نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

بهینه‌سازی ماشین هواده چمن به منظور به کارگیری در خاک‌های سنگین ایران

اورنگ تاکی[1*]، اردشیر اسدی[1]، محسن حیدری سلطان آبادی[1]
۱- اعضای هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان
ایمیل مکاتبه کننده: orangtaki@yahoo.com

چکیده

در حال حاضر عملیات هوادهی چمن توسط ماشین‌های خودگردان وارداتی انجام می گردد که نمونه‌های مرسوم آنها عملکرد مطلوبی نداشته‌اند. در این پژوهش با در نظر گرفتن اشکالات موجود در ماشین های هواده مرسوم نمونه ای جهت سازگاری با عرصه‌های چمن کاری ایران بهینه‌سازی شد. ارزیابی اشکال مختلف انگشتی های حفره زن نشان داد که انگشتی با مقطع مخروطی و نوک قلمی بهترین عملکرد از نظر نیروی مورد نیاز برای فرو رفتن در خاک و بریدن لایه کاهبرگ را داشته و طول فتیله‌های خارج شده از آن بزرگتر از انواع دیگر است. پس از ارزیابی و انتخاب شکل انگشتی، یک استوانه دو قسمتی با قطر نسبتا بزرگ ساخته و انگشتی انتخاب شده به تعداد مورد نیاز با آرایش مارپیچی برروی آن سوار گردید. این استوانه قابلیت ردیف کردن فتیله های خارج شده از انگشتی ها بر روی نوار باریک را داراست. در نهایت غلطک ساخته شده از طریق یک نقطه اتصال به یک تیلر متصل و ماشین از لحاظ طول فتیله‌های خارج شده از انگشتی‌ها و نیروی کارگری مورد نیاز برای جمع آوری فتیله ها از سطح چمنزار با یک ماشین وارداتی مقایسه شد. نتایج نشان داد استفاده از این ماشین باعث افزایش طول فتیله‌ها و عمق حفره های ایجاد شده می گردد و نیروی کارگری مورد نیاز جهت جمع آوری فتیله ها نیز به میزان حداقل ٦٥٪ کاهش می یابد. همچنین انتخاب روتور با قطر بزرگ و غیر فعال بودن آن در نمونه ساخته شده باعث گردیده کنده شدن چمن در هنگام خروج انگشتی ها اتفاق نیفتد.

واژه‌های کلیدی: هوادهی چمن، حفره زن، انگشتی های حفره زن

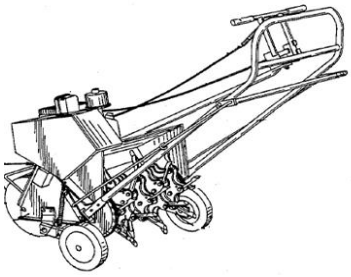
مقدمه

هوا دهی چمن با ایجاد حفره‌هایی در خاک و پر نمودن با ترکیبی از مواد نفوذپذیر، جاذب‌الرطوبه و کودهای آلی از روش‌های موثردر حفظ و نگهداری عرصه‌های چمن‌کاری فضای سبز شهری می‌باشد (تورانی ناطور، ۱۳۸۰). دو روش شکاف دادن سطح چمن‌زار و خارج کردن فتیله از خاک (ایجاد حفره) در عملیات هوادهی متداول و مرسوم می‌باشد ماشین‌های شکاف دهنده معمولا دارای یک محور سراسری هستند که تیغه‌ها با حرکت دورانی محور، شکاف‌هایی را در چمن‌زار بوجود می‌آورند(بهروزی‌لار ، ۱۳۷۷). در هوادهی چمن به روش ایجاد شبکه‌های حفره-ای عمل هوادهی توسط انگشتی‌ها انجام می‌شود. انگشتی‌ها عمل سوراخ‌زنی را به دو صورت حفره‌زدن و سمبه‌زدن (میخ زنی) انجام می‌دهند. در عملیات حفره‌زنی انگشتی‌های توخالی حجمی از خاک را خارج کرده و حفره‌ای در

