مهندسی مکانیک شریف، (پاییز ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۳ - ۳۱، شماره‌ی ۲، ص. ۲۵-۳۲

Original Article

شبیه‌سازی و اعتبارسنجی آزمایشگاهی یک نمونه جدید ربات بازرس خطوط انتقال قدرت

امیر مستشفی * **(کارشناس ارشد)**
امین فخاری (دانشجوی دکتری)
محمدعلی بدری (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

پژوهش حاضر به طراحی یک نمونه جدید ربات بازرس خطوط انتقال قدرت می‌پردازد. از این ربات به‌منظور حرکت روی خطوط گارد برای بازرسی و یافتن عیوب خطوط انتقال قدرت ۶۳ کیلوولت براساس استانداردهای کشور ایران استفاده می‌شود. در ربات طراحی شده، مکانیزم‌های فعال و غیرفعالی قرار داده شده که به‌وسیله‌ی آن‌ها ربات قادر به عبور از روی خطوط گارد به همراه تمامی موانع موجود روی آن ازجمله بست‌ها، گوی اخطار و دکل‌های آویزی و زاویه است. مکانیزم‌های فعال این ربات را هفت غلتک متحرک (چهار غلتک قائم و سه غلتک افقی) و نیز سه مکانیزم به‌منظور ایجاد حرکت قائم برای غلتک‌های افقی ربات تشکیل می‌دهد. مکانیزم‌های فنر و دمپر موجود در لولاهای ربات نیز از جمله مکانیزم‌های غیرفعال‌اند. نتایج حاصل از آزمون آزمایشگاهی ربات نشان می‌دهد که این ربات به‌راحتی قادر به عبور از روی خطوط گارد تا شیب حداکثر ۳۰ درجه، گوی اخطار با قطر حداکثر ۷۰۰ میلی‌متر، سر دکل آویزی با ابعاد ۱۷۰ × ۱۷۰ میلی‌متر و همچنین سر دکل زاویه با زاویه پیچش ۳۰ درجه است.

واژگان کلیدی: ربات بازرس کابل، خطوط انتقال قدرت، شبیه‌سازی دینامیکی، طراحی مکانیزم.

a.mostashfi@me.iut.ac.ir
a.fakhari@me.iut.ac.ir
malbdr@cc.iut.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه خطوط انتقال قدرت فشار قوی یکی از عناصر حیاتی زندگی بشر است. توسط این خطوط، انرژی الکتریکی از مراکز تولید به مراکز شهری و مصرف‌کننده‌ها منتقل می‌شود. هرگونه آسیب و اختلال در این خطوط باعث بروز مشکلات فراوان در سیستم‌های حمل و نقل، سیستم‌های امنیتی، بیمارستان‌ها، صنعت و غیره می‌شود. بنابراین نگه‌داری و بازرسی خطوط انتقال برق فشارقوی از اهمیت ویژه‌یی برخوردار است.[۱]

بازرسی خطوط فشارقوی توسط انسان با خطرات فراوانی همراه است. به‌همین دلیل امروزه سعی بر آن است تا از ربات‌های بازرس خطوط فشارقوی استفاده شود. اولین نمونه از ربات‌های بازرس خطوط کابل در سال ۱۹۸۹ و به‌منظور بازرسی خطوط تلفن ارائه شد.[۲] سیستم کنترل پیچیده و نیز سرعت حرکت پائین ازجمله معایب این ربات به شمار می‌رفت. در سال ۱۹۹۱ رباتی برای بازرسی خطوط فیبر نوری ارائه شد.[۳] این ربات قادر به بالارفتن از خطوط با شیب ۳۰ درجه و عبور از سر دکل بود ولی سرعت بسیار کم و همچنین عدم پایداری مناسب آن در عبور از سر دکل را می‌توان ازجمله معایب آن برشمرد. همزمان با این ربات، ربات دیگری برای بازرسی خطوط پیشنهاد شد که علاوه بر توانایی عبور از سر دکل، نسبت به ربات قبلی از پایداری بیشتری برخوردار بود. با این وجود این ربات تنها قادر به عبور از سر دکل بود و هیچ‌گونه قابلیتی برای عبور از مقره‌ها و دیگر موانع نداشت.[۴] در سال ۱۹۹۷ طرحی برای یک ربات بازرس خطوط تله مخابراتی ارائه شد که در آن ربات با ایجاد یک‌سری گام‌های منظم قادر به عبور از موانع گوناگون بود.[۵] مکانیزم ارائه شده به‌دلیل سرعت حرکت ثابت، برای بازرسی ایده‌آل بود ولی قادر به تعقیب خطوط زاویه‌دار نبود. از پیشرفته‌ترین نمونه ربات‌های بازرس خطوط انتقال قدرت، ربات لاین‌اسکات[1] است که در سال ۲۰۰۷ ارائه شد.[۶] این ربات قادر به عبور از انواع موانع موجود در خطوط فاز با سرعت نسبتاً بالا است. اگرچه کارآیی بالای ربات لاین‌اسکات در آزمون‌های آزمایشگاهی و میدانی برای حرکت روی خطوط انتقال مستقیم میان دکل‌های آویزان اثبات شده است ولی مکانیزم ربات همچنان نیازمند اصلاحات بیشتر به‌منظور عبور از دکل‌ها با خطوط زاویه‌دار است. با توجه به تنوع خطوط انتقال قدرت، ربات‌های مختلفی توسط افراد مختلف ارائه شده است. برای بررسی انواع دیگر ربات‌های بازرس خطوط انتقال قدرت می‌توان به منابع درج شده[۷] مراجعه کرد.

