بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

طراحی و تحلیل سیستم تعلیق خودرو با چرخ های کروی

نگارش

ندا اکبرلو

استاد راهنما

دکتر هاشم غریبلو

بهار ۱۳۹۲

اعلان منحصر به فرد بودن پایان نامه

بدین وسیله اعلام می گردد مطالب مندرج در این پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرکی توسط اینجانب و فرد دیگری ارائه نشده و فقط در دانشگاه زنجان و توسط اینجانب ارائه می گردد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: ندا اکبرلو

امضا:

تقدیم به

پشتوانه بزرگ و محکم؛ **خانواده مهربانم**

و کسی که صبورانه و قدم به قدم مرا یاری کرد؛ **همسر عزیزم**

با تشکر و قدردانی از

زحمات و راهنمایی های استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر غریبلو که صبورانه مرا یاری نمودند

و کمک های بی دریغ جناب آقای دکتر پیرمحمدی، مهندس امین دانش پژوه و مهندس محمد خدابنده

چکیده

طراحی و تحلیل سیستم تعلیق خودرو با چرخ های کروی

صنعت خودرو در طول سالیان متوالی به دنبال بهبود کیفیت خودرو و راحتی سواری و افزایش قابلیت مانور پذیری خودروها بوده است. از آنجا که خودروی مورد نظر خودروی شبه ربات است، در بخش ربات های متحرک نیز وجود سیستم تعلیق می تواند در کنترل بهتر آن و نیز تاثیرپذیری کم اجزای ربات از ناهمواری های جاده کمک نماید. چرخ های کروی، با حرکت هولونومیک امکان تغییر جهت آسان و مانور بهتر خودرو را فراهم می کند. تاثیرات مثبت وجود سیستم تعلیق بر رفتار دینامیکی خودروهای چرخ دار؛ مانند کاهش ارتعاشات عمودی سیستم؛ عدم ایجاد خستگی در قطعات تحت بار دینامیکی؛ دقت در جهت یابی و تخمین موقعیت ربات ها در هر لحظه؛ به خوبی ضرورت وجود سیستم تعلیق را برای یک خودرو و ربات متحرک توجیه می کند. در این پروژه ابتدا به معرفی انواع ربات ها و مزیت های استفاده از ربات های متحرک با چرخ های کروی پرداخته می شود. همچنین به ارائه دلایل ضرورت وجود سیستم تعلیق در خودروها پرداخته و انواع سیستم تعلیق و پارامتر های مهم طراحی مورد بحث قرار گرفته و انتخاب می شود. سپس روش طراحی سیستم تعلیق مناسب برای خودروی مورد نظر، مورد بررسی قرار می گیرد. با توجه به انتخاب سیستم تعلیق دوجناقی برای خودرو، در بخش طراحی ابعاد و زوایای بازوهای سیستم تعلیق دو جناقی به دست می آیند. در ادامه با معرفی انواع مدل سازی ارتعاشی، پارامترهای مهم سیستم تعلیق شامل ضریب سختی فنر و میرایی کمک فنر محاسبه خواهند شد. با کامل شدن طراحی سیستم تعلیق خودرو با لحاظ کردن مدل نیمه خودرو با درجه آزادی چهار و مدل کامل خودرو با درجه آزادی هفت، و به کمک نرم افزار متلب به بررسی و مقایسه پاسخ های فرکانسی و پاسخ های زمانی خودرو در مواجهه با دست انداز های مسیر پرداخته خواهد شد.

