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

ساخت و ارزیابی ماشین آزمایشگاهی اتصال سریع بالارونده از درخت خرما

جواد کرم‌پور سعادت آبادی [۱*]، محسن شمسی[۲]،حمید مرتضی‌پور[۳]، روح‌الله عبدالشاهی[٤]

۱ و ۲و۳– به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهید باهنر کرمان

٤– استادیار گروه اصلاح و نباتات دانشگاه شهید باهنر کرمان

ایمیل مکاتبه کننده: javak60@gmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر به منظور مکانیزه کردن فرایند تیمار درخت خرما شامل عملیاتی مانند گرده افشانی، سم‌پاشی، هرس و برداشت تحقیقاتی انجام شده و این امر در کانون توجه قرار گرفته است. در این تحقیق یک ماشین به این منظور طراحی و ساخته شد. ماشین حاضر سریع به درخت متصل می‌شود. شاسی V شکل ماشین به گونه‌ای است که بتوان اتصال دستگاه به درخت را در حداقل زمان ممکن انجام داد. جداکردن دستگاه از درخت تنها با آزاد کردن فنری که در سمت بازوهای کوتاه شاسی قرار دارد امکان‌پذیر خواهد بود. متوسط زمان اتصال ماشین به درخت۲۰/۹ ثانیه (با انحراف معیار۱/۱ و فاصله اطمینان ۲۰/۲ و ۲۱/۷ ثانیه) می‌باشد. سرعت بالاروی ماشین در حالت بدون بار ۱۳ cm/s با بازده ۲۰/۸ می‌باشد. ماشین قادر است بار ۲۲۰Nرا (علاوه بر وزن خالص ماشین که ۲۲۰Nمی‌باشد) با سرعت ۸/۱cm/s و لغزش ۹/۳ درصد چرخ‌ها با بازده کل ۱/ ۱۰ درصد بالا ببرد.

واژه‌های کلیدی: سرویس دهی نخل خرما، ماشین بالارونده

مقدمه

خرما یکی از قدیمی‌ترین درختان میوه شناخته شده برای انسان است. پیدایش درختان خرما در جهان از دوران دوم زمین شناسی آغاز شده است. این گیاه از نواحی جنوب غربی آسیا و بین النهرین منشاء گرفته و کشت آن در مناطق گرمسیر جهان رونق دارد (سلامی، ۱۳۹۲). خرما به طور گسترده به عنوان یک میوه تازه، مربا و یک شیرین کننده مورد مصرف قرار می‌گیرد. درخت خرما به طور معمول۱۰ تا ۱۵ متر رشد می‌کند و شامل تنه‌های بلند و باریک ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر در قطر با برگ های ریش ریش در تاج درخت است (AI-Suhaibani et al.,1992). ایران به لحاظ تولید (۱,۰٦٦,۰۰۰ تن در سال) بعد از کشور مصر، مقام دوم جهان و از نظر سطح زیر کشت (۱٥٦,۰۰۰ هکتار) در مقام اول جهان قرار دارد(Fao.stat.org, 2014). تمامی‌دانه‌های خرمای یک خوشه در یک زمان نمی رسند بـلکه بـعضی زودتر و بعضی دیرتر نرم می‌شوند و می‌رسند. بنابراین خرمای تازه را در چند مرحله برداشت می‌کنند (سلامی، ۱۳۹۲). برای صعود از ارقام پا کوتاه و یا درختان خرمای جوان مشکلی وجود ندارد، اما بیشتر نخل‌های مسن و قدیمی بلند هستند و برای انجام اعمال زراعی باید بر آن‌ها صعود کرد (رستمی، ۱۳۹۲). به طور معمول کارگر با پای برهنه از درخت بالا می‌رود که به‌طور مسلم کاری خطرناک و خسته کننده است، حمل وسایل برداشت تا بالای درخت و استفاده از آن‌ها در بالای نخل نیز دیگر دشواری کارگر صعود کننده خواهد بود (شمسی، ۱۳٦۳). برخی از کارگران ماهر برای راحت‌تر بالارفتن از نخل، از برآمدگی‌های تنه نخل خرما استفاده

می‌کنند. به همین منظور قسمتی از تەبرگ را در قاعده برگ‌های مسن هرس شده باقی می‌گذارند و به هنگام بالا رفتن از درخت از آن استفاده می‌کنند. در این روش کارگران ماهر می‌توانند با پای برهنه و بدون استفاده از وسیله‌ای خاص به سرعت از درخت بالا روند (مظلوم زاده و همکاران، ۱۳۸۷).

