

# طراحی و ساخت ربات امدادگر "سدر" با قابلیت‌های ویژه

علی مقداری<sup>1</sup>، فرشید امیری<sup>2</sup>، سید حنیف محبوبی<sup>2</sup>، امیر لطفی گسگری محله<sup>2</sup>، علی باغانی<sup>3</sup>،

حسین نجات پیش‌کناری<sup>2</sup>، رضا کریمی<sup>2</sup>، یاسر خلیقی<sup>2</sup>

قطب علمی طراحی، رباتیک و اتوماسیون (CEDRA)

دانشگاه صنعتی شریف

E-mail: meghdari@sharif.edu

## چکیده

این مقاله روند طراحی و ساخت رباتی امدادگر با نام "سدر" را که از مکانیزم میگویشکل بهبودیافته استفاده می‌کند، ارائه می‌دهد. نیازها و مشخصه‌های یک ربات امدادگر مطرح می‌شود و بهبودها و پیشرفت‌های این ربات نسبت به نمونه‌های قبلی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. کلیه بخش‌های سیستم شامل مکانیک، برق، کامپیوتر و رابط کاربر توضیح داده می‌شوند و نهایتاً با یک آزمایش امداد، کارایی سیستم اندازه‌گیری می‌شود و در مورد آن بحث می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ربات پایه متحرک، عملیات امداد، موانع نامنظم و ناپایدار.

## ۱- مقدمه

هدف این پروژه ساخت یک ربات هوشمند به منظور استفاده در عملیات امدادی می‌باشد. در عملیات امدادی علاوه بر اینکه شخص امدادگر با توجه به شرایط فیزیکی محیط ممکن است نتواند به خوبی از تمام قابلیت‌های خود استفاده کند در حین جستجوی مصدومین نیز در معرض خطرات مختلفی قرار می‌گیرد. لذا استفاده از یک ربات برای یافتن مصدوم و همچنین یافتن مسیر مناسب برای راهیابی شخص امدادگر به مکان مصدوم نه تنها خطر عملیات را برای امدادگر پایین می‌آورد بلکه باعث افزایش دقت و سرعت تیم امدادگر می‌شود.

یکی از عمده‌ترین مشکلات در زمینه طراحی و ساخت ربات‌های امدادگر، نامنظمی، ناپایداری و غیرقابل پیش‌بینی بودن محیط کاری ربات‌ها می‌باشد. لذا دستیابی به سیستم کنترلی با قابلیت اطمینان بالا و ساخت یک سیستم مکانیکی با قابلیت انعطاف پذیری بالا با محیط، اصلیت‌ترین ویژگی‌های مورد نظر یک ربات امدادگر می‌باشد. علاوه بر این شناسایی مصدوم از روی مشخصه‌های انسانی مانند: رنگ پوست و بافت پوست، و یا علائم حیاتی مانند: حرکت اجزای بدن، دمای بدن یا صدای مصدوم، نیز از دیگر ویژگی‌های خاص این ربات‌ها می‌باشد.

در همین راستا قطب علمی طراحی، رباتیک و اتوماسیون (سدر) ربات‌های مختلفی ساخته است که در این مقاله یکی از موفقترین این نمونه‌ها به نام "امدادگر سدر" را که از مکانیزم میگویشکل بهبودیافته استفاده می‌کند معرفی می‌شود. این ربات از نوع مریخ‌نورد بوده و در مقایسه با دیگر ربات‌های چرخدار از توانایی‌های ویژه‌ای برخوردار است.

در رده بندی ربات‌های سیار، یکی از عوامل مهم، فعال یا غیر فعال بودن سیستم حرکتی است. سیستم حرکتی غیر فعال بر مبنای سیستم تعلیق منفعل است که در آن هیچ حسگر یا عملگر اضافی برای تضمین حرکت پایدار وجود ندارد. از طرف دیگر، یک ربات فعال بر یک حلقه کنترلی بسته دلالت می‌کند که پایداری سیستم را در هنگام حرکت حفظ می‌کند.

واضح است که سیستم حرکتی فعال قابلیت ربات را گسترش می‌دهد، اما در عین حال پیچیدگی را نیز زیاد می‌کند و نیازمند منابع کنترلی وسیعی می‌باشد. با این وجود، با سرعت واقعی کنترلرها، ایجاد سیستم حرکتی فعال جزو اهداف بسیاری از تحقیقات امروزی است. معیارهای عمده و حیاتی در ربات‌های خودکار فضایی مصرف انرژی، قابلیت اطمینان و توانایی حرکتی می‌باشد. پیچیدگی بالای ربات‌های فعال و ضعف بالارفتن در ربات‌های غیر فعال موجود، ما را تشویق به تحقیقات

1- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک

2- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک

3- دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی برق

بر روی مفاهیم جدید سیستم حرکتی در رورهای غیر فعال کرده است. در ادامه انواع مکانیزمهای حرکتی ممکن آورده شده اند.

ماشینهای راه رونده [1] به نحو مطلوبی با محیطهای صعب العبور منطبق شده اند و دلیل این امر توانایی آنها در تضمین پایداری در محدوده وسیعی از موقعیتهای می باشد. در عین حال این دسته از رباتها دارای مکانیزمهای پیچیده بوده و کنترل آنها دشوار می باشد. از طرفی سرعت حرکت پایین و مصرف انرژی زیادی دارند [2].