واژه های کلیدی: سیستم تعلیق، چرخ کروی، پاسخ ارتعاشی

فهرست مطالب

فصل اول: معرفی ۱

۱-۱: مقدمه ۱

۱-۲: بازوهای رباتی پایه ثابت ۳

۱-۳: ربات های متحرک ۴

۱-۳- ۱: ربات های متحرک چرخدار ۸

۱-۳- ۲: حرکات کلی ربات چرخ دار ۹

۱-۳-۳: حرکت هولونومیک و غیر هولونومیک ۱۰

۱-۴: ضرورت استفاده از تعلیق در ربات متحرک چرخ دار ۱۱

۱-۵: بررسی چند مورد تعلیق در ربات های مختلف ۱۱

۱-۵-۱: تعلیق های معمول در ربات ها ۱۲

۱-۵-۲: تعلیق ربات با سرعت بالا در موانع ۱۲

۱-۵-۳: تعلیق ربات در معرض ضربات ناگهانی و پی درپی ۱۳

۱-۵-۴: تعلیق ربات با سیستم حرکتی ترکیب چرخ و پا ۱۳

۱-۵-۵: تعلیق هوشمند ربات ۱۴

۱-۵-۶: تعلیق ربات فعال با کار تکراری ۱۵

۱-۶: خلاصه فصل ۱۶

۱-۷: طرح کلی پایان نامه ۱۶

فصل دوم: مروری بر سیستم های تعلیق و پارامترهای مرتبط با آن ۱۸

۲-۱: مقدمه ۱۸

۲-۲: وظایف سیستم تعلیق ۱۸

۲-۳: انواع دسته بندی ها در سیستم های تعلیق ۱۹

۲-۳-۱: کنترل پذیری ۱۹

۲-۳-۲: وابستگی چرخ ها ۲۱

۲-۳-۳: موقعیت قرارگیری ۲۳

۲-۴: سیستم های تعلیق متداول در خودروها ۲۳

۲-۴-۱: تعلیق صلب ۲۳

۲-۴-۲: تعلیق ددیان ۲۴

۲-۴-۳: تعلیق دوجناغی ۲۶

۲-۴-۴: تعلیق مک فرسون ۲۷

۲-۴-۵: تعلیق بازوی پیرو و بازوی نیمه پیرو ۲۹
۲-۴-۶: تعلیق چند بازویی ۳۰
۲-۵: انواع فنر ۳۱
۲-۶: کمک فنرها ۳۴
۲-۶-۱: انواع کمک فنر ۳۵
۲-۶-۲: نحوه قرارگیری فنر و کمک فنر ۳۸
۲-۷: خواص هندسی سیستم تعلیق ۳۹
۲-۷-۱: کمبر (تغییرات زاویه چرخ) و اسکراب (تغییرات عرضی چرخ) ۳۹
۲-۷-۲: بازوی چرخش ۴۲
۲-۷-۳: ضرایب کمبر و اسکراب در دست انداز ۴۴
۲-۷-۴: مرکز غلت و بازوی چرخش ۴۴
۲-۸: خلاصه فصل ۴۶
فصل سوم: طراحی هندسه تعلیق خودرو با چرخ کروی ۴۷
۳-۱: مقدمه؛ انتخاب سیستم تعلیق خودرو ۴۷
۳-۲: طول و زوایای بازوهای تعلیق ۴۷
۳-۲-۱: بازوهای مساوی و افقی ۴۷
۳-۲-۲: بازوهای موازی مایل با طول های مساوی ۴۸
۳-۲-۳: همگرایی بازوها ۴۹
۳-۲-۴: اختلاف طول بازوها ۵۱
۳-۲-۵: حالت کلی ۵۲
۳-۲-۶: نتیجه گیری ۵۴
۳-۳: فرآیند طراحی ۵۵
۳-۴: طراحی سیستم تعلیق مورد نظر برای خودرو ۵۶
۳-۵: خلاصه فصل ۵۹
فصل چهارم: معرفی پارامترهای ارتعاشی و بهینه سازی آنها ۶۰
۴-۱: مقدمه ۶۰
۴-۲: انواع مدل ها ۶۰
۴-۳: ضرایب عملکرد سیستم تعلیق ۶۲
۴-۳-۱: ضریب راحتی سواری؛ قابلیت انتقال شتاب ۶۳
۴-۳-۲: ضریب جابجایی جاده؛ قابلیت انتقال جابجایی نسبی ۶۳

۳-۳-۴: ضریب پایداری غلتشی ۶۴
۴-۴: بهینه سازی خواص سیستم تعلیق ۶۵
۴-۵: معادلات حرکت سیستم تعلیق ۶۵
۴-۶: محاسبه جرم سیستم تعلیق در جلو و عقب خودرو ۶۶
۴-۷: فنر و کمک فنر معادل برای سیستم تعلیق ۶۷
۴-۸: پاسخ فرکانسی سیستم ارتعاشی ۷۰
۴-۹: بهینه سازی پارامترها با روش میانگین ریشه دوم ۷۰
۴-۱۰: محاسبه مقدار حرکت چرخ و پارامترهای بهینه تعلیق ۷۳
۴-۱۱: طراحی متداول سیستم های تعلیق ۷۵
۴-۱۲: نتیجه گیری ۷۶
فصل پنجم:تحلیل ارتعاشی سیستم تعلیق ۷۷
۵-۱: مقدمه ۷۷
۵-۲: مدل نیمه خودرو با چهار درجه آزادی ۷۷
۵-۲-۱: معادلات حرکت مدل دوچرخه ای ۷۸
۵-۲-۲: فرکانس های طبیعی و شکل مدهای مدل دوچرخه ای ۸۰
۵-۲-۳: مدل نیمه خودرو برای مد غلت ۸۲
۵-۲-۴: مدل نیمه خودرو برای مد غلت با اضافه کردن میله ضد غلت ۸۴
۵-۳: مدل ارتعاشی تمام خودرو با هفت درجه آزادی ۸۶
۵-۳-۱: معادلات حرکت مدل کامل خودرو ۸۸
۵-۳-۲: فرکانس های طبیعی و شکل مدهای مدل کامل خودرو ۹۱
۵-۴: پاسخ زمانی سیستم ۹۲
۵-۴-۱: پاسخ زمانی مدل نیمه خودرو برای مد کله زدن ۹۴
۵-۴-۲: پاسخ زمانی مدل کامل خودرو با هفت درجه آزادی ۱۰۰
۵-۵: خلاصه فصل ۱۰۹
۶: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۰
۷: منابع ۱۱۱
پیوست ۱۱۱