در بیشتر طرح‌های بیان شده، قابلیت عبور از موانع بزرگ ــ نظیر گوی اخطار ــ وجود ندارد و این قابلیت تنها در تعداد محدودی از ربات‌های بازرس خطوط ازجمله

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۵/۱۵، اصلاحیه ۱۳۹۳/۶/۳۱، پذیرش ۱۳۹۳/۷/۲۸.

Archive of SID
www.SID.ir

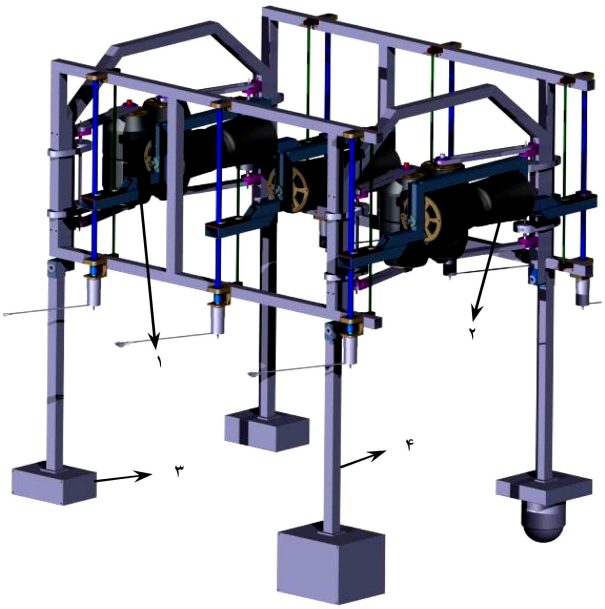
ربات لاین‌اسکات و ربات اکسپلینر[۲] وجود دارد که دارای سیستم کنترل پیشرفته و پیچیده‌یی هستند. پیچیدگی این ربات‌ها و نیز ناتوانی آن‌ها در عبور از سر دکل را می‌توان ازجمله معایب این ربات‌ها دانست. به‌همین دلیل محققین در سال ۲۰۰۹ طرحی برای ربات‌های بازرس ارائه کردند که مبتنی بر استفاده از مکانیزم‌های غیرفعال برای حرکت روی کابل و عبور از سر دکل بود.[۸] طرح ارائه شده شامل ۴ غلتک عمودی و ۲ غلتک افقی است و با برخورد ربات به مانع، غلتک‌های عمودی جلو باز می‌شود و مانع پس از ورود به ربات، از زیر غلتک‌های افقی عبور می‌کند و از طرف دیگر خارج می‌شود. اما این ربات تنها قادر به عبور از سر دکل آویزی بود و هیچ‌گونه قابلیتی برای عبور از موانع بزرگ همانند گوی اخطار را نداشت. همچنین با توجه به عدم استفاده از سیستم‌های فعال در این ربات، احتمال خارج شدن آن هنگام عبور از دکل‌های زاویه بسیار زیاد بوده و درصورت خروج، اصلاح حرکت ربات به‌هیچ طریقی ممکن نبود. برهمین اساس، در پژوهش حاضر طرحی جدید و در عین حال ساده برای یک نمونه ربات بازرس خطوط فشارقوی ارائه شده است. طراحی و ساخت این ربات به گونه‌یی است که به‌سادگی قادر به حرکت روی کابل گارد و عبور از موانع گوناگون ازجمله گوی اخطار و سر دکل (زاویه و آویزی) با حداکثر سرعت ۲۰ متر بر دقیقه است. یکی از قابلیت‌های مهم ربات طراحی‌شده، غیرفعال بودن مکانیزم‌های هدایت‌گر ربات در امتداد مسیر کابل است. همین امر سبب افزایش پایداری ربات در عبور از روی کابل و موانع گوناگون شده و همچنین کنترل آن را ساده‌تر می‌کند.

در پژوهش حاضر، ابتدا معماری ربات طراحی شده و مشخصات آن مطرح می‌شود. در ادامه روش کنترل ربات و همچنین طریقه بازرسی آن از خطوط انتقال نشان داده می‌شود. سپس با شبیه‌سازی ربات در یک نرم‌افزار مدل‌سازی دینامیکی، گشتاور مورد نیاز غلتک‌های ربات برای عبور از موانع مختلف و همچنین قابلیت عبور ربات از این موانع بررسی می‌شود. در پایان نیز آزمون‌های میدانی انجام گرفته روی ربات و نتایج حاصله بیان می‌شود.

۲. جزئیات طراحی

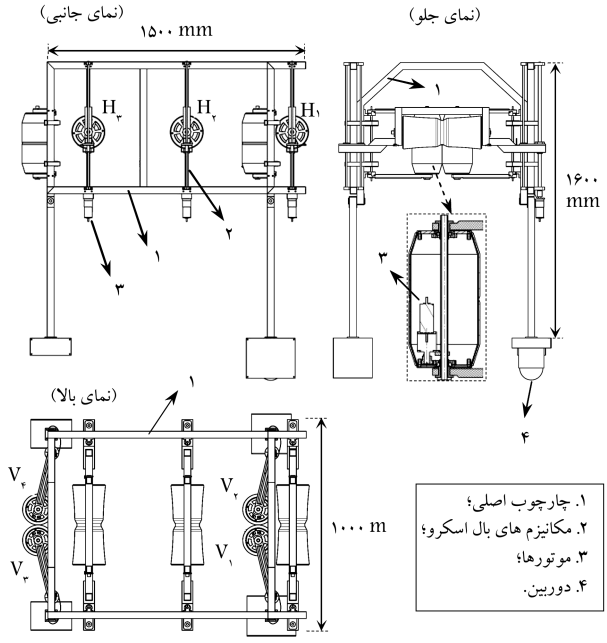
با توجه به موانع موجود روی کابل گارد خطوط ۶۳ کیلوولت در کشور ایران، ربات مورد نظر به‌صورتی طراحی و ساخته شده که قادر به عبور از گوی اخطار با قطر ۷۰۰ میلی‌متر، سر دکل با ابعاد ۱۷۰ × ۱۷۰ میلی‌متر و حرکت سریع روی کابل گارد با قطر ۱۰ میلی‌متر و حداکثر شیب ۳۰ درجه باشد. همچنین با توجه به تغییر زاویه کابل گارد در دکل‌های زاویه، ساختار ربات باید به‌گونه‌یی باشد که بتواند خطوط را در این نوع دکل‌ها دنبال کند.