مکانیزم حرکتی شنی به دلیل پایداری و ضریب اصطکاک مناسب، قابلیت حرکتی خوبی در پیمایش مسیرهای ناهموار دارد. مکانیزم آن ساده بوده ولی اتلاف انرژی آن نسبتاً زیاد می باشد. همچنین توانایی انطباق غیر فعال با بسیاری از سطوح ناهموار را ندارد [3].

رباتهای چرخدار وسایل ایده آلی برای پیمایش مسیرهای هموار و یا دارای ناهمواریهای ملایم و منظم می باشند ولی در محیطهای صعب العبور، کارایی حرکتی این دسته از رباتها شدیداً وابسته به نوع ناهمواریها، شکل و اندازه مکانیزم ربات و اندازه موانع ممکن است کاهش یا افزایش یابد [4]. از جمله رباتهای چرخدار ساخته شده برای مسیرهای ناهموار می توان به سگورنر [5]، راکي-7 [6] و یا میکرو-5 [7] اشاره نمود که به طور معمول توانایی غلبه بر موانعی به بزرگی چرخهای خود را دارند. افزودن توانایی صعود از موانع به یک ربات چرخدار مستلزم استفاده از استراتژیهای خاص و بعضاً بهره گیری از عملگرهای اضافه می باشد. به عنوان مثال می توان به مارسو خود [8] و هیپتور [9] اشاره نمود. همچنین در برخی موارد از روندهای کنترلی پیچیده (مانند ربات ناورور [10]) استفاده می شود.

به طور کلی رباتهای چرخدار در مقایسه با رباتهای راه رونده از انطباق پذیری و پایداری بیشتری برخوردارند و علاوه بر پیچیدگی کمتر، بازده بسیار بالاتری نیز دارند. مشکل اصلی این رباتها کم بودن توانایی بالاروی و مانع گذاری می باشد. برای رفع این نقیصه با ایدمگیری از رباتهای راه رونده سعی شده است با متحرک کردن محور چرخها نسبت به بدنه این مشکل تا حدی برطرف شود.

ربات میگو شکل [2] ساخته شده نیز بر همین اساس و با استفاده از یک بازوی چهار میله ای فنردار، چرخهای کناری با اهرم بندی موازی و شاسی انعطاف پذیر توانایی حرکتی بسیار مطلوبی را در محیطهایی با موانع نامنظم به دست آورده است. همچنین استفاده از چرخهایی با سرعت قابل کنترل و سیستم تنظیم زاویه فرمان در چرخ جلو و عقب ربات، توانایی مانورهایی با دقت زیاد را به ربات می دهد. از طرفی به دلیل

اینکه روی هر چرخ این ربات شش چرخ، یک موتور نصب شده است، برای اعمال گشتاور توسط موتورها از تمام وزن ربات می توان استفاده کرد. در واقع این ربات از این نظر قابل مقایسه با یک اتومبیل شش چرخ محرک است که در شرایط نامطلوب می تواند برای بیرون کشیدن خود از موانع قدرت را روی چرخهای مختلف متمرکز کند.

با توجه به قابلیت های سخت افزاری ربات ساخته شده، این ربات می تواند با تغییرات صرفاً نرم افزاری به منظور کاربردهای نظامی نظیر ربات مین یاب، ربات سرباز و یا ربات کاوشگر نیز مورد استفاده قرار بگیرد. (شکل-1)

## ۲- خواص حرکتی مطلوب ربات امدادگر

- 1- قابلیت انطباق و حرکت هموار روی مسیرهای نامنظم.
  - 2- قابلیت عبور از موانع در ابعاد مختلف از جمله پله.
  - 3- پایداری مناسب در برابر واژگونی در حین پیمایش مسیرهای ناهموار و موانع.
  - 4- کمینه کردن انرژی مصرفی موتورها در عین کم نگهداشتن حداکثر توان لحظه ای.
  - 5- توانایی ربات در بیرون آمدن از فرورفتگی در مسیر و به طور کلی قابلیت ادامه حرکت در صورت ایجاد مشکل برای تعدادی از چرخها.
  - 6- قدرت مانور و فرمان پذیری بالا برای تعقیب مسیر دلخواه و پرهیز از برخورد به موانع.
- تا کنون رباتهای بسیار متعددی با مکانیزمهای متنوعی برای برآوردسازی اهداف فوق که بعضاً مورد نظر سازندگان رباتهای مریخنورد نیز می باشد، طراحی شده اند. از جمله می توان به راکي-7، سگورنر و مارسو خود اشاره نمود.

هر يك از رباتهای مذکور به برخی از اهداف و قابلیت های مورد نظر دست یافته اند. ولی می توان گفت هیچ يك از نمونه های ساخته شده تاکنون به کلیه اهداف نائل نگشته اند.

سعی ما بر این بوده تا مکانیزمی طراحی و یا برگزیده شود که بیشترین تطابق با اهداف قید شده و قابلیت کاربرد در عملیات امداد را حائز باشد. از بین رباتهای موجود مکانیزم ربات میگو شکل از نظر قدرت مانور و انطباق با مسیرهای نامنظم و عبور از موانع نسبت به رقبای خود برتری بیشتری نشان داده است. بنابراین به نظر می رسد با اعمال تغییرات و تصحیحات در جهت بهبود رفتار دینامیکی، افزایش پایداری و استحکام در محیطهای نامنظم و بعضاً خطرناک، تغییرات در قدرت موتور و ابعاد ربات و نصب تجهیزات خاص مورد نیاز عملیات امداد بتوان ربات مناسب را طراحی نمود.

