



دانشکده مهندسی

گروه مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان

طراحی مکانیزم تعلیق چند بازویی بر اساس  
تئوری ربات‌های موازی

نگارنده

علی احدی

استاد راهنما

دکتر کورش حیدری شیرازی

استاد مشاور

دکتر شاپور مرادی

تیر 1389

صلاة الاضلاع

بسمه تعالی

## دانشگاه شهید چمران اهواز

مدیریت تحصیلات تکمیلی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه دوره کارشناسی ارشد/دکتری)

بدین وسیله گواهی می‌گردد پایان نامه آقای **علی احدی** دانشجوی رشته مهندسی مکانیک-طراحی کاربردی از دانشکده مهندسی به شماره دانشجویی 8640108 تحت عنوان:

طراحی مکانیزم تعلیق چند بازویی بر اساس تئوری ربات‌های موازی

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در تاریخ 1389/4/15 توسط هیئت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه **خیلی خوب** تصویب گردید.

امضا	مرتبہ علمی	1- اعضا هیئت داوران:
	دانشیار	الف - استاد راهنما: دکتر کورش حیدری شیرازی
	استادیار	ب - استاد مشاور: دکتر شاپور مرادی
	استادیار	ج - داور 1: دکتر افشین قنبرزاده
	دانشیار	د - داور 2: دکتر خسرو نادران طحان
	استادیار	ه - نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (استاد ناظر):
		دکتر امین‌رضا نقره‌آبادی
		2- مدیر گروه:
	استادیار	دکتر افشین قنبرزاده
		3- معاون پژوهشی دانشکده:
	استادیار	دکتر کریم انصاری اصل
		4- مدیر کل تحصیلات تکمیلی:
	استاد	دکتر رحیم پیغان

تقدیم به

# پدر و مادر عزیزم

که در تمام مراحل زندگی همواره یار و پشتیبانم بوده اند؛

شکر و پاس خدایی را که همواره تنها پناه من در برابر مشکلات و سختی ها بوده است. هم او بوده است که همواره راه پرپیچ و خم زندگی را بر من آسان ساخته و می دانم هرچه هست از اوست و هرچه دارم از او دارم. در اینجا فرصت را معتمن شمرده و از زحمات بی دریغ استاد راهنمای خود جناب آقای دکتر کورش حیدری شیرازی پاس گزاری می نمایم. قلم و زبان قاصد تا ساگر کجک های علمی و معنوی این بزرگوار باشم اما می نویسم تا یاد داشته باشم که او چگونه مرا با نور وجود خویش به مسیر دست علم و زندگی هدایت نمود. همچنین بر خود لازم می دانم تا از استاد مشاور خود جناب آقای دکتر شاپور مرادی بخاطر کجک های فراوان ایشان در این دوره شکر و قدر دانی نمایم.

