

ساخت و ارزیابی گودال کن هیدرولیکی برای کوددهی درختان در فضای سبز شهری و باغ‌ها

اورنگ تاکی* و اردشیر اسدی**

* نگارنده مسئول: بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. تلفن: ۰۶۱۳۷۷۶۰۰۶۱ (۰۳۱)، پیام‌نگار: orangtaki@yahoo.com
** به‌ترتیب: دانشیار؛ و مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱/۲۶

چکیده

رایج‌ترین شکل گودال‌کن‌هایی که در جهان برای حفر چال کود استفاده می‌شود، شکل مجهز به متنه ماریپیچ و شامل انواع دستی موتور و پشت تراکتوری است. این گودال‌کن‌ها هر یک به دلایلی در شرایط ایران قابل استفاده نیست. در این پژوهش یک گودال‌کن هیدرولیکی با الگوبرداری از عملکرد مینی لودرها ساخته شد که قابلیت به‌کارگیری در فضاهای محدود را داراست و می‌تواند گودال‌هایی به قطر ۲۰-۱۵ سانتی‌متر و تا عمق ۵۰ سانتی‌متر را با حداقل به‌هم خوردگی، به‌منظور کوددهی درختان، در خاک ایجاد کند. در این ماشین از نیروی هیدرولیک برای چرخش متنه و بالا و پایین بردن متنه در گودال استفاده می‌شود و برخلاف انواع رایج دستی و تراکتوری، متنه با سرعت آرام و با اعمال نیروی عمودی به داخل خاک پیچ می‌شود و خاک محبوس در بین پره‌ها با بالا آمدن متنه از گودال خارج می‌گردد. برای انتخاب مناسب‌ترین نوع متنه برای این ماشین، سه نوع متنه ماریپیچ شامل متنه ماریپیچ با نوک مخروطی (با دو گام مختلف ماریپیچ) و متنه ماریپیچ با لبه برش صفحه‌ای، و یک نوع متنه استوانه‌ای ارزیابی شدند. در استفاده از این متنه‌ها گشتاور و توان مورد نیاز برای نفوذ در خاک، انرژی مصرفی و عملکرد متنه در تخلیه گودال نیز بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که متنه‌های ماریپیچ با نوک مخروطی با صرف حداقل انرژی و مدت زمان، بهترین گزینه برای حفر گودال با این ماشین هستند. در خاک‌های سخت و اصطکاکی برای تخلیه مطلوب گودال، ماریپیچ‌های با گام کوچک‌تر و در خاک‌های چسبنده برای جلوگیری از فشردن خاک در بین پره‌ها، ماریپیچ‌های با گام بزرگ‌تر قابل توصیه خواهند بود.

واژه‌های کلیدی

چال کود، کوددهی درختان، متنه گودزن

مقدمه

آسیب به ریشه و اثربخشی حداکثری کود انتخاب می‌شود. میزان کود توصیه شده به‌طور یکنواخت در بین حفره‌ها توزیع می‌گردد و بسته به قطر سوراخ، می‌توان کود را با انواع مواد مکمل مانند کود پیت‌ماس، رس آهکی، پرلیت، سنگریزه، شن و ماسه یا سوپرچادب‌ها مخلوط کرد (Harris, 1992; Smalley & Wood, 1995; Gilman, 2004)

در حال حاضر بهترین روش جهت کوددهی درختان، حفر گودال در اطراف تنه آنهاست. این گودال‌ها معمولاً روی دایره‌هایی هم‌مرکز در اطراف درخت ایجاد می‌شود و فاصله آنها از تنه درخت بستگی دارد به گونه درخت، نوع ریشه آن، الگوی رشد ریشه، و نوع خاک. عمق گودال بر اساس وارد شدن کمترین

بودن جک‌های هیدرولیک تراکتور اعمال نیروی فشارنده بر مته امکان‌پذیر نیست و برای نفوذ بهتر مته نیاز به سنگین کردن آن خواهد بود. سنگین کردن ماشین نیز حد معینی دارد و ناکافی بودن نیروی فشارنده در خاک‌های سنگین موجب در جا کار کردن مته و گشاد شدن قطر حفره می‌شود. این عمل باعث می‌شود که در هنگام بالا کشیدن مته، خاک از لابلای پره‌ها به داخل گودال بریزد. همچنین، مانورپذیری انواع عقب‌سوار تراکتوری در فضاهای محدود بسیار پایین است و در بسیاری موارد نزدیک شدن آنها به تنه درختان امکان‌پذیر نیست.

با توجه به مشکلات موجود در انواع دستی و تراکتوری، در سال‌های اخیر گودال‌کن‌های قابل نصب روی انواع حامل‌ها و مینی‌لودرها به‌طور وسیعی به‌کار گرفته شده‌اند. در گودال‌کن‌های سوار بر مینی‌لودرها، مته روی بازوهای هیدرولیک ماشین نصب می‌شود. این ماشین‌ها نه تنها مانورپذیری بسیار بالایی دارند، بلکه به‌دلیل دو طرفه بودن جک‌های بازوهای حامل مته، قابلیت اعمال نیروی فشارنده روی آن را نیز دارند. در این نوع ماشین‌ها، مته با سرعت چرخش نسبتاً پایین و تحت اعمال نیروی عمودی تا عمق مطلوب به داخل خاک پیچ می‌شود و پس از توقف حرکت چرخشی مته، بازوها مته را از خاک بالا می‌کشند. در این حالت، خاک فشرده شده در لابلای پره‌ها با مته بالا می‌آید و گودالی با دیواره تمیز و با قطری معادل قطر مته ایجاد می‌شود. این روش معمولاً در مته‌های نمونه‌برداری دستی استفاده می‌شود که بالا کشیدن ستون کوچکی از خاک با کارگر میسر است، ولی با بزرگ شدن ستون خاک، اعمال نیروی عمودی برای پایین بردن مته و بالا کشیدن آن، از دامنه قدرت انسان خارج است. این نوع مته‌ها در بیشتر خاک‌ها، به‌جز خاک‌های بی‌ساختمان مانند ماسه‌زارها یا خاک‌های جنگلی که از پوشش ضخیمی از بقایای گیاهی تشکیل