در شکل‌های ۱ و ۲ نمایی از این ربات نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، بر روی چارچوب اصلی ربات از دو جفت غلتک عمودی متحرک که موظف به حفظ تعادل جانبی ربات (در حرکت روی کابل گارد و عبور از موانع) و همچنین چرخش ربات در هنگام عبور از سر دکل زاویه‌دار است، استفاده شده است (شکل ۱ قسمت ۱). این غلتک‌ها توسط فنرها و دمپرهای پیچشی تعبیه شده در لولای بازوهای آن‌ها به کابل فشرده می‌شوند. همچنین از سه عدد غلتک افقی متحرک برای کنترل حرکت ربات در هنگام عبور از موانع استفاده شده است (شکل ۱ قسمت ۲). این غلتک‌ها با مکانیزم‌های فعالی قادر به حرکت قائم در هنگام عبور از موانع هستند. همچنین با استفاده از این غلتک‌ها می‌توان به تعیین دقیق موقعیت قرارگیری ربات نسبت به کابل پرداخت. این غلتک‌های عمودی و



۱. غلتک عمودی؛
۲. غلتک افقی؛
۳. جعبه ی محتوای سیستم های کنترلی، باتری ها، دوربین و جرم های متعادل کننده؛
۴. بازوی نگه دارنده.

شکل ۱. نمایی از ربات طراحی شده.



۱. چارچوب اصلی؛
۲. مکانیزم های بال اسکرو؛
۳. موتورها؛
۴. دوربین.

شکل ۲. نمای جلو، جانبی و بالای ربات.

افقی روی چارچوب اصلی نصب شده‌اند (شکل ۲ قسمت ۱). برای ایجاد و افزایش پایداری ربات در حرکت روی کابل، از وزنه‌های تعادل ــ شامل سیستم‌های فرمان، باتری‌های و دوربین ــ استفاده شده است (شکل ۱ قسمت ۳). بازوهای نگه‌دارنده‌ی وزنه‌های تعادل (شکل ۱ قسمت ۴)، با استفاده از لولاهایی با اصطکاک زیاد به بدنه‌ی ربات متصل شده است. این بازوها هنگام عبور ربات از خطوط شیب‌دار، نسبت به بدنه‌ی ربات زاویه گرفته و به‌صورت قائم باقی می‌ماند و همین امر باعث

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. مشخصات موتورهای ربات.

	بیشینه سرعت زاویه‌یی (rpm)	کمینه سرعت زاویه‌یی (rpm)	توان (W)
غلتک افقی	۸۰	۵۰	۶۰
غلتک عمودی	۶۰	۳۰	۴۰
جابه‌جا کننده غلتک افقی	۹۰۰	۳۰۰	۲۵

افزایش پایداری ربات می‌شود. وزنه‌های تعادل به‌نحوی مستقر می‌شود که ربات کاملاً از لحاظ وزنی دارای تقارن باشد تا بیشترین پایداری تأمین شود.

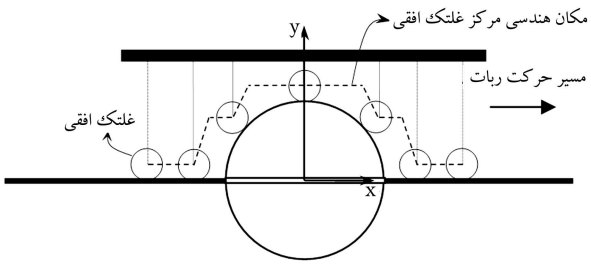
کمینه و بیشینه سرعت خطی ربات روی کابل ثابت و به‌ترتیب ۱۰ و ۲۰ متر بر دقیقه است. در جدول ۱ سرعت زاویه‌یی موتورهای غلتک‌های افقی و عمودی (شکل ۲ قسمت ۳) برای رسیدن به سرعت‌های مذکور و همچنین توان انتخابی برای این موتورها به‌منظور استفاده در شبیه‌سازی آورده شده است.

برای تأمین حرکت عمودی در غلتک‌های افقی به‌هنگام عبور ربات از موانع، از مکانیزم ایجاد حرکت خطی در دو طرف این غلتک‌ها استفاده شده است. این مکانیزم شامل سه راهنما و یک بال اسکرو برای هر غلتک افقی است (شکل ۲ قسمت ۲). با استفاده از این مکانیزم می‌توان با چرخش بال اسکرو با سرعت و جهت دلخواه، غلتک افقی را با سرعت خطی مناسب در راستای عمودی جابه‌جا کرد تا بدین‌ترتیب ربات به‌سادگی از موانع بزرگ عبور کند. به‌علاوه درصورت تشخیص عدم پایداری ربات در راستای کابل، می‌توان با تغییر ارتفاع غلتک‌های افقی، پایداری ربات را حفظ کرد.

