

مقاله پژوهشی

ساخت و ارزیابی سامانه تزریق هوا به داخل خاک و مدل‌سازی پارامترهای آن

حمید محمدی نژاد^۱، محمدحسین آق‌خانی^{۲*}، محمدحسین عباس‌پور فرد^۳ و عباس روحانی^۴

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب: کارشناس ارشد؛ استادان؛ و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی

مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۲۲

چکیده

در محیط‌های شهری به دلیل محدودیت‌ها و مشکلات خاک در دسترس گیاه، رشد ریشه‌ها محدود می‌شود. هدف از این پژوهش ساخت و ارزیابی دستگاهی است که بتواند کمبودهای موجود برای ریشه درختان را از طریق افزایش تخلخل و نفوذپذیری با تزریق هوا بهبود بخشد. در این تحقیق پس از ساخت دستگاه به وزن ۲۴۰ کیلوگرم، هوا با توان مصرفی ۷/۵ اسب بخار و ماکزیمم فشار هوای تولیدی ۱۲ بار به داخل خاک تزریق و تاثیر استفاده از دستگاه بر تخلخل خاک و نفوذپذیری، به عنوان مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی خاک، ارزیابی شد. به کمک روش رگرسیون خطی چندگانه رابطه بین متغیرهای مستقل دستگاه شامل فشار هوا در سه سطح (۴، ۸ و ۱۲ بار) و عمق در دو سطح (۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر) و متغیر وابسته تخلخل بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که یک مدل رگرسیونی معنی‌داری بین متغیرهای بررسی شده وجود دارد. همچنین خطای تخمین مدل رگرسیونی برابر با ۱/۷۵ درصد شد. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان با اطمینان از سامانه طراحی و ساخته شده برای تزریق هوا به هدف افزایش تخلخل استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی

تخلخل خاک، فشار هوا، منطقه ریشه

مقدمه

تجهیزات مختلف زراعی منهدم می‌شوند. در نتیجه این عمل، جریان آب و حرکت عناصر غذایی در خاک و جذب عناصر غذایی توسط گیاه تغییر می‌کند (Ankeny et al., 1995). تخریب ساختمان لایه سطحی خاک در اثر آبیاری بارانی، تردد زیاد افراد و وجود کاهبرگ، سبب تشکیل لایه‌های غیر قابل نفوذ در سطح چمن‌زار می‌گردد. تشکیل این لایه به کاهش

ذرات مختلف خاک با شکل‌ها و ابعاد متفاوت خود هنگامی که کنار همدیگر قرار می‌گیرند، بسته به نوع استقرارشان، منافذ ریز و درشتی به وجود می‌آورند. منافذ درشت خاک که آب را در مکش‌های کم هدایت می‌کنند، در مقایسه با منافذ ریز خاک، به راحتی به واسطه فشردگی خاک در اثر تردد

سیستم ریشه ای درختان به موازات رشد قسمت هوایی نیست. اغلب به دلیل محدودیت‌ها و مسائل خاک در دسترس گیاه، رشد ریشه‌ها محدود می‌شود. همچنین وجود شرایط بد بستر و استفاده از خاک‌های فقیر در فضای سبز باعث مشکلات تغذیه ای بارز در درختان فضای سبز می‌شود (Entezari *et al.*, 2011). به دلیل ارزش اقتصادی زیاد درختانی که چند سال از کاشت و استقرار آنها می‌گذرد و همچنین به دلیل اینکه امکان تعویض بستر در مورد این درختان وجود ندارد، به کارگیری روش‌های مناسب کوددهی، بهبود شرایط فیزیکی و رفع محدودیت‌های خاک منطقه ریشه اهمیت فراوان دارد (Entezari *et al.*, 2011).

ریشه گیاه برای رشد مناسب به آب و به هوا نیاز دارد؛ پس، تخلخل کل خاک و نحوه تقسیم خلل و فرج بین ذرات ریز و درشت در تغذیه و تنفس گیاه بسیار با اهمیت است (Rongli *et al.*, 2008). کورنیش و لیمبرلی (Cornish & Limberly, 1987) گزارش کردند واکنش گیاهان در نظام بدون خاک‌ورزی مشابه واکنش گیاهان گلدانی است و گیاهانی که در محفظه کوچک رشد می‌کنند حتی اگر آب و عناصر غذایی به اندازه کافی در اختیارشان باشد، در مقایسه با گیاهانی که در محفظه‌های بزرگ رشد می‌کنند، کوچک‌تر هستند؛ هدف از پژوهش این محققان بررسی اثر تخلخل، رطوبت و دمای خاک بر جذب رطوبت توسط گیاه و عملکرد ماده خشک گیاه در خاکی با سطح ویژه بالا بود.