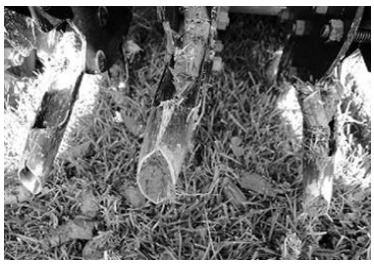
سطح چمن‌زار به جا می گذارند، اما در روش سمبه‌زنی انگشتی‌های توپر حجمی از خاک سطحی را به طرف پایین و اطراف می‌فشارند که نتیجه آن ایجاد حفره‌ای در سطح چمن‌زار است (موسوی خراسانی و افسری، ۱۳۸۹؛ feld man,1991). برای فرو بردن انگشتی‌ها در خاک از دو مکانیسم روتوری و رفت و برگشتی در ماشینهای هواده استفاده می‌شود.در نوع روتوری انگشتی‌ها به صورت‌های مقید و غیر مقید (hober et al,1998؛ بهروزی‌لار، ۱۳۷۷) اطراف یک روتور نصب می‌شوند. با چرخش روتور، لبه انگشتی با زاویه‌ای نسبت به سطح افق با خاک تماس پیدا کرده و در خاک فرو می‌رود. انگشتی با ادامه چرخش به حالت قائم درآمده، به نفوذ خود در خاک ادامه داده و در نهایت با زاویه از خاک خارج می‌شود. برای به حداقل رساندن سطح بهم خوردگی خاک و رسیدن به عمق مطلوب، انگشتی‌ها بایستی بگونه‌ای طراحی شوند که با کمترین زاویه نسبت به خط قائم وارد خاک شده و با زاویه ای مشابه از آن خارج شوند(vidfeld et al,1991و). همچنین آرایش انگشتی‌ها در اطراف روتور بایستی چنان باشد که در زمان فرو رفتن در خاک وزن کافی بر روی هر انگشتی اعمال شود (آرایش هلیسی یا مارپیچ). در این حالت خاک خارج شده از سطح چمن‌زار، بصورت فتیله‌ای در داخل انگشتی باقی می‌ماند تا در فشار خاک در نفوذ بعدی به بیرون رانده شود. در شکل ۲ نمونه ای از این ماشین‌ها مشاهده می‌گردد. در ماشین‌های مجهز به مکانیسم رفت و برگشتی، انگشتی‌ها توسط یک مکانیسم لنگ، در خاک نفوذ کرده و از آن خارج می‌شوند. نمونه‌هایی از دستگاههای هواده چمن وارد کشور شده است ولی عملکرد آنها رضایت کامل مسئولین فضای سبز شهری را برآورده نکرده است. خصوصیات خاک‌های عرصه‌های چمن‌کاری ایران که خاک‌هایی با بافت متراکم و سخت می‌باشد سبب عدم فرو رفتن انگشتی‌های دستگاههای هواده چمن در خاک و یا ایجاد حفره‌هایی با عمق کمتر از عمق مورد نظر می‌گردد.در تحقیقی توسط موسوی خراسانی دو نوع از ماشینهای هواده وارداتی با مکانیسم روتوری متداول مورد ارزیابی قرار گرفت. در ماشین اول، انگشتی‌ها از نوع استوانه‌ای و آرایش آن بصورت ۵ ردیف ٤ تایی بود (شکل ۱).

قطر دهانه ورودی انگشتی ها ١٤ میلی‌متر و فاصله دو ردیف مجاور ۱۵۰ میلی‌متر بود. وزن ماشین برابر ۱۰۰۰ نیوتن و موتوری با قدرت ٤ اسب بخار حرکت ماشین را با سرعت ۹/۵ کیلومتر در ساعت انجام می‌دهد. در ماشین نوع دوم (شکل۲و۳)، انگشتی‌ها از نوع مخروطی بصورت ثابت و با آرایش مارپیچ در اطراف ۵ جفت فلانچ جدا از هم که حول یک محور می‌چرخند، نصب شده‌اند. در این طراحی، در هر لحظه یک یا دو عدد انگشتی‌ها در خاک نفوذ می‌کنند.