- 1- تماس مناسب همه چرخها به طور همزمان با زمین هنگام عبور از سطوح ناهموار
- 2- امکان حرکت روبه جلوی ربات هنگام بالا رفتن چرخ جلو در اثر برخورد با مانع
- 3- دامنه صعود و نزول مناسب چرخ جلو
- 4- عدم وجود نقطه مرگ در مکانیزم چنگال جلو، هنگام برخورد با موانع
- 5- ذخیره مناسب انرژی در فنر به کار رفته در مکانیزم جلو (که بایستی این انرژی ذخیره شده پس از بالا رفتن چرخ جلو از مانع در بالا آمدن بقیه اجزاء ربات کمک کند).
- 6- تمایل مکانیزم جلو برای حرکت به سمت بالا هنگام برخورد با موانع

با توجه به موارد ذکر شده و با در نظر گرفتن پارامترهای فوق یک تابع هدف تعریف شده و با استفاده از روشهای بهینه‌سازی، مکانیزم شکل (۴) با مسیر نشان داده شده بهترین پاسخ را می‌دهد. پس از طراحی و تعیین ابعاد مکانیزم جلو، اندازه سختی فنر استفاده شده در مکانیزم و همچنین محل نصب را می‌توان با توجه به مقدار انرژی که انتظار می‌رود در فنر ذخیره شود تعیین نمود.

### ۳-۲- بدنه اصلی و مکانیزم موازی

معیار تعیین ابعاد و محل نصب مکانیزم موازی و همچنین ابعاد بدنه اصلی، بر این اساس است که مرکز جرم ربات هنگام عبور از موانع و پلکان دارای حرکتی هموار و مسیری یکنواخت باشد [13]. تعیین پارامترهای

گفته شده به روش بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک صورت می‌گیرد. تابع هدف در این بهینه‌سازی بر اساس هموار کردن مسیر مرکز جرم ربات تعریف شده است.

سه طول از ربات به عنوان پارامترهای بهینه‌سازی برگزیده شده اند. این طولها به نامهای  $X1$ ،  $X2$  و  $X3$  در شکل (5) مشخص شده اند.

هدف از بهینه‌سازی، دستیابی به نزدیکترین منحنی به خط شیبدار مستقیم می‌باشد. به عبارت دیگر حداکثر شیب منحنی مسیر مرکز جرم تا حد امکان باید به سمت شیب معادل پلکان نزدیک باشد. بدین ترتیب با کمینه کردن حداکثر شیب منحنی، توان لحظه ای بیشینه نیز کمینه می‌شود.

بیان ریاضی تابع هدف به صورت زیر می‌باشد.

$$O.F. = \max(\text{slope}(X1, X2, X3)) \quad (1)$$

برای محاسبه حداکثر شیب منحنی، ربات در طول یک پلکان شبیه سازی شده که مسیر افست طی شده توسط مراکز چرخهاست، بالا برده می‌شود. تابع هدف در طول مسیر به صورت عددی محاسبه می‌شود.

حال به معرفی مکانیزم ربات می‌گوشکل و جزئیات طراحی ربات ساخته شده با عنوان "سدر" می‌پردازیم. مکانیزم مزبور از سه بخش اصلی تشکیل شده است: بدنه اصلی (Body)، مکانیزم موازی (Bogie) و چهارلینکی جلو (Fork). (شکل-۲)

چهارلینکی جلو (Fork): مکانیزم چهارمیله‌ای که در جلوی ربات (متصل به بدنه اصلی) نصب می‌شود و در عبور از موانع به ربات کمک می‌کند.

مکانیزم موازی (Bogie): این بخش شامل دو مکانیزم موازی در دو طرف بدنه اصلی به منظور حفظ تعادل و افزایش قابلیت انطباق با مسیر می‌باشد.

بدنه اصلی (Body): به عنوان سازه اصلی ربات و حمل‌کننده قطعات الکترونیکی، تشخیص مصدوم و دوربین و ... می‌باشد. چرخ عقب ربات به این قسمت متصل می‌باشد.

یکی از مزایای اصلی این مکانیزم استفاده از سیستم تعلیق موازی می‌باشد که باعث می‌شود حرکت مرکز جرم ربات هنگام عبور از موانع با شیبهای عمودی (ناپوستگیها) بسیار یکنواخت تر گردد، لذا ربات قادر است که با استفاده از مینیمم توان موتورها روی موانع نامسطح حرکت کند. عملکرد مکانیزم موازی همانند سیستم تعلیق قطار می‌باشد با این تفاوت که هنگام عبور از موانع نوک تیز مشکل گیر کردن در مانع برطرف شده است.

در مجموع مکانیزم چهارلینکی جلو و مکانیزم موازی استفاده شده در طرفین ربات، قابلیت تطابق پذیری و پایداری را هنگام عبور از موانع نامنظم افزایش می‌دهند.

### ۳- طراحی مفهومی

بررسی و بهینه‌سازی پارامترهای ربات برای رسیدن به رفتار مطلوب مورد انتظار در چند مرحله انجام می‌پذیرد که شامل طراحی سینماتیکی و تحلیل دینامیکی می‌باشد. در طراحی سینماتیکی ربات ابتدا چنگال جلو را مورد بررسی قرار داده و سپس سایر ابعاد ربات را برای برآوردسازی اهداف ذکر شده در بخش قبل بهینه‌سازی می‌کنیم. بحثهای تفصیلی در زمینه تحلیل سینماتیکی و دینامیکی در مراجع [11 و 12] درج شده اند.