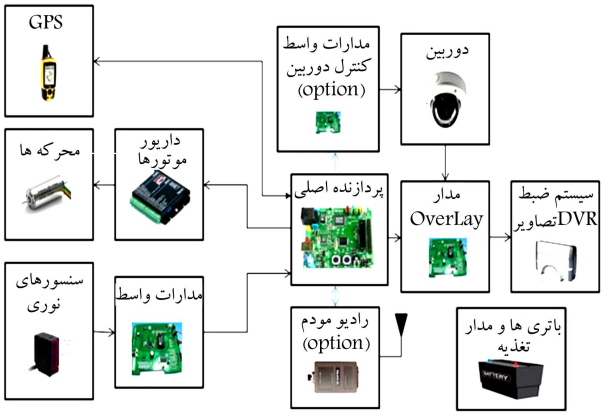
۳. سیستم کنترل و تجهیزات جانبی ربات

برای تشخیص موانع و عبور ربات از آن‌ها، یازده سنسور موقعیت‌سنج در مکان‌های مناسب در طول ربات تعبیه شده است. با رسیدن ربات به موانع، این سنسورها موقعیت آن‌ها را نسبت به ربات تشخیص داده و دستورات لازم را برای حرکت عمودی غلتک‌های افقی به‌منظور عبور پایدار ربات از این موانع صادر می‌کند. در شکل ۳ طریق جابه‌جایی غلتک‌های افقی برای عبور ازگوی اخطار نشان داده شده است.

روی وزنه‌های تعادل ربات، دوربین‌هایی با قابلیت حرکت پن[3] و تیلت[4] برای بازرسی خطوط انتقال قدرت قرار داده شده (شکل ۲ قسمت ۴) و تصاویر گرفته شده توسط آن‌ها به همراه موقعیت دریافتی از جی‌پی‌اس[5] در حافظه‌یی ذخیره می‌شود. برای ارسال فرامین مورد نیاز به ربات نیز از سیستم رادیو مودم استفاده می‌شود. همچنین سیستم تغذیه‌ی ربات به‌گونه‌یی طراحی شده که ربات با هر بار



شکل ۳. نمایش مسیر حرکت غلتک افقی برای عبور ازگوی اخطار.



شکل ۴. ارتباط بین سیستم کنترل و تجهیزات جانبی ربات.

شارژ قادر به طی مسافت ۶ کیلومتر است. در شکل ۴ ارتباط بین سیستم کنترل و تجهیزات جانبی ربات نمایش داده شده است.

۴. روش حرکت ربات روی کابل

سازه‌ی ربات به‌گونه‌یی طراحی و ساخته شده که در عین سادگی، دارای مقاومت کافی در برابر وزن ربات و ضربات وارده به آن در هنگام عبور از موانع باشد. به‌منظور بررسی رفتار ربات در عبور از موانع گوناگون و محاسبه‌ی گشتاور مورد نیاز موتور غلتک‌ها، با در نظرگرفتن تک‌تک جزئیات به شبیه‌سازی دینامیکی آن در نرم‌افزار آدمز[6] پرداخته شده است. مدل مورد نظر تحت چهار حالت بحرانی مختلف مورد شبیه‌سازی قرارگرفته است. در این پژوهش دو حالت بحرانی‌تر مورد بحث قرارگرفته و دو حالت دیگر در پژوهش‌های آتی مطرح می‌شود.

۱.۴. عبور ربات ازکابل با بیشینه شیب ۳۰ درجه نسبت به افق

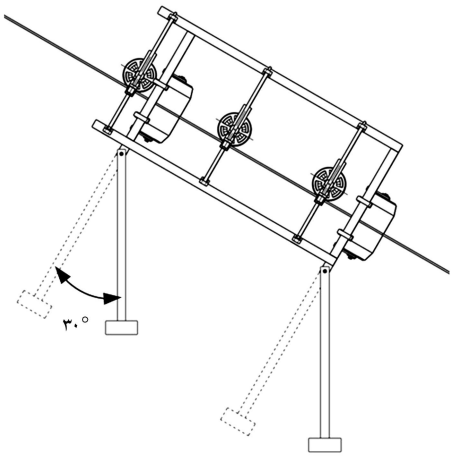
در شکل ۵ روش قرارگیری ربات روی کابل با شیب ۳۰ درجه نسبت به افق نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، با توجه به زاویه‌ی قرارگیری ربات روی کابل، بازوهای وزنه‌های متعادل‌کننده برای ایجاد تعادل در ربات، حول محور خود به‌اندازه‌ی ۳۰ درجه دوران می‌کنند. همچنین در این شرایط به‌علت استفاده از سیستم فنربندی در محور بازوهای غلتک‌های عمودی، نیروی اصطکاک لازم بین غلتک‌ها و کابل ایجاد شده و درنتیجه ربات به‌راحتی از شیب بالا خواهد رفت. در شکل ۶ گشتاور مورد نیاز غلتک‌های ربات برای عبور از خط شیب‌دار رسم شده است. لازم به ذکر است روش نام‌گذاری غلتک‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

مطابق نمودارهای شکل ۶ مشاهده می‌شود که در این حالت غلتک‌های افقی، دارای گشتاور متوسط ۰٫۵ تا ۲ نیوتن‌متر و غلتک‌های عمودی دارای گشتاور متوسط ۴ تا ۶ نیوتن‌متر هستند. بنابراین، در این حالت غلتک‌های عمودی گشتاور بیشتری را برای بالارفتن ربات باید ایجاد کنند.