شکل۱: ماشین هوادهی چمن روتوری با انگشتی استوانه‌ای و آرایش ردیفی



شکل۲: نمونه‌ای از ماشین‌های هواده با آرایش مارپیچی



شکل ۳: ماشین هوادهی چمن روتوری با انگشتی‌های مخروطی و آرایش مارپیچی

انگشتی‌ها با زاویه‌ای نسبت به امتداد شعاعی روتور، بصورت ثابت اطراف آن بسته شده‌اند که در زاویه‌ای کوچک نسبت به امتداد قائم در خاک نفوذ کرده و با زاویه‌ای به نسبت بیشتر از زاویه ورود (در جهت عکس)، از آن خارج می‌شوند. قطر دهانه ورودی انگشتی‌ها در این ماشین نیز ١٤ میلی‌متر، طول آن ها١٠٠ میلی‌متر، فاصله بین دو انگشتی مجاور روی ردیف ١٠٠ میلی‌متر و فاصله ردیف‌های مجاور ١٥٠ میلی‌متر بود. وزن ماشین برابر ١٢٤٠ نیوتن و با موتوری به قدرت ٤ اسب بخارعملیات هوادهی را با سرعت ١٠ کیلومتر در ساعت انجام می‌داد.نتایج ارزیابی دو ماشین هواده نشان داد که در ماشین‌های هوادهی با انگشتی استوانه‌ای و با آرایش ردیفی، میانگین عمق حفره‌ها بسیار کمتر از حد مطلوب و میانگین طول فتیله‌ها حتی کمتر از آن می‌باشد. در این ماشین ضمن آنکه شکل و قطر انگشتی ممکن است عامل گیر کردن فتیله‌ها درداخل انگشتی‌ها باشد، وزن کم ماشین نیز ممکن است نیروی لازم برای فروبردن چهارانگشتی بطور همزمان را فراهم نکند. درماشین‌هواده با انگشتی‌های مخروطی وآرایش مارپیچی، عمق حفره‌ها وطول فتیله‌های خارج شده به مراتب مطلوبتر از نوع ردیفی بود. با این حال، قرار گرفتن انگشتی‌ها بازاویه ای نسبت به شعاع روتور (که برای بهبود میزان اعمال وزن برروی انگشتی درنظرگرفته شده است) باعث می‌گردد انگشتی‌ها درزمان خروج، تکه‌ای ازخاک را کنده و در برخی موارد به عقب پرتاب کند. در این تحقیق،کارگر مورد نیاز برای جمع آوری فتیله‌ها از یک قطعه زمین چمن با مساحت ١٠٠٠ مترمربع، ١/٢کارگر-روز گزارش گردید که درصورت ایجاد تمهیداتی بر ای جمع آوری ویا ردیف کردن فتیله‌ها، می-توان هزینه کارگر مورد نیاز برای این عملیات راکاهش داد (موسوی خراسانی و افسری، ١٣٨٩).

در تحقیق حاضر با هدف بهینه سازی دستگاه های هوادهی چمن تغییراتی در شکل انگشتی ها حفره زن اعمال و عملکرد هر کدام مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس با نصب آنها بر روی یک غلطک پیشنهادی عملکرد کل ماشین بررسی گردیده است.