صلح‌جو و نیازی (Solhjou & Niazi, 2002) نشان دادند که زیرشکنی در خاک‌های متراکم، موجب کاهش جرم ویژه ظاهری خاک و افزایش سرعت نفوذ پایه آب به خاک به اندازه دو تا پنج برابر آن قبل از

نفوذ آب و هوا منجر می‌شود که تنها با هوادهی می‌توان آثار مخرب آن را زدود (Kafei & Kaviyani, 2002). تهیه بستر مناسب برای رشد گیاه با هدف ایجاد شرایط لازم برای استقرار و توسعه ریشه گیاه، یکی از اصول مهم کشاورزی است. این امر در مورد گیاهان چند ساله از جمله درختان که ریشه‌دهی عمیق دارند اهمیت ویژه دارد، زیرا عملیات اصلاحی اندک برای بهبود شرایط خاک آنها قابل اجراست. خاک‌های شهری عموماً دارای ساختار فیزیکی نامناسب و از نظر مواد غذایی ضعیف هستند (Jim, 1998). در مناطق مختلف فضای سبز شهری نیز محدودیت‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به فراوانی به چشم می‌خورد (Entezari *et al.*, 2011).

جرم مخصوص ظاهری زیاد، تهویه نامناسب، اسیدی بودن یا قلیایی بودن زیاد خاک سبب خواهد شد جذب مواد غذایی، به خصوص عناصر کم مصرف فلزی مانند روی و منگنز توسط گیاهان مختل شود (Rongli *et al.*, 2008). هوادهی چمن به ایجاد حفره‌هایی در خاک و پر کردن آن با ترکیبی از مواد نفوذپذیر، جذب کننده رطوبت و کودهای آلی اطلاق می‌شود (Toorani Nator, 2001). اسدی و تاکی (Asadi & Taki, 2016) نشان دادند استفاده از انگشتی‌های مخروطی شکل قلمی به نیروی کمتری برای هوادهی چمن نیاز دارد. افزودن مواد آلی به سطح خاک اگر چه آسان‌ترین راه برای بهبود شرایط تغذیه‌ای و افزایش رطوبت خاک است ولی جوابگوی تمامی مشکلات از جمله محدودیت‌های خاک در عمق بیشتر نیست. به گفته بسیاری از محققان، منشأ اغلب مشکلات درختان فضای سبز به مسایل بستر ریشه این گیاهان برمی‌گردد. در محیط‌های شهری، گسترش

مواد و روش‌ها

برای بهبود خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک در منطقه ریشه گیاهان، دستگاهی به‌منظور تزریق هوا به داخل خاک با ظرفیت مزرعه‌ای ۱۲۰ تا ۱۵۰ تزریق در ساعت طراحی و ساخته شد. تصویر دستگاه ساخته شده در این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است. برای طراحی، شبیه‌سازی، مونتاژ و آنالیز تجهیزات دستگاه از نرم‌افزار کتیا (CATIA P3 V5-6R2013) استفاده گردید. اجزای اصلی این دستگاه شامل مولد قدرت بنزینی، کمپرسور تولید هوای فشرده، پمپ آب دیافراگمی، واحد مراقبت، چکش تزریق، کپسول‌های ذخیره‌سازی هوای فشرده است. با روشن شدن موتور و انتقال توان به کمپرسور، هوای فشرده از کمپرسور در ابتدا وارد کپسول‌های ذخیره می‌شود و پس از رسیدن به فشار مورد نظر با عبور از واحد کنترل به پمپ آب و چکش تزریق انتقال می‌یابد و نازل با عملکرد چکش به درون خاک نفوذ می‌کند و پس از رسیدن به عمق مورد نظر هوای فشرده با فشار مورد نظر به خاک تزریق می‌شود.

اعمال زیرشکن می‌شود. دولان و همکاران (Dolan et al., 1992) گزارش داده‌اند که فشردگی سطحی و عمقی خاک هردو باعث کاهش جذب فسفر و پتاسیم می‌شود.

افزایش فشردگی خاک مانعی در راه رشد و نمو گیاه است و از این طریق عملکرد را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق با هدف ثابت نگه‌داشتن شرایط سطحی خاک، طراحی و ساخت دستگاهی مد نظر قرار گرفت که علاوه بر بهبود شرایط فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های فضای سبز شهری - با مشکلاتی مانند تراکم بیش از اندازه خاک اطراف ریشه، کمبود فضا، ناممکن بودن استفاده از روش‌های مرسوم خاک‌ورزی و فقر مواد غذایی به دلیل شرایط بد بستر ریشه - توانایی افزایش تخلخل، نفوذپذیری و تزریق کود و سیال دارای ذرات جامد با قطر کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر همچون مواد جاذب رطوبت را نیز داشته باشد. هدف دیگر این تحقیق مدل‌سازی پارامترهای قابل تغییر دستگاه شامل فشار تزریق هوا و عمق تزریق برای محاسبه سطح تخلخل ایجاد شده است.



