



تأثیر سیستم کنترل نیرو بر زمان و توان مصرفی در ماشین هرس رباتیک

جعفر مساح

دانش آموخته دکتری مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی - دانشکده کشاورزی - دانشگاه تربیت مدرس

محمد رضا قضاوی

استادیار گروه مهندسی مکانیک - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

سعید مینائی

استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی - دانشکده کشاورزی - دانشگاه تربیت مدرس

مجید محمدی مقدم

استادیار گروه مهندسی مکانیک - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

سیستم کنترل نیرو در رباتها با کاربردهای گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد. کنترل نیرو در هنگامی بیشتر اهمیت پیدا می‌کند که اطلاعات بینایی کافی از محیط کار وجود نداشته باشد. در این دستگاه سیستم کنترل نیرو، نیروی وارده بر ابزار برشی را توسط یک لودسل سنجیده و با توجه به میزان مشخص شده نیروی تماسی در نرم‌افزار، سرعت پیشروی کارگیر^۱ را تغییر می‌دهد. در این مقاله ابتدا به تشریح کارکرد دستکار^۲ و کارگیر ماشین هرس رباتیک مجهز به سیستم کنترل نیرو پرداخته می‌شود. سپس تأثیر ضریب حساسیت سیستم کنترل نیرو، سرعت دورانی تیغه برشی، قطر چوب و اثرات جداگانه و متقابل آنها بر زمان برش و توان مصرفی سیستم برشی توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد بررسی قرار می‌گیرد و در پایان با بررسی مقایسه میانگین‌ها و نتایج تجزیه واریانس، تأثیر سیستم کنترل نیرو بر زمان و توان مصرفی و نحوه استفاده مناسب از سیستم کنترل نیرو در ماشین هرس رباتیک مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: سیستم کنترل نیرو، ضریب حساسیت، ماشین هرس رباتیک درختان، ماشین‌های کشاورزی

مقدمه

با افزایش جمعیت شهرنشین و گسترش شهرها، فضاهای سبز شهری نیز گسترش می‌یابند. در شهرها، فضاهای سبز بیشتر با پارک‌ها نمود پیدا می‌کند. درختان زینتی مانند شمشاد و کاج گونه‌های غالب اکثر پارک‌ها را تشکیل می‌دهند و نحوه هرس و آرایش این درختان از نظر شکل هندسی و یکنواختی نقش مهمی در زیبایی پارک‌ها ایفا می‌کند.

1. End Effector
2. Manipulator

اهداف این تحقیق علاوه بر طراحی و ساخت دستکار و کارگیر مناسب برای هرس درختان زینتی، بررسی سیستم کنترل نیرو از نظر تاثیر گذاری آن بر زمان و توان کاری نیز بود. با انجام آزمایشهایی با دستگاه ساخته شده و بررسی آماری داده‌های حاصل می‌توان به سوالات مطرح شده در مورد تاثیر گذاری سیستم کنترل نیرو بر زمان و توان مصرفی، پاسخ داد.

سیستم کنترل نیرو در رباتیک هنگامی به کار می‌رود که اطلاعات پسخور نیرو درباره حرکت یا نیرو موجود باشد. سیستم کنترل نیرو در عملیاتی که اطلاعات بینایی کافی وجود ندارد و یا برای تکمیل آن اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرد مانند: جراحی، محیط‌های شیمیایی، مواد رادیو اکتیو و غیره. مزیت مهم دیگر سیستم کنترل نیرو، عدم نیاز به دانستن موقعیت مکانی جسم و کارگیر برای ربات می‌باشد. در ماشین هرس به علت اینکه تراکم شاخه‌ها در اطراف کارگیر باعث می‌شود، اطلاعات بینایی مناسبی از محیط کار به پردازشگر نرسد از سیستم کنترل نیرو که دارای پسخور نیرو می‌باشد و در مقایسه با سیستم بینایی هزینه اجرایی کمتری دارد استفاده گردید.

کاربردهای گوناگونی از علم رباتیک در کشاورزی گزارش شده است مانند: ماشینهای برداشت صیفی‌جات، ماشینهای برداشت مرکبات، ماشینهای نشاکار، ماشینهای قلمه‌زنی، ماشینهای برداشت گلخانه‌ای، چیدن پشم گوسفندان، شیر دوشی، سیستم کشتارگاهها و غیره ولی کاربردی در زمینه هرس درختان گزارش نشده است. با توجه به توضیحات فوق به چند مورد از کاربردهای سیستم کنترل نیرو در رباتیک اشاره می‌شود.