رایج‌ترین شکل گودال‌کن که برای این منظور استفاده می‌شود گودال‌کن مجهز به مته مارپیچ است که شامل انواع نفربر (تک‌نفره، دونفره) و پشت‌تراکتوری است و در آن نیرو به کمک سیستم انتقال مکانیکی یا هیدرولیکی به مته مارپیچ انتقال می‌یابد. انواع نفربر که معمولاً در باغ‌های متراکم و عرصه‌های محدود فضای سبز به‌کار می‌روند یک مته عمودی دارند که معمولاً به‌طور مستقیم به سیستم انتقال نیروی مکانیکی و یک موتور متصل می‌شود که در بالای آن قرار گرفته است. با تعویض مته‌ها با طول‌های مختلف می‌توان گودال‌هایی با قطر ۲۰-۱۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰۰-۳۰ سانتی‌متر با این دستگاه حفر کرد (Jurgensen *et al.*, 1997).

مهمترین مشکل در استفاده از این نوع دستگاه‌ها، خطرهای احتمالی ناشی از گیرکردن مته در حفره و اعمال نیروی عکس‌العمل موتور به اپراتور است که بعضاً باعث خسارات جانی می‌شود (Miller *et al.*, 2004). از دیگر معایب این گودال‌کن‌ها می‌توان به ناکارایی آنها در زمین‌های خشک و با بافت سنگین، تأمین نشدن نیازهای ارگونومیکی برای کاربران (در شرایط سخت کار)، و پخش شدن خاک کنده شده به اطراف اشاره کرد (Jurgensen *et al.*, 1997).

در گودال‌کن‌های تراکتوری، ماشین به اتصال سه نقطه تراکتور نصب می‌شود و به کمک محور انتقال نیرو و یا پمپ هیدرولیک تراکتور حرکت می‌کند. اتصال سه نقطه به‌منظور بالا و پایین بردن گودال‌کن و در برخی طراحی‌ها برای تنظیم ارتفاع اتصال ثابت است و سیستم جداگانه‌ای برای بالا و پایین بردن گودال‌کن تعبیه شده است. رایج‌ترین طرح این گودال‌کن‌ها شامل یک دکل نصب شده روی اتصال سه نقطه است که مته بر انتهای آن با اتصال لولایی سوار شده است. مته حرکت خود را از شفت متصل به محور انتقال نیروی تراکتور می‌گیرد. از بزرگترین معایب این ماشین آن است که به‌علت یک‌طرفه

در این حالت، کود اضافه شده به صورت مجتمع در یک نقطه قرار می‌گیرد و ریشه‌های درخت به‌طور یکنواخت از آن بهره مند نمی‌شود.

در تحقیق حاضر، برای کوددهی در باغ‌های متراکم و فضای سبز شهری، ماشینی کوچک و قابل حمل در فضاهای محدود ساخته شد که برخلاف انواع گودال کن‌های موجود، مته با اعمال نیروی فشارنده و با سرعت چرخشی کم به داخل خاک پیچ می‌شود و با بالا کشیدن آن، خاک محبوس در بین پره‌ها از گودال خارج می‌گردد. عملکرد این ماشین با مته‌های مختلف از نظر گشتاور و توان مصرفی و کیفیت حفر گودال در نمونه‌هایی از خاک‌های ایران ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

طرح کلی ماشین گودال کن ساخته شده از مینی‌لودرهای چهار چرخ خودگردانی الگوبرداری شد که در استرالیا به‌طور وسیع استفاده می‌شوند. در این دستگاه‌ها معمولاً توان موتوری بنزینی یا دیزل به توان هیدرولیکی تبدیل و از نیروی هیدرولیک برای به حرکت درآوردن مته استفاده می‌شود. در این ماشین‌ها، برخلاف نوع تراکتوری که از سرعت چرخشی زیاد مته برای بالا آمدن و پرتاب شدن خاک به اطراف استفاده می‌شود، مته (در اثر اعمال نیروی عمودی بر آن) با سرعت کم به داخل خاک پیچ می‌شود و با بالا کشیدن آن به شکلی آهسته، خاک متراکم شده بین پره‌های مارپیچ به بالا کشیده می‌شود. بدین ترتیب در قدم اول یک واحد تولید توان هیدرولیکی ساخته شد تا از آن بتوان هم در تامین نیروی چرخشی استفاده کرد و هم در حرکت خطی.

واحد هیدرولیک از یک مخزن روغن تشکیل شده است که اجزای دیگر سامانه شامل پمپ هیدرولیک، صافی روغن، شیر فشارشکن، مانومتر، دماسنج، و شیلنگ‌های فشارقوی مدار روغن در داخل آن قرار گرفته‌اند. پولی

شده‌اند، کارآیی مطلوبی دارند (Ponder & Darrell, 1997).

در خاک‌های بدون ساختمان، نوع دیگری از مته، معروف به استوانه‌ای، معمولاً به‌صورت دستی و برای برداشت نمونه‌ای دست‌نخورده از خاک استفاده می‌شود. مته‌های استوانه‌ای در بسیاری از تحقیقات جنگل‌داری با توجه به عمیق بودن ریشه درخت‌ها و نیاز به نمونه‌گیری تا عمق زیاد، به کار می‌روند. با چرخش و فرو بردن یک استوانه در خاک می‌توان بدون ریزش ستون خاک نمونه‌های اعماق مختلف را به‌صورت لایه به لایه برداشت کرد.

پاندر و دارل (Ponder & Darrell 1997) برای سهولت در نمونه‌برداری از خاک‌های جنگلی یک نمونه‌بردار استوانه‌ای را روی گودال کن‌های موتوری سوار کردند و موفق شدند ستون‌هایی از خاک تا عمق مطلوب را خارج کنند.