مواد و روش‌ها

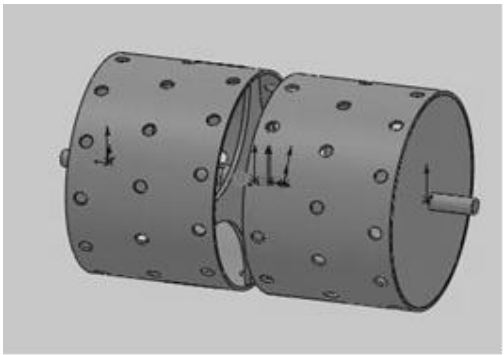
بطور کلی دو نوع انگشتی از نظر شکل مقطع شامل استوانه‌ای و مخروطی برروی ماشین‌های هوادهی وجود دارد. در نوع مخروطی، عبورخاک ازداخل انگشتی راحت‌تر از نوع استوانه‌ای می‌باشد. لیکن به نظر می‌رسد نوع مخروطی، به علت اندازه قاعده بزرگتر، نیروی فشارنده بیشتری نیاز خواهد داشت. به غیر از مخروطی ساختن شکل مقطع انگشتی، شیاردار ساختن دیواره انگشتی‌های استوانه‌ای نیز می تواند به عنوان راه حلی برای کاهش اصطکاک داخلی خاک و جداره استوانه موثر باشد. بدین جهت سه نوع انگشتی، شامل انگشتی استوانه‌ای با دیواره بدون شیار، انگشتی استوانه‌ای با جداره شیاردار و انگشتی مخروطی ساخته شد. طول موثر هر یک از انواع انگشتی ها ٧٠ میلی متر در نظر گرفته شد و به روش ماشین کاری از فولاد کربن دار ساخته شد. علاوه بر شکل جداره انگشتی، شکل نوک نافذ آن نیز نقش موثری در نفوذ انگشتی دارد. بنابر این هر سه نوع انگشتی در دو حالت قلمی شده رو به بالا و پایین و صاف، (بیرون پخ زده شده) از نظر طول فتیله‌های خارج شده و نیروی فشارنده مورد نیاز، با یکدیگر مقایسه شدند. در هر سه نوع انگشتی، جهت یکنواختی و امکان اتصال آنها به وسایل اندازه‌گیری، یک سمت انگشتی تا طول ٢٠ میلیمتر رزوه شد. این طرح باعث ایجاد مسیر مستقیمی جهت خروج فتیله‌ها از انگشتی گردید. انگشتی

های استوانه ای به شکل یک لوله با قطر داخلی ۱۷ میلیمتر و ضخامت جداره ۲ میلیمتر است. ویژگی این مدل، سادگی ساخت آن می‌باشد. جهت نفوذ بهتر انگشتی در خاک، انتهای نافذ آن باید تیز شود. از این رو، بسته به روش تیز کردن انتهای نافذ، دو نوع انگشتی استوانه‌ای با لبه صاف (که از برون پخ زده شده) و انگشتی استوانه‌ای بانوک قلمی شده (رو به بالا و پایین) ساخته شد. انگشتی استوانه ای شیاردار نیز ساختمان مشابهی دارد با این تفاوت که در دیواره استوانه شیارهایی جهت کاهش اصطکاک ایجاد شده است. درانگشتی مخروطی جهت تسهیل عبور فتیله‌ها از داخل آن، جداره داخلی و خارجی به شکل مخروطی ساخته می‌شود. در این نوع قطر دهانه ورودی ۱۷ و قطر دهانه خروجی ۱۹ میلیمتر در نظر گرفته شد. در ارزیابی عملکرد انگشتی‌ها نیروی لازم برای فرو بردن تا عمق مطلوب و طول فتیله‌های خارج شده مورد اندازه‌گیری قرارگرفت

برای مقایسه انگشتی‌ها از نظر نیروی لازم برای برش چمن و نفوذ انگشتی در خاک، نیروی لازم برای فشردن انگشتی به سطح چمن با زاویه ٤٥ درجه و همچنین نیروی لازم برای فرو بردن انگشتی تا عمق مطلوب با زاویه قائم اندازه‌گیری گردید.

این اندازه‌گیری‌ها پس از انجام عملیات چمن‌زنی و دو روز پس از آبیاری، در رطوبت ۲٦ درصد خاک، انجام شد. جهت اندازه‌گیری نیروهای اشاره شده از یک لودسل فشاری از نوع S شکل (مدل DBBP 5t) استفاده گردید. بدین ترتیب که لودسل مابین یک دسته صلیبی شکل و انگشتی قرارگرفت. پس از اعمال نیروی استاتیکی به انگشتی‌ها و نفوذ آنها تا عمق مطلوب، طول هر یک از ستون‌های خاک وارد شده به آنها بوسیله کولیس دیجیتال اندازه گیری شد. اندازه گیری‌ها در یک قطعه زمین چمن شهری با مساحت ۲۲۰ مترمربع انجام شد.