در مرکز ماشینهای هوشمند و رباتیک دانشگاه فلوریدا، وسیله متصل کننده انعطاف‌پذیر غیر فعال غیر موازی برای کنترل نیرو در ربات توسط دوارکانات و همکاران (۱۹۹۹) ساخته شد. اولسون (۲۰۰۰) در مقاله‌ای، تشخیص یک سطح با ربات کنترل نیرو را مورد بررسی قرار داد. گوسوآمی و پشکین (۱۹۹۳) مقاله‌ای تحت عنوان «محاسبات مکانیکی برای کنترل نیروی غیر فعال» ارائه دادند. در تحقیقی که بین لابراتوار رباتیک دانشگاه جان هاپکینز و شرکت‌های سازنده ربات‌های صنعتی صورت گرفت، مدلی بر اساس کنترل نیروی سازگار برای دستکار ربات ارائه گردید. مقاله‌ای تحت عنوان «توسعه سنسورهای نیرو و کنترل کننده‌های نیرو برای سیستم پرداخت کاری اتوماتیک» ارائه گشت. این تحقیق یک پروژه فرعی از پروژه اصلی تحت عنوان «توسعه یک سیستم پرداخت کننده اتوماتیک سطح» بود. شرکت توشیبا (۱۹۹۶) ربات پرداخت کاری به نام والیبو را ارائه نمود که این ربات بر مبنای سیستم کنترل نیرو عمل می‌کرد. جیزهونگ (۱۹۹۶) تحقیقی تحت عنوان «کنترل نیرو در ربات تمیز کننده سطح سایبان هواپیما» ارائه نمود. کیم و همکاران (۱۹۹۹) مقاله‌ای تحت عنوان «کنترل نیرو در رباتهای آموزشی راه رونده» ارائه نمودند. این مقاله به کاربرد علم رباتیک در توانبخشی اشاره می‌کند. ریچاردسون و همکاران (۲۰۰۲) از دانشگاه لیدز انگلستان مقاله‌ای تحت عنوان «طراحی و کنترل ربات نیوماتیکی فیزیوتراپی سه درجه آزادی» ارائه نمودند که از سیستمهای کنترل نیرو در آن استفاده شده بود. در دانشگاه جان هاپکینز (۲۰۰۰) سه ربات جراح که بر اساس کنترل نیرو کار می‌کردند، ساخته شد.

روش کار

مجموعه دستگاه ساخته شده به همراه سخت افزار آن که در این آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند در شکل ۱ مشاهده می‌شوند. دستکار ماشین هرس رباتیک دارای سه درجه آزادی، PPR، می‌باشد و از دو استپ موتور برای ایجاد حرکت خطی در بازوها و یک استپ موتور برای حرکت دورانی کارگیر استفاده شده است. به علت اینکه سطح بیرونی یک درخت شبیه به یک استوانه است و کارگیر می‌بایست سطح بیرونی این استوانه را طی کند، در نتیجه مختصات کارتیزین، مختصات مناسبی برای دستکار می‌باشد. طراحی آن به گونه‌ای صورت گرفته که به راحتی در بین درختان قابل استفاده باشد و در هر بار قرار گیری بتواند نیمی از سطح درخت را پوشش دهد (شکل ۲).

دستگاه ساخته شده را به چهار قسمت اصلی: (۱) بازوی طولی، (۲) ساپورت، (۳) بازوی عرضی و (۴) کارگیر، تقسیم کرده و هر قسمت جداگانه به اختصار شرح داده می‌شود (شکل ۳):

۱. بازوی طولی: این بازو یک چهارچوب مستطیلی شکل است که امکان حرکت کارگیر در امتداد طولی خود را فراهم می‌کند. ابعاد این بازو به گونه‌ای در نظر گرفته شده تا سطح مقطع درختی به قطر یک و نیم متر را پوشش دهد و علاوه بر آن به راحتی بتواند در بین درختان قرار بگیرد.

۲. ساپورت: ساپورت قطعه‌ای چهار گوش از جنس آلومینیم است. این قطعه به گونه‌ای طراحی گردیده تا کارایی چند قطعه را دارا باشد، که این خود باعث سبکتر شدن دستکار می‌گردد.

۳. بازوی عرضی: این بازو یک چهارچوب مستطیلی شکل است که امکان حرکت عرضی کارگیر را عمود بر بازوی طولی فراهم می‌کند. ابعاد این بازو به گونه‌ای در نظر گرفته شده تا کورس آن به اندازه شعاع درختی به قطر یک و نیم متر باشد.

۴. کارگیر: در انتهای آزاد بازوی عرضی دستکار، کارگیر قرار دارد. برحسب کاربردی که از ربات انتظار می‌رود، کارگیر می‌تواند یک گیره، ابزار جوشکاری، آهنربای الکتریکی، و یا ابزار دیگر باشد. در این تحقیق کارگیر یک ابزار برشی است (شکل ۴). همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، کارگیر شامل سه قسمت اصلی می‌باشد: (۱) سیستم برش، (۲) لودسل و (۳) موتور DC سیستم برش و نگهدارنده آن. در سیستم برش از تیغه فرز ارهای (0.5*63) استفاده شده است. لودسل از نوع S شکل با ظرفیت 50kgf و خروجی 3mv/v می‌باشد، لازم به ذکر است در ابتدا لودسلی با ظرفیت 10kgf مد نظر بود که به علت در دسترس نبودن از لودسلی با ظرفیت 50kgf استفاده گردید. موتور DC (27V-3000rpm) که سرعت دورانی آن توسط یک برد PWM کنترل می‌شود وظیفه به حرکت در آوردن تیغه برشی را به عهده دارد.