فهرست جدول ها

جدول ۱- ۳: خواص سیستم تعلیق دو جناقی با طول مساوی و موازی ۴۸
جدول ۲- ۳: روابط ارتفاع اتصال بیرونی بازوها ۵۳
جدول ۳- ۳: روابط بین زوایه بازوها ۵۳

فهرست شکل ها

شکل ۱- ۱: بازوی رباتی با پایه ثابت ۱

شکل ۲- ۱: ربات استانفورد، اولین ربات متحرک ۲

شکل ۳- ۱: ربات متحرک بر روی ریل در مسیرهای محدود و مشخص ۴

شکل ۴- ۱: مکانیزم حرکت چرخ و زنجیر در ربات ۵

شکل ۵- ۱: مکانیزم حرکت پادار در ربات ۵

شکل ۶- ۱: مکانیزم حرکت با چرخ در ربات ۶

شکل ۷- ۱: چرخ های معمولی مورد استفاده در ربات ۷

شکل ۸- ۱: چرخ های هرجهتی مورد استفاده در ربات ۷

شکل ۹- ۱: چرخ های کروی مورد استفاده در ربات ۸

شکل ۱۰- ۱: حرکات کلی خودرو یا ربات متحرک ۱۰

شکل ۱۱- ۱: سیستم تعلیق با ساختاری ساده بر روی چرخ ربات ۱۲

شکل ۱۲- ۱: سیستم تعلیق با فنر افقی و عمودی برای جذب ارتعاشات افقی ربات با سرعت بالا در عبور از موانع ۱۲

شکل ۱۳- ۱: (۱) تعلیق به کار رفته برای ربات امداد و نجات برای مقابله با ضربات ناگهانی شدید (...) ۱۳

شکل ۱۴- ۱:ربات با سیستم حرکت ترکیبی پا و چرخ ۱۴

شکل ۱۵- ۱: طرح سینماتیکی ربات همراه با سیستم تعلیق به شکل چند بازویی ۱۴

شکل ۱۶- ۱: سیستم تعلیق مفصلی هوشمند برای ربات راه پیما روی سطوح ناهموار ۱۵

شکل ۱۷- ۱: سیستم تعلیق بازویی هوشمند در ربات پرکار، مراحل عمل کردن تعلیق برای برگشت به حالت ایستاده ۱۵