در این قطعه هر انگشتی در چهار نقطه مختلف زمین و به تعداد ۱۰ تکرار به کار گرفته شد و میانگین های آن ها در قالب طرح کاملاً تصادفی به وسیله نرم افزار SAS مورد مقایسه آماری قرار گرفتند. پس از انتخاب نوع انگشتی یک غلتک با قطر ٤٥ سانتیمتر که انگشتی‌ها برروی سطح خارجی آن باآرایش مارپیچی پیچ می شوند ساخته شد. این غلطک که بصورت تو خالی ساخته شده،ازدو نیم غلطک تشکیل شده که با فاصله‌ای درکناریکدیگرقرارگرفته‌اند. غلطک‌ها هرکدام ازطریق یک جفت فلانچ در دو انتها بر روی یک محور مشترک سوار و محور از طریق دو یاتاقان به بدنه متصل می‌شوند. در این طرح فرض شده که فتیله‌ها پس ازبیرون آمدن ازانگشتی، به داخل استوانه تو خالی افتاده و در اثر چرخش آن از فاصله بین دو غلتک بر روی زمین بر روی نواری ریخته می‌شوند .



شکل ۵ : غلطک میان باز برای ردیف کردن فتیله ها بر روی یک نوار باریک

شکل٦: دستگاه هواده ساخته شده متصل به تراکتور دو چرخ

جهت خروج فتیله‌ها ازناحیه بین غلتک‌ها، فلانچ های میانی از نوع ستاره‌ای و فلانچ های طرفین از نوع دایره‌ای تو پر انتخاب گردیده است.این روتور بر روی یک شاسی سوار و شاسی از طریق یک نقطه اتصال به یک تیلر با قدرت ۱۳/۵ اسب بخار با چرخ‌های صاف متصل گردید (شکل ٦). ارزیابی ماشین در یک قطعه زمین چمن فضای سبز شهری با رطوبت ۲۲ درصد انجام و سپس با یک ماشین وارداتی با انگشتی های مخروطی و آرایش استوانه‌ای مقایسه گردید (گزینه برتر در تحقیق موسوی خراسانی از نظر نفوذ و طول فتیله ها). مشخصات این ماشین در مقدمه ذکر گردیده است. در این مقایسه هر ماشین در مساحتی حدود ۱۰۰ متر مربع در چهار نقطه مختلف زمین بکار گرفته شد و میانگین شاخص های اندازه‌گیری شده توسط آزمون تی‌استیودنت مقایسه گردیدند. عملکرد دستگاه‌ها از نظر طول فتیله‌های خاک خارج شده از انگشتی‌ها، عمق حفره‌های ایجاد شده در سطح چمن‌زار و نیروی کارگری مورد نیاز برای جمع آوری فتیله‌ها مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

مقایسه انگشتی‌ها از لحاظ نیروی استاتیکی مورد نیاز جهت نفوذ با زاویه ٤٥ درجه در جدول ۱ نشان می‌دهد در هر سه نوع انگشتی، قلمی کردن نوک انگشتی رو به بالا نیروی مورد نیاز برای نفوذ را نسبت به لبه قلمی شده رو به پایین (لبه پخ زده شده) و لبه صاف بطور معنی‌داری کاهش داده است. شیاردار کردن دیواره انگشتی در نوع استوانه‌ای تفاوت معنی‌داری در نیروی مورد نیاز جهت نفوذ انگشتی با زاویه ٤٥ درجه در لایه کاهبرگ ایجاد نکرده است. بیشتر بودن نیروی مورد نیاز برای نفوذ انگشتی مخروطی با نوک صاف نسبت به انگشتی‌های دیگر را می توان به بزرگتر بودن مقطع این انگشتی نسبت به سایر انگشتی‌ها مربوط دانست.