در ایران، با توجه به سنگین بودن خاک‌ها، استفاده از انواع نفربر بسیار دشوار گزارش شده است. در مواردی، بهره‌برداران برای فراهم آوردن امکان استفاده از انواع دستی، قطر مته را تا اندازه ۸ سانتی‌متر کوچک کرده‌اند تا در دامنه توان کارگر قرار گیرد. اما با کوچک شدن قطر گودال ریختن کودهای آلی به داخل آن دشوار و زمان‌بر می‌شود و تنها برای اعمال کودهای شیمیایی و هوادهی خاک می‌توان از این روش استفاده کرد.

همچنین، مقذور نبودن حرکت تراکتورها در سایه‌انداز درختان و مانورپذیری ضعیف آنها در فضاهای محدود، به دلیل فاصله زیاد مته گودال کن از تراکتور (Zong et al., 2016)، باعث شده است که چال‌کود معمولاً با ابزار دستی حفر شود. با توجه به نیاز ابزارهای دستی به فضای کافی برای کندن خاک، لزوماً قطر گودال‌های حفر شده زیاد و تعداد گودال‌ها، با توجه به هزینه زیاد آنها، محدود است (معمولاً ۱ یا ۲ گودال به‌ازای هر درخت).

شد؛ و با توجه به حجم جابه‌جایی آن (۲۵۰ سی‌سی) و سرعت دورانی آهسته‌مته (۲ دور در ثانیه)، ظرفیت پمپ و حجم مخزن روغن انتخاب گردید.

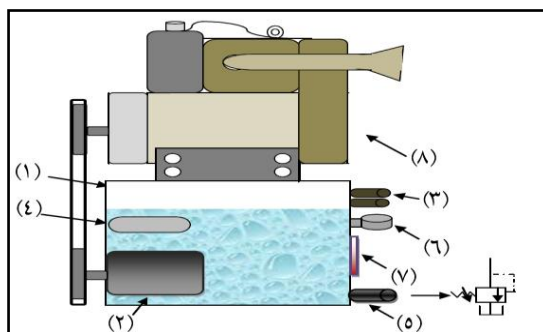
مجموعه موتور و واحد هیدرولیک روی یک شاسی دارای دو دیرک عمودی نصب و دو بازوی منحنی‌شکل در طرفین آنها لولا شد (شکل ۲). قسمت انتهایی بازوها با یک دیرک افقی به یکدیگر و به مجموعه مته و یاتاقان‌بندی محور آن متصل شده است. محور مته با یک کوپلینگ به یک هیدرو موتور متصل است که حرکت خود را از واحد هیدرولیک می‌گیرد. این بازوها با دو جک هیدرولیک دو طرفه بالا و پایین می‌رود و وظیفه دارد مته‌ای به قطر ۱۶ سانتی‌متر را تا عمق ۶۰ سانتی‌متری در خاک فرو برد و آن را تا حداقل ۲۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک بیرون کشد. دو طرفه بودن جک‌ها امکان اعمال نیرو را بر مته در هنگام پایین رفتن نیز فراهم می‌سازد. این ماشین روی چهار چرخ سوار می‌شود؛ محلی نیز در انتهای ماشین برای ایستادن کاربر تعبیه شده است. ایستادن کاربر روی ماشین برای افزایش نیروی وزن مورد نیاز برای متعادل کردن ماشین در هنگام اعمال نیرو به مته است.

محرک محور پمپ هیدرولیک بیرون از مخزن قرار دارد و حرکت خود را با تسمه از یک موتور دیزل می‌گیرد که در بالای مخزن نصب شده است (شکل ۱).

از آنجایی که اطلاعاتی از اندازه‌توان و گشتاور مورد نیاز برای چرخش مته در خاک‌های سخت ایران (با سرعت دورانی کم) در دسترس نبود، اجزای هیدرولیک در نمونه اولیه برای تولید توانی حدود ۲ برابر انواع دستی انتخاب گردید و در مرحله ارزیابی به اندازه‌گیری دقیق گشتاور مورد نیاز پرداخته شد که یکی از شاخص‌های مورد نیاز در طراحی ماشین است. با بررسی توان اسمی موتور گودال‌کن‌های دستی وارداتی مشخص شد که توان انواع تک‌نفره ۱/۵ تا ۲/۳ کیلووات (۲ تا ۳ اسب بخار) است که با احتساب ضریب اطمینان ۲، توان خروجی مورد نیاز سیستم هیدرولیک ماشین بین ۳ تا ۴/۶ کیلو وات (معادل ۴ تا ۶ اسب) در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن راندمان ۶۵ درصد برای انتقال توان از طریق سیستم هیدرولیک، توان موتور دیزل برابر ۹ اسب انتخاب شد. بر این پایه، با مراجعه به جدول مشخصات هیدروموتورهای وارداتی ساخت کشور بلغارستان (MS Hydraulic) (جدول ۱)، یک هیدروموتور با خروجی حداکثر ۵ کیلو وات برای به حرکت درآوردن مته انتخاب

جدول ۱- مشخصات فنی اجزای واحد هیدرولیک

ردیف	اجزای واحد هیدرولیک	مشخصات فنی اجزا
۱	مخزن روغن	ابعاد: ۴۰×۴۰×۴۰
۲	پمپ هیدرولیک	دنده‌ای با دبی ۲۰ لیتر بر دقیقه
۳	خروجی شیلنگ‌های فشار قوی	کوپلینگ فشاری قفل‌شو
۴	شیر فشارشکن	نوع فنری قابل تنظیم تا فشار ۲۵۰ بار
۵	صافی روغن	استوانه‌ای سیمی
۶	مانومتر	مکانیکی عقربه‌ای
۷	دماسنج	شیشه‌ای قابل نصب روی مخزن
۸	موتور	Lombardini 9 hp



شکل ۱- مجموعه موتور دیزل، واحد هیدرولیک و اجزای داخل آن



شکل ۲- مکانیزم محرک مته مارپیچ متشکل از موتور و واحد هیدرولیک و بازوهای هادی مته

سانتی متر مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند. مشخصات و اساس انتخاب آنها به شرح زیر است.