در شکل شماره ۶ نمودار روند نمای دستگاه نشان داده می‌شود. کامپیوتر توسط درگاه موازی خود و کانکتور ۲۵ پین با کابل تخت به اینترفیس درایور چهار استپ موتور متصل می‌شود. از سه درایور آن برای استپ موتورهای شماره ۳ و ۲، ۱ استفاده می‌شود. بعد از این مرحله، ارتباط بین استپ موتور، دستکار و کارگیر یک ارتباط مکانیکی می‌باشد. کامپیوتر از طریق درگاه موازی پیغامهای دیجیتال به یک اینترفیس D/A دو کاناله 8Bit می‌فرستد تا به یک خروجی آنالوگ 0-5V تبدیل شده و سپس این خروجی به برد کنترل کننده سرعت موتور DC فرستاده می‌شود. برد کنترل کننده سرعت موتور DC با توجه به ورودی خود خروجی به صورت ولتاژ بین 0-30V را تأمین می‌کند و به موتور DC سیستم برش می‌فرستد. پس‌خور این نمودار به صورت تغییرات ولتاژ بین 0-5V از لودسلی که روی کارگیر نصب شده به یک اینترفیس A/D چهار کاناله 8Bit فرستاده می‌شود تا پس از تبدیل به کدهای دیجیتال، به کامپیوتر ارسال گردد.

به منظور بررسی تأثیر میزان حساسیت سیستم کنترل نیرو، سرعت دورانی تیغه برشی و قطر چوب بر روی زمان برش و توان مصرفی سیستم برشی آزمایشهایی طرح گردید. هدف از انجام این آزمایشها اندازه‌گیری زمان برش و قدرت مصرفی سیستم برش بود. بدین منظور آزمایشهایی با سه فاکتور در سه سطح مختلف و با سه تکرار انجام گرفت (شکل ۷). فاکتورهای آزمایش و سطوح آنها عبارت بودند از:

۱. ضریب حساسیت (α): این ضریب در نرم‌افزار کنترلی دستگاه که به زبان ویژوال بیسیک نوشته شده، تعریف شده و عبارت است از ضریبی که در مقدار پس‌خور نیرو ورودی برنامه ضرب می‌گردد. حال به نحوه دخالت این ضریب در نرم‌افزار اشاره می‌شود. این ضریب پس از اینکه در مقدار پس‌خور نیرو (LCBar.Value) ضرب گردید، عبارت MDELAY که در سرعت دورانی استپ موتورها تأثیر می‌گذارد را تعریف می‌کند.

ADSer4ChX1.EnablePorts

LCBar.Value = ADSer4ChX1 .GetAnalog-4 / 2.55

ADSer4ChX1. DisablePorts

MDELAY = LCBar.Value * a

MTEXT.Text = MDELAY

با افزایش این ضریب، میزان تأثیر پذیری سرعت دورانی استپ موتوره‌های کارانداز بازوی طولی و عرضی یا به عبارت دیگر حساسیت کارگیر تغییر می‌یابد. این ضریب در سطوح $\alpha_1=1$ ، $\alpha_2=2$ و $\alpha_3=3$ و همچنین بدون سیستم کنترل نیرو (به عنوان شاهد یا کنترل آزمایش) یعنی $\alpha_0=0$ در نظر گرفته شد.

۲. سرعت دورانی سیستم برش (n): سرعت دورانی سیستم برشی در سه سطح $n_1=3000\text{rpm}$ ، $n_2=2500\text{rpm}$ و $n_3=2000\text{rpm}$ مورد بررسی قرار گرفت. تنظیم سرعت دورانی به وسیله نرم‌افزار سیستم انجام می‌شود.
۳. قطر چوب (d): به منظور بررسی تأثیر اندازه شاخه‌ها، چوب‌هایی با مقطع گرد توسط سیستم برش تحت برش قرار گرفت و در سه سطح با قطرهای $d_1=19\text{mm}$ و $d_2=14/5\text{mm}$ و $d_3=12\text{mm}$ انتخاب گردید. انتخاب میلگردهای چوبی به جای شاخه‌های درختان زینتی (مانند کاج) به علت یکنواختی سطح مقطع و رگه‌های آنها بود. علاوه بر این به علت سخت‌تر بودن جنس این میلگردهای چوبی توانایی سیستم برش در برش شاخه‌های درختان زینتی هم قطر، محرز گردید. داده‌های به دست آمده برای آزمایش فاکتوریل مذکور بر اساس طرح کاملاً تصادفی به وسیله تجزیه واریانس تحلیل گردید و سپس مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس زمان برش و توان مصرفی سیستم برش در جدول (۱) ارائه شده است. با بررسی جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ بین ضرایب مختلف حساسیت ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) و حالت بدون سیستم کنترل نیرو (α_0)، سرعت‌های مختلف سیستم برش (n_1, n_2 و n_3) و قطرهای مختلف چوب (d_1, d_2 و d_3) بر زمان برش و توان مصرفی سیستم برش مشاهده گردید. اثر متقابل ضریب حساسیت و سرعت موتور سیستم برش ($\alpha * n$) بر زمان برش معنی‌دار نیست ولی بر توان مصرفی سیستم برش تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ دارد. اثر متقابل ضریب حساسیت و قطر چوب ($\alpha * d$) بر زمان برش در سطح ۱٪ معنی‌دار بود ولی بر توان مصرفی سیستم برش معنی‌دار نبود.