## چکیده پایان نامه

نام خانوادگی: احدی	نام: علی
عنوان پایان نامه: طراحی مکانیزم تعلیق چند بازویی بر اساس تئوری ربات های موازی	
استاد راهنما: دکتر کورش حیدری شیرازی	
استاد مشاور: دکتر شاپور مرادی	
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی مکانیک
گرایش: طراحی کاربردی	
محل تحصیل (دانشگاه): شهید چمران اهواز	
دانشکده: مهندسی	
تاریخ فارغ التحصیلی: 1389/4/15	تعداد صفحه: 97
کلیدواژه ها:، سنتز سینماتیکی، زاویه سرجمی، زاویه تورب، الگوریتم ژنتیک	
چکیده:	
<p>هدف در این پایان نامه بحث در مورد سنتز سینماتیکی و آنالیز سیستم تعلیق مستقل پنج بازویی در چرخ عقب خودرو به منظور دستیابی به خوشفرمانی بهینه و یا به عبارت دیگر داشتن کمترین تغییرات در زوایای تورب و سرجمی چرخ در اثر پستی و بلندی های جاده و همچنین دوران بدنه خودرو در سر پیچ است. به این منظور از دو روش سنتز " موقعیت- جزئی " که حرکت مکانیزم را بر روی مسیره های هندسی خاصی نظیر دایره، استوانه، کره و یا خط مستقیم بررسی می کند و روش " جبر برداری " که با استفاده از قوانین برداری، رابطه ای را برای زوایای تورب و سرجمی بدست می آورد، استفاده شده است. با توجه به این که در دو سر هر کدام از بازوها از مفاصل کروی استفاده می شود، نهایتاً 10 مفصل کروی در مکانیزم وجود خواهد داشت، که برای مشخص کردن موقعیت مکانی تمامی آنها با 30 متغیر مواجه خواهیم بود. با استفاده از روابط موجود در تئوری ربات های موازی یک تابع هدف مبتنی بر تغییرات زوایای اصلی چرخ تعریف شده و با استفاده از الگوریتم ژنتیک و به کمک نرم افزار مطلب، بهینه سازی انجام شده و سنتز مکانیزم اجرا می شود. بعد از انجام عمل سنتز و مشخص شدن موقعیت مفاصل و همچنین اندازه طول بازوها در مکانیزم، برای تایید عملکرد مطلوب سیستم تعلیق حاصل از سنتز، به بررسی سینماتیکی مسئله پرداخته و نتایج آن را در قالب نمودارهایی نظیر: تغییرات زوایا و همچنین جابجایی افقی چرخ در برابر تغییرات ارتفاع چرخ در اثر پستی و بلندی های جاده آورده می شود. در ادامه با استفاده از حل دستگاه های معادلات خطی نمودارهای مربوط به سرعت و شتاب خطی و زوایای چرخ بدست می آید. که از نمودارها مشخص می گردد، مکانیزم طراحی شده در فرایند سنتز موقعیت-محدود می تواند تا حد زیادی نیازهای سینماتیکی مسئله که همان کمینه شدن تغییرات زوایای تورب و سرجمی چرخ در اثر برخورد چرخ با دست انداز جاده ها و همچنین دوران خودرو در هنگام پیچ است را برآورده نماید.</p>	

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
أ.....	فرم ارزشیابی
ب.....	اهدانامه
ب.....	تقدیر و تشکر
ث.....	چکیده پایان نامه
ج.....	فهرست مطالب
د.....	فهرست شکل‌ها
ز.....	فهرست جدول‌ها
س.....	فهرست علامت‌ها
ش.....	فهرست اختصارها

### فصل اول

1.....	مقدمه	1.1
2.....	تعاریف سینماتیک چرخ و تعلیق	2.1
3.....	سیستم تعلیق پنج بازویی	3.1
5.....	تعریف مسئله	4.1

### فصل دوم

7.....	مرور پژوهش‌های پیشین
--------	----------------------

### فصل سوم

10.....	سنتز و تحلیل سینماتیکی	
10.....	مقدمه	1.3
12.....	ربات‌های موازی	2.3
13.....	دوران‌های پایه	1.2.3

14	2.2.3	زوایای اویلر
15	3.3	سنتز به روش موقعیت-محدود
16	1.3.3	فرمول بندی سنتز سینماتیکی با روش موقعیت-جرئی در حرکت دست‌اندازی
19	2.3.3	فرمول بندی کردن سنتز سینماتیکی با روش موقعیت-محدود در حرکت رول بدنه
25	4.3	سنتز سینماتیکی با استفاده از روش جبر برداری
32	1.4.3	تعریف تابع هدف در روش جبر برداری
33	3.5	آنالیز سینماتیکی مکانیزم پنج بازویی تعلیق
34	3.5.1	مسئله موقعیت
36	6.3	آنالیز سرعت و شتاب خطی
37	7.3	آنالیز سرعت و شتاب زاویه ای

#### فصل چهارم

42	مکانیزم بهینه و تحلیل سینماتیکی آن	
42	1.4	مقدمه
42	2.4	فرضیات و پارامترها
43	3.4	بهینه‌سازی
44	1.3.4	الگوریتم ژنتیک
46	2.3.4	تعیین کارایی الگوریتم ژنتیک
47	4.4	طراحی مکانیزم با روش موقعیت-محدود در حرکت دست‌اندازی
47	1.4.4	طراحی مکانیزم با روش موقعیت-محدود در حرکت دست‌اندازی با الگوریتم ژنتیک
49	2.4.4	بدست آوردن متغیرهای طراحی و نتایج سینماتیکی حاصل از آن
55	5.4	طراحی مکانیزم با روش سنتز جبر برداری
57	6.4	طراحی مکانیزم با روش موقعیت-محدود در حرکت دست‌اندازی و رول بدنه
64	7.4	مقایسه مکانیزم‌های طراحی شده و انتخاب مکانیزم بهینه
68	8.4	آنالیز سرعت و شتاب مکانیزم در حرکت دست‌اندازی