مته *استوانه‌ای*: این مته از یک استوانه به قطر ۱۶ و ارتفاع ۳۰ سانتی متر تشکیل شده است که دارای سه تیغه برنده در لب زیرین است. در اثر چرخش استوانه، لبه برنده ستونی از خاک را می‌برد؛ خاک بریده شده به داخل استوانه وارد می‌شود. سطح جانبی استوانه مطابق شکل ۳- الف برش خورده است تا اصطکاک بین خاک و جدار داخلی کاهش یابد. خاک وارد شده به داخل آن می‌تواند با پیستون تعبیه شده در داخل آن، خارج شود. در بالای استوانه، یک فلانچ برای اتصال آن به محور هیدروموتور در نظر گرفته شده است. این مته، با فرض کارآمد بودن آن، برای تخلیه کامل خاک کننده شده (در رطوبت مناسب) انتخاب شد.

با اعمال نیرو بر مته، چرخ‌های جلوی ماشین تمایل به بلند شدن از سطح زمین دارند و بدین لحاظ راننده بارگذاری روی مته را تدریجی و مرحله‌ای، متناسب با پایین رفتن مته، انجام می‌دهد. اندازه‌گیری وزن اعمال شده روی مته در حالت استاتیکی در آستانه جدا شدن چرخ‌های جلوی از سطح زمین تا بالا آمدن آنها ۵ سانتی متر بالاتر از خاک نشان داد که وزنی معادل ۸۵ تا ۹۶ کیلوگرم روی مته اعمال می‌گردد. این مقدار در حالتی است که وزن راننده که در محل استقرار خود در انتهای ماشین می‌ایستد، برابر ۷۵ کیلوگرم باشد. پس از ساخت واحد هیدرولیک محرک دستگاه، به انتخاب نوع و شکل مته پرداخته شد. با توجه به هدف به‌کارگیری ماشین در حفر چال کود، مته‌هایی، شامل دو نوع مته مارپیچ متداول و یک نوع مته استوانه‌ای، با مشخصات مختلف با قطر ۱۶

تیغه زوبین شکل جوش داده شده که استقرار اولیه مته را در محل سوراخ تضمین می‌کند (شکل ۳-د). طول مته بدون احتساب زوبین نوک آن، ۴۰ سانتی‌متر است. این مته روی گودال‌کن‌های وارداتی دستی موتورساز ساخت شرکت اشتیل نصب می‌شود و انتخاب آن با پیش فرض کارآمد بودن آن در بالا کشیدن خاک، به‌علت شکل افقی صفحه برش، بوده است.

این مته‌ها با حفر گودال‌هایی تا عمق ۵۰ سانتی‌متر در دو مزرعه با بافت خاک متفاوت ارزیابی شدند. مشخصات خاک دو مزرعه انتخابی در منطقه دستگرد خیار و منطقه برآن استان اصفهان در جدول ۲ آورده شده است. برای این ارزیابی، در هر مزرعه ۴ کرت به طول ۱۰ متر ایجاد و پس از آبیاری و رسیدن رطوبت کرت‌ها به ۱۴ تا ۱۶ درصد، چهار گودال با هر مته به‌صورت تصادفی در نقاط مختلف در قسمت میانی هر کرت حفر گردید (جمعاً ۱۶ گودال برای هر مته). گشتاور مورد نیاز برای چرخش مته در خاک در خلال حفر گودال، قطر و عمق هر گودال (حجم خاک کنده شده)، و میزان خاک کنده شده باقی‌مانده در گودال (پس از بالا آمدن مته) اندازه‌گیری شد و نتایج در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با یکدیگر مقایسه شدند.

مته ماریپیچ با نوک مخروطی: این مته مطابق شکل ۳-ب از یک ماریپیچ تشکیل شده که به اطراف یک محور به قطر ۳۰ میلی‌متر جوش داده شده است. عرض نوار ماریپیچ ۶۵ میلی‌متر است و در گام آخر (نزدیک به نوک مته) به تدریج کاهش می‌یابد و در انتهای محور به یک سانتی‌متر می‌رسد. در انتهای محور، یک تیغه مثلثی نوک‌تیز جوش داده شده که استقرار اولیه مته را در محل سوراخ تضمین می‌کند. طول مته بدون احتساب تیغه نوک‌تیز، ۵۰ سانتی‌متر است. این نوع مته با دو گام ۷۵ میلی‌متر (شکل ۳-ج) و ۵۰ میلی‌متر (شکل ۳-ب) برای ارزیابی ساخته شده است. این نوع مته رایج‌ترین نوع مته در جهان است و گام‌های انتخاب شده نیز بر مبنای اندازه متداول آن (۷۵ میلی‌متر) و ۳۰ درصد کوچکتر از گام متداول است. این انتخاب با در نظر گرفتن این پیش فرض است که کوچک شدن گام در کاهش گشتاور لازم برای پایین رفتن مته و تخلیه بهتر گودال از خاک مؤثر خواهد بود.