شکل ۱۸- ۱: تصویری از نمای کلی خودرو با چرخ های کروی با یک سرنشین ۱۶

شکل ۱- ۲: سیستم تعلیق غیر فعال شامل فنر و کمک فنر ساده ۱۹

شکل ۲-۲: سیستم تعلیق خودتنظیم؛ نوع قدیمی بادی و مدرن هیدروپنوماتیکی ۲۰

شکل ۳- ۲: سیستم تعلیق نیمه فعال با میرایی متغیر ۲۰

شکل ۴- ۲: سیستم تعلیق نوع وابسته با محور صلب ۲۱

شکل ۵- ۲: سیستم تعلیق مستقل برای هر چرخ ۲۲

شکل ۶- ۲: تعلیق صلب برای خودرو ۲۴

شکل ۷- ۲: سیستم تعلیق ددیان ۲۵

شکل ۸- ۲: نحوه عملکرد تعلیق ددیان روی دست انداز و حالت جهش بدنه ۲۵

شکل ۹- ۲: سیستم تعلیق دوجناقی در خودروها ۲۶

شکل ۱۰- ۲: سیستم تعلیق مک فرسون در خودرو ۲۷

شکل ۱۱- ۲: متعلقات موجود در ستون سیستم تعلیق مک فرسون ۲۸
شکل ۱۲- ۲: سیستم تعلیق بازوی پیرو و نیمه پیرو ۲۹
شکل ۱۳- ۲: سیستم تعلیق چند بازویی ۳۰
شکل ۱۵- ۲: انواع فنر در خودرو و سیستم تعلیق ۳۳
شکل ۱۶- ۲: شماتیک یک کمک فنر هیدرولیکی ساده ۳۴
شکل ۱۷- ۲: کمک فنر هیدرولیکی ۳۵
شکل ۱۸- ۲: کمک فنر تلسکوپی ۳۶
شکل ۱۹- ۲: کمک فنر هیدرواستاتیکی ۳۷
شکل ۲۰- ۲: کمک فنر بادی ۳۷
شکل ۲۱- ۲: کمک فنر قابل تنظیم ۳۸
شکل ۲۲-۲: قرارداد علامت مثبت زاویه کمبر ۴۰
شکل ۲۳- ۲: دست انداز تعلیق به علت زاویه کمبر چرخ ۴۰
شکل ۲۴- ۲: معادل سازی چرخ ها به صورت دست انداز در چرخش سیستم تعلیق در سطوح شیب دار ۴۱
شکل ۲۵- ۲: بازوی چرخش FE و مرکز چرخش E، مرکز چرخش (...) ۴۲
شکل ۲۶- ۲: تغییر مرکز چرخش در دست انداز (...) ۴۳
شکل۲۶- ۲: ساختار بازوی چرخش برای انواع مختلف تعلیق مستقل در خودروهای متقارن بدون غلت (...). ۴۵
شکل ۱- ۳: بازوها با طول مساوی و افقی ۴۷
شکل ۲-۳: بازوهای موازی مایل با طول مساوی ۴۹
شکل ۳- ۳: همگرایی بازوها ۵۰
شکل ۴- ۳: تعلیق دو جناقی با طول های نامساوی ۵۱
شکل ۵- ۳: حالت کلی تعلیق دو جناقی، طول و زوایای نا مساوی برای بازوها ۵۲
شکل ۶- ۳: طرح اولیه سیستم تعلیق برای شروع طراحی ۵۶
شکل ۷- ۳: هندسه به دست آمده برای سیستم تعلیق خودرو ۵۸
شکل ۱- ۴: مدل ۱/۴ برای تحلیل ارتعاشی؛ ۱- یک درجه آزادی، ۲- دو درجه آزادی ۶۱
شکل ۲- ۴: مدل نیمه خودرو از پشت جهت تحلیل حرکت عمودی و غلت بدنه ۶۱
شکل ۳- ۴: مدل کامل خودرو با هفت درجه آزادی که شامل حرکات جهش، غلت و کله زدن بدنه و جهش چرخ ها می شود ۶۲
شکل ۴- ۴: تعارض بین دو ضریب کارکرد سیستم تعلیق ۱) انتقال جابجایی ۲) انتقال شتاب. ۶۴
شکل ۵- ۴: سیستم تعلیق خطی با پایه تحریک شده ۶۵
شکل ۶-۴: خودرو در حالت سکون و نمایش نیروهای عمودی وارد بر چرخ ها و وزن در مرکز جرم خودرو ۶۷
شکل ۷-۴: معادل سازی جرم m متصل به میله بدون جرم با طول b ۶۸

شکل ۸-۴: سیستم تعلیق دوجناقی همراه با سیستم ارتعاشی معادل ۶۸
شکل ۹-۴: تعلیق دوجناقی طراحی شده برای خودرو ۶۹
شکل ۱۰-۴: نمودار طراحی برای پارامترهای بهینه تعلیق در تجهیزات ۷۱
شکل ۱۱-۴: نمودار طراحی برای پارامترهای بهینه تعلیق خودرو ۷۱
شکل ۱۲-۴: نمودار نسبت $\omega_n^2 S_{\ddot{X}}/S_Z$ برحسب fn برای مقادیر مختلف ξ ۷۲
شکل ۱۳-۴: مکانیزم تعلیق دوجناغی در حالت ۱) تعادل، ۲) از بالا محدود شده و ۳) از پایین محدود شده ۷۳
شکل ۱۴-۴: نحوه قرارگیری موانع حرکت چرخ برای سیستم تعلیق طراحی شده خودرو ۷۴
شکل ۱-۵: مدل نیمه خودرو (دوچرخه ای) برای مد کله زدن با ۴ درجه آزادی ۷۷
شکل ۲-۵: شکل مد مربوط به مدل دوچرخه ای خودرو بر حسب فرکانس های طبیعی ۸۲
شکل ۳-۵: شکل مد مربوط به مدل نیمه غلت خودرو بر حسب فرکانس های طبیعی ۸۴
شکل ۴-۵: مدل نیمه غلت با اضافه شدن میله ضد غلت ۸۵
شکل ۵-۵: شکل مد مربوط به مدل نیمه غلت خودرو با میله ضد غلت بر حسب فرکانس های طبیعی ۸۶
شکل ۶-۵: مدل تمام خودرو با هفت درجه آزادی ۸۷
شکل ۷-۵: تغییر طول فنرها در مدل تمام خودرو با هفت درجه آزادی ۸۷
شکل ۸-۵: شکل مد مربوط به مدل تمام خودرو بر حسب فرکانس های طبیعی ۹۲
شکل ۹-۵: مدلسازی دست انداز موجود در مسیر حرکت خودرو با موج سینوسی ۹۳
شکل ۱۰-۵: پاسخ زمانی بدنه خودرو در مدل نیمه خودرو به دست انداز چرخ جلو ۹۵
شکل ۱۱-۵: پاسخ زمانی زاویه کله زدن خودرو به دست انداز چرخ جلو ۹۵
شکل ۱۲-۵: پاسخ زمانی چرخ جلو به دست انداز چرخ جلو ۹۶
شکل ۱۳-۵: پاسخ زمانی چرخ عقب به دست انداز چرخ جلو ۹۶
شکل ۱۴-۵: پاسخ های زمانی بدنه خودرو با در نظر گرفتن تاخیر زمانی رسیدن چرخ عقب ۹۷
شکل ۱۵-۵: پاسخ های زمانی زاویه پیچ خودرو با در نظر گرفتن تاخیر زمانی رسیدن چرخ عقب ۹۷
شکل ۱۶-۵: پاسخ های زمانی چرخ جلو با در نظر گرفتن تاخیر زمانی رسیدن چرخ عقب ۹۸
شکل ۱۷-۵: پاسخ های زمانی چرخ عقب با در نظر گرفتن تاخیر زمانی رسیدن چرخ عقب ۹۸
شکل ۱۸-۵: پاسخ های زمانی بدنه خودرو با تغییر سرعت خودرو در عبور از دست انداز با $A = 5\ cm$ و $d = 0.2\ m$ ۹۹
شکل ۱۹-۵: پاسخ های زمانی بدنه خودرو با تغییر ارتفاع دست انداز با سرعت $v = 10\ m/s$ و $d = 0.2m$ ۹۹
شکل ۲۰-۵: پاسخ های زمانی بدنه خودرو با تغییر طول دست انداز با سرعت $10\ m/s$ و $A = 0.05\ m$ ۱۰۰
شکل ۲۱-۵: پاسخ زمانی بدنه خودرو به ورودی دست انداز در دو چرخ جلو ۱۰۱
شکل ۲۲-۵: پاسخ زمانی زاویه کله زدن به ورودی دست انداز در دو چرخ جلو ۱۰۱
شکل ۲۳-۵: پاسخ زمانی زاویه غلت به ورودی دست انداز در دو چرخ جلو که به علت متقارن بودن ورودی دست انداز صفر است. ۱۰۲