شکل ۱- نمای کلی از دستگاه تولید قدرت و کنترل تزریق فشار (چپ)، چکش تزریق مورد استفاده در طرح حاضر (راست)
(۱- مولد قدرت بنزینی، ۲- کمپرسور تولید هوای فشرده، ۳- واحد کنترل، ۴- پمپ دیافراگمی، ۵- کپسول‌های ذخیره‌سازی هوای فشرده، ۶- نازل تزریق، ۷- شیلنگ سیال، ۸- شیلنگ هوای فشرده و ۹- شیر برقی)

Fig. 1- General view of the power generation and pressure injection control device (left), injection hammer used in the present design (right)

(1- gasoline power generator, 2- compressed air production compressor, 3- control unit, 4- diaphragm pump, 5- compressed air storage capsules, 6- injection nozzle, 7- fluid hose, 8- compressed air hose and 9- solenoid valve)

جزئیات اجزای مختلف دستگاه تزریق مورد استفاده ظرفیت مورد انتظار دستگاه، شرایط اقلیمی و موقعیت
در این تحقیق، در جدول ۱ آورده شده که بر اساس جغرافیایی منطقه مورد آزمایش تعیین شده‌اند.

جدول ۱- جزئیات اجزای مختلف دستگاه تزریق

Table 1- Details of different components of injection machine

توضیحات Description	مشخصه Characteristic
مولد توان مکانیکی Mechanical power generator	موتور تک سیلندر روپین-4 زمانه -هوا خنک Rubin 4-stroke single-cylinder engine - Cool air
مولد هوای فشرده Compressed air generator	کمپرسور چینوک پیستونی-دو مرحله ای- هوا خنک Chinook Piston Compressor - Two Step - Air Cool
پمپ دیافراگمی Diaphragm pump	جابه‌جایی مثبت با ماکزیمم فشار ۶.۸ بار Positive displacement with a maximum pressure of 6.8 bar
واحد مراقبت Air treatment	دو قلو مجهز به رطوبت گیر و روانکار و شیر تنظیم فشار Twin equipped with dehumidifier and lubricant and pressure regulating valve
شیر اطمینان Reassurance valve	سوپاپ با قابلیت تنظیم فشار ۳ تا ۱۶ بار Valve with adjustable pressure 3 to 16 times
شیر برقی Solenoid valve	۱۲ ولت- جهت قطع و وصل هوای ورودی به پمپ دیافراگمی 12 volts - to cut off and connect the inlet air to the diaphragm pump
چکش تزریق Injection hammer	مدل DO7G کمپرسورسازی تبریز DO7G model of Tabriz compressor manufacturing
شینگ‌های فشار قوی High pressure hoses	شینگ هوا ۲۰ بار، شینگ سیال ۱۰ بار از نوع دو لایه نخ Air hose 20 times, fluid hose 10 times of double layer yarn type
راه انداز جریان سیال Fluid flow driver	میکروسویچ نرمال باز ۱۰ آمپر Normal open micro switch 10 amps
توان موتور Engine power	۱۴ اسب بخار در ماکزیمم دور موتور 14 hp at maximum engine speed
توان مورد نیاز کمپرسور Compressor power required	۷.۵ اسب در ۱۱۵۰ دور بر دقیقه 7.5 horsepower at 1150 rpm
ذخیره‌ساز هوای فشرده Compressed air storage	دو عدد کپسول هر یک به ظرفیت ۳۵ لیتر Two capsules each with a capacity of 35 liters
نازل تزریق Injection nozzle	یک تکه با زاویه خروج ۱۲۰ درجه One piece with an exit angle of 120 degrees
اتصال نازل به ضربه زن Connect the nozzle to the striker	تکنیک مخروط مورس Morse cone technique
انتقال توان Power transmission	انتقال توان تسمه و پولی Belt and monetary power transmission
منبع تغذیه Power supply	۱۲ ولت 12 volts
ماکزیمم عمق تزریق Maximum injection depth	۶۰ سانتی‌متر 60 cm
وزن دستگاه Device weight	۲۴۰ کیلوگرم 240 kg

پلاستیکی قرار داده شد. وزن نمونه‌های برداشته شده در کمترین زمان ممکن با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری و برای خشک شدن در خشک‌کن آزمایشگاهی موجود در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از خشک‌کن بیرون آورده شدند و وزن خشکشان به منظور محاسبه تخلخل اولیه محاسبه گردید. با مشخص شدن کورت‌های آزمایش، ابتدا هوا با فشار ۱۲ بار در عمق ۶۰ سانتی‌متری از سطح زمین ۲ بار و هر بار به مدت ۵ ثانیه تزریق شد.