مته ماریپیچ با لبه برش صفحه‌ای: این مته از یک ماریپیچ با گام ۱۴۵ میلی‌متر ساخته شده که گام آخر آن به یک صفحه مدور افقی منتهی می‌شود. یک چهارم سطح این صفحه مدور بریده و در یک لبه آن تیغه‌ای برنده با زاویه ۴۵ درجه نصب شده است. در انتهای محور نیز یک

جدول ۲- مشخصات خاک محل‌های مورد آزمایش در دو منطقه دستگرد خیار و برآن جنوبی

وزن مخصوص ظاهری (کیلوگرم بر مترمکعب)	شاخص مخروطی در عمق ۵۰-۰ (مگاپاسکال)	رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	کلاس بافت خاک	محل مزرعه
۱/۴۱	۲/۳۳	۲۰	۵۵	۱۶	۲۹	شنی رسی لومی	دستگرد خیار
۱/۴۶	۱/۶۴	۲۳	۸	۵۰	۴۲	رسی لومی	برآن

هیدروموتور محرک مته استفاده شد. در این روش اختلاف فشار روغن با دو مبدل فشار نصب شده در قسمت ورودی

برای محاسبه گشتاور در این تحقیق، از روش اندازه‌گیری فشار روغن قبل (ورودی) و بعد (خروجی) از

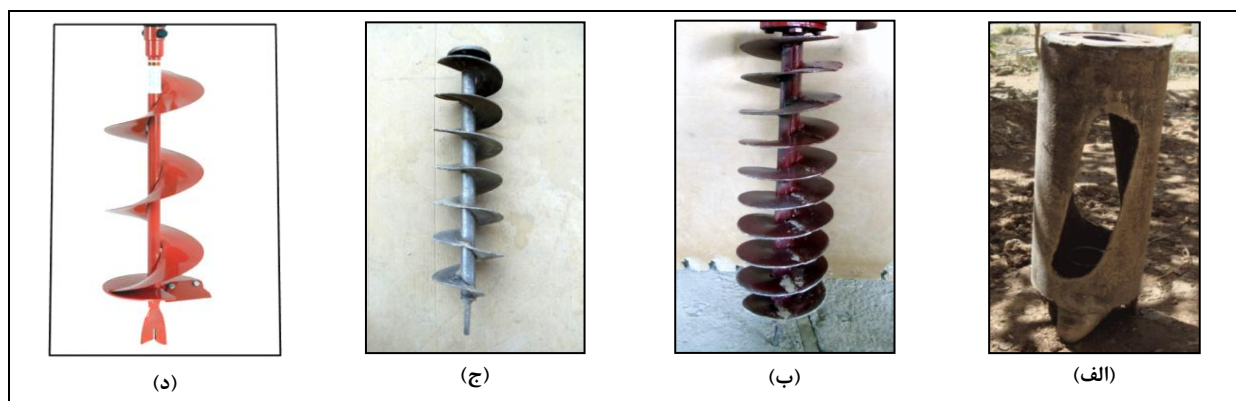
که در آن‌ها،
 T = گشتاور هیدروموتور (نیوتن.متر)؛ ω = سرعت زاویه‌ای (رادیان/ثانیه)؛ ΔP = اختلاف فشار ورودی و خروجی (بار)؛
 Q = دبی هیدروموتور (مترمکعب بر ثانیه)؛ n = سرعت دورانی موتور (دور بر ثانیه) و V_g = حجم جابه‌جایی هیدروموتور (مترمکعب) است. در صورت استفاده از واحد سانتی‌متر مکعب برای حجم جابه‌جایی هیدروموتور، رابطه ۱ به شکل ساده‌تر زیر تبدیل خواهد شد (رابطه ۲):

$$T(\text{N.m}) = 0.016 \times \Delta P (\text{bar}) \times V_g(\text{cm}^3) \quad (2)$$

و خروجی هیدروموتور، اندازه‌گیری شد. مبدل یا ترانسدیوسر فشار مورد استفاده در این آزمایش از نوع دیافراگمی و برای گستره‌ای از فشار ۰ تا ۳۰۰ بار انتخاب گردید. با توجه به مقادیر فوق، گشتاور چرخشی مورد نیاز برای به حرکت درآوردن مته در داخل خاک از رابطه ۱ محاسبه گردید که از معادل‌سازی توان مکانیکی و هیدرولیکی در روابط زیر به دست می‌آید.

توان هیدرولیکی = توان مکانیکی

$$\begin{aligned} T \times \omega &= \Delta P \times Q \\ Q &= V_g \times n, \omega = 2\pi n \\ T \times 2\pi n &= \Delta P \times V_g \times n \\ T &= \frac{\Delta P \times V_g}{2\pi} \end{aligned} \quad (1)$$



شکل ۳- چهار نوع مته مورد آزمایش بادستگاه گودال‌کن

(الف) استوانه‌ای، (ب) ماریپیچ مخروطی با گام کوچک، (ج) ماریپیچ مخروطی با گام بزرگ و (د) ماریپیچ با لبه برش صفحه‌ای)

مته‌ها، توان مورد نیاز نیز در خلال حفر گودال به‌طور متناسب محاسبه می‌شود. بدین ترتیب نمودار توان- زمان در همین مدت‌زمان برای هر مته رسم می‌شود و با محاسبه مساحت سطح زیر این نمودارها با نرم‌افزار محاسباتی متلب، انرژی مصرفی برای حفر هر گودال محاسبه خواهد شد. با تقسیم انرژی مصرفی به حجم خاک کنده شده از هر گودال، انرژی مصرفی هیدروموتور به‌ازای واحد حجم خاک کنده شده به دست می‌آید.

با اندازه‌گیری گشتاور مورد نیاز برای ورود هر یک از مته‌ها به داخل خاک، توان مورد نیاز با داشتن دور هیدروموتور از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$N = 2\pi \times T \times n_m \quad (3)$$

که در آن،

N = توان مورد نیاز هیدروموتور (وات)؛ T = گشتاور (نیوتن متر)؛ و n_m = دور هیدروموتور بر حسب دور در ثانیه.