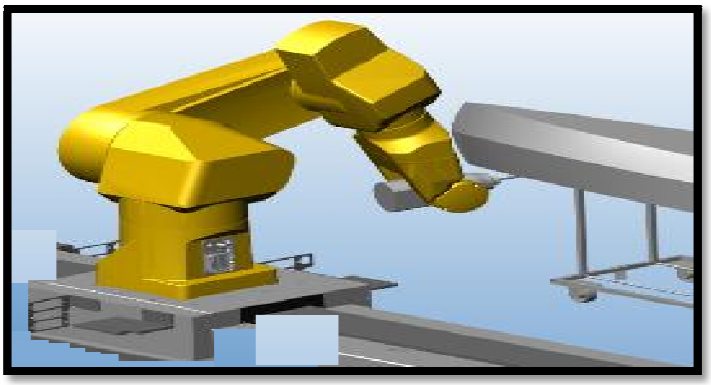
شکل ۲۴-۵: پاسخ زمانی دو چرخ جلو به ورودی دست انداز در دو چرخ جلو..... ۱۰۲
شکل ۲۵-۵: پاسخ زمانی دو چرخ عقب به ورودی دست انداز در دو چرخ جلو ۱۰۳
شکل ۲۶-۵: پاسخ زمانی بدنه خودرو با عبور متقارن چرخ های جلو و سپس چرخ های عقب از دست انداز ۱۰۴
شکل ۲۷-۵: پاسخ زمانی زاویه کله زدن خودرو با عبور متقارن چرخ های جلو و سپس چرخ های عقب از دست انداز ۱۰۴
شکل ۲۸-۵: پاسخ زمانی چرخ های جلوی خودرو با عبور متقارن چرخ های جلو و سپس چرخ های عقب از دست انداز ۱۰۵
شکل ۲۹-۵: پاسخ زمانی چرخ های عقب خودرو با عبور متقارن چرخ های جلو و سپس چرخ های عقب از دست انداز..... ۱۰۵
شکل ۳۰-۵: مقایسه پاسخ زمانی بدنه خودرو در دست انداز تک چرخ جلو و دست اندار در دو چرخ جلو ۱۰۶
شکل ۳۱-۵: مقایسه پاسخ زمانی زاویه کله زدن خودرو در دست انداز تک چرخ جلو و دست اندار در دو چرخ جلو ۱۰۶
شکل ۳۲-۵: مقایسه پاسخ زمانی زاویه غلت خودرو در دست انداز تک چرخ جلو و دست اندار در دو چرخ جلو..... ۱۰۷
شکل ۳۳-۵: مقایسه پاسخ زمانی چرخ جلوی سمت راست خودرو در دست انداز تک چرخ جلو و دست اندار در دو چرخ جلو ۱۰۷
شکل ۳۴-۵: مقایسه پاسخ زمانی چرخ جلوی سمت چپ خودرو در دست انداز تک چرخ جلو و دست اندار در دو چرخ جلو ۱۰۸
شکل ۳۵-۵: مقایسه پاسخ زمانی چرخ عقب سمت راست خودرو در دست انداز تک چرخ جلو و دست اندار در دو چرخ جلو..... ۱۰۸
شکل ۳۶-۵: مقایسه پاسخ زمانی چرخ عقب سمت چپ خودرو در دست انداز تک چرخ جلو و دست اندار در دو چرخ جلو ۱۰۹