جدول ۱ نشان می‌دهد که در هر سه نوع انگشتی قلمی بودن نوک آنها عامل کاهش نیروی مورد نیاز برای نفوذ در خاک بوده است. بیشترین نیروی مورد نیاز برای نفوذ در خاک، مربوط به انگشتی مخروطی با نوک صاف بود. زاویه مخروطی این انگشتی تمایل خاک به حرکت به اطراف را نسبت به حرکت به داخل استوانه افزایش می‌دهد. در صورت قلمی کردن نوک انگشتی نیروی مورد نیاز به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داشته است. قلمی کردن نوک

جدول ۱ – مقایسه میانگین نیروی مورد نیاز جهت نفوذ

نوع انگشتی	نیروی مورد نیاز جهت نفوذ (نیوتن) با زاویه ٤٥درجه			نیروی مورد نیاز جهت نفوذ (نیوتن) با زاویه ۹۰ درجه	
	نوک صاف	نوک قلمی روبه پایین	نوک قلمی رو به بالا	نوک صاف	نوک قلمی شده
استوانه‌ای	٥٩١ab*	٥٦١b	٥١٣c	٥٨٥ b*	٥٥٨ c
استوانه‌ای شیاردار	٥٨٢ab	٥٦٧b	٥١٢c	٥٨٣ b	٥٥٨ c
مخروطی	٦٣٣a	٥٧١ab	٥٢٣c	٦٨٧ a	٥٦١ c

*.میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن نمی‌باشند

انگشتی تاثیر معنی داری بر کاهش نیروی لازم جهت نفوذ، در همه انگشتی‌ها ایجاد می‌کند که میزان کاهش آن در نوع مخروطی بیشتر می‌باشد. عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های نیروی مورد نیاز برای نفوذ در تیمارهای مختلف انگشتی استوانه‌ای ثابت می‌کند که شیاردار کردن جداره انگشتی‌های استوانه‌ای تاثیری در کاهش حداکثر نیروی استاتیکی عمودی مورد نیاز جهت نفوذ تا عمق مطلوب نداشته است.

همانطور که ذکر شد در تیمارهای قلمی شده بین انگشتی مخروطی و انواع انگشتی استوانه‌ای، اختلاف معنی داری در میانگین نیروی عمودی مورد نیاز جهت نفوذ تا عمق مطلوب وجود ندارد، در حالی که انتظار می‌رود این نیرو در انگشتی مخروطی، به علت افزایش پیوسته سطح مقطع آن، از انگشتی‌های استوانه‌ای بیشتر باشد. این نتیجه بیانگر آن است که مسدود نشدن مقطع ورودی انگشتی‌های مخروطی در هنگام ورود خاک به داخل آنها نسبت به انواع استوانه ای در کاهش نیروی مورد نیاز موثر بوده است.

مقایسه عملکرد انگشتی‌ها از لحاظ طول فتیله‌هاو عمق حفره های ایجاد شده

مقایسه میانگین طول فتیله‌های خارج شده در جدول ۲ آورده شد. بیشترین طول فتیله بدست آمده در دو زاویه ٤٥ و ۹۰ درجه، متعلق به انگشتی با مقطع مخروطی و نوک قلمی شده است که اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر

جدول ۲- مقایسه میانگین طول فتیله‌های خارج شده در اثر نفوذ

نوع انگشتی	طول فتیله های خارج شده (میلی‌متر) با زاویه ٤٥ درجه		طول فتیله های خارج شده (میلی‌متر) با زاویه ۹۰ درجه	
	نوک صاف	نوک قلمی روبه پایین	نوک قلمی روبه بالا	نوک صاف	نوک قلمی شده
استوانه‌ای	۸/۳ c*	۲۳b	۲۸b	۸/۲c	۲۵/۰b
استوانه‌ای شیاردار	۸/۰c	۲٤/۰ b	۲۸/۰ b	۸/۲ c	۲۷/۰b
مخروطی	۲٤/ ۰ b	٤۰a	٤۰/۰ a	۳۲/۰b	۵۵/٤a

*.میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن نمی‌باشند

تیمارها دارد. در زاویه ٤٥ درجه این نوع انگشتی صرف نظر از جهت قرارگیری نوک آن توانسته است نسبت به دو نوع استوانه‌ای دیگر، طول فتیله ها خارج شده از خاک را بین ۱۲تا ۱٦ میلی‌متر افزایش دهد. اعداد جدول ۲ همچنین نشان می‌دهند که در زاویه ٤٥ درجه قلمی کردن نوک انگشتی‌ها زمانی که نوک قلمی شده رو به بالا قرار گرفته است منجر به افزایش طول فتیله های خارج شده می‌گردد. همانطور که ذکر شد مخروطی ساختن مقطع انگشتی تاثیر قابل توجهی بر روی افزایش طول فتیله‌ها داشته است (جدول ۲)، در حالی که ایجاد شیار در سطح انگشتی استوانه ای تاثیر معنی داری بر روی طول فتیله‌های خارج شده ایجاد نکرد.