پس از تزریق هوا مطابق آنچه گفته شد از دیواره هر کرت آزمایشی در عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شد، سپس این عمل برای فشارهای ۸ و ۴ بار نیز با شرایط همسان تکرار گردید.

ارزیابی دستگاه ساخته شده در تحقیق حاضر، در زمین‌های فضای سبز دانشگاه فردوسی مشهد در خرداد ماه سال ۱۳۹۶ اجرا شد. نتایج آزمون در دو بخش تخلخل خاک و نفوذپذیری خاک ارزیابی شدند. در ابتدا برای اندازه‌گیری تخلخل اولیه خاک مورد آزمون پس از آماده‌سازی نمونه‌بردار و به منظور افزایش دقت در برداشتن نمونه خاک از عمق‌های مورد نظر، از روش نمونه‌برداری از پهلو استفاده شد. مطابق شکل ۲، ظرف نمونه‌بردار استوانه‌ای با قطر داخلی ۱۱۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. بدین منظور برای هر واحد چاله‌هایی با زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به هم با ابعاد ۱۲۰ سانتی‌متر طول ۶۰ سانتی‌متر عرض و ۸۵ سانتی‌متر عمق حفر گردید. در هر چاله ۳ نمونه از هر عمق از دیوار مقابل دیواره نمونه‌های تحت تیمار برداشته و در کیسه‌های



شکل ۲- نمونه‌برداری از خاک برای آزمایش تخلخل

Fig. 2 - Soil sampling for porosity testing

اساس وزن مخصوص دنبال شد. تخلخل بر اساس روش آزمایشگاهی از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$P_t = 1 - \frac{P_b}{P_d} \quad (1)$$

برای اندازه‌گیری تخلخل خاک به روش آزمایشگاهی، استفاده از پارامتر حجم و محاسبه آن بسیار مشکل است. از این رو محاسبات و داده‌برداری بر

شکل مدل رگرسیونی مورد ارزیابی مطابق رابطه ۳ (مدل کامل درجه دوم) ارائه شد.

$$P_t = \beta_0 + \beta_p P + \beta_d D + \beta_{pd} PD + \beta_{pp} P^2 + \beta_{dd} D^2 \quad (3)$$

که در آن،

β = ضرایب مدل رگرسیونی؛ P = فشار اعمال سامانه؛ D = عمق نفوذ به منظور تزریق؛ و P_t = سطح ایجاد شده از تخلخل.

از معیارهای خطای RMSE و MAPE و نیز خط رگرسیونی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده از تخلخل استفاده شد.

نتایج و بحث

شکل ۳ نتایج مقایسه میانگین تخلخل را در دو حالت بدون تزریق هوا و پس از تزریق هوا توسط دستگاه ساخته شده نشان می‌دهد. دیده می‌شود که تاثیر تزریق هوا بر تخلخل در سطح یک درصد معنی‌دار شده است.

می‌توان پذیرفت که ساز و کار طراحی شده توانسته است به خوبی نقش خود را در افزایش تخلخل در عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر ایفا کند. سامانه طراحی شده باعث افزایش حدود ۲۰ درصد در تخلخل خاک شده است. از طرف دیگر، سطح تخلخل یکسان در کل عمق تا ۶۰ سانتی‌متری است که به دلیل اختلاف ناچیز تخلخل در دو سطح عمق ۳۰ و ۶۰ است. بنابراین پارامتر عملکردی یکنواختی ایجاد تخلخل نیز برای سامانه طراحی شده به اثبات می‌رسد.

که در آن،

P_t = میزان تخلخل؛ P_b = وزن مخصوص ظاهری بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب؛ و P_d = وزن مخصوص حقیقی بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (Thomsen & Masterlonardo, 1971).

عدد وزن مخصوص حقیقی با بررسی یک نمونه خاک از منطقه مورد نظر در آزمایشگاه خاک شناسی به دست آمد که به طور معمول بین ۲ تا ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب گزارش می‌شود؛ این عدد بستگی شدیدی به بافت خاک دارد. میزان وزن مخصوص ظاهری نیز بر اساس رابطه ۲ به دست آمد:

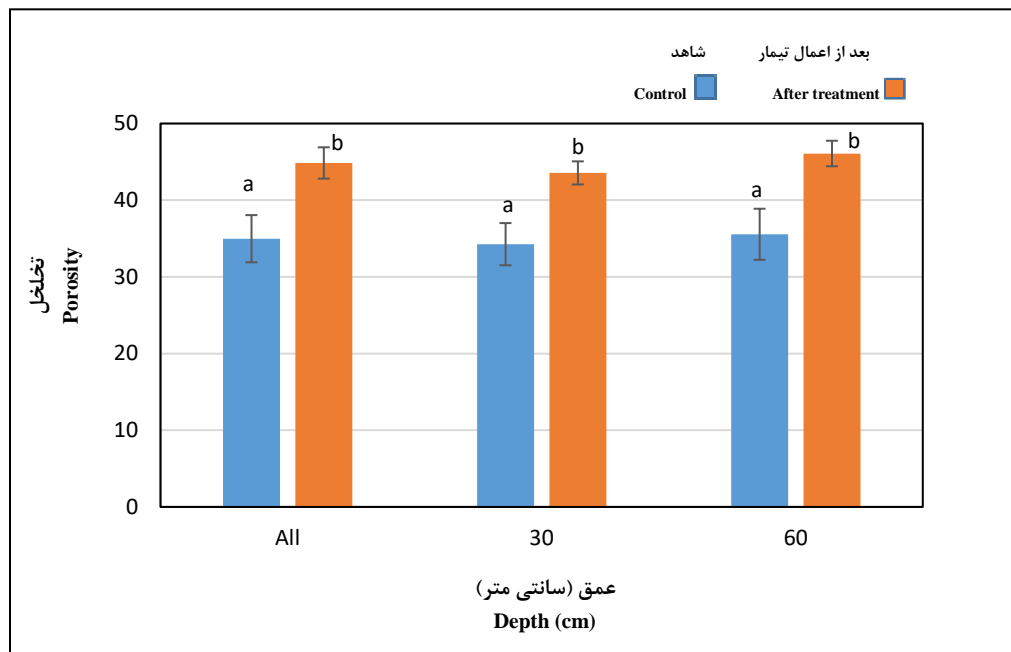
$$P_b = \frac{M}{V} \quad (2)$$

که در آن،

M = وزن خاک خشک شده از ظرف نمونه‌برداری بر حسب گرم؛ و V = حجم خاک نمونه‌برداری شده بر حسب سانتی‌متر مکعب؛ این حجم با حجم ظرف نمونه‌برداری برابر است (Thomsen & Masterlonardo, 1971).

مدل‌سازی پارامترهای دستگاه

برای مدل‌سازی تخلخل خاک بر حسب دو پارامتر فشار و عمق نفوذ، از روش رگرسیونی چندگانه استفاده شد. بدین منظور از سه سطح فشار ۰.۴، ۸ و ۱۲ بار و نیز دو سطح عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر استفاده شد. پس از تزریق هوا در عمق مشخص، از دیواره چاله‌های هر کرت نمونه‌برداری شد. برای تجزیه و تحلیل رگرسیونی از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۹ استفاده شد.



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین تخلخل در عمق‌های خاک در دو حالت بدون تزریق هوا (شاهد) و پس از تزریق هوا
حروف لاتین متفاوت بالای ستون‌ها به معنای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد است

Fig. 3 - Results of comparing the average porosity in soil depths in two cases without air injection (control) and after air injection, different Latin letters above the columns mean a significant difference at the level of one percent

تحلیل رگرسیونی

رابطه رگرسیونی ریاضی برای دستیابی به سطح تخلخل مطلوب ضروری است. اثر متقابل توان دوم عمق از مدل رگرسیونی حذف شد زیرا اثر آن در مدل معنی‌دار نشد.

معنی‌دار نشدن اثر عدم برازشی (LOF) نشان‌دهنده آن است که مدل رگرسیونی برازش شده در تخمین تخلخل کارایی کافی دارد. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان‌دهنده آن است که سامانه طراحی و ساخته شده توانسته است تخلخل معنی‌داری را در سطوح و عمق‌های مختلف ایجاد کند.

برای بررسی بهتر عملکرد سامانه طراحی شده و نیز تنظیم پارامترهای آن، از مدل رگرسیونی به منظور ایجاد رابطه ریاضی بین فشار تزریق و عمق با سطح تخلخل استفاده شد. نتایج تجزیه مدل رگرسیونی تخلخل بر حسب فشار تزریق (p) و عمق تزریق (D) در جدول ۲ آمده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد رابطه رگرسیونی معنی‌داری بین تخلخل با P و D در سطح معنی‌داری یک درصد وجود دارد. نتایج موید این واقعیت هستند که تخلخل در نتیجه اثر معنی‌داری متقابل فشار و عمق تغییر می‌کند. از این رو داشتن

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی به منظور تخمین تخلخل بر حسب فشار و عمق