برداشت محصول خرما و سرویس دهی نخل خرما (هرس کردن، سمپاشی، بارور کردن) مشکلاتی به همراه دارد و بر حسب تجربه کار آسانی تلقی نمی شود (Shamsi, 1998). یکی از دلایل بروز مشکل، ارتفاع کاری و صعود کارگر به ارتفاع زیاد است (ارتفاع نخل خرما در رقمی مانند شاهانی به ۱۰ تا ۲۰ متر یا بیشتر هم می رسد)(Wesley te al.,1966). با توجه به هزینه بالای کارگر برای برداشت خرما و همچنین خطرات احتمالی، مکانیزه کردن سرویس دهی و برداشت محصول و کم کردن وابستگی به کارگر جایگاه ویژه ای برای خود باز کرده است. ماشین‌های بالارونده قادرند از سطوح شیب‌دار یا سطوح عمودی بالا بروند. ماشین‌های بالارونده کاربردهای زیادی پیدا کرده‌اند که می‌توان به ماشین‌های بالارونده از درختان بلند برای برداشت محصول، ماشین‌های شیشه شور در برج‌های بلند و ماشین‌های هرس کننده درختان اشاره کرد (صانعی و همکاران، ۱۳۸۹). انواع مختلف مکانیسم‌های چنگ‌زنی و حرکتی از الکترومغناطیسی گرفته تا اصطکاکی و مکش هوا وجود دارند که در این تحقیق نوع بالارونده بر پایه اصطکاکی مورد نظر قرار گرفته است.

در برخی ربات‌های بالارونده از درخت از چرخ های فلزی دندانه‌دار یا آج‌دار استفاده شده است که خود باعث تخریب سطح درخت در اثر بالا و پایین رفتن‌های مکرر ماشین از درخت می شود. با انتخاب سطحی با جنس مناسب برای چرخ‌ها ضمن تامین اصطکاک لازم، می‌توان فرسایش سطح درخت را به حداقل ممکن رساند. در ساخت دستگاه پیش‌رو به عنوان لایه رویی چرخ‌ها از لاستیک به منظور داشتن اصطکاک مناسب چرخ‌های غلتکی با سطح درخت استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

شاسی این ماشین متشکل از دو جز همسان در شکل ۱ قابل مشاهده است. بازوها از پروفیل آهنی٤٠×٤٠ با ضخامت ۲ میلی‌متر تهیه شده اند. ابعاد طولی بازوها به ترتیب ۷۵، ٦٥ و ۳۰ سانتیمتر می‌باشد. این دو قسمت همسان با یک اتصال لولایی در انتهای بازوی بلند هر قسمت به هم متصل شده اند. دلیل انتخاب این مفصل لولایی تجهیز دستگاه جهت دنبال کردن پستی و بلندی‌های تنه درخت خرماست. این مفصل، اجازه حرکت‌هایی موازی با سطح زمین و عمود بر سطح زمین را به هر کدام از چرخ‌ها به طور جداگانه می‌دهد.