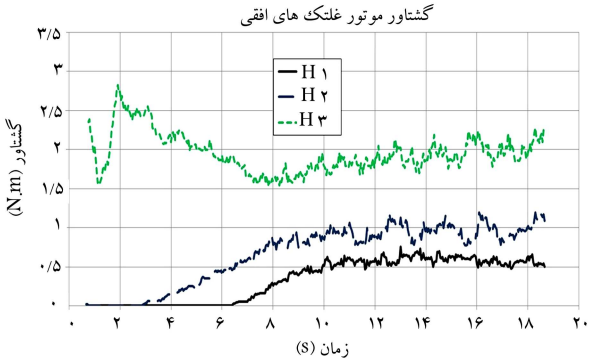
۲.۴. عبور ربات ازگوی اخطار با قطر ۷۰۰ میلی‌متر

در شکل ۷ مراحل مختلف عبور ربات ازگوی اخطار نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، ربات طی ۳ مرحله ازگوی عبور می‌کند. در مرحله‌ی اول، غلتک افقی جلویی بالا رفته وگوی با برخورد با غلتک‌های عمودی جلو باعث باز شدن بازوی آن‌ها می‌شود (شکل ۷الف).

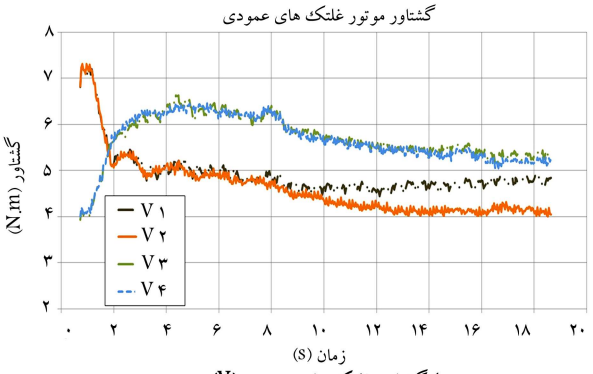
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵. طریقه‌ی عبور ربات از کابل شیب‌دار.



الف) گشتاور غلتک های افقی (H)؛

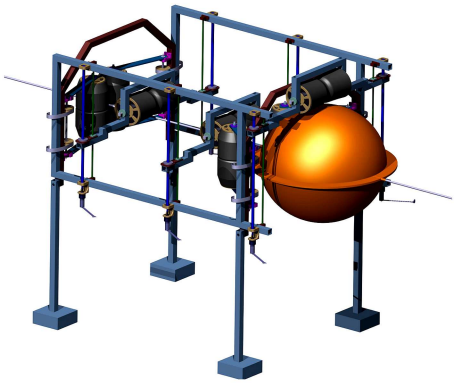


ب) گشتاور غلتک های عمودی (V).

شکل ۶. گشتاور مورد نیاز غلتک‌های ربات برای عبور از خط شیب‌دار.

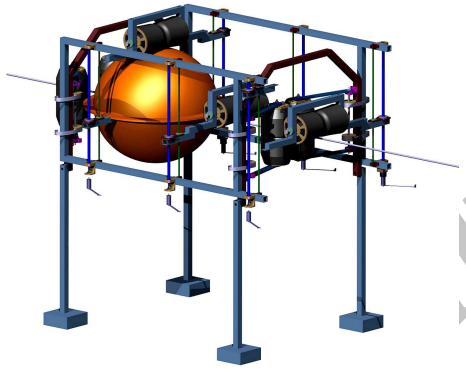
در مرحله‌ی دوم، پس از عبورگوی از غلتک افقی جلو این غلتک شروع به پایین آمدن می‌کند و همزمان، غلتک افقی وسط شروع به بالا رفتن می‌کند. در انتهای این مرحله غلتک افقی جلو به مکان اولیه خود بازگشته است (شکل ۷ب). در مرحله‌ی سوم، گوی کاملاً از بازوهای عمودی جلو عبور می‌کند. در این مرحله غلتک افقی آخر به‌منظور عبورگوی بالا می‌رود و غلتک افقی دوم شروع به پایین آمدن می‌کند (شکل ۷ج).

در شکل ۸ نمودار جابه‌جایی غلتک‌های افقی برای عبور ربات از گوی رسم شده است. چنان که مشاهده می‌شود غلتک H_1 از زمان ۲٫۱ ثانیه شروع به بالا رفتن می‌کند و پس از عبور از گوی در زمان ۸ ثانیه به محل



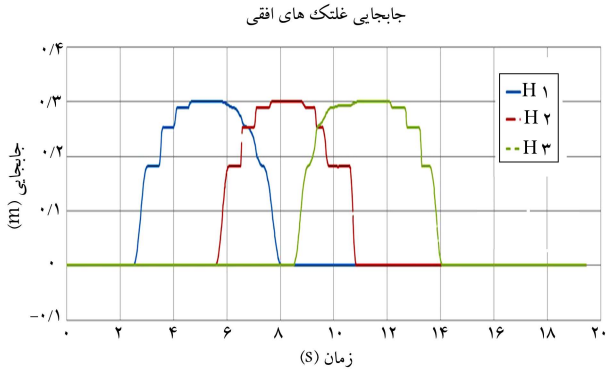
الف) باز شدن غلتک های جلو؛

ب) عبور گوی از غلتک های عمودی جلو و غلتک افقی وسط؛



ج) باز شدن غلتک های عمودی عقب و خارج شدن گوی.

شکل ۷. نمایش مراحل مختلف عبور ربات از گوی اخطار.