### ۳-۱- چنگال جلو

رفتار ربات می‌گوشکل شدیداً به رفتار بازوی جلوی آن بستگی دارد و با انتخاب نامناسب اندازه‌های مکانیزم جلوی ربات، رفتاری غیر منتظره و نامطلوب از ربات سر می‌زند. (شکل-۳)

معیارهای طراحی مفهومی چنگال جلو عبارتند از:

- قابلیت تغییر ابعادی مکانیزم و فنر با حداقل هزینه ساخت.

با در نظر گرفتن تمام نکات فوق و در میان تمام راههای ممکن بهترین راه ساخت مکانیزم فوق استفاده از دو چهار میله‌ای موازی است که فنر بین آن دو قرار می‌گیرد. با این کار استحکام بالا می‌رود، لقی کمتر می‌شود و حرکت هموارتری انجام می‌شود.

در توضیح بیشتر باید گفت که اولاً برای اینکه از حداکثر فضای کاری مکانیزم استفاده شود و کمترین مقدار تداخل هم پیش بیاید، لینکهای کنار هم مکانیزم، در صفحات افقی مختلفی قرار گرفته‌اند که در نتیجه در حرکتشان که عمودی می‌باشد با هم تداخلی نخواهند داشت. بدین ترتیب مطابق شکل (8) هر یک از دو لینک مقابل در یک صفحه عمودی حرکت می‌کنند.

مطابق شکل (8) دو لینک AB و CD بین دو لینک CB و DA قرار گرفته‌اند و در کل تشکیل یک جعبه را می‌دهند. جعبه حاصله کاملاً متناسب با سازه اصلی بدنه می‌باشد و بدین ترتیب لینک CD (طول‌ترین لینک) نوعاً شبیه ادامه همان سازه یا ستون فقرات ربات می‌باشد که در نتیجه هارمونی و تقارن ایجاد شده به زیبایی سازه ربات می‌افزاید.

اتصال بین لینکهای متناظر مطابق شکل (9) می‌باشد. بدین ترتیب لینکهای AB, CD از یک سازه بسیار محکم تشکیل می‌یابند که اعضاء نظیر آن توسط یک شفت توخالی (در نقش بوش محور دوران) به هم وصل می‌شوند. شفت دیگری که از این حفره می‌گذرد اتصال لینکهای موازی نظیر CB و DA را کامل می‌کند. با استفاده از این روش کاملاً لقی مکانیزم گرفته می‌شود و در مقابل بارهای جانبی مستحکم می‌شود. این عدم لقی اهمیت زیادی دارد چرا که در غیر اینصورت اندکی بار جانبی باعث انحراف چنگال جلو می‌شود و جلوی حرکت مستقیم ربات (مخصوصاً در بالا رفتن از پله) را می‌گیرد. طول این محور لقی مجاز را تعریف می‌کند و در عین حال کمبود قطر آن را در مقابل بارهای ضربه‌ای جلو ربات (وقتی زیر چرخ جلو خالی می‌شود و یا مانعی جلوی آن قرار می‌گیرد) جبران می‌کند. اگر از باتاقانهای غلطشی استفاده می‌شد، باید دارای قطر بزرگتری باشد که نصب آن مشکلتر شده و با ابعاد لینکها تناسبی ندارد.

از نکات قابل توجه دیگر مکانیزم فنربندی است. زیر سریهای فنر و مهره و واشر داخل آن پیش فشردگی اولیه آن را تنظیم می‌کنند و جلوی کماتش فنر را نیز می‌گیرند. از طرفی با فضای ایجاد شده میان چهار میله‌ایهای موازی می‌توان اولاً فنر را در هر نقطه دلخواهی بین دو لینک AB, CD قرار داد، ثانیاً با میله‌ای که از وسط فنر رد شده است، نقطه مرگ پایین مکانیزم کنترل می‌شود و ثالثاً همین میله می‌تواند در بالای CD

قبل از شروع بهینه‌سازی بایستی محدوده هر کدام از فوتوتایپ‌ها را با توجه به محدودیت فضا در محیط کار ربات، هماهنگی با دوشاخه جلو و همچنین محدودیت‌های ساختی مشخص نمود. در طراحی ابعاد ربات بایستی عدم واژگونی هنگام عبور از موانع نیز در نظر گرفته شود و در صورتی که ابعاد مورد نظر ربات این شرط را برآورده نساختند مقدار امتیاز داده شده به آنها در تابع امتیازدهی الگوریتم بهینه‌سازی صفر شود. برای ارضای این معیار، مولفه افقی مکان مرکز جرم نباید کمتر از چرخ عقب باشد.

در الگوریتم مورد نظر تعداد 12 عدد جمعیت در هر نسل در نظر گرفته شده است و فرآیند در 500 نسل صورت پذیرفته است. ضریب احتمال ترکیب و ضریب احتمال جهش به ترتیب برابر با 0/9 و 0/02 انتخاب شده‌اند.

مقادیر پارامترها قبل از بهینه‌سازی

$$X1 = 210 \text{ (mm)}, X2 = 65 \text{ (mm)}, X3 = 220 \text{ (mm)}$$

مقادیر پارامترها پس از بهینه‌سازی

$$X1 = 189 \text{ (mm)}, X2 = 47 \text{ (mm)}, X3 = 275 \text{ (mm)}$$

در شکلهای (6) و (7) دو مکانیزم مختلف که دارای ابعاد دوشاخه جلوی یکسان هستند ولی از نظر طول ابعاد بدنه اصلی و مکانیزم موازی متفاوتند نشان داده شده‌اند. همان طور که دیده می‌شود مسیر حرکت مرکز جرم مکانیزم بدست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی بسیار هموارتر است.