شکل ۱- نمایی از شاسی ماشین بالارونده مورد نظر در طرح حاضر

چرخ‌های استوانه مانند ماشین روی محور هایی به قطر ۲۰mm سوار شده اند. یک سر محور روی بازوی کوتاه و سر دیگر روی بازوی بلند شاسی تکیه می‌کند. جهت ایجاد اصطکاک لازم برای بالاروی، جنس لایه رویی چرخ‌ها از لاستیک با ضریب اصطکاک ۰/۵ روی سطح درخت انتخاب شد (رستمی، ۱۳۹۲). شاکله چرخ‌ها و لایه زیرین آن در **Error! Reference source not found.** قابل مشاهده است. علاوه بر چرخ‌های غلتکی در تماس با درخت که روبروی هم قرار گرفته‌اند، چرخ دیگری به عنوان چرخ سوم جهت پایداری ماشین به شاسی دستگاه اضافه شد که در شکل ۱ در پایین و در کنار قسمت لولایی قرار گرفته است. این چرخ از لوله PVC با قطر ۲۰ سانتیمتر تهیه شد.

چرخ‌ها متشکل از پیچ های بلند رزوه‌دار، لبه های بشقاب مانند در دو طرف و لوله پلاستیک PVC است که به عنوان قوام دهنده ساختار چرخ با مدنظر داشتن صفت سبکی آن مورد استفاده قرار گرفته است. از پیچ‌هایی طویل به عنوان آج در زیر روکش لاستیکی چرخ‌ها برای تامین درگیری لازم چرخ‌ها با سطح ناهموار درخت و بهبود عمل بالاروندگی و جلوگیری از لغزش بیش از حد دستگاه استفاده شد و نیز برای استفاده بهتر و بیشتر از سطح بیرونی درخت به عنوان تکیه‌گاهی برای ماشین و به منظور کمتر کردن انحرافات جانبی آن، از لبه‌های کناری و مقعر استفاده گردید. این نواحی به عنوان تکیه‌گاهی مازاد بر طول قسمت لاستیکی چرخ‌ها (که تماماً در اختیار ماشین و در تماس با تنه درخت قرار نمی‌گیرد) می‌توانند به بالاروندگی دستگاه کمک کنند.

به عنوان منبع تولید توان از دو موتور ۱۲ ولت DC با توان ۲۰۰ وات استفاده شد که از طریق چرخ و زنجیر توان لازم را برای بالا رفتن از درخت فراهم و منتقل می‌نمایند. برای ارزیابی عملکرد ماشین به دست آوردن و دانستن فاکتورهای زمان اتصال ماشین به درخت، سرعت بالاروی ماشین (زمان بالارفتن)، میزان لغزش چرخ های محرک، بازده (توان مورد نیاز کششی و الکتریکی الزامی است.

آزمایش زمان اتصال ماشین به درخت

قسمت مهم‌تر در این تحقیق شاسی اتصال سریع لولایی V شکل ماشین بود که پس از طراحی آن در نرم افزار Solidworks2012 (ماده استفاده شده ASTM A36 Steel می‌باشد) از پروفیل ٤٠×٤٠ فولاد ساختمانی با استحکام کششی نهایی ۲۵۰ MPa ساخته شد. این شاسی لولایی V شکل به گونه‌ای در نظر گرفته شد که بتوان تنها با آزاد کردن فنر سمت بازوهای کوتاه شاسی، ماشین را به راحتی از درخت جدا کرد. برای اندازه‌گیری زمان اتصال ماشین به درخت، آزمایش اتصال ماشین به درخت در ۱۰ تکرار انجام گرفت و زمان انجام آن ثبت شد. فاصله اطمینان میانگین زمان اتصال از معادله (۱) محاسبه می‌شود که در این تحقیق از نرم افزار Excel به این منظور استفاده شد.

$$\text{فاصله اطمینان} = \text{Average} \pm Z_{a/2}*(\delta/\sqrt{n}) \quad (۱)$$

Average: میانگین داده‌ها

$Z_{a/2}$: عدد Z برای احتمال ۹۵ درصد برابر با ۱/۹٦ (توزیع فراوانی نرمال تراکمی سطح زیر منحنی نرمال)

a: سطح اطمینان (برابر با ۰/۰۵)

δ: انحراف معیار

n: تعداد تکرارها

آزمایش تعیین سرعت بالاروی

محاسبه سرعت‌های مختلف بالاروی ماشین برای بارگذاری در سه سطح (بدون بار، ۱۲۰ و ۲۲۰ نیوتن)، نیروی فنرها در سه سطح (٤۲۵، ٥۸٤ و ۷٤۳ نیوتن) و قطر چرخ‌ها در دو سطح (۱٦ و ۱۹ سانیمتر) انجام گرفت.