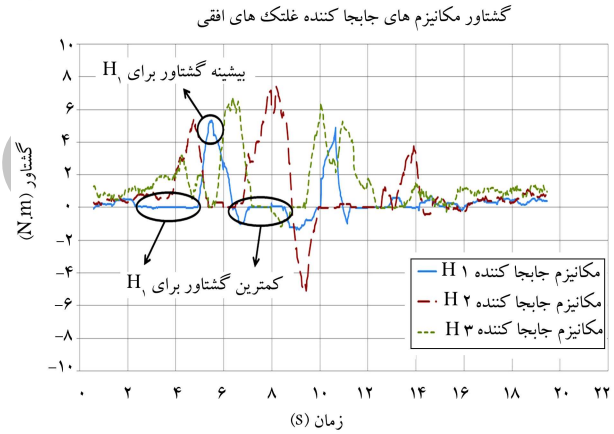
شکل ۸. نمایش جابه‌جایی غلتک‌های افقی برای عبور ربات از گوی اخطار.

www.SID.ir

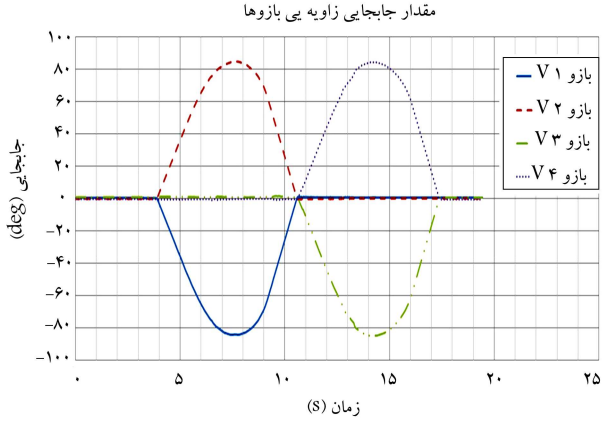
خود در تماس با کابل برمی‌گردد. غلتک‌های H_2 و H_3 نیز به همین صورت جابه‌جا می‌شوند. در شکل ۹ نمودار گشتاور مورد نیاز غلتک‌های افقی ربات با توجه به جابه‌جایی آن‌ها در شکل ۸ برای عبور از گوی اخطار رسم شده است. چنان که در شکل ۹ مشاهده می‌شود هر غلتک به هنگام جدا شدن از خط به‌علت عدم تماس با کابل دارای کم‌ترین گشتاور (حدود صفر) خواهد بود، ولی بلافاصله با برخورد آن غلتک با گوی، مقدار گشتاور بیشینه می‌شود. در شکل ۹ گشتاور کمینه و بیشینه برای غلتک افقی اول نشان داده شده است.

در شکل ۱۰ زوایای باز و بسته شدن بازوهای غلتک‌های عمودی نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، به‌منظور عبورگوی این بازوها تا زاویه ۸۲ درجه باز می‌شوند. در شکل ۱۱ گشتاور متناظر وارد شده به غلتک‌های عمودی برای عبور از گوی رسم شده است. با توجه به روش برخورد غلتک‌ها با گوی در این مانع، گشتاور بسیار کمی به این غلتک‌ها وارد می‌شود.

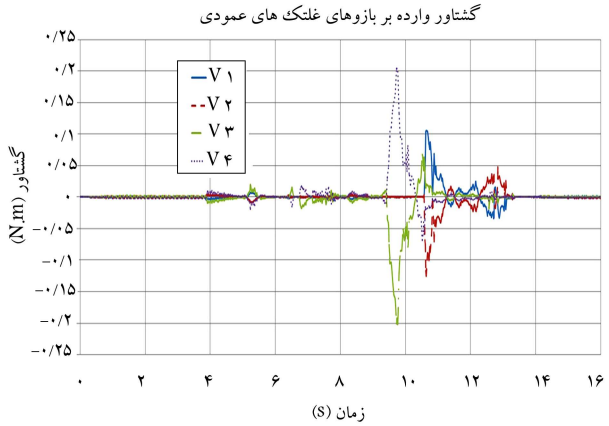
مطابق نمودارهای شکل ۹ و شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که در این حالت به غلتک‌های افقی، گشتاور بیشینه ۷ نیوتن‌متر و به غلتک‌های عمودی گشتاور بیشینه ۰٫۲ نیوتن‌متر اعمال می‌شود. بنابراین، در این حالت غلتک‌های افقی به گشتاور بیشتری برای عبور ربات از مانع نیاز دارند.



شکل ۹. نمایش گشتاور مورد نیاز غلتک‌های افقی ربات هنگام عبور ربات ازگوی اخطار.



شکل ۱۰. نمایش جابه‌جایی زاویه‌یی غلتک‌های عمودی هنگام عبورازگوی اخطار.



شکل ۱۱. نمایش گشتاور مورد نیاز غلتک‌های عمودی هنگام عبور ربات از گوی اخطار.

جدول ۲. گشتاور مورد نیاز غلتک‌های ربات.

نوع موتور	گشتاور نامی موتور (Nm)	کمینه گشتاور موتور (Nm)
غلتک‌های عمودی و افقی	۱۰	۸

۵. نتایج آزمایشگاهی ربات

پس از شبیه‌سازی و محاسبه‌ی گشتاور غلتک‌ها در عبور از موانع مختلف، مشخص شد که موتور غلتک‌های ربات باید دارای گشتاورهایی مطابق با جدول ۲ برای عبور از موانع مد نظر باشد.

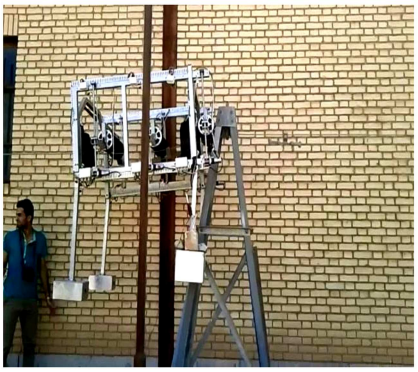
چنان‌که در جدول ۲ مشاهده می‌شود گشتاورانتخاب شده چنان است که ربات قادر به عبور از کابل شیب‌دار و گوی اخطار باشد. پس از خرید و نصب موتورها طبق مشخصات داده شده در جدول ۲، به بررسی قابلیت حرکت ربات ساخته شده در عبور از موانع پرداخته شده‌است تا بدین‌وسیله، صحت شبیه‌سازی‌های انجام‌شده تأیید شود.