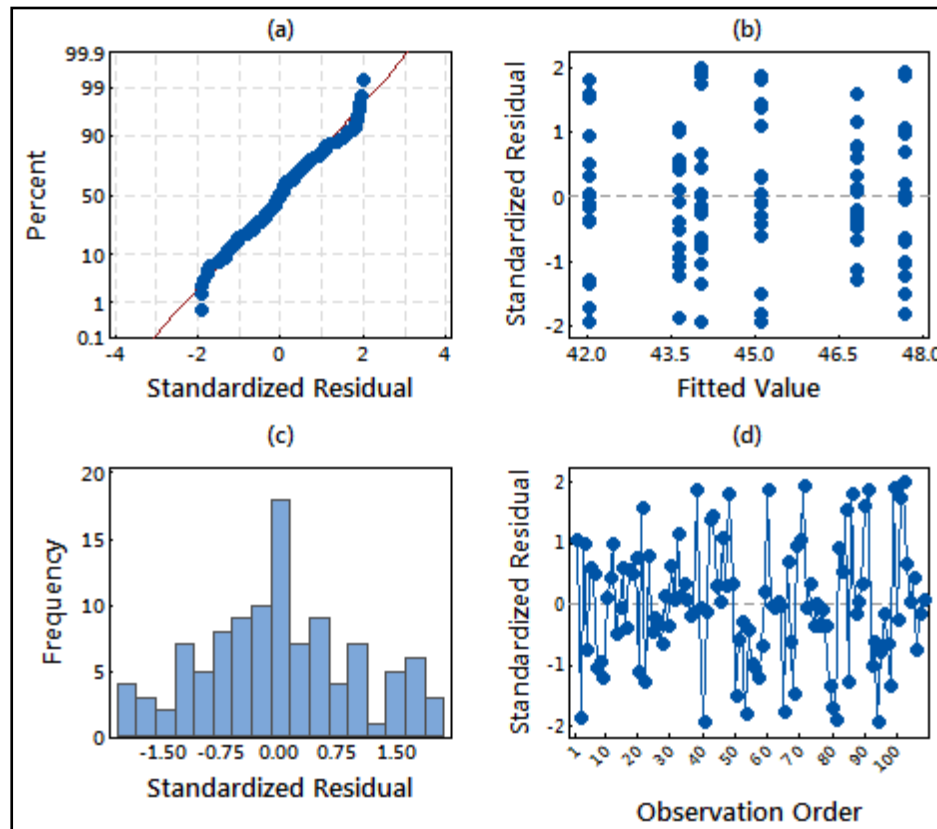
Table 2 - Results of variance analysis regression model to estimate porosity in terms of pressure and depth

مقدار آماره F	میانگین مربعات Mean of squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Variation Source
۹۵/۰۴**	۹۸/۶۷	۳۹۴/۶۶	۴	رگرسیون Regression
۹۲/۵۷**	۹۶/۱۰	۹۶/۱۰	۱	فشار (P (bar)) Pressure
۵۳/۱۷**	۵۵/۱۹	۵۵/۱۹	۱	عمق (D(cm)) Depth
۱۱۶/۹۳**	۱۲۱/۳۸	۱۲۱/۳۸	۱	p ²
۶/۲۳*	۶/۴۵	۶/۴۵	۱	P×D
-	۱/۰۴	۱۰۶/۹۳	۱۰۳	خطا Error
۰/۳۵ ^{ns}	۰/۳۶	۰/۳۶	۱	عدم برازشی Lack of fit
	۱/۰۵	۱۰۶/۵۶	۱۰۲	خطای خالص Net error
		۵۰۱/۵۹	۱۰۷	کل Total

مقابل مقادیر برازش شده از شکل خاصی تبعیت نمی‌کند. همچنین، فرض نبود خودهمبستگی خطاهای مدل نیز تایید می‌شود (شکل ۴ (d))، زیرا تغییرات خطاها در مقابل مقادیر مشاهده شده از روند خاصی تبعیت نمی‌کند.

بنابراین، سه فرض اعتبار تجزیه واریانس مدل رگرسیونی مندرج در جدول ۲ شامل نرمال بودن توزیع خطاها، یکسان بودن توزیع خطاها و نبود خودهمبستگی تایید می‌گردد.

فرض‌هایی برای صحت مدل رگرسیونی برازش شده وجود دارد. در شکل ۴، نتایج ارزیابی صحت فرض‌های تجزیه واریانس مدل رگرسیونی آورده شده است. همان‌طور که شکل ۴ (a و c) نشان می‌دهد، فرض نرمال بودن توزیع آماری خطاهای مدل تایید می‌شود، زیرا پراکندگی داده‌های خطا حول خط نرمال است و از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. بر اساس شکل ۴ (b) فرض یکسان بودن توزیع خطاها به ازای مقادیر برازش شده یکسان است، زیرا توزیع خطاها در