آزمایش میزان لغزش

میزان لغزش چرخ ها به عنوان عاملی مهم برای ارزیابی کارکرد ماشین در بارهای مختلف مدنظر قرار گرفت که با استفاده از معادله(۲) محاسبه شد.

$$slippage = \frac{L - L1}{L} \quad (۲)$$

$L1$: مسافت طی شده واقعی بر روی درخت توسط چرخ‌ها (cm)

L: طول تئوری محاسبه شده بر اساس مقدار چرخش چرخ‌ها در فاصله L1 (cm)

آزمایش بازده ماشین

بازده ماشین از تقسیم توان مورد نیاز کششی بر توان استفاده شده الکتریکی بدست می‌آید. توان کششی از معادله(۳) محاسبه می‌شود.

$$P = (W1 + W2 + W3) * V \quad (۳)$$

P: توان کششی (Watt)

W1: وزن کل ماشین (N)

W2: وزن بار اضافه شده به ماشین (N)

W3: نیروی لازم جهت غلبه بر مقاومت غلتشی و اصطکاک سطح درخت (N)

V: سرعت بالاروی ماشین (m/s).

توان الکتریکی مصرفی را می‌توان با استفاده از یک وات متر (مدلTM1510) متصل به رایانه بدست آورد.

در نهایت برای محاسبه بازده ماشین(α) معادله (٤) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\alpha = \frac{\text{توان کششی}}{\text{توان الکتریکی}} \qquad (٤)$$

شرایط انجام آزمایش

برای انجام آزمایش‌ها، از تنه نخل موجود در کارگاه بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهید باهنر کرمان استفاده شد. این نخل ۲/۵ متر طول و ٤۰ سانتیمتر قطر دارد. شکل ۲ ماشین بالارونده با شاسی V شکل لولایی را در حال بالا رفتن از تنه نخل خرما نشان می‌دهد.

شکل ۲– ماشین با شاسی اتصال سریع Vشکل لولایی در حال بالارفتن از تنه نخل خرما

عوامل تاثیرگذار در عملکرد دستگاه حاضر شامل سرعت اتصال به درخت، سرعت بالاروی، میزان لغزش چرخ‌ها، بازده ماشین و میزان باربری می‌باشند. جهت ارزیابی بیشتر کارکرد دستگاه آزمایش‌هایی در قالب فاکتوریل مبتنی بر طرح کاملاً

تصادفی با استفاده از نرم افزار آماری SAS صورت پذیرفت. فاکتورهای آزمایش شامل بارگذاری در سه سطح (بدون بار، ۱۲۰ نیوتن، ۲۲۰ نیوتن)، نیروی تماس غلتک‌ها به درخت در سه سطح (٤۲۵، ٥۸٤ و ۷٤۳ نیوتن) و قطر چرخ‌ها در دو سطح (۱٦ و ۱۹ سانتیمتر) می‌باشند.

نتایج و بحث

بررسی عملکرد ماشین ساخته شده با در نظر گرفتن تاثیر فاکتورهای بارگذاری، نیروی فنرها و قطر چرخ‌ها بر روی سرعت بالاروندگی، درصد لغزش چرخ‌ها و بازده ماشین با استفاده از نرم‌افزارSAS V9 صورت گرفت. تحلیل و تجزیه آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل مبتنی بر طرح کاملاً تصادفی انجام شد و نتایج تجزیه واریانس برای اثرات ساده عوامل بارگذاری، نیروی غلتک‌ها و قطر چرخ‌ها روی صفات سرعت، لغزش و بازده در جدول ۱ در پیوست آمده است. در ادامه به بررسی اثر عوامل ذکر شده بر سرعت، لغزش و بازده پرداخته می‌شود.