#### ۴- طراحی مکانیکی

با توجه به کاربرد ربات طراحی شده در شرایط سخت و مسیرهای ناهموار، طراحی مناسب قسمتهای مختلف با هدف ایجاد ضریب اطمینان بالا امری ضروری است. همچنین فضای کافی برای جادهی ایمن و کافی قطعاتی مثل موتورها، باتریها و تجهیزات الکترونیکی باید فراهم گردد. علاوه بر موارد فوق تمهیداتی برای کاهش لقی اتصالات و نصب مناسب موتورها اندیشیده شده است که در ادامه به جزئیات طراحی پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱- طراحی جزئی چنگال جلو

در بخش طراحی مفهومی در مورد اندازه مناسب اجزاء این مکانیزم بحث شد و در این بخش به نحوه پیاده‌سازی و ساخت مکانیزم پرداخته می‌شود. برای کارایی مکانیزم مذکور خواص زیر باید در ساخت آن لحاظ شود:

- ایجاد استحکام مناسب مخصوصاً در مقابل بارهای جانبی و بارهای ضربه‌ای موانع جلو ربات در عین حفظ عدم لقی.

- ایجاد فضای مناسب برای جادهی فنر و تنظیم‌پذیری آن در موقعیتهای مختلف.

يك فنر ديگر را نيز در صورت نياز فعال بکند (مثلا براي حرکت به سمت بالا).

همچنين براي ايجاد قابليت بيشتري ربات در انجام آزمايشهاي ابعادي مکانيزم محل لولا D شيارى لوبيايي است که خود روي قطعه‌اي جدا از سازه ايجاد مي‌شود تا تنظيم بيشتري در محل آن باشد (برخلاف شيار A که روي خود سازه است).

#### ۴-۲- طراحی سازه ربات

بخشی از سازه ربات همان چنگال و مکانيزم موازی جاني می‌باشد که جداگانه توضیح داده خواهند شد. مابقی سازه اين سه عضو و چرخ عقب را به هم متصل می‌کند که در اين بخش توضیح داده خواهد شد.

سازه ربات به صورت يك شبکه در نظر گرفته می‌شود که در گره‌هايي از آن (چرخها)، بار به زمين منتقل می‌شود. (شکل-10)

فرمهاي مختلفی براي سازه مي‌توان در نظر گرفت که براي انتخاب نهايي، نکات مقابل در نظر گرفته شده است:

- استحکام بالا و وزن پايين که باعث توخالی کردن قطعات شده است.

- اجتناب از استفاده از ورق و صفحه به عنوان عضو سازه‌اي ولي به عنوان پوشش استفاده شده‌اند چرا که اگر چه می‌توانند استحکام بالايي داشته باشند ولي به صورت موضعي ضعيف هستند.

- سازه از شبکه‌اي از تسمه‌ها ايجاد شده است که محور اصلي آن مطابق شکل (10) می‌باشد. داخل قفسه ايجاد شده باتريها (چگالترین و از حساسترين اعضاي ربات) قرار گرفته‌اند و سيمها نيز از داخل آن می‌گذرند.

- فرم سازه وسط ربات که نماد ستون فقرات ربات می‌باشد با توجه به فضاي کاري ربات و عدم تداخل با موتورها ساخته شده است. اگرچه از لحاظ ماشينکاري با توجه به سبک‌سازي‌هاي انجام شده، ساخت آن زمان‌بر و پرهزینه است ولی بسيار مستحکم است و هارمونی و زیبایی خاصی در تناسب با بقیه اجزا ربات دارد.

#### ۴-۳- مکانيزم موازي

همانطور که در بخشهاي قبلي اشاره شد، دو مکانيزم چهار لينکي موازي در دو طرف ربات و متصل به بدنه اصلي نصب می‌شوند. با توجه به نقش مهم اين بخش در تطبيق با مسيرهاي ناهموار و موانع، لازم است اين مکانيزم علاوه بر استحکام زياد، قابليت چرخش مطلوبي نيز داشته باشد. براي نصب هر يك از اين بخشها روي بدنه اصلي ربات از دو جفت بلبرينگ تماس زاويه‌اي بهره‌گيري شده است که موجب سهولت دوران مکانيزم می‌باشد. بين لينکهاي مکانيزم نيز با روش نصب مناسب لقي به حداقل رسیده است. در شکل (۱۱) نمای برش خورده‌اي از مفاصل آن مشاهده می‌شود.

#### ۴-۴- چرخها

لايه بيروني چرخها داراي چسبندگي بالا و قابليت درگيري با موانع می‌باشد. جنس آن از نوع لاستيک تزريقي بوده و شيارهاي محوري روي آن حک شده است. رينگ آن فلزي می‌باشد و با هدف جلوگیری از بيرون زدن موتورها و نصب آنها در داخل چرخ، توخالی می‌باشد. (شکل-۱۲)

نحوه نصب موتور فرمان بايد به گونه‌اي باشد که بدون انتقال بار محوري روي محور موتور، بتوان چرخ را با زاويه دلخواه چرخاند. براي اين کار از دو بلبرينگ تماس زاويه‌اي مطابق شکل (۱۳) استفاده شده است که با استفاده از مهره يك بار محوري اوليه در سيستم مزبور ايجاد شده است.

#### ۵- سيستم نرم افزار وسخت افزار

به منظور کنترل ربات، برنامه ای برای ارتباط با کاربر به زبان ++VC نوشته شده است. اين برنامه فرمانهای کاربر را از طريق صفحه کلید و دسته بازی (Joystick) دريافت کرده و آنها را به کامپيوتر روی ربات ارسال می‌کند. ارتباط از طريق شبکه بي سيم (Wireless LAN) انجام می‌گيرد.