مقایسه میانگین‌ها به وسیله آزمون دانکن نشان داد که ضریب حساسیت α_1 کمترین و ضریب حساسیت α_3 بیشترین زمان برش را باعث شد. در ضمن تمامی ضرایب حساسیتهای α_1, α_2 و α_3 با شاهد α_0 اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۸). به عبارت دیگر با افزایش میزان حساسیت سیستم کنترل نیرو، فرآیند کاری زمان بیشتری را صرف می‌کند که علت آن کاهش سرعت پیشروی می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد تا آنجا که به شاخه‌ها (سطح کاری) آسیب وارد نشود، برای سیستم کنترل نیرو ضریب حساسیت کمتری در نظر گرفته شود تا بدین وسیله زمان کاری کاهش یابد. معنی‌دار بودن اثر متقابل $\alpha * d$ بر زمان برش (شکل ۹) مبین آن است که در هر ضریب حساسیت، افزایش قطر چوبها تأثیرهای گوناگونی بر زمان کاری می‌گذارند که علت آن یکسان نبودن اختلاف قطر چوبها می‌باشد. معنی‌دار نبودن اثر متقابل $\alpha * n$ بر زمان برش (شکل ۱۰) نشان دهنده آن است که در هر ضریب حساسیت، افزایش سرعت دورانی سیستم برش تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر زمان کاری ندارد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد برای کاهش استهلاک سیستم برش، در هر ضریب حساسیت، کمترین سرعت دورانی ممکن انتخاب گردد.

بررسی اثر ضریب حساسیت بر میزان توان مصرفی نشان می‌دهد که ضریب حساسیت α_1 منجر به بیشترین و ضریب حساسیت α_3 منجر به کمترین توان مصرفی شده‌اند، ضمن اینکه تمامی ضرایب حساسیت (α_1, α_2 و α_3) با شاهد (α_0) اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۱۱). علت اینکه با افزایش ضریب حساسیت، توان مصرفی کاهش می‌یابد، آن است که با افزایش ضریب حساسیت، سرعت پیشروی بازوها یا در واقع کارگیر کاهش می‌یابد که این امر باعث کاهش میزان بار گذاری به سیستم برش می‌شود. معنی‌دار نشدن اثر متقابل $\alpha * d$ بر میزان توان مصرفی (شکل ۱۲) مبین آن است که برای سه قطر چوب با افزایش ضریب حساسیت، توان مصرفی کاهش می‌یابد ولی مقدار این کاهش توان قابل ملاحظه نیست. معنی‌دار شدن اثر متقابل $\alpha * n$ بر توان مصرفی (شکل ۱۳)

نشان دهنده آن است که در هر ضریب حساسیت، تاثیر سرعت دورانی سیستم برش یکسان نیست. با افزایش ضریب حساسیت توان مصرفی سیستم برش کاهش می‌یابد که علت آن کاهش سرعت پیشروی کارگیر یا به عبارت دیگر کاهش بار گذاری به سیستم برش می‌باشد. پیشنهاد می‌گردد با توجه به کاهش توان مصرفی سطح n_3 در هر سه ضریب حساسیت نسبت به سطوح n_1 و n_2 در هنگامی که میزان توان مصرفی سیستم برش دارای اهمیت می‌باشد، در هر ضریب حساسیت، کمترین سرعت دورانی ممکن را برای سیستم برش انتخاب کرد.

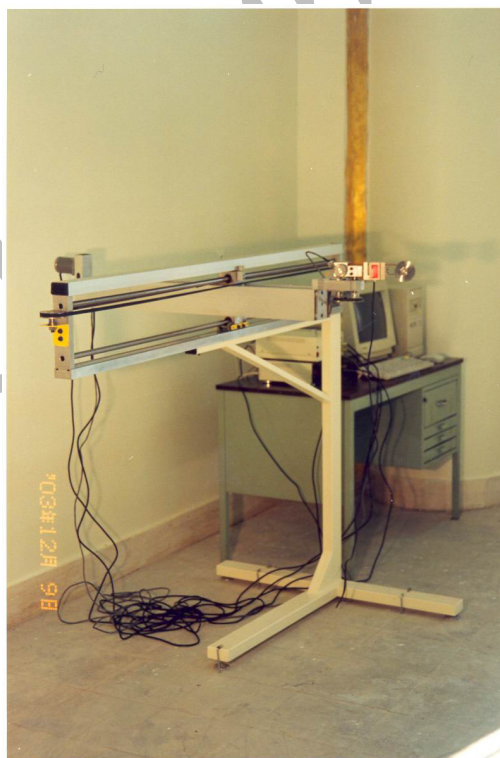
نتیجه‌گیری

نتایج زیر از این تحقیق به دست آمده است:

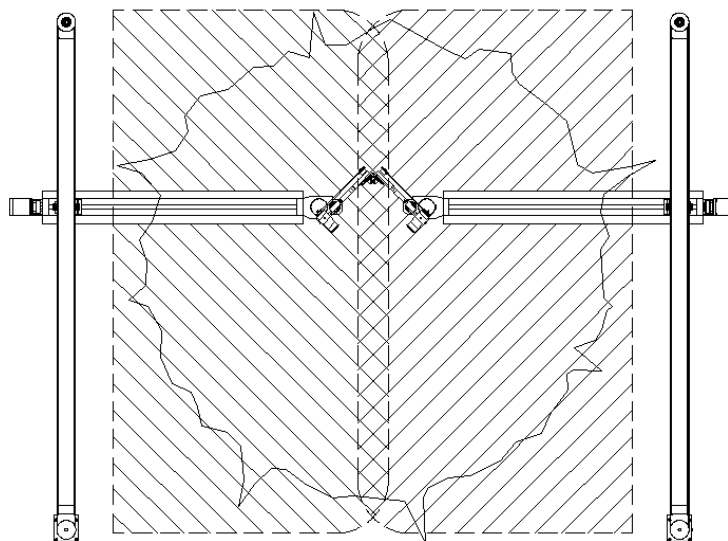
۱. با افزایش ضریب حساسیت سیستم کنترل نیرو، زمان کاری افزایش می‌یابد.
۲. با افزایش ضریب حساسیت سیستم کنترل نیرو، توان مصرفی کاهش می‌یابد.
۳. در هر سطح ضریب حساسیت، کمترین سرعت دورانی ممکن انتخاب گردد.