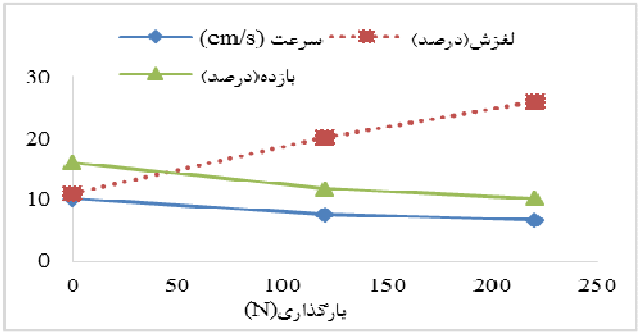
زمان اتصال ماشین به درخت

زمان اتصال ماشین به درخت که از ویژگی‌های مهم این ماشین است به طور متوسط برابر با ۲۰/۹ ثانیه می‌باشد. با توجه به ۱۰ تکرار برای انجام این آزمایش، زمان اتصال با اطمینان ۹۵ درصد با انحراف معیار ۱/۱ بین فاصله ۲۱/۷ و ۲۰/۲ ثانیه قرار دارد. در ماشین ساخته شده توسط شمسی (Shamsi, 1998) زمان اتصال ماشین به درخت ۲۱۸ ثانیه اعلام شده است. در ماشین بالارونده با شاسی کشویی که توسط رستمی و شمسی ساخته شد زمان اتصال ماشین به درخت، به طور متوسط ٦۰ ثانیه اعلام شده است (رستمی، ۱۳۹۲).

بررسی تاثیر فاکتورهای بارگذاری، نیروی تماس غلتک‌ها و قطر چرخ‌ها بر سرعت

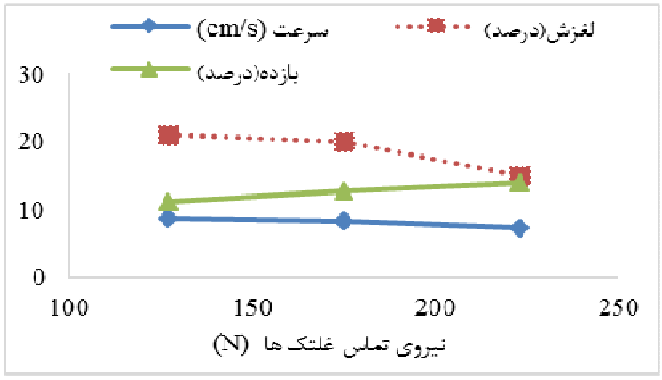
در شکل ۳ تغییرات سه صفت مورد بررسی اعم از سرعت، لغزش و بازده ماشین به ازای تغییرات بارگذاری در سه سطح بدون بار، ۱۲۰ نیوتن و ۲۲۰ نیوتن قابل مشاهده است. سرعت بالاروی ماشین با افزایش بارگذاری کاهش پیدا کرده است. نظر به معادله (۳)، با افزایش بارگذاری (افزایش نیروی رو به پایین اعمال شده) سرعت کاهش می‌یابد.

همچنین با اضافه شدن بار، میزان بازده ماشین کاهش می‌یابد که به این ترتیب بیشترین بازده با توجه به شکل ۳ متعلق به حالت بدون بار است. با اضافه شدن بار، توان ورودی الکتریکی بیشتری برای بالا بردن بار اعمال شده مورد نیاز است و در همین شرایط نیروی رو به پایین وزنه‌ها بر مقاومت غلتش چرخ‌ها می‌افزاید و باعث کاهش توان کششی و در نتیجه کاهش بازده می‌شود.