نتایج مشابهی نیز برای حالتی که انگشتی ها با زاویه عمودی وارد خاک می‌شوند مشاهده می‌گردد. به طور کلی از نتایج اندازه گیری نیروی لازم برای نفوذ انگشتی و طول فتیله‌های خارج شده می‌توان دریافت که از لحاظ نیروی

مورد نیاز جهت برش لایه سطحی چمن و نفوذ تا عمق مطلوب انگشتی مخروطی با نوک قلمی بهترین عملکرد را داشته است. این نوع انگشتی بدون نیاز به نیروی فشارنده اضافی (نسبت به انواع استوانه ای) می‌تواند به طور معنی‌داری طول فتیله‌های خارج شده را افزایش دهد. ازآنجایی که انتظار می رود نیروی مورد نیاز جهت نفوذ انگشتی مخروطی (بعلت افزایش پیوسته مقطع آن) بیشتر از انگشتی های استوانه‌ای باشد و با توجه به اینکه طول فتیله‌های خارج شده در نوع مخروطی قلمی شد بیشتر از انواع استوانه ای می باشد، عدم وجود اختلاف معنی دار در میانگین نیروی مورد نیاز را می‌توان به علت گیرکردن فتیله‌های خاک در انگشتی‌های استوانه‌ای دانست.

با انتخاب انگشتی مخروطی با نوک قلمی شده به عنوان انگشتی مناسب و قراردهی انگشتی‌ها به تعداد مورد نیاز بر روی روتور با آرایش مارپیچی و اتصال آن به یک تیلر، عملکرد ماشین ساخته شده با یک ماشین وارداتی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از مقایسه شاخص های اندازه گیری شده نشان می‌دهد، ماشین ساخته شده میانگین عمق حفره های ایجاد شده و طول فتیله‌های خارج شده را به طور معنی داری نسبت به ماشین وارداتی افزایش داده است(جدول ۵). بزرگتر بودن قطر دهانه ورودی انگشتی ها در ماشین بهینه سازی شده (۱۷ میلیمتر در برابر ۱٤ میلمتر در ماشین وارداتی) و امکان اعمال وزن بیشتر بر روی غلطک دو عامل اصلی در بهبود عملکرد ماشین به حساب می آید. استفاده از توان بیشتر تراکتور دو چرخ نسبت به توان ماشین خودگردان وارداتی امکان اعمال وزن بیشتر بر روی غلطک را فراهم نموده است. در این حالت راننده پس از دور زدن و هدایت ماشین در مسیر دلخواه بر روی سکویی که در عقب ماشین تعبیه شده است سوار می شود. متحرک بودن بار در این حالت (وزن انسان) با توجه به دو چرخ بودن ماشین تعادل وزنی ماشین را در زمان دور زدن تسهیل می نماید. زمان لازم جهت جمع آوری فتیله‌ها خارج شده از انگشتی‌ها در ماشین ساخته شده نشان داد که به طور متوسط ۰/۰۵ کارگر- ساعت برای انجام این عملیات در سطح ۱۰ متر مربع نیاز می باشد. این مقدار معادل۳۵ درصد زمان لازم برای شانه زدن و جمع آوری فتیله ها از سطح مزرعه در ماشین‌های وارداتی است. این بدین معنی است که ردیف کردن فتیله ها در ماشین ساخته شده بر روی یک نوار ۵-۷ سانتی متری منجر به ٦۵ درصد کاهش در نیروی کارگری مربوط به جمع آوری فتیله ها گردیده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص های عملکردی دو ماشین بهینه سازی شده و وارداتی