با اندازه‌گیری پیوسته گشتاور مورد نیاز برای چرخش

نتایج و بحث

نیاز برای همین مته با گام کوچک است که به نظر می‌رسد به دلیل اصطکاک بیشتر خاک با پره‌های نزدیک به هم در گام کوچک است. مته مارپیچ با لبه برش صفحه‌ای نیز به علت نفوذ نیافتن در خاک مقاومت زیادی را در برابر چرخش ایجاد نکرده و گشتاور مورد نیاز نسبتاً کوچکی برای گردش آن اندازه‌گیری شده است. این مقادیر برای خاک شنی نیز رفتاری تقریباً مشابه با خاک رسی دارد با این تفاوت که گشتاور مورد نیاز آنها در این نوع خاک به‌طور کلی بیشتر از گشتاور مورد نیاز آنها در خاک رسی است. این موضوع نشان می‌دهد که عبور خاک‌های شنی اصطکاک‌ی، از لابه‌لای پره‌های مته‌های مارپیچ و همچنین در داخل استوانه دشوارتر است. تنها در مورد مته مارپیچ با لبه صفحه‌ای، گشتاور لازم به دلیل نفوذ نیافتن مته در خاک و درگیری کمتر آن، کاهش یافته است.

با اندازه‌گیری میزان اختلاف فشار ورودی و خروجی از هیدروموتور محرک مته و با داشتن حجم جابه‌جایی هیدروموتور، گشتاور حداکثر مورد نیاز برای ورود مته‌ها به داخل خاک از طریق رابطه ۱ محاسبه شدند. بر مبنای این مقادیر، گشتاور و توان مورد نیاز برای به حرکت در آوردن آنها از رابطه ۳ محاسبه و در جدول ۳ مقادیر متوسط آنها برای دو نوع بافت خاک آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که بیشترین گشتاور و توان مورد نیاز برای ورود مته به داخل خاک با بافت رسی لومی، مربوط به مته استوانه‌ای است که با گشتاور و توان مورد نیاز برای ورود مته مارپیچ مخروطی با گام کوچک اختلاف معنی‌داری ندارد.

مقدار توان مورد نیاز برای مته مارپیچ مخروطی با گام بزرگ به‌طور معنی‌داری کمتر از مقدار توان مورد

جدول ۳- مقایسه میانگین مقادیر گشتاور و توان مورد نیاز برای به حرکت در آوردن مته‌ها در خاک

شنی		رسی		نوع خاک
توان مورد نیاز (وات)	گشتاور مورد نیاز (نیوتن بر متر)	توان مورد نیاز (وات)	گشتاور مورد نیاز (نیوتن بر متر)	نوع مته
۱۴۸۷c	۱۸۹c	۱۶۰۸c	۲۰۵c*	مارپیچ با لبه برش صفحه‌ای
۲۳۵۱b	۲۹۹b	۲۰۵۰b	۲۶۱b	مارپیچ مخروطی با گام بزرگ
۲۶۹۳a	۳۴۳a	۲۲۱۱a	۲۸۲a	مارپیچ مخروطی با گام کوچک
۲۳۷۱b	۳۰۲b	۲۲۵۱a	۲۸۷a	استوانه‌ای

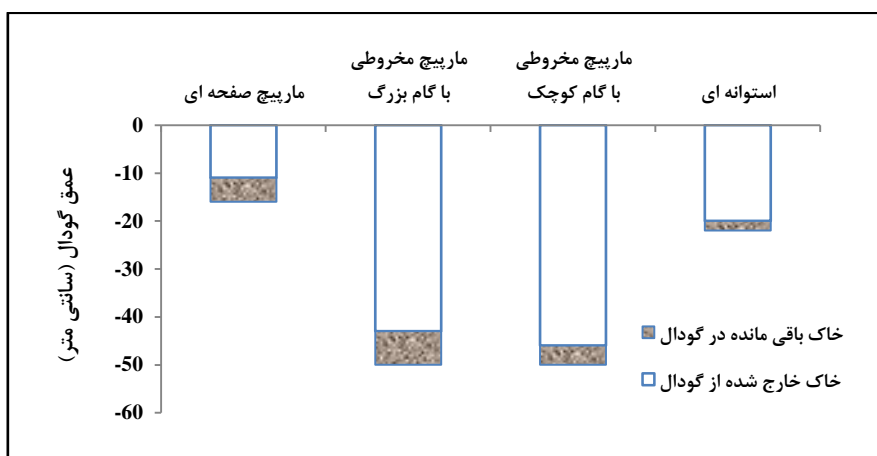
* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نسبت داد. مقایسه مته‌های مختلف در این دو نوع خاک نشان می‌دهد که مته مارپیچ با لبه برش صفحه‌ای نه تنها قابلیت نفوذ در عمق مطلوب را نداشته بلکه بیش از یک سوم خاک کنده شده را در گودال باقی گذاشته است. تمایل نداشتن به نفوذ در این مته منجر شده است به چرخش بدون پیشروی آن (درجا کارکردن) که به خرد شدن بیش از حد ساختمان خاک می‌انجامد. همچنین

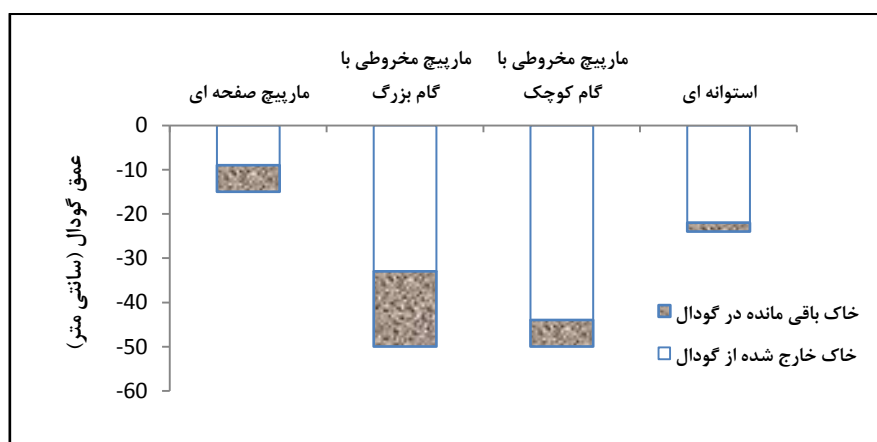
در شکل‌های ۴ و ۵، عمق کل خاک کنده شده (که تقریباً با عمق نفوذ مته برابر است) و عمق خاک خارج شده از گودال برای مته‌های مختلف در دو نوع بافت خاک رسی و شنی مقایسه شده است. این نمودارها نشان می‌دهد که به‌طور کلی خاک خارج شده از گودال در خاک رسی بیشتر است که می‌توان علت آن را به چسبندگی بیشتر این نوع خاک به پره‌های مارپیچ یا دیواره استوانه