شکل ۳- تاثیر بارگذاری بر سرعت، لغزش و بازده ماشین

در شکل ٤ تغییرات سه صفت مورد بررسی شامل سرعت، لغزش و بازده ماشین به ازای تغییرات نیروی تماس غلتک‌ها به درخت در سه سطح ٤۲۵، ٥۸٤ و ۷٤۳ نیوتن قابل مشاهده است. با اضافه شدن نیروی فنرهای دو طرف شاسی جهت تامین نیروی گیرایی و چسبندگی به درخت، نیروی غلتک‌ها نیز افزوده می‌شود. با اضافه شدن این نیرو، چسبندگی ماشین به درخت و مقاومت غلتش بیشتر می‌شود و این امر همان‌طورکه در شکل ٤ پیداست، باعث روند نزولی لغزش می‌شود. این تفسیرها برای سرعت هم صادق است و با افزایش نیروی فنرها و با توجه به افزایش نیروی مقاومت غلتش به عنوان مانعی برای بالاروی، ماشین آهسته تر به پیشروی ادامه می‌دهد.

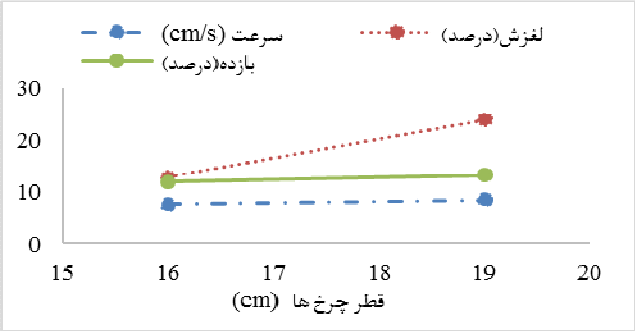


شکل ٤- تاثیر نیروی غلتک‌ها بر سرعت، لغزش و بازده ماشین

در شکل ٥ تغییرات سرعت، لغزش و بازده ماشین به ازای قطر چرخ‌ها در دو سطح ۱٦ و ۱۹ سانتیمتر آمده است. شیب صعودی نمودار سرعت، نشانگر افزایش آن با افزایش قطر است، به این دلیل که با افزایش قطر چرخ سطح تماس عمودی غلتک‌ها با تنه درخت افزایش می‌یابد و باعث ایجاد درگیری بیشتر بین سطح چرخ‌ها و تنه درخت می‌شود که امکان بهره-گیری بهتر و بیشتر از اصطکاک را فراهم می‌آورد که در افزایش سرعت بالاروی نمود پیدا می‌کند.

همراه با افزایش یافتن قطر چرخ‌های محرک ماشین، بر میزان لغزش آن‌ها نیز افزوده شده است. با توجه به افزایش سطحی که به واسطه افزایش قطر چرخ‌ها با درخت تماس پیدا می‌کند، میزان فشار وارد بر تنه درخت در واحد سطح کاهش می‌یابد که باعث کاهش گیرایی لایه لاستیکی غلتک‌ها و بیشتر شدن لغزش چرخ‌ها می‌شود. در شکل ٥، با افزایش قطر چرخ‌ها، درصد بازده ماشین افزایش یافته است. با افزوده شدن سطح تماس بین غلتک‌های ماشین و درخت به عنوان پیامد افزایش

قطر، سطح درگیری و در حالِ اصطکاکِ تنه درخت با غلتک‌ها زیاد شده که منجر به کشش و گیرایی بهتر ماشین و چرخ‌ها شده و باعث افزایش بازده می‌گردد.



شکل ۵- تاثیر قطر چرخ‌ها بر سرعت، لغزش و بازده ماشین

نتیجه گیری

این ماشین با زمان اتصال متوسط ۲۰/۹ ثانیه (یک دهم زمان اتصال ماشین شمسی و همکاران[۷] و یک سوم زمان اتصال ماشین با شاسی کشویی ساخته شده توسط شمسی و رستمی [٤]) به درخت متصل می‌شود. این ماشین با سرعت cm/s ۱۳، لغزش بهینه ۱۷ درصد، حداکثر بازده توان کششی به الکتریکی ۲۰ درصد و حداکثر باربری ۲۲۰ نیوتن از درخت خرما بالا می‌رود.