پروتکل ارتباطي از نوع TCP/IP مي باشد و نرم افزار به صورت Server-Client پياده سازي شده است. ربات به عنوان Client با نرم افزار Server که بر روي کامپيوتر کاربر اجرا شده است ارتباط برقرار مي کند. براي افزايش ايمني شبکه يك گروه کاري (Work Group) تعريف شده و تنها IP هاي مشخص شده قابليت انتقال پيام را دارند.

کامپيوتر روی ربات يك کامپيوتر صنعتی از کامپيوترهای صنعتی شرکت Advantech با شماره فنی PCM3350 می‌باشد. اين کامپيوتر اطلاعات گرفته شده از طريق شبکه محلي (LAN) را به برد فرماندهي (Master) انتقال می‌دهد. انتقال اطلاعات از طريق ارتباط سريال RS232 با سرعت ارسال 9600bps انجام می‌گيرد.

برد فرماندهي همواره در حال ارتباط با بردهای جاني می‌باشد. از کارهای ديگر برد فرماندهي، کنترل زواياي Roll و Pitch دوربين، کنترل وضعيت باتريها و امکان قطع و وصل کردن تغذيه باتريها به منظور صرفه جويي در مصرف انرژی می‌باشد.

ارتباط برد فرماندهي با بردهای جاني از طريق يك ارتباط موازی با دست تکاني (Handshake) انجام می‌گيرد؛ به اين نحو که سه بيت بعنوان باس آدرس، سه بيت بعنوان باس داده و دو بيت بعنوان دست تکاني مورد استفاده قرار می‌گيرد. اين سيگنالها به منظور کاهش خطای ناشي از نويز چند بار در هر مرحله قرائت می‌شوند.

حتی در هنگامی که برد فرماندهي روشن است، می‌توان به راحتی ارتباط بردهای جاني را با آن قطع

## ۷- خلاصه

در این مقاله مروری بر يك ربات امدادگر با نام سدرا با مکانیزم بهبود یافته از نوع میگویشکل ارائه شده است. کلیه زمینه‌های سیستم شامل مکانیکی، الکتریکی، کامپیوتر، رابط کاربر و يك تست امداد واقعي بحث شده است. نیازها و مشخصه‌های يك ربات امدادگر و چگونگی بهبود و پیشرفت در ساخت ربات نسبت به نمونه‌های قبلی آن مورد بررسی قرار گرفت. امیدواریم که ربات امدادگر سدرا را به رباتی خودکار با قابلیت تشخیص مصدوم و تعیین موقعیت خود و مصدوم ارتقاء دهیم.

## ۸- تشکر و قدردانی

شایسته است از حمایت‌های مالی و تجهیزاتی قطب علمی طراحی، رباتیک و اتوماسیون دانشگاه صنعتی شریف به عنوان متولی این پروژه تقدیر و تشکر به عمل آوریم.

## مراجع

1. J. Bares, D. Wettergreen, "Lessons from the development and deployment of Dante II", *Proceedings of the 1997 Fieldand Service Robotics Conference*, December, 1997.
2. Raibert M.H., *Legged Robots That Balance*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1986.
3. R. Siegwart, P. Lamon, T. Estier, M. Lauria, R. Piguët, "Innovative design for wheeled locomotion in rough terrain", *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, 40 (2002) 151-162.
4. B. Wilcox, A. Nasif, R. Welch, "Implications of Martian rock distributions on rover scaling", *Proceedings of the Planetary Society International Conference on Mobile Robots and Rover Roundup*, Santa Monica, CA, 1997.
5. H.W. Stone, "Mars pathfinder microover: A low-cost, low-power spacecraft", *Proceedings of the 1996 AIAA Forum on Advanced Developments in Space Robotics*, Madison, WI, 1996.
6. R. Volpe, J. Balaram, T. Ohm, R. Ivlev, "Rocky 7: A next generation Mars rover prototype", *Journal of Advanced Robotics* 11 (4) (1997) 341-358.
7. T. Kubota, Y. Kuroda, Y. Kunii, I. Natakani, "Micro-planetary rover Micro5", *Proceedings of the Fifth International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (ESA SP-440)*, Noordwijk, Netherlands, 1999, pp. 373-378.
8. A.L. Kemurdjian, V. Gromov, V. Mishkinyuk, V. Kucherenko, P. Sologub, "Small Marsokhod configuration", *Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation*, Nice, France, 1992.

و یا وصل نمود. هر برد جانبی قابلیت راه اندازی دو موتور را دارا می‌باشد. این بردها همچنین مقادیر پسخوراند (Feedback) را قرائت می‌کنند و وظایف کنترلی را انجام می‌دهند. آدرس پایه هرکدام از بردهای جانبی بوسیله Jumper هایی که روی آن تعبیه شده است تعیین می‌شود.

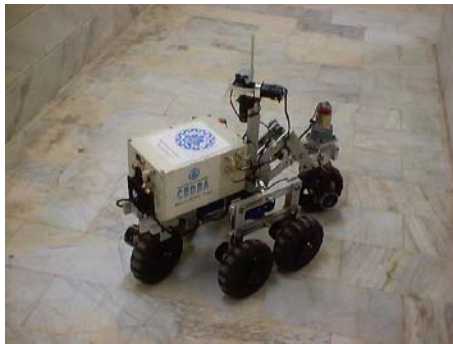
برد جانبی مربوط به پیچیدن چرخهای جلو و عقب ربات، دارای یک سیستم حلقه بسته کنترلی می‌باشد و کنترلر آن یک کنترلر از نوع متناسب است، که وظیفه کنترل پیچش چرخهای جلو و عقب ربات را برعهده دارد. از آنجا که این دو چرخ از لحاظ مکانیکی با هم کاملاً جفت و هماهنگ نیستند، امکان کالیبراسیون نیز تعبیه شده است. برای این منظور Jumper هایی در نظر گرفته شده است که بوسیله آنها می‌توان نقاط تنظیم (Set Points) را بایاس نمود.