سیاسگزاری

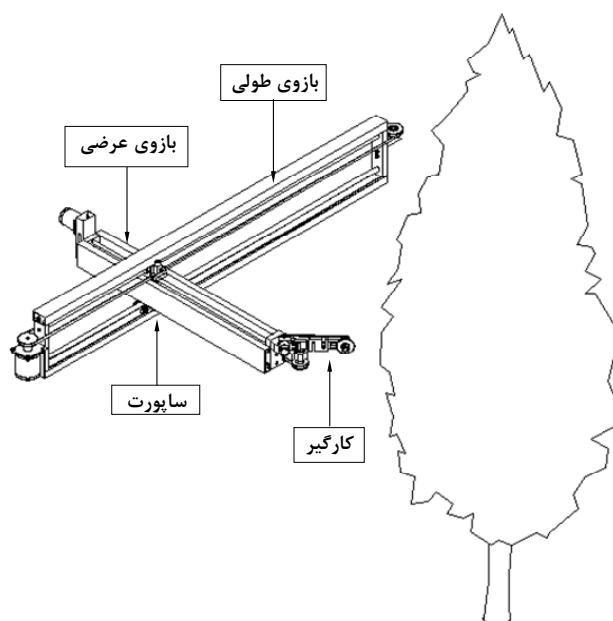
بدین وسیله از آقای مهندس مجید حسنلو برای همکاری در انجام آزمایشها و آقای مهندس احمد اسماعیلی برای مشاوره آماری سپاسگزاری می‌شود.



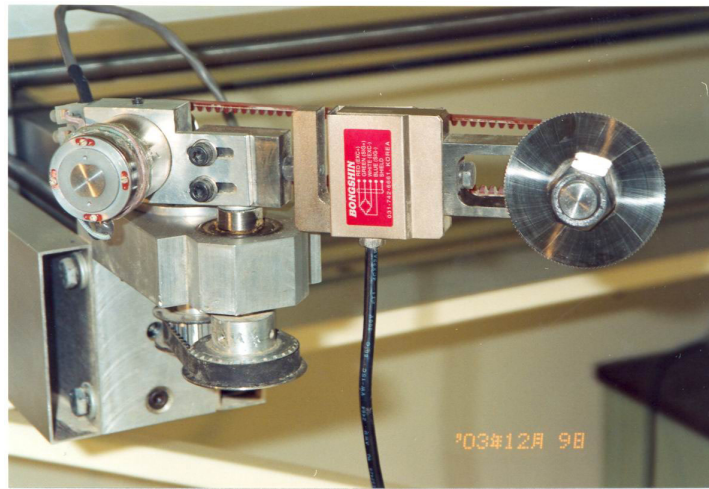
شکل ۱- سیستم کنترل به همراه دستگاه ساخته شده



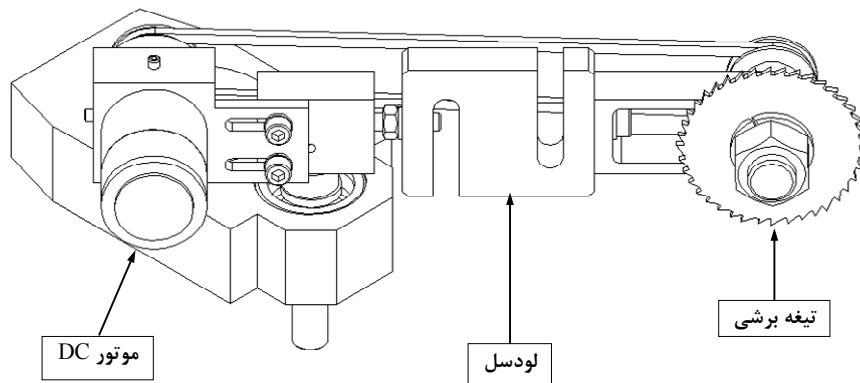
شکل ۲- چگونگی پوشش سطح یک درخت از نمای بالا



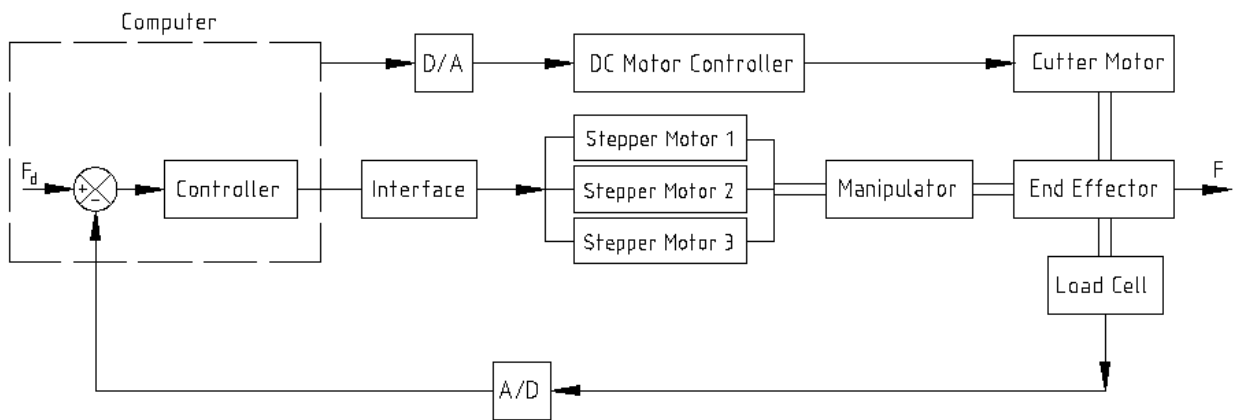
شکل ۳- نمایش دستگاه ساخته شده با نرم افزار MDT