فصل اول: معرفی

۱-۱: مقدمه

توانایی حرکت و مانور، و داشتن مهارت بیشتر ربات نسبت به ماشین های معمولی، یکی از ویژگی های بارز در ربات ها می باشد. این ویژگی مهم باعث می شود تا ربات ها بتوانند در یک محدوده وسیع و قابل دسترسی کار کرده و همچنین قابلیت ورود به مکان های بی نظم و پر رفت و آمد با سطوحی ناهموار را، برای انجام وظایف مختلف داشته باشند. در این فصل به معرفی انواع ربات ها با تمرکز بر ربات های چرخدار و انواع آن می پردازیم و سپس به لزوم سیستم تعلیق در ربات ها پرداخته و چند مورد سیستم تعلیق خاص در ربات های چرخدار را معرفی می کنیم. اصولا ربات ها را به دو بخش می توان تقسیم کرد؛ بازوهای رباتی[۱] صنعتی و ربات های متحرک[۲] [۱]. بازوهای رباتی صنعتی در دهه پنجاه میلادی برای اولین بار در امر حمل و نقل مواد به کار گرفته شدند. از این وسیله در مواردی استفاده می شود که کار برای انسان طاقت فرسا باشد مانند قسمت هایی از خط تولید در صنایع، مکان هایی که دسترسی به آن مشکل است و یا مانند سفرهای فضایی و حمل مواد رادیواکتیو، سلامتی را تهدید می کند.

ربات های دسته اول که در ابتدا ساخته می شدند و امروز هم در صنایع مورد استفاده قرار می گیرند دارای پایه ای ثابت می باشند و این امر سبب می شود تا فضای کار این گونه ربات ها محدود باشد، نمونه ای از آن در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. این محدودیت فضای کاری و لزوم ربات هایی برای شرایط کار جدید؛ متخصصان را وادار به ساخت ربات های دسته دوم نمود.



شکل ۱- ۱: بازوی رباتی با پایه ثابت

[۱] Manipulator
[۲] Mobile Robot

در دهه پنجاه میلادی تحقیقات روی ربات های متحرک آغاز گردید و برای اولین بار در سال ۱۹۶۹ در مرکز تحقیقات دانشگاه استانفورد اولین ربات متحرک ساخته شد که در شکل ۲-۱ نشان داده شده است، از آن تاریخ تحقیقات روی آن ادامه دارد [۱].

شکل ۲- ۱: ربات استانفورد، اولین ربات متحرک

کاربرد سیستم های متحرک به صنایع خاصی محدود نیست و کاربردهای فراوانی در موضوعات مختلف به ویژه اکتشافات دارد. زمینه های کاربردی ربات های متحرک هر روز جنبه های تازه تری به خود می گیرد. از جمله زمینه های کاربردی آنها که هم اکنون در حال تحقیق و توسعه می باشد می توان از زمینه های حفاری معادن؛ انبارداری در تولیدات انبوه و پیوسته؛ اکتشافات در اعماق اقیانوس ها و فضا؛ حمل و نقل مواد هسته ای و مواد شیمیایی خطرناک و حفاظت های فوق سری؛ صنایع نظامی و ... نام برد [۲].

ربات های متحرک از تکنولوژی پیشرفته ای در ساخت سیستم ها برخوردار بوده و به نوبه خود نقش چشم گیری در صنایع کشورهای پیشرفته بازی می کند. در این نوع از ربات ها، انعطاف پذیری و راندمان، تحت محدودیت های سیستم های مانور، هدایت و سرعت قرار دارد. امروزه در کارخانجات و برای بالا بردن سرعت تولید و خدمات، لازم است که ربات های متحرک از سرعت بالایی برخوردار باشند که این مستلزم تحقیق در خصوص دینامیک سیستم و به طبع آن سیستم تعلیق می باشد. استفاده از سیستم تعلیق در ربات ها دو خواسته مهم را برآورده می کند؛ اول اینکه سیستم تعلیق ربات متحرک را قادر می سازد تا دارای رفتار دینامیکی بهتری باشد و دوم اینکه سیستم تعلیق خطای موقعیت عمودی مرکز ثقل سیستم را کاهش داده و حساسیت به کیفیت سطح را تا حد زیادی از بین می برد [۳].

همان طور که می دانیم ارتعاشات زیاد خودروی رباتی نه تنها باعث ناراحتی سرنشین و بار خواهد شد، بلکه قطعات و اجزای خودرو را به ارتعاش درآورده و در قطعات تحت بار دینامیکی ایجاد خستگی می نماید. ضمن اینکه یک ربات از یک سیستم مکانیکی بسیار دقیق و ظریف تشکیل شده است که با استفاده از سیستم تعلیق مناسب همراه با میراکننده می توان مانع از انتقال نیروهای دینامیکی به خودرو و یا احتمالا بار آن شد. همچنین در بسیاری از ربات ها برای تعیین و یا تخمین موقعیت از شمارش تعداد دور چرخ ها استفاده می شود. بدیهی است در صورت عدم وجود سیستم تعلیق مناسب، در قسمت های ناصاف از مسیر ارتباط چرخ های ربات با زمین قطع شده و باعث ایجاد خطا در تخمین موقعیت ربات می شود.

در ادامه انواع ربات ها را به لحاظ توانایی جابجایی پایه مقایسه کرده و حوزه کاربرد آنها را مورد بحث قرار می دهیم. ضمن اینکه تمرکز اصلی روی بحث در انواع ربات های چرخ دار و سیستم های تعلیق به کار رفته در آنها خواهد بود.