سرعت حرکت چرخ جلو و زاویه آن اطلاعاتی است که از دسته بازی دریافت می‌شود. این اطلاعات پس از انتقال به برد فرماندهی تجزیه و تحلیل شده، بر اساس آن سرعت تک تک چرخها معین می‌شود. برای این منظور مرکز دوران ربات محاسبه شده و با استفاده از آن سرعت هر یک از چرخها بدست می‌آید. این سرعتها به عنوان ورودی به کنترل کننده های حلقه باز موتورهای چرخها اعمال می‌شود.

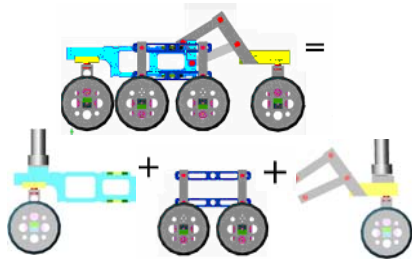
مدولهای ارتباطی مربوط به انتقال اطلاعات از کامپیوتر کاربر به کامپیوتر روی ربات، برد فرماندهی، بردهای جانبی، همگی برای گرفتن اطلاعات دارای Timeout می‌باشند. به این نحو که اگر تا زمان معینی داده به برد نرسد، از آن داده صرفنظر می‌شود و پروسه ادامه می‌یابد. در حالت بروز خطا این بردها می‌کوشند که مقدار صفر را به موتورهای ربات بفرستند تا ربات از حرکت بایستد و به این ترتیب خسارتی به محیط نرسد. (شکل-۱۴)

## ۶- تست عملیات واقعي امداد

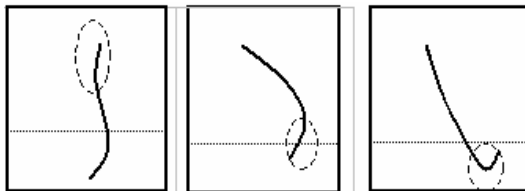
ربات امدادگر سدرا در يك محیط زلزله زده شبیه‌سازی شده در مسابقات جهانی روبوکاپ 2003 آزمایش شده است. در این رقابت سه محیط متفاوت به نامهای نواحی زرد، نارنجی و قرمز برای سنجیدن تواناییهای رباتها در بهتر یاری رساندن به تیم امداد طراحی شده بود. میزان موانع موجود در محیطهای مختلف از يك ماز دو بعدی در ناحیه زرد تا موانع نامنظم و ناپایدار در ناحیه قرمز تغییر می‌کرد. رباتها باید برای پیدا کردن و تعیین موقعیت مصدومین از موانعی چون آجر، بلوکهای سیمانی، دسته سیم یا طناب، لوله‌هایی به قطر بیش از 20 سانتیمتر، شیب 40 درجه، پله و راهروهای باریک و زیر پلکان و میز عبور نمایند. ربات امدادگر سدرا در این مسابقات نمایش قابل قبولی از خود نشان داد و موفق به کسب مقام دوم گردید. (شکل- ۱۵)



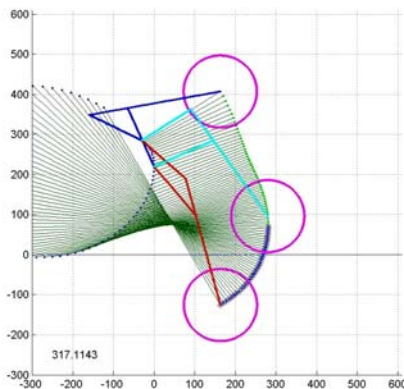
شکل ۱- ربات امدادگر "سدرا"



شکل ۲ - اجزای تشکیل دهنده ربات



شکل ۳- انواع منحنیهای مسیر حرکت چرخ جلو

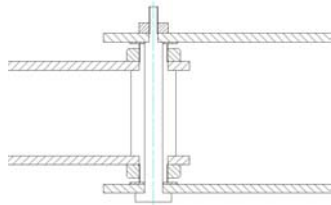


شکل ۴ - نمایش رفتار چرخ جلو در حالت‌های مختلف

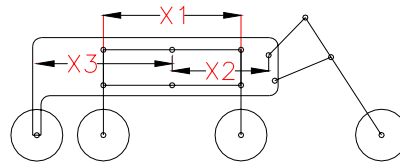
9. I. Leppänen, S. Salmi, A. Halme, "WorkPartner HUT Automation's new hybrid walking machine", *Proceedings of the CLAWAR'98 First International Symposium*, Brussels, 1998.
10. E. Tunstel, "Evolution of autonomous self-righting behaviors for articulated Nanorovers", *Proceedings of the Fifth International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (ESA SP-440)*, Noordwijk, Netherlands, 1999, pp. 341-346.
11. A. Meghdari, R. Karimi, H.N. Pishkenari, A. L. Gaskarimahalle, S. H. Mahboobi, "An Effective Approach for Dynamic Analysis of Rovers", *ASME Biennial International Conference, ESDA'04*, Manchester, July, 2004.
12. A. Meghdari, S. H. Mahboobi, A. L. Gaskarimahalle, "Modeling of CEDRA Rescue Robot on Uneven Terrains", *ASME/IMECE*, Anaheim, Nov., 2004.
13. A. Meghdari, H.N. Pishkenari, A.L. Gaskarimahalle, S.H. Mahboobi and R. Karimi, "Optimal Design and Fabrication of "CEDRA" Rescue Robot Using Genetic Algorithm", *ASME International Design Engineering Technical Conferences, DETC'04*, Salt Lake City, Utah, 2004.