شدن بهتر قطعات خاک در بین پره‌های مارپیچ می‌انجامد که همراه با بالا آمدن مته از گودال خارج می‌شوند. در مشاهدات مزرعه‌ای همچنین مشخص گردید که استفاده از مارپیچ با گام کوچک اگرچه در خاک شنی به حبس شدن بهتر خاک در بین پره‌های مارپیچ و تخلیه بهتر گودال کمک می‌کند، اما در خاک‌های رسی و مخصوصاً در رطوبت‌های بالا، به چسبیدن و فشرده شدن بیش از حد خاک در لابلاهای مارپیچ می‌انجامد که نیاز به خارج کردن آن از لابلاهای پره‌ها با وسیله‌ای اسکنه‌ای را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد.

بزرگ بودن گام مارپیچ در این مته، به بی‌قابلیتی آن در نگهداری خاک کمک کرده است که در نتیجه بیش از یک سوم ذرات ریز خاک در هنگام بالا آمدن به داخل گودال ریزش می‌کند. مته مارپیچ با نوک مخروطی با گام بزرگ نیز ۱۲ و ۳۴ درصد خاک کنده شده را به ترتیب در خاک‌های رسی و شنی از گودال خارج نکرده است. اما با کوچکتر شدن گام مارپیچ در مته "مخروطی با گام کوچک"، میزان خاک باقی‌مانده در گودال به ۸ و ۱۴ درصد به ترتیب در خاک‌های رسی و شنی می‌رسد. چرخش کمتر مته به‌ازای عمق معینی از خاک، به کمتر خرد شدن ساختمان آن و حبس



شکل ۴- مقایسه عمق کل گودال ایجاد شده شامل عمق خالی گودال به اضافه عمق تخلیه نشده در خاک رسی



شکل ۵- مقایسه عمق کل گودال ایجاد شده شامل عمق خالی گودال به اضافه عمق تخلیه نشده در خاک شنی

استوانه‌ای. تمایل نداشتن این دو نوع مته به نفوذ در خاک و مدت زمان طولانی که این مته‌ها برای ایجاد گودالی با عمق نسبتاً کم صرف کرده‌اند عامل بالا بودن انرژی مصرفی بوده است. در حالی است که مته‌های مارپیچ با نوک مخروطی به راحتی در خاک پیچ می‌شود و انرژی مصرفی آنها معادل ۲۵ درصد انرژی لازم برای مته با لبه برش صفحه‌ای است. از این جدول همچنین می‌توان دریافت که در مته‌های مخروطی، بزرگتر بودن گام مارپیچ باعث می‌شود تا مته در مدت زمان کمتری به عمق مورد نظر برسد و طبق جدول ۳ گشتاور و انرژی کمتری نیز مصرف کند. اما از آنجا که تخلیه گودال نیز از اهداف اصلی این عملیات است، استفاده از مته مخروطی با گام کوچکتر در خاک‌های شنی، حتی به قیمت صرف انرژی بیشتر، قابل توصیه خواهد بود.

مته استوانه‌ای به‌طور کلی در خاک شنی، نسبت به خاک رسی، نفوذ بیشتری دارد که علت آن را می‌توان به افزایش کمتر حجم خاک کنده شده در بافت شنی و چسبندگی کمتر خاک به دیواره داخلی استوانه نسبت داد. این دو عامل، ورود حجم بیشتری از خاک به داخل استوانه را امکان‌پذیر می‌سازد. این مته در هر دو نوع خاک گودال را به‌نحوی مطلوب تخلیه می‌کند و در صورت تعبیه یک پیستون در داخل آن به منظور تخلیه خاک، می‌توان برای تهیه نمونه‌های لایه‌بندی شده خاک از آن استفاده کرد. مقدار انرژی مصرفی برای واحد حجم خاک کنده شده با مته‌های مختلف در دو نوع بافت خاک (شنی و رسی) در جدول ۴ نشان داده شده است. از این داده‌ها می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین انرژی مصرفی مربوط است به مته مارپیچ با لبه برش صفحه‌ای و پس از آن به مته

جدول ۴- مدت زمان متوسط برای حفر گودال، میزان انرژی مصرفی و حجم خاک کنده شده در دو نوع بافت خاک

انرژی مصرفی به‌ازای واحد حجم خاک کنده شده ($\frac{\text{کیلوژول}}{\text{دسی متر مکعب}}$)	حجم خاک کنده شده (دسی متر مکعب)	انرژی مصرفی (کیلوژول)	مدت زمان متوسط لازم برای حفر گودال (ثانیه)	نوع مته	نوع مته
۱۶/۳۶	۳/۲۲	۵۲/۶۸	۶۶	رسی	مارپیچ با لبه برش صفحه‌ای
۱۷/۶۲	۳/۰۲	۵۳/۲۰	۶۹	شنی	
۴/۲۵	۱۰/۰۵	۴۲/۷۱	۳۹	رسی	مارپیچ مخروطی با گام بزرگ
۴/۳۶	۱۰/۰۵	۴۳/۸۴	۴۲	شنی	
۴/۲۳	۱۰/۰۵	۴۴/۳۲	۴۳	رسی	مارپیچ مخروطی با گام کوچک
۴/۶۱	۱۰/۰۵	۴۶/۳۴	۴۷	شنی	
۱۲/۴۵	۴/۴۲	۵۵/۰۲	۵۷	رسی	استوانه‌ای
۱۱/۱۸	۴/۸۲	۵۳/۹۰	۵۳	شنی	