نمونه آزمایشگاهی این ربات با موفقیت آزمون‌های اولیه را پشت سر گذاشته است. نتایج این آزمون‌ها نشان می‌دهد که معماری و موتورهای انتخاب شده در مرحله‌ی شبیه‌سازی، برای عبور ربات از سر دکل آویزی و گوی اخطار مناسب است. در شکل ۱۲ عبور ربات از سر دکل آویزی، و در شکل ۱۳ مراحل عبور ربات از گوی اخطار نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، تمامی مکانیزم‌های طراحی شده به‌خوبی عمل کرده و ربات از سر دکل آویزی بدون از دست دادن پایداری عبور می‌کند.

۶. نتیجه‌گیری

در این نوشتار طرح جدید یک ربات بازرس خطوط فشارقوی که قادر به عبور از روی تمامی موانع خط گارد ازجمله گوی اخطار و سر دکل است، بیان شده است. یکی از مزایای طرح ارائه‌شده استفاده کمینه از مکانیزم‌های فعال در ربات است که این عامل موجب سادگی در کنترل و ساخت ربات و همچنین کاهش چشمگیر هزینه‌ها شده است. این ربات از ۴ غلتک عمودی و ۳ غلتک افقی با

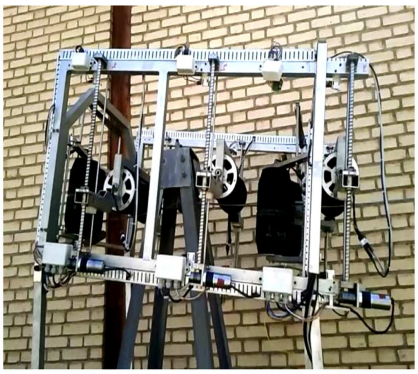
Archive of SID
www.SID.ir



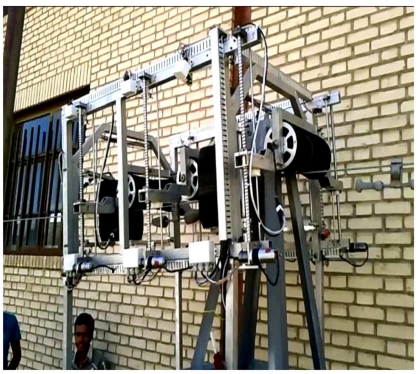
(۱)

(۵)

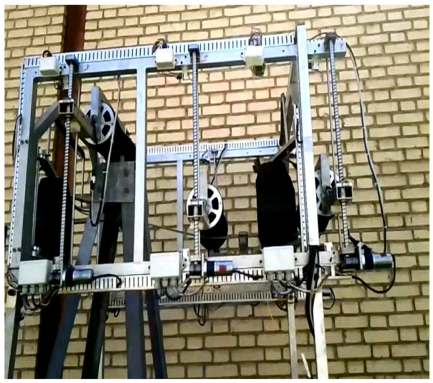
(۲)



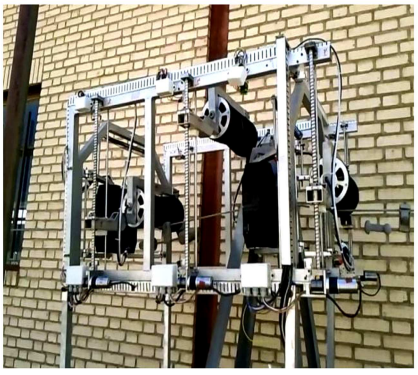
(۶)



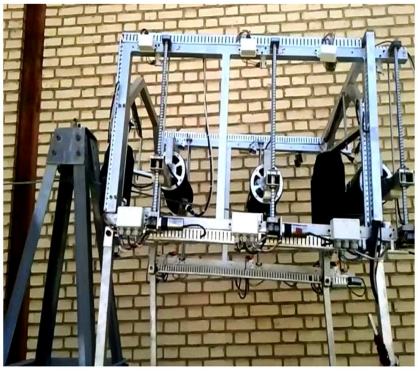
(۳)



(۷)



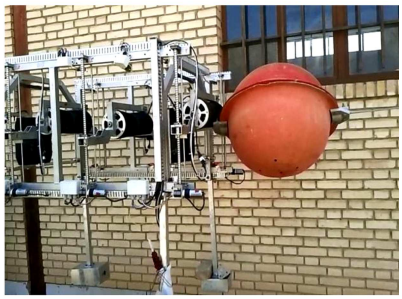
(۴)



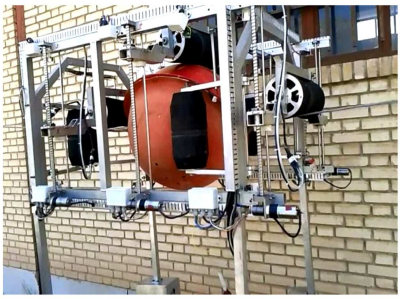
(۸)

شکل ۱۲. نمایش عظسبور ربات از سر دکل آویزی.