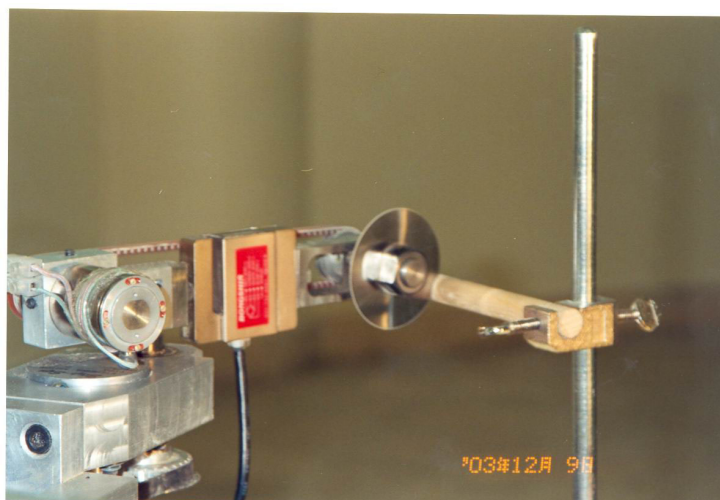
شکل ۴ - کارگیر (سیستم برش)



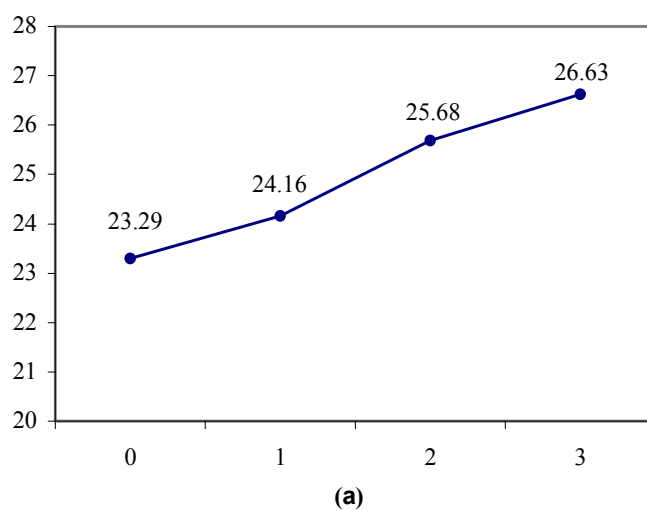
شکل ۵ - نمایش کارگیر با نرم افزار MDT



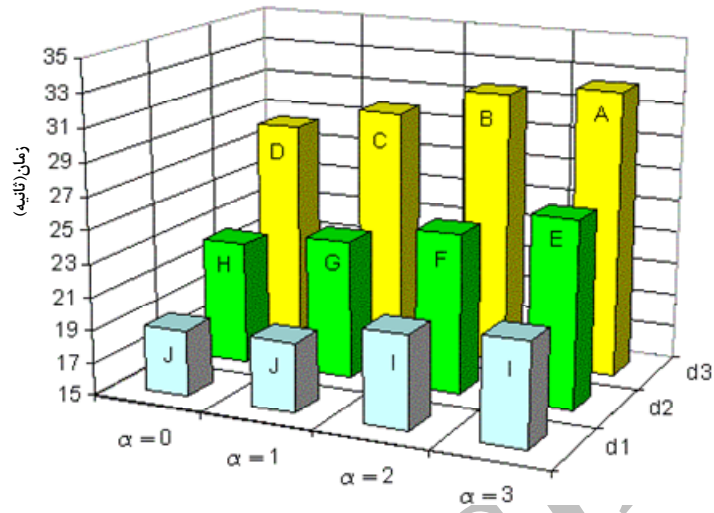
شکل ۶ - نمودار روند نمای دستگاه



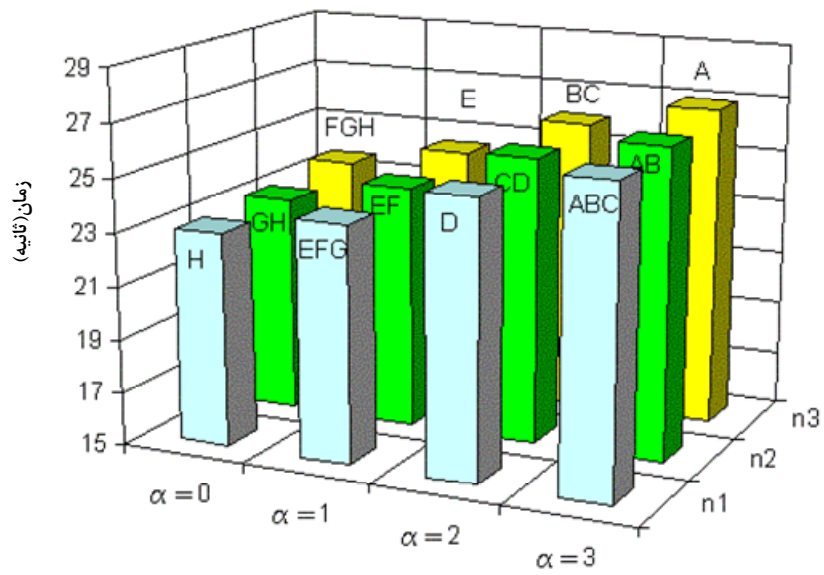
شکل ۷- انجام آزمایشها با دستگاه ساخته شده