۲-۱: بازوهای رباتی پایه ثابت

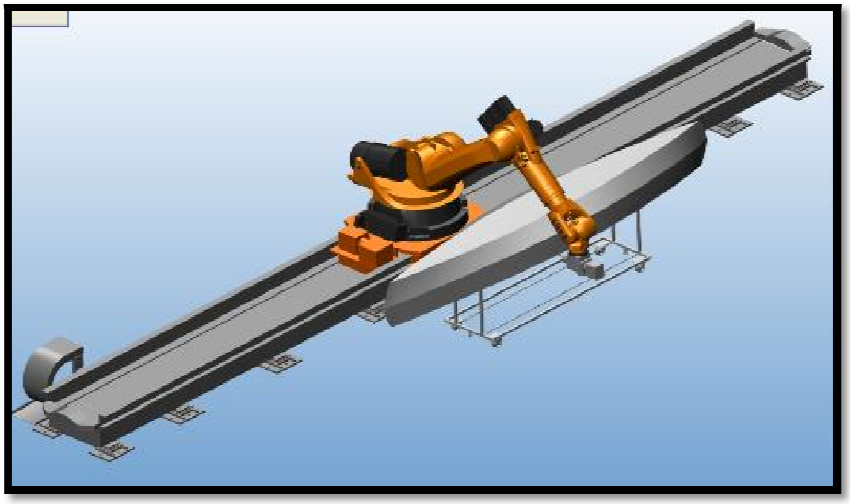
نخستین ربات هایی که در صنعت کاربرد پیدا نمودنده اند، بازوهای رباتی با پایه ثابت اند که برای جابجایی مواد و قطعات استفاده شده و دارای قابلیت برنامه ریزی جهت انجام وظایف مختلف می باشند. علیرغم وسعت حیطه عملکرد؛ این نوع ربات ها دارای محدودیت هایی هستند که اغلب ناشی از عدم تحرک آنهاست. مهم ترین محدودیت های بازوهای رباتی عبارتند از:

- محدودیت فضای کاری به دلیل ثابت بودن پایه
- محدودیت ظرفیت حمل بار: با افزایش شعاع عملکرد و دور شدن نوک بازوی ربات که وظیفه گرفتن اجسام یا وسیله کار را دارد، ظرفیت انتقال و حمل بار کاهش می یابد. لذا این نوع بازوهای رباتی دارای ظرفیت حمل بار زیادی نبوده و فضای کاری آنها نیز محدود است. به همین دلیل عموما در کارهای سبک نظیر رنگ کاری، جوشکاری و مونتاژهای سبک به کار می روند.
- وجود برخی موانع از قبل پیش بینی نشده می تواند موجب توقف کامل سیستم و عدم امکان انجام وظایف تعیین شده، شود.
- عدم امکان استفاده در مکان های ناشناخته و یا با دسترسی مشکل؛ مانند اعماق دریاها و معادن، مناطق آلوده به مواد شیمیایی یا هسته ای و ... .

عوامل و محدودیت های بیان شده فوق در مورد بازوهای رباتی، استفاده از ربات های متحرک را در کاربردهای صنعتی و پژوهشی اجتناب ناپذیر می نمایند. لازم به ذکر است که در ربات های متحرک علاوه بر رفع محدودیت های ذکر شده نیاز به درجات آزادی اضافی جهت افزایش مهارت در دستیابی به هدف، از بین می رود و از این نظر کنترل ربات ساده تر می گردد. به علاوه این نوع ربات ها ضمن انجام وظایف محوله حتی قادر به تعمیر و نگهداری سیستم های دیگر نیز خواهند بود [۴].

۳-۱: ربات های متحرک

در تمام ربات های متحرک هدف تولید حرکت نسبتا نرم به همراه سهولت در کنترل جهت و سرعت ربات می باشد. انتقال حرکت در ربات های صنعتی اصولا به دو طریق صورت می گیرد؛ در صورتی که مسیرها محدود و مشخص باشند حرکت و جابجایی به وسیله ریل انجام می شود. این سیستم ها معمولا در مکان های سرپوشیده و کارگاه های بزرگ وجود دارند. از جمله کاربرد این سیستم ها در صنایع هسته ای و نیروگاه ها برای مقاصد تعمیر و نگهداری می باشد [۵]. نمونه ای از این سیستم حرکتی در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.

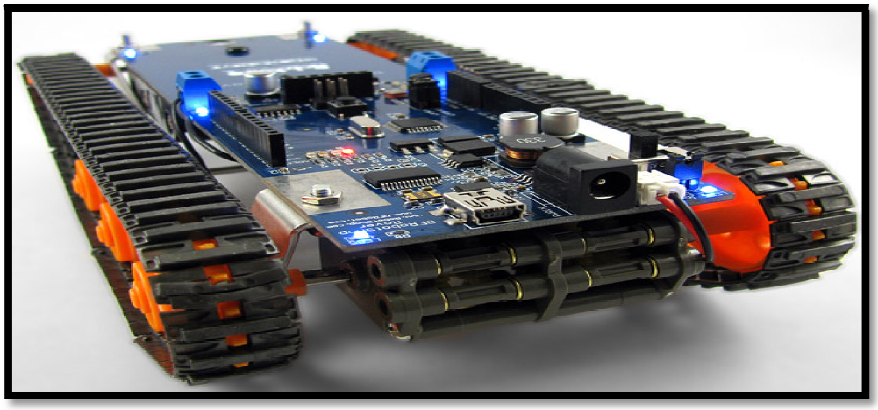


شکل ۳- ۱: ربات متحرک بر روی ریل در مسیرهای محدود و مشخص

در نوع دیگر از مکانیزم های حرکت که مسیر از قبل تعیین نشده باشد و سطح نسبتا ناهموار باشد، روش های مختلفی برای حرکت ربات وجود دارد. این روش ها به طور کلی سه نوع هستند:

- مکانیزم حرکت چرخ و زنجیر[۱] همانند سیستم موجود در تانک که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

[۱] Crawling System



شکل ۴- ۱: مکانیزم حرکت چرخ و زنجیر در ربات

سیستم های چرخ و زنجیری از تعدادی غلتک های متحرک (راننده) تشکیل شده اند که نوار فلزی یا لاستیکی پهن آجداری را حرکت می دهند. حرکت این نوار فلزی باعث جلو رفتن ربات می شود. این سیستم تحرک اصولا از لحاظ قابلیت تحرک و راندمان حرکتی ضعیف بوده و تکان های حرکتی را منتقل می کند، در عوض برای حرکت در سطوح ناهموار بسیار مناسب است. عملکرد این سیستم ها برای پله های با ارتفاع زیاد نیز ضعیف است و به طور کلی دارای محدودیت های فراوانی از نظر ساختمان، شکل و ابعاد غلتک ها و فاصله آج های نوار فلزی می باشند. تحقیقات زیادی توسط آقایان اومیچی و آیبی بر روی این سیستم ها شده است و عملکرد آن در سطوح مختلف مورد بررسی قرار گرفته که در مرجع [۵] آمده است.

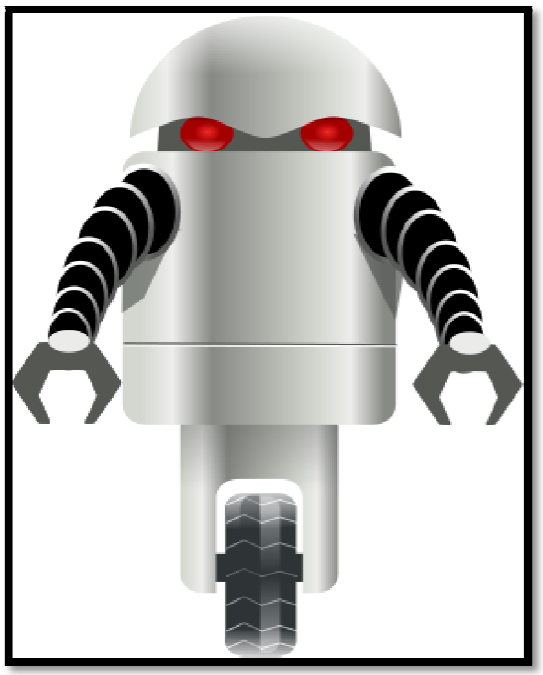
- مکانیزم حرکت پادار[۱]، این سیستم از اعضایی شبیه به پا تشکیل می گردد که در شکل ۵-۱مشاهده می شود.

شکل ۵- ۱: مکانیزم حرکت پادار در ربات

[۱] Walking System

عمل پا در حین حرکت هم می تواند به صورت قدم برداشتن باشد و هم می تواند روی زمین به وسیله چرخ هایی که در انتهای پا وجود دارد حرکت کند. معمولا مکانیزم های حرکت دارای پا از الگوها و شیوه های حرکت انسان و یا جانوران مختلف استفاده می کنند [۲]. این مکانیزم به صورت های گوناگونی مورد توجه قرار گرفته است مثل دوپا یا چهارپا و در مواردی برای افزایش سرعت، سیستم متحرک هر پا در انتها به یک چرخ متصل می گردد.

- مکانیزم حرکت توسط چرخ[۱]، در این سیستم از تعدادی چرخ که معمولا سه یا چهار چرخ است استفاده می کنند. نمونه ای از این ربات در شکل ۶-۱ نشان داده شده است.



شکل۶- ۱: مکانیزم حرکت با چرخ در ربات

در میان مکانیزم های حرکتی معرفی شده، این سیستم ها به دلیل سادگی فراوان و قابلیت های خاص؛ بیشتر مورد استفاده قرار گرفته اند. تنوع اشکال و ترکیبات مختلف این سیستم به نحو چشم گیری گسترش یافته است. این سیستم ها از نظر تعداد چرخ، نوع چرخ و ترتیب قرارگیری، سیستم های انتقال حرکت و سیستم های هدایت کننده چرخ، دارای گونه های متنوعی می باشند. این سیستم ها در سطوح نسبتا هموار دارای سرعت عملکرد بسیار بالایی هستند و از راندمان حرکتی مطلوبی در این نوع سطوح برخوردارند، در عوض در سطوح

[۱] Wheeled System