#### جدول 1 - مشخصات ربات طراحی شده

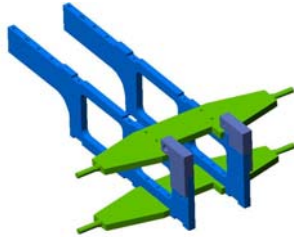
۸۰ cm	طول
45cm	عرض
۶۰ cm	ارتفاع
۳۰ kg	جرم کل
1.8 km/hr	سرعت
18 cm	قطر چرخ
10 DC motor	تعداد موتورها
۱ hr	حداکثر زمان کارکرد در سطح افقی
300N	حداکثر نیروی جلوگیری
18 cm	ارتفاع پدنه از زمین
50 m	محدوده شعاع مخابراتی
3990 gr	وزن باتری ها
24 V	ولتاژ کاری در ایورها
۱۲ و 5V	ولتاژ کاری IPC
کنترل سرعت کنترل موقعیت	نوع کنترلر چرخها نوع کنترلر فرمان
۲۰KHz	فرکانس کاری
FullBridge 4Quadrant DC/DC-PWM Converter	نوع در ایور
NIMH Rechargeable	نوع باتری



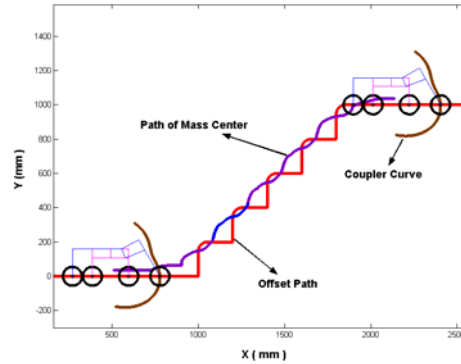
شکل 9 - مقطع مفصل لولایی چنگال جلو



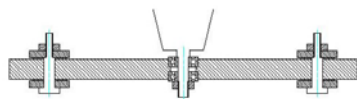
شکل 5 - پارامترهای بهینه سازی ابعادی



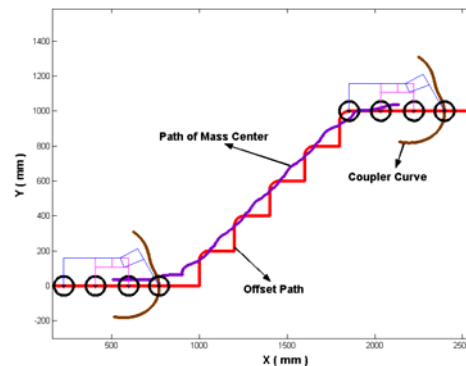
شکل 10 - سازه و بدنه ریات



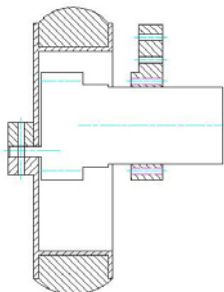
شکل 6 - مسیر مرکز جرم قبل از بهینه سازی



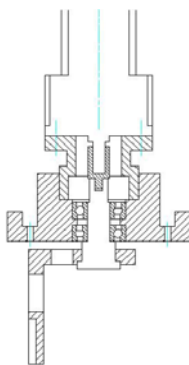
شکل 11 - نحوه نصب مکانیزم موازی به بدنه اصلی



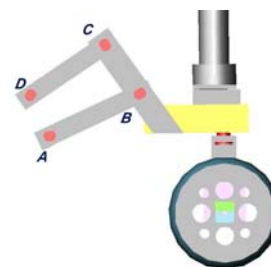
شکل 7 - مسیر مرکز جرم پس از بهینه سازی



شکل 12 - مقطع چرخ و نحوه نصب موتور



شکل 13 - نحوه نصب موتور فرمان روی چرخ جلو و عقب

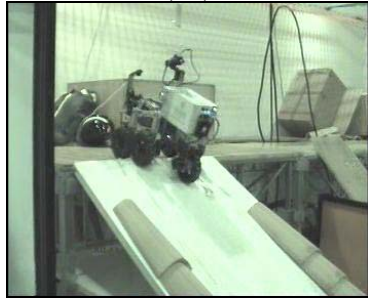


شکل 8 - چنگال جلوی ریات



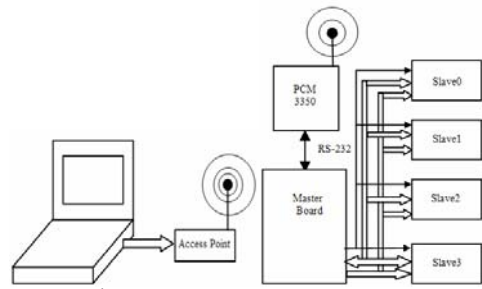


(الف)



(ب)

شکل ۱۵- آزمایش ربات در محیط زلزله زده شبیه سازی شده



شکل ۱۴ - شکل شماتیک سیستم سخت افزاری