شاخص های عملکرد ماشین ها	نوع ماشین	
	بهینه سازی شده	وارداتی
عمق حفره‌های ایجاد شده	٤۸***a***	٤۲***b***
طول فتیله های خارج شده	٤۱/۰***a***	۳۰/۰b
کارگر مورد نیازبرای جمع آوری فتیله‌ها (کارگر- ساعت به ازای ۱۰ متر مربع)	۰/۰۵***b***	۰/۱٤***a***

*. میانگین‌هایی که در هر ردیف حداقل در یک حرف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری معنی‌داری بر اساس آزمون t استیودنت نمی‌باشند

مشاهدات مزرعه‌ای همچنین وجه تمایز دیگر ماشین ساخته شده با نوع وارداتی با انگشتی های مشابه را نشان داد. بر طبق این مشاهدات بکارگیری ماشین وارداتی گاها منجر به کنده شدن قطعاتی از سطح چمن درهنگام خروج انگشتی ها از خاک می گردد در حالی که در ماشین ساخته شده کنده شدن قطعات چمن مشاهده نگردید. این امر به علت کمتر بودن زاویه انگشتی در هنگام خروج ازخاک در نوع ساخته شده می باشد.

انتخاب روتور با قطر بزرگتر، امکان قرار دادن شعاعی انگشتی¬ها (بدون زاویه جلو سو) و کاهش زاویه انگشتی در هنگام خروج را فراهم ساخته است. همچنین در ماشین بهینه سازی شده غلطک بر خلاف نوع وارداتی فعال نبوده و به صورت غیرفعال توسط تراکتور کشیده می شود. این عامل نیز میزان بوکساوات غلطک را به صفر می رساند و بدین لحاظ کنده شدن چمن در هنگام خروج اتفاق نمی افتد.

کنده شدن قطعات بزرگ چمن در بعضی موارد منجر به خشک شدن آن قطعه و ایجاد لکه‌های خالی در سطح چمن‌زار می‌گردد که برطرف نمودن این عیب از مزایای مهم طراحی اخیر می باشد.

منابع

مسعود تورانی ناطور، " چمن و کابرد آن در فضای سبز ورزشی و عمومی"، انتشاراتسازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی کشور، ۱۳۸۰.

مسعود موسوی خراسانی و هادی افسری، "بررسی اصول، روش‌ها و راهکارهای مناسب جهت بهینه‌سازی عملیات هوادهی چمن در عرصه‌های چمن‌کاری ایران". دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار، ۱۳۸۹.

منصور بهروزی‌لار،"ماشین آلات باغبانی"، جلد دوم، انتشارات سازمانها پارکها و فضای سبز شهر تهران،۱۳۷۷.

A. C. H. Roton and T. J. Silberberg, Ergonomic rocking earth hole punch, United states Patent, NO. US 6,920,938 B1, 2005.

C. Whitfild, and S. Tifton, Turf aeration with lateral tine movement, United states Patent, NO. 5,029,652, 1991.

D. J. Huber and P. F. Santani, Driven tine wheel geometry. United States Patent, NO. 4,773,486, 1988, 1998.

F. Feldman. Lawn and ground cover. Sunset Publishing.160 p, 1991.

Development of a lawn aerator for hardseting soils of Iran

Abstract
Lawn aeration is currently carried out by self-propelled aerator machines which do not have capability to make holes to a required depth and core collecting process is also time consuming. In this study, considering the malfunctions of the conventional machines, a modified prototype was developed in order to make the machine more compatible to Iran's soil condition. Evaluation of some types of open-end tines with cylindrical and conical cross section showed that the conical tines with bevel tip had a better function for cutting the thatch with lower required force and core length and the depth of created holes were significantly higher than other tines. Having had the appropriate tine, a split roller were developed which had ability of windrowing the cores on a narrow strip at the middle of the working width and the tines were fitted in an spiral pattern around it. Finally, the developed machine was attached to a walking tractor and was assessed in terms of core length and hole depth and was compared to a conventional machine. This comparison revealed that the developed machine improved the holes depth and length of the cores as well as a 65% decrease in laborer requirements for sweeping an collecting the exited cores from the surface. The roller having a relatively big diameter and its passive rotation prevents taking off the patches of soil from the surface by rotation of tines.
Keywords: lawn aeration, punch digger, punch tines