بر تراکم ...



شکل ۱۰- نمودار تأثیرات عمق و کود دامی بر تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک
 Fig. 10- Effect of depth and farmyard manure on soil density

عصبی مصنوعی در مدل سازی سیستم‌های پیچیده است. مقدار میانگین مربعات خطای مدل و درصد میانگین مطلق خطای سیستم به ترتیب ۰/۰۱۱۹۰۷۱ و ۰/۰۰۰۹۶۴۱ به دست آمدند که نشان از دقت بالای مدل شبکه عصبی در تخمین مقادیر تراکم خاک دارد.

نتایج پیش‌بینی با مدل شبکه عصبی در شکل ۱۱ آورده شده است. ضریب همبستگی (R) بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی برای داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی و ارزیابی ۰/۹۹ به دست آمده است که نشان‌دهنده توانایی بالای شبکه‌های



شکل ۱۱- نتایج رگرسیون خطی بین مقادیر تجربی و مدل شبکه عصبی مصنوعی

Fig. 11- Linear regression between measure and predicted Artificial Neural Network values

بیشترین تراکم در لایه ۱۰ سانتی متری خاک دیده شده است. الگوی نشست خاک شبیه به تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک است. با اختلاط کود با خاک، نشست خاک کاهش می‌یابد. در اختلاط کود دامی ۹۰ تن بر هکتار، در مقایسه با تیمار بدون کود، مقدار نشست خاک ۶/۹۴ درصد کاهش نشان می‌دهد. برای مدیریت خاک و کنترل تاثیرات مخرب تراکم خاک، دو مدل رگرسیون برای پیش‌بینی اثر کود دامی، رطوبت خاک و تعداد تردد تیر بر تراکم و نشست خاک رسی به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۹۴ تعیین شد. ضریب همبستگی (R) بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی، ۰/۹۹ به دست آمد. مقدار میانگین مربعات خطای مدل و درصد

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر کود دامی در مقادیر متفاوت بر خاک با بافت رسی بررسی شد. نتایج بررسی نشان می‌دهد که نسبت تأثیرات کود دامی بر تراکم خاک وابسته به میزان به کارگیری آن است. میزان کاهش جرم مخصوص وقتی کود به میزان ۹۰ تن بر هکتار اضافه شود، در مقایسه با تیمار بدون کود، ۱۴/۷ درصد است. با افزایش رطوبت از ۸ به ۱۴ درصد، جرم مخصوص ۷/۹۲ درصد افزایش نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده بیانگر این است که خاک رسی به تردد در رطوبت نزدیک به رطوبت بحرانی خیلی حساس است. با افزایش تعداد تردد از ۱ به ۱۶، جرم مخصوص ۷/۲۱ درصد افزایش می‌یابد.

پیش‌بینی تأثیر کود دامی و تردد تایر تراکتور بر تراکم ...

میانگین مطلق خطای سیستم به ترتیب ۰/۰۱۱۹۰۷۱ و ۰/۰۰۰۹۶۴۱ به دست آمد. خطی، می‌تواند نقشی مهم در پیش‌بینی اثر تردد تایر بر تراکم داشته باشد که به روشی غیر تخریبی و سریع می‌تواند به کار مصنوعی (MLP) به عنوان یک سیستم غیر برده شود.

مراجع

- Allmaras, R., Fritz, V. A., Pflieger, F. L., & Copeland, S. M. (1998). Common root rot of pea (*Pisum sativum* L.): oat pre-crop and traffic compaction effects in fine-textured mollisols. In: Box, J. E. (Eds.) Root Demographics and Their Efficiencies in Sustainable Agriculture, Grasslands and Forest Ecosystems. Springer.
- Anderson, J. A., & Rosenfeld, E. (1993). Neurocomputing. Vol. 2. MIT Press.
- Anon. (2007). ASTM Standard D698. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, ASTM International, West Conshohocken.
- Balbuena, R. H., Terminiello, A. M., Claverie, J. A., Casado, J. P., & Marlats, R. (2000). Soil compaction by forestry harvester operation: evolution of physical properties. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola E Ambiental*, 4, 453-459.
- Beale, M. H., Hagan, M. T., & Demuth, H. B. (2010). Neural Network Toolbox 7. User's Guide, MathWorks.
- Benjamin, J. R., & Cornell, C. A. (2014). Probability, statistics, and decision for civil engineers. Courier Dover Publications.
- Canillas, E. C., & Salokhe, V. M. (2002). Modeling compaction in agricultural soils. *Journal of Terramechanics*, 39, 71-84.
- Çarman, K. (2008). Prediction of soil compaction under pneumatic tires a using fuzzy logic approach. *Journal of Terramechanics*, 45, 103-108.
- Chelani, A. B., Gajghate, D. G., & Hasan, M. Z. (2002). Prediction of ambient PM and toxic using artificial neural networks. *Journal of Air Waste Management Association*, 52, 805-810.
- Davis, T. (2008). Geotechnical testing, observation, and documentation. American Society of Civil Engineers.
- Demuth, H., & Beale, M. (1993). Neural network toolbox for use with MATLAB. The MathWorks.
- Ekwue, E. I., & Stone R. J. (1995). Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. *Transactions of the ASAE*, 38, 357-365.
- Ferrara, C., Barone, P. M., & Salvati, L. (2015). Toward a socioeconomic profile for areas vulnerable to soil compaction? A case study in Mediterranean country. *Geoderma*, 247-248, 97-107.
- Günaydın, O. (2009). Estimation of soil compaction parameters by using statistical analyses and artificial neural networks. *Environmental Geology*, 57(1), 203-215.
- Haykin, S. (2004). Neural networks, A comprehensive foundation. Amazon.

- Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82, 121-145.
- Hecht-Nielsen, R. (1987). *Kolmogorov's mapping neural network existence theorem*. In *Proceedings of the International Conference on Neural Networks*, New York: IEEE Press. July 23-26. 3, 11-14.
- Hewitson, B. C., & Crane, R. G. (1994). *Neural nets: Applications in geography*. Springer.
- Johari, A., Javadi, A., & Habibagahi, G. (2011). Modelling the mechanical behaviour of unsaturated soils using a genetic algorithm-based neural network. *Computers and Geotechnics*, 38(1), 2-13.
- Kurjenluoma, J., Alakukku, L., & Ahokas, J. (2009). Rolling resistance and rut formation by implement tires on tilled clay soil. *Journal of Terramechanics*, 46, 267-275.
- Lam, D., & Pupp, C. (1993). *Expert system and modeling for state of environment reporting*. In *2nd International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling*. Sep. 26-30. Breckenridge, CO.
- Mardani, A., Shahidi, K., Rahmani, A., Mashoofi, B., & Karimmaslak, H. (2010). Studies on a long soil bin for soil-tool interaction. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 142, 5-10.
- Menhaj, M. (2005). *Fundamentals of Neural Networks*. Third Ed. Amirkabir University Press. (in Persian)
- Mosaddeghi, M. R., Hajabbasi, M. A., Hemmat, A., & Afyuni, M. (2000). Soil compactibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. *Soil and Tillage*, 55, 87-97.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1989). *Explorations in parallel distributed processing: A handbook of models, programs, and exercises*. MIT press.
- Navabian, M., Liaghat, A. M., & Homayi, M. (2004). *Neural network for fast estimation of saturated hydraulic conductivity. Prediction of Electrical conductivity with neural networks. The Second National Water and Soil Conference*. Dec. 10-12. Tehran, Iran. (in Persian)
- Olu, J. O., Ekwue, E. I., & Folorunso, O. A. (1994). The effect of addition of organic matter on the compaction of a Vertisol from northern Nigeria. *Soil Teach*, 7, 155-162.
- O'Sullivan, M. F. (1992). Uniaxial compaction effects on soil physical properties in relation to soil type and cultivation. *Soil & Tillage Research*, 24, 257-269.
- Patel, S., & Mani, I. (2011). Effect of multiple passes of tractor with varying normal load on subsoil compaction. *Journal of Terramechanics*, 48, 277-284.
- Raghavan, G. S. V., Mckeys E., & Chasse. M. (1977). Effect of wheel slip on soil compaction. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22, 79-83.
- Raper, R. L. (2005). Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics*, 42(3-4): 259-280.
- Shahgholi, G., & Abuali, M. (2015). Measuring soil compaction and soil behavior under the tractor tire using strain transducer. *Journal of Terramechanics*, 59, 19-25.
- Stone R. J., & Ekwue E. I. (1993). Maximum bulk density achieved during soil compaction as affected by the incorporation of three organic materials. *American Society of Agricultural Engineers*, 36, 1713-1719.
- Söane, B., & Van Ouwerkerk, C. (1994). Soil compaction problems in world agriculture. *Soil Compaction in Crop Production 11*, 1-2.

پیش‌بینی تأثیر کود دامی و تردد تایر تراکتور بر تراکم ...

Söane, B. D. (1990). The role of organic matter in soil compactibility. A review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research*, 16, 179-201.

Tenpe, A., & Suneet, K. (2013). Neural network modeling of predicting compaction parameters based on index properties of soil. *International Journal of Science and Research*, 4(7), 1198-1202.

Research Paper

Predicting the Effect of Farmyard Manure and Number of Passes of Tractor Tire on Clay Soil Compaction Using Multilayer Perceptron Neural Networks

K. Ghadernejad, G. H. Shahgholi* and A. Mardani

*Corresponding Author: Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: gshahgoli@yahoo.com.

Recieved: 9 October 2017, Accepted: 7 February 2018

Abstract

One way to reduce soil compaction is to add organic matter and to manage the field traffic. In this research, farmyard manure was incorporated into clay soil with rates of 0, 45, 60, 90 ton ha⁻¹. After 6 months (September to March), at different numbers of tyre passes of 1, 6, 11 and 16, and three soil moisture contents of 8%, 11% and 14% soil compaction was evaluated measuring soil bulk density and soil sinkage. Experiments were conducted in the soil bin at the Urmia University under a single tractor's tire 220/65 R 211 under a constant load of 4 kN, inflation pressure of 110 kPa and at a forward velocity of 2.88 km hr⁻¹. It was found that at manure rate of 90 ton ha⁻¹, comparing to no-manure treatment, soil bulk density and soil sinkage decreased by 14.7 and 6.94 percent, respectively. Also, increasing the number of tyre passes from 1 to 16 and increasing soil moisture content from 8 to 14 percent, increased soil bulk density 7.21% and 7.92%, respectively. For neural network modeling multilayer perceptron network with six neurons in the hidden layer with sigmoid transfer function and linear transfer function for the output neuron was used. Comparison of neural network output and experimental results showed high correlation with correlation coefficient of R= 0.99 between them. The mean square error (MSE) of the model and mean absolute percentage error of the system (MAPE) were 0.0119071 and 0.0009641, respectively, which showed high accuracy of neural network to model soil compaction.

Keywords: Cylindrical Cores, Modeling, Single Wheel Tester, Soil Bin