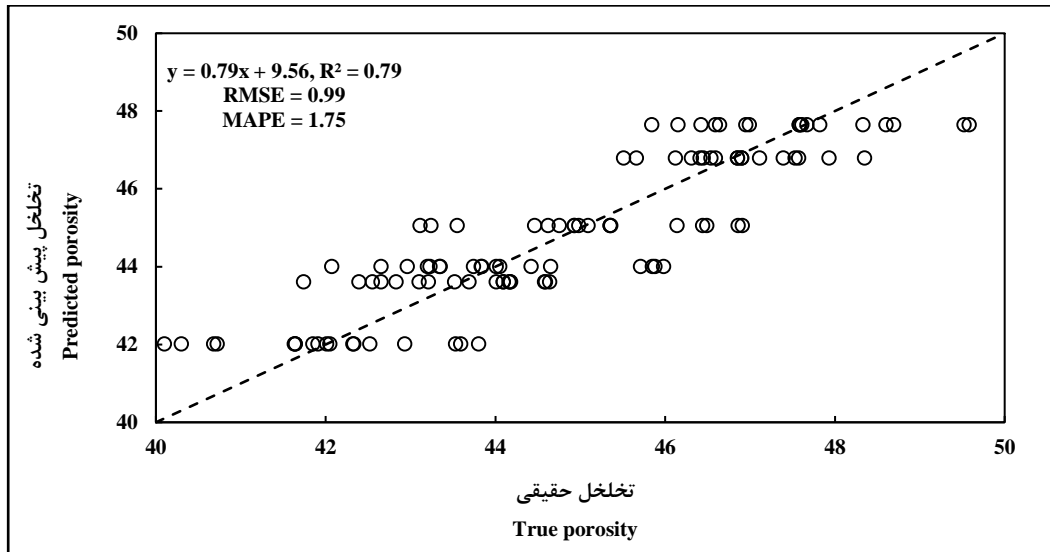


شکل ۴- ارزیابی اعتبار مدل رگرسیونی برازش شده

Fig. 4 - Evaluation of the validity of the fitted regression model

درجه به عنوان معیار ایده‌آل برازش باشد، بهترین نتیجه حاصل می‌شود. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، ضریب تبیین بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده برابر با $0/79$ است و از طرف دیگر مقادیر عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیونی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل نشان‌دهنده آن است که می‌توان به پیش‌بینی مدل اعتماد کرد.

در شکل ۵، نتایج ارزیابی توافقی بین مقادیر حاصل از آزمایش مزرعه‌ای و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل رگرسیونی برازش شده آورده شده است. همان‌طور که مقدار خطای مدل نشان می‌دهد، حداکثر خطای مدل در تخمین تخلخل ایجاد شده در خاک برابر با $1/75$ درصد است. بر اساس نتایج به دست آمده از این شکل، هر چقدر پراکنش داده‌ها نزدیک خط ۴۵

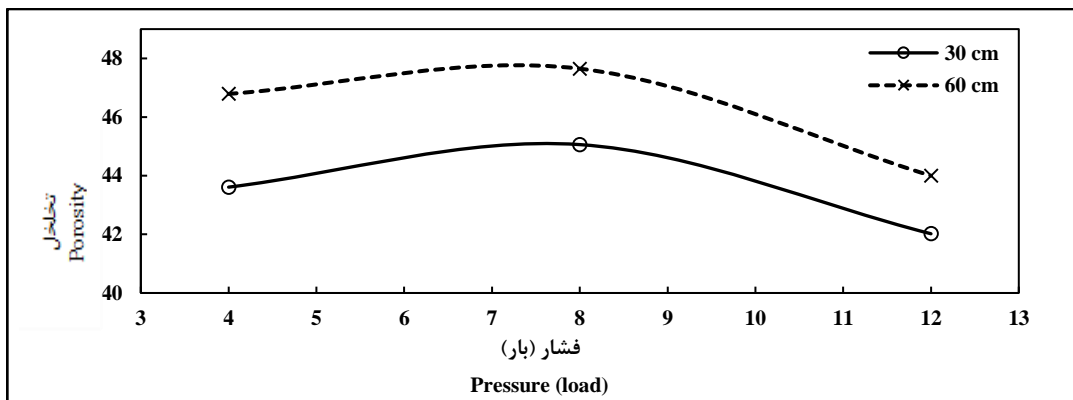


شکل ۵- مقایسه توافق بین مقادیر آزمایشگاهی و پیش بینی شده تخلخل خاک پس از کار سامانه طراحی شده

Fig. 5 - Comparison of agreement between laboratory values and predicted soil porosity after work of the designed system

سانتی‌متر صادق است. بر اساس این نتیجه می‌توان سطح فشار ۸ بار را برای دستیابی به بیشترین سطح تخلخل پیشنهاد کرد. این نتیجه موید آن است که برای دستیابی به بیشترین تخلخل نیاز به فشار حداکثری و به دنبال آن مصرف بیشتر انرژی و زمان نیست.