منابع و مآخذ

۱. سلامی، ع. ۱۳۹۲. "خرما در فرهنگ مردم کرمان". خرمای ایران خبرنامه ی داخلی انجمن ملی، شعبه کرمان.

۲. رستمی، م. ۱۳۹۲. "طراحی، ساخت و ارزیابی مدل یک ماشین بالارو از درخت خرما جهت برداشت و سرویس دهی". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۳. شمسی، م. ۱۳٦۳. "ساخت ماشین هیدرولیکی بالارونده از درخت خرما". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز .

٤. مظلوم زاده، س. م. عبدی پور، م. شمسی، م. علوی، س. ن. ۱۳۸۷ "سرویس مکانیکی درخت خرما". پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵. صانعی، ل. شبگاهی، م. ۱۳۸۹. "بررسی و رده بندی رباتهای بالارونده". سیزدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران.

6. AI-Suhaibani S. A, A. S Babier, J Kilgour,b Blacmore. 1992. Field test of the KSU date palm machine, Journal of Agricultural Engineering Research . 51:179-190.
7. http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E, 2014.
8. Shamsi, M. “Design and development of a date harvesting machine”. Phd Thesis. England *Cranfield Univesity*,
9. Nixon, R. Wesley, J.B., Carpenter. 1966. “Growing dates in the United States”. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.

Design and Evaluation of a Laboratory Quick Attaching Date Palm Tree Climber

Abstract

In recent years, in order to mechanize the date palm tree servicing including operations such as spraying, leaf pruning and harvesting some researches have been done. In this study to achieve this goal, a machine has been designed and built. This machine is attached quickly to the tree and consists of a frame, two wheel roller, two DC motors, and systems for power transmission and sprocket. The chassis is composed of two identical parts. The V-shaped chassis was made in the way that the machine can be connected to the tree in the least possible time. To disconnect the machine from the tree just the spring that joins chassis short arm needs to be detached. Connection time of the machine to the tree is 20.9 seconds (with a standard deviation of 1.1 and confidence interval 20.2 to 21.7). Surface area of the rollers, in contact with the tree are made from rubber. A third wheel was added to the chassis in order to maintain the stability of the machine. No-load speed of the climbing machine is 13 cm/s. the machine is capable of carrying a pay load of 220 N (weight of the chassis is 22 Kg) at speed of 8.11 cm/s, wheel slippage of 9.3% and efficiency of 10.1%. By the V-shape Chassis and elastic movement of it using the springs and pivot joint between chassis parts, machine will be able to follow the palm tree topography and when one of the wheels moves to a higher height, it helps to the second one to move faster and balance the machine horizontally.

Keywords: climbing machine, palm tree servicing.

پیوست ۱

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات ساده بارگذاری، نیروی غلتک‌ها و قطر چرخ‌ها روی سرعت، لغزش و بازده

صفات	منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
سرعت	بارگذاری	۲	۱۱۰/۸٦	۵۵/٤۳	۷٦/۸۹**
لغزش		۲	۰/۲۰	۰/۱۰۱۳	۱۳۱/۱۵**
بازده		۲	۳۳۵/٦٦	۱٦۷/۸۳	۸۹/۷٤**
سرعت	نیروی تماس غلتک ها	۲	۲۰/۵۰	۱۰/۲۵	۱٤/۲۲**
لغزش		۲	۰/٤۲	۰/۰۲۰۹	۲۷/۱۰**
بازده		۲	۷۳/۰۷	۳٦/۵۳	۱۹/۵۳**
سرعت	قطر چرخ‌ها	۱	۷/٦۸	۷/٦۸	۱۰/٦٦**
لغزش		۱	۰/۱۷	۰/۱٦۷۸	۲۱۷/۲۷**
بازده		۱	۲۲/۰۹	۲۲/۰۹	۱۱/۸۱**

****معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ns عدم معنی‌داری درسطح ۵ درصد**