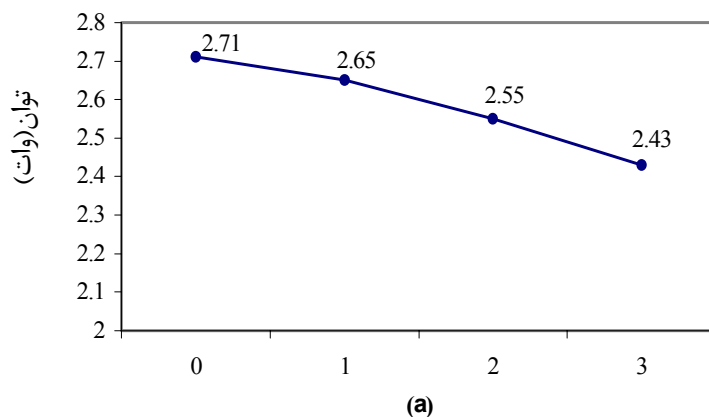
شکل ۸- نمودار تاثیر افزایش ضریب حساسیت (α) بر زمان کاری



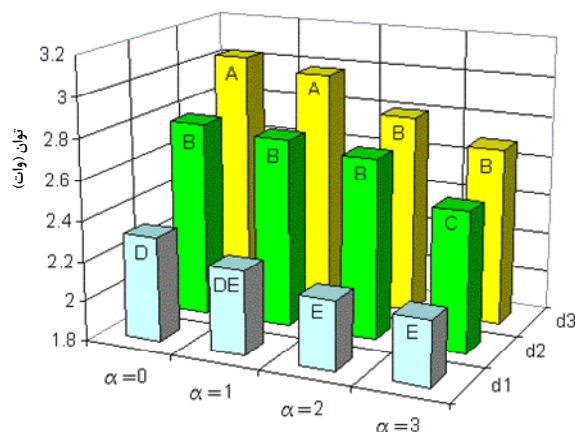
شکل ۹- نمودار اثرات ضریب حساسیت و قطر چوب ($\alpha \times d$) بر زمان کاری



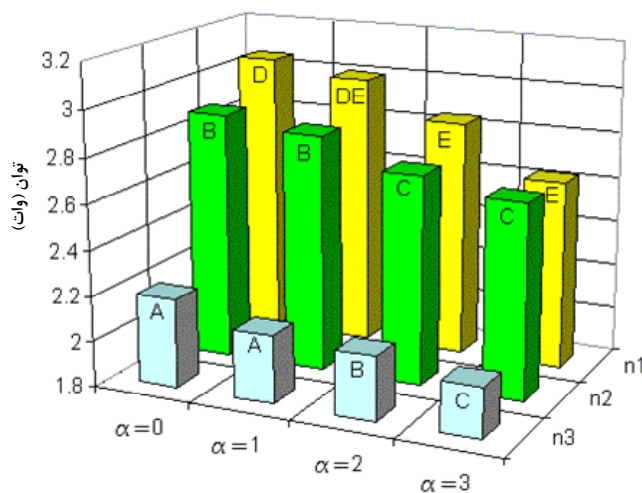
شکل ۱۰- نمودار اثرات ضریب حساسیت و سرعت دورانی سیستم برش ($\alpha \times n$) بر زمان کاری



شکل ۱۱- نمودار تأثیر افزایش ضریب حساسیت (α) بر توان مصرفی سیستم برش



شکل ۱۲- نمودار اثرات ضریب حساسیت و قطر چوب ($\alpha \times d$) بر توان مصرفی سیستم برش



شکل ۱۳- نمودار اثرات ضریب حساسیت و سرعت دورا نی سیستم برش ($\alpha \times n$) بر توان مصرفی

جدول ۱- تجزیه واریانس زمان برش و توان مصرفی سیستم برش در شرایط مختلف ضریب حساسیت، سرعت دورانی سیستم برش و قطر چوب

| میانگین مربعات (MS) | | درجه آزادی | منبع تغییرات |
|---------------------|---------------------|------------|--------------------------|
| زمان برش (t) | توان مصرفی (p) | | |
| ۶۰,۷۷۹** | ۰,۳۸۸** | ۳ | ضریب حساسیت (α) |
| ۳,۸۸۲** | ۶,۵۵۴** | ۲ | سرعت سیستم برش (n) |
| ۰,۰۲۸ ^{ns} | ۰,۰۴۱** | ۶ | αxn |
| ۱۰۱۸,۱۵۸** | ۴,۳۰۸** | ۲ | قطر چوب (d) |
| ۱,۸۵۷** | ۰,۰۲۶ ^{ns} | ۶ | αxd |
| ۰,۵۲۴ ^{ns} | ۰,۰۱۰ ^{ns} | ۴ | nxd |
| ۰,۱۲۱ ^{ns} | ۰,۰۰۸ ^{ns} | ۱۲ | αnxd |
| ۰,۴۸۴ ^{ns} | ۰,۰۱۲ ^{ns} | ۷۲ | خطا |
| - | - | ۱۰۷ | کل |