در شکل ۶، نتیجه به کارگیری مدل برآزش شده رگرسیونی به منظور مطالعه روند تغییرات تخلخل در مقابل دو پارامتر فشار و عمق آورده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که تخلخل با افزایش فشار تا مقدار تقریباً ۸ بار روند افزایشی و پس از آن روند نزولی دارد. این نتیجه برای دو عمق ۳۰ و ۶۰



شکل ۶- بررسی تاثیر فشار تولیدی سامانه تزریق در مقابل تخلخل ایجاد شده در دو عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر

Fig. 6- Investigation of injection system production pressure effect against porosity created in two depths of 30 and 60 cm

نتیجه‌گیری

این رو برای دستیابی به سطح خاصی از تخلخل نیاز به مدل رگرسیونی خواهد بود.

- خطای مدل رگرسیونی در تخمین تخلخل قابل قبول است، سایر معیارهای اعتبارسنجی تجزیه رگرسیونی نیز نشان می‌دهد که می‌توان به تخمین مدل پیشنهاد داده شده اطمینان کرد.

سامانه ساخته شده با موفقیت به بهره‌برداری رسید، پیشنهاد می‌شود برای اصلاح خاک و فراهم کردن شرایط بهینه رشد ریشه از این سامانه استفاده شود.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که سامانه

ساخته شده و پیشنهاد شده می‌تواند به شکل موثری باعث افزایش تخلخل خاک گردد. این ادعا به واسطه معنی‌دار شدن پارامترهای کاری سامانه است. به علاوه:

- رابطه رگرسیونی معنی‌داری بین دو پارامتر فشار و عمق به عنوان متغیر مستقل و تخلخل به عنوان متغیر وابسته وجود دارد.

- اثر متقابل بین فشار و عمق معنی‌دار است و از

مراجع

- Ankeny, M. D., Kaspar, T. C., & Prieksat, M. A. (1995). Traffic effect on water infiltration in chisel plow and no tillage system. *Soil Science Society of America Journal*, 59, 200-204.
- Asadi, A., & Taki, O. (2017). Development of a lawn aerator for hardsetting soils of Iran. *Agricultural Systems Agriculture and Research Mechanism. Agricultural Engineering Research Journal*. 17(67), 1-14. (in Persian)
- Cornish, P. S., & Limberly, J. R. (1987). Reduced early of direct drilled wheat in southern New South Wales: Causes and consequences. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 27, 869-880.
- Dolan, M. S., Dowdy, R. H., Voorhees, W. B., Johnson, J. F., & Bidwellschrader, A. M. (1992). Corn phosphorus and potassium uptake in response to soil compaction. *Agronomy Journal*. 84, 639-642.
- Entezari, M., Shariatmadari, H., Jalalian, A., & Taban, M. (2011). Zinc and manganese nutrition of acacia, elm and plane trees in isfahan landscape through hole mulching. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 42(2), 175-182. (in Persian)
- Jim, C. Y. (1998). Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong. *Journal of Landscape and Urban Planning*, 40, 235-249.
- Kafei, M., & Kaviyani, Sh. (2002). Lawn establishment and has bandary managment. Shaghayegh Roosta Cultural and artistic Institute Press. Tehran.,Iran. (in Persian)
- Rongli, S., Hongwei, L., & Yiping, T. (2008). Identification of quantitative trait locus of zinc and phosphorus density in wheat grain. *Journal of Plant Soil*, 306, 95-104.
- Solhjou, A. A., & Niazi, J. (2002). Effects of subsoiling on wheat yield. *Research Report*. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO). (in Persian)
- Thomsen, K. O., & Masterlonardo, R. M. (1971). A field procedure for estimating total porosity of saturated soils.
- Toorani Nator, M. (2001). Lawn and its utilization in sport centers and public green spaces. Agricultural and Natural Resources Engineering Organization Press. Tehran. Iran. (in Persian)

Research Paper**Construction and Evaluation of a Device for Injecting Air into
the Deep Soil and Modeling its Parameters****H. Mohammadinezhad, M. H. Aghkhani*, M. H. Abbaspour Fard and A. Rohani**

* Corresponding Author: Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Mashhad, Iran. Email: aghkhani@um.ac.ir

Received: 17 February 2020, Accepted: 12 July 2020

Abstract

In urban environments, root growth is limited because of limitation of soil and some problems the plants are faced with, for example soil compaction. The aim of this study was to build and evaluate a device that could improve the existing deficiencies for tree roots by increasing soil porosity and permeability through air injection. After construction of the machine, weighing 240 kg, equipped with a 7.5 HP engine and maximum injection pressure of 12 bar, the effects of machine operation and some important physical properties of soil such as porosity and infiltration were investigated. Multiple linear regression was used to investigate the relationship between the independent variables of the device including air pressure at 3 levels (4, 8 and 12 bars) and depth at 2 levels (30 and 60 cm) and the dependent variable of porosity. The results showed a significant regression model among the variables. Also, the regression model estimation error was 1.75%. Based on the results, the system can be reliably designed and manufactured to inject air into the soil to increase porosity.

Keywords: Air Pressure, Root Zone, Soil Porosity

© 2020 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran.



[This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0 license\)](#)