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، از مشاهدات مزرعه‌ای در ارزیابی ماشین گودال‌کن با مته‌های مارپیچ مختلف می‌توان نتیجه گرفت که در روش استفاده از مته‌های کم سرعت، بالا آمدن خاک متناسب با پایین رفتن مته نیست و خاک کنده شده در اثر نیروی گریز از مرکز امکان بالا آمدن از روی مارپیچ را ندارد. در این روش، مته در اثر نیروی

مقایسه عملکرد مته‌ها در دو نوع خاک همچنین بیانگر آن است که به‌طور کلی مته‌های مارپیچ در خاک شنی انرژی بیشتری برای نفوذ نیاز دارند ولی در مورد مته استوانه‌ای خاک شنی انرژی کمتری نیاز داشته است. این مطلب نشانگر آن است که تأثیر چسبندگی خاک در انرژی مصرفی مته استوانه‌ای از تأثیر مقاومت خاک بیشتر است.

شود. در خاک‌های شنی، برای تضمین عملکرد مطلوب مارپیچ در تخلیه گودال، گام پیچ باید از ۵ سانتی‌متر بیشتر نباشد تا حدود ۸۸ درصد حجم خاک گودال تخلیه گردد. اما در خاک‌های رسی گام بزرگتر ترجیح داده می‌شود تا فشرده شدن قطعات چسبنده خاک رسی در بین پره‌های مارپیچ به حداقل برسد. استفاده از متنه استوانه‌ای به‌عنوان جایگزینی برای متنه‌های مارپیچ را می‌توان تنها برای شرایط خاصی پیشنهاد کرد. این نوع متنه تنها در شرایطی که در خاک بدون ساختمان (مانند ماسه زارهای خشک) نیاز به حفر گودال باشد، نسبت به متنه‌های مارپیچی، برتری دارد. در این نوع خاک‌ها پره‌های مارپیچ قابلیت نگهداری ذرات ماسه را ندارند و ریزش آنها باعث پر شدن گودال می‌شود.

فشاری وارده بر آن و حرکت چرخشی مارپیچ، به آرامی به داخل خاک وارد و خاک کنده شده در بین پره‌های مارپیچ فشرده می‌شود. با بالا کشیدن متنه از خاک، محبوس در بین پره‌ها بالا آورده می‌شود و پس از خروج متنه از گودال از بین پره‌ها ریزش می‌کند. در این روش، استفاده از نوک مخروطی برای سهولت پیچ شدن متنه در خاک و کمتر خرد کردن خاک، نسبت به لبه برش صفحه‌ای، برتری دارد. متنه مارپیچ با لبه برش صفحه‌ای تمایل کمی به نفوذ دارد و خاک را به صورت لایه لایه می‌برد و ساختمان خاک را کاملاً از هم باز می‌کند. در نتیجه، انرژی زیادی صرف خرد شدن ذرات خاک می‌شود و مدت‌زمان زیادی برای حفر گودال نیاز خواهد بود. علاوه بر نوک متنه، گام پیچ (متنه) نیز باید متناسب با سفتی و نرمی خاک و میزان چسبندگی خاک انتخاب

مراجع

- Ponder, F. Jr. and Darrell, E. A. 1997. Soil Sampler for Rocky Soils. North Central Forest Experiment Station Forest Service - U. S. Department of Agriculture 1992 Folwell Avenue St. Paul, Minnesota 55108.
- Gilman, E. F. 2004. Effects of amendments, soil additives and irrigation on tree survival and growth. *J. Arboric.* 30(5): 301-310.
- Harris, R. W. 1992. *Arboriculture: Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs, and Vines.* 2nd Ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Jurgensen, M. F, Larsen, M. J. and Harvey, A. E. 1997. A soil sampler for steep, rocky sites. Research Note INT-217. Ogden, UT: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Inter-mountain Forest and Range Experiment Station.
- Miller, J., Fragar, L. and Franklin, R. 2004. *Farm Machinery Safety. Injuries Associated with Posthole Diggers.* Australian Centre for Agricultural Health and Safety and Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra.
- Smalley, T. J. and Wood, C. B. 1995. Effect of backfill amendment on growth of red maple. *J. Arboric.* 21, 247-249.
- Zong, W. Y., Wang, J. L., Huang, X. M., Yu, D., Zhao, Y. and Graham, B. 2016. Development of a mobile powered hole-digger for orchard tree cultivation using a slider-crank feed mechanism. *Int. J. Agric. Biologic. Eng.* 9(3): 48-56.



Development and Evaluation of a Hydraulic Hole Digger for Spot Treatment of Landscapes and Orchards

O. Taki* and A. Asadi

* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran. Email: orangtaki@yahoo.com

Received: 17 August 2016, Accepted: 15 April 2017

The most common types of post hole diggers are the auger styles including the engine powered and tractor mounted types which neither are applicable in current situations of Iran. In this study a hydraulic driven post hole digger was developed which is applicable in restricted spaces and has the ability of digging 15-20 cm wide holes to a depth of 50 cm. In contrast to tractor and engine powered types, in the developed machine the auger is screwed down at a relatively slow rotational speed under a vertical force and the soil compacted between the auger's flights is brought out of the hole as the auger is lifted. In order to choose an appropriate auger for this machine three types of spiral augers with conical tips (two size of flights pitch) and flange tip and a cylindrical type were evaluated. The results showed that spiral augers with conical tip, the lowest energy consumption and time requirement was the most appropriate for this digger. In order to have a better evacuation of holes in hard and frictional soils, augers with smaller pitch are recommended whereas bigger pitches of auger are more appropriate for sticky soils to avoid soil compaction between the auger's flights.

Key words: Drill Hole, Fertilizing Trees, Post Hole Digger