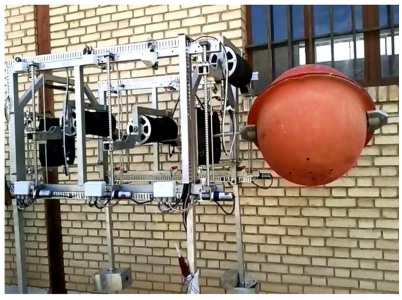
www.SID.ir



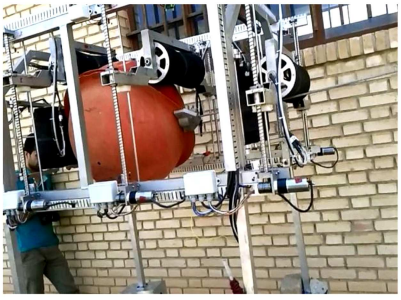
(۱)



(۵)

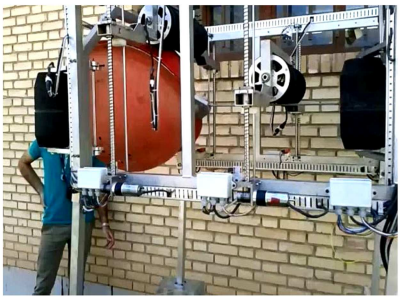


(۲)



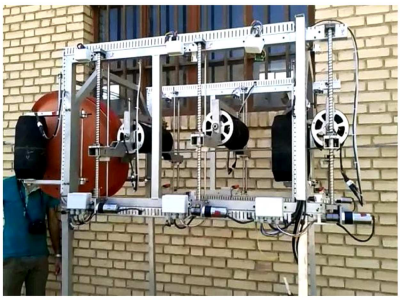
(۶)

(۳)



(۷)

(۴)



(۸)

(۹)

شکل ۱۳. نمایش عبور ربات از گوی اخطار.

www.SID.ir

محرک داخلی تشکیل شده است. قبل از ساخت، برای انتخاب موتورهای مورد استفاده در غلتک‌های ربات و نیز قابلیت عبور ربات از موانع مختلف، عملکرد ربات در نرم‌افزار آدمز مورد شبیه‌سازی قرارگرفت. مقدارگشتاور مورد نیاز موتورهای ربات و روش عبور ربات از موانع مختلف بررسی شده و مشخص شد که طرح انتخابی برای ربات، قابلیت عبور از تمامی موانع را دارد. همچنین مشخص شد که بیشترین گشتاور وارده به غلتک‌های افقی هنگام عبور ربات از گوی اخطار و بیشترین گشتاور وارده به غلتک‌های عمودی هنگام عبور ربات از خط شیب‌دار می‌باشد. در ادامه با انجام آزمون‌های میدانی، صحت عملکرد طراحی‌ها و تجهیزات انتخاب شده بررسی شد. نتایج آزمون‌ها نشان داده که ربات به‌راحتی قادر به عبور از سر دکل آویزی، سر دکل زاویه، گوی اخطار و همچنین خطوط شیب‌دار است. چگونگی عبور ربات از سر دکل زاویه و خطوط شیب‌دار در پژوهش‌های آینده ارائه و مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ساختار ساده با قابلیت تولید صنعتی، وزن کم ربات (وزن تقریبی ۶۰ کیلوگرم)، پایداری مناسب ربات در عبور از موانع و وزش باد، حرکت نسبتاً سریع روی خطوط گارد (حداکثر سرعت ۲۰ متر بر دقیقه) و همچنین امکان کنترل از راه دور ربات را می‌توان از دیگر نقاط قوت ربات طراحی‌شده برشمرد.

تقدیر و تشکر

مؤلفان از اداره‌ی برق منطقه‌یی اصفهان به جهت حمایت‌های خود در راستای تکمیل طرح حاضر و همکاری در ساخت یک نمونه تحقیقاتی از این ربات، تشکر و قدردانی می‌کنند.

پانوشت‌ها

1. LineScout
2. Expliner
3. Pan
4. Tilt
5. GPS
6. Adams

منابع (References)

1. Wang Peng, W., Feng, L., Guanqun, W., Kefei, W. and Shengwei, M. "Research on self-power supply system of inspection robot for high-voltage power transmission lines", *International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA)*, **2**, pp. 244-247 (2010).
2. Aoshima, S., Tsujimura, T. and Yabuta, T. "A wire mobile robot with multi-unit structure", *Proceedings of the IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems,* pp. 414-421 (1989).
3. Sawada, J., Kusumoto, K., Munakata, T., Maikawa, Y. and Ishikawa, Y. "A mobile robot for inspection of power transmission lines", *IEEE Transactions on Power Delivery,* **6**(1), pp. 309-315 (1991).
4. Higuchi, M., Maeda, Y., Tsutani, S. and Hagihara, S. "Development of a mobile inspection robot for power transmission lines", *Journal of Robotic Society of Japan,* **9**(4), pp. 57-63 (1991).
5. Tsujimura, T. and Morimitsu, T. "Dynamics of mobile legs suspended from wire", *Robotics and Autonomous Systems,* **20**(1), pp. 85-98 (1997).
6. Montambault, S. and Pouliot, N. "Design and validation of a mobile robot for power line inspection and maintenance", *Proceedings of the 6th International Conference on Field and Service Robotics (FSR)*, pp. 1-10 (2007).
7. Toussaint,K., Pouliot, N. and Montambault, S. "Transmission line maintenance robots capable of crossing obstacles: State-of-the-art review and challenges ahead", *Journal of Field Robotics*, **26**(5), pp. 477-499 (2009).
8. Bühringer, M., Berchtold, J., Büchel, M., Dold, C., Bütikofer, M., Feuerstein, M., Fischer, W., Bermes, C. and Siegwart, R. "Cable-crawler – robot for the inspection of high-voltage power lines that can passively roll over mast tops", *Industrial Robot: An Int. Journal,* **37**(3), pp. 256-262 (2010).

Archive of SID
www.SID.ir