** : معنی دار در سطح احتمال ۱٪ ns : معنی دار نیست

منابع و مأخذ:

۱. مقداری، ع. میرفخرایی، ف. (۱۳۷۷). مکانیک و کنترل در رباتیک. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۵۵۲ ص.
۲. ولی نژاد، ع. (۱۳۷۸). جداول و استانداردهای طراحی و ماشین سازی. چاپ هفتم. انتشارات طراح، ۳۲۲ ص.
۳. یزدی صمدی، ب. رضایی، ع و ولیزاده، م. (۱۳۷۹). طرحهای آماری پژوهشهای کشاورزی. چاپ سوم. انتشارات دانشگاه تهران، ۷۶۳ ص.
4. Arima, S., Kondo, N., Shibano, Y., Yamashita, J., Fujiura, T., and Akiyoshi, H., (1994). Studies on cucumber harvesting robot (part 1). J. of the Japanese Society of Agric. Machinery 56(1): 55-64.
5. Gorinevsky, D., Formalsky, A. and Schnelder, A., (1997). Force Control of Robotics Systems. CRC Press, USA.
6. Goswami, A. and Peshkin, M.A., (1993). Mechanical computation for passive force control. Available on to: http://limsmech.northwestern.edu/publications/_agoswami/mechcomp.pdf.
7. Iida, M., Furube, K., Namikawa, K. and Umeda, M., (1996). Development of watermelon harvesting gripper. J. of the Japanese Society of Agric. Machinery 58(3): 19-26.
8. Jizhong. (1996). Robot Force Control & Surface Polishing of Aircraft Canopy. Available on to: <http://www.egr.msu.edu/~xiaojizh/resume.html>.
9. Kim, Shin, Jung. (1999). Supporting Force Control of walking Training Robots. Available on to: <http://hwrs.kaist.ac.kr/english/Sub/4/01/Newsletter/Vol3/NewsletterV3N3/%EB%85%BC%EB%AC%B8-1.pdf>.
10. Kondo, N., Shibano, Y., Mohri, K., Monta, M. and Okamura, S., (1993a). Basic studies on robot to work in vineyard (part 1). J. of the Japanese Society of Agric. Machinery 55(6): 85-94.
11. Mandow, A., Gomez-de-Gabriel, J. M., Martinez. J. L., Munoz, V. F., Ollero, A. and Garcia-Cerezo. A. (1996). The autonomous mobile robot AURORA for greenhouse operation. IEEE robotics Autom. Mag., December (1996), 3(4) PP.18-28.
12. Olsson. (2000). Identify a surface with robot force control. Available on to: <http://www.control.lth.se/publications/msc/2000/documents/5656.pdf>
13. Parrish, E.A., and Goksel, A.K., (1977). Pictorial pattern recognition applied to fruit harvesting. Transactions of the ASAE 20(5): 822-827.
14. Pool, T. A and Harrell, R. C. (1991). An end-effector for robotic removal of citrus from the tree. Transactions of the ASAE 34(2): 373-378.

15. Richardson, R., Brown, M., Bhakta, B., (2002). Design & control of a three degree of freedom pneumatic physiotherapy robot. Available on to: <http://www.future-motion-co.uk/physiorobot.pdf>.
16. Robert Bicker, Zhongxu, Kevin Burn. (2002). A self-tuning fuzzy robotic force controller. Available on to: http://www.his.sunderland.ac.uk/ps/romansy_2002.pdf.
17. Roy. (2003). Model-Based adaptive force control for robot manipulators. Available on to: <http://robotics.me.jhu.edu/dsci/>.
18. Ryu, K. H., Kim, G. and Han, J. S. (2001). Development of a robotic transplanter for bedding plants Journal of Agric. Eng. Res. 78(2): 141-146.
19. Schertz. C. E. and G. K. Brown. (1968). Basic considerations in mechanizing citrus harvest. Transactions of the ASAE 11(2): 343-348.
20. Shigley J. E. and Mischke C. R. (1986). Standard Handbook of Machine Design. McGraw Hill Book Co. ,USA.
21. Simonton, W. (1990). Automatic geranium stock processing in a robotic workcell. Transactions of the ASAE 33(6): 2074-2080.
22. Tad Warkanath, Carl D, Crane III, Joseph Duffy. (1999). In – Parallel passive compliant coupler for robot force control. Available on to :<http://www.me.ufl.edu/clmar/pubs>.
23. Van Kollenburg-Crisan, L., Bontsema, J., Wennekes, P., (1998). Mechatronic system for automatic harvesting of cucumbers. In: First IFAC Wordshop on Control Applications and Ergonomics in Agriculture, pp. 303-307.
24. Wang. (2000). Development of force sensors & force controllers for automated finishing systems. Available on to: <http://163.13.136.230/Publication/reports>.
25. Available on to: <http://www.Toshiba-machine.co.Jp/tech/techrepo/no6/valibo>.
26. Available on to: <http://robotics.me.jhu.edu/dscl/>.

Archive of SID