#### فصل پنجم

70	نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات	
70	1.5	جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
73	5.2	پیشنهادات
75	فهرست مراجع	
77	ضمیمه الف	



77 ..... **الکوریتم بهینه‌سازی ژنتیک**

93 ..... **ضمیمه ب**

93 ..... **الکوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل**

## فهرست شکل‌ها

- شکل 1-1: زاویه تورب مثبت و منفی ( $\gamma$ ) ..... 2
- شکل 1-2: زاویه سرجمعی خارج و داخل ( $\delta$ ) ..... 3
- شکل 1-3: سیستم تعلیق مستقل چند بازویی ..... 4
- شکل 1-3-1: (ا) مکانیزم تعلیق مستقل چند بازویی (ب): دیاگرام سینماتیکی ..... 11
- شکل 2-3: نمایش شماتیک از یک ربات موازی پنج بازویی ..... 12
- شکل 3-3: دوران دستگاه مختصات حول محور  $x$  ..... 13
- شکل 3-4: ایجاد گشتاور به سمت خارج پیچ ..... 20
- شکل 3-5: ارتفاع مرکز دوران خودرو ..... 21
- شکل 3-6: تغییر مختصات مرکز مفاصل متصل به بدنه بر اثر دوران بدنه ..... 23
- شکل 3-7: شماتیک کلی چرخ و بدنه در دو حالت دست‌اندازی و رول بدنه به صورت همزمان ..... 24
- شکل 3-8: طرح سینماتیکی از یک سیستم تعلیق پنج بازویی ..... 26
- شکل 3-9: مختصات نقطه  $P$  نسبت به دستگاه متحرک  $o'$  ..... 37
- شکل 4-1: فلوجارت الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک ..... 45
- شکل 4-4: فرآیند تکامل بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک در حرکت دست‌اندازی ..... 50
- شکل 4-5: زوایای تورب و سرجمعی به ازای  $-50 < z_N < 50$  در حرکت دست‌اندازی ..... 51
- شکل 4-6: جابجایی افقی مرکز چرخ در راستای  $x$  بر اثر حرکت عمودی چرخ، در مکانیزم حاصل از سنتز دست‌اندازی در روش موقعیت-محدود ..... 52
- شکل 4-7: جابجایی افقی مرکز چرخ در راستای  $y$  بر اثر حرکت عمودی چرخ، در مکانیزم حاصل از سنتز دست‌اندازی در روش موقعیت-محدود ..... 52
- شکل 4-8: تغییرات زاویه تورب در اثر دوران بدنه خودرو برای سه ارتفاع چرخ، در مکانیزم حاصل از سنتز دست‌اندازی در روش موقعیت-محدود ..... 53
- شکل 4-9: تغییرات زاویه سرجمعی در اثر دوران بدنه خودرو برای سه ارتفاع چرخ، در مکانیزم حاصل از سنتز دست‌اندازی در روش موقعیت-محدود ..... 54

- شکل 4-10: مقدار زوایای تورب و سرجمعی در اثر تغییر ارتفاع چرخ نسبت به مکان اولیه، در مکانیزم حاصل از روش جبر برداری ..... 56
- شکل 4-11: مقدار جابجایی افقی چرخ در راستای  $x$  در اثر تغییر ارتفاع چرخ، در مکانیزم حاصل از روش جبر برداری ..... 56
- شکل 4-12: مقدار جابجایی افقی چرخ در راستای  $y$  در اثر تغییر ارتفاع چرخ، در مکانیزم حاصل از روش جبر برداری ..... 57
- شکل 4-13: مقادیر تابع هدف اول (رابطه (3-6)) حاصل از انجام بهینه‌سازی ژنتیک ..... 58
- شکل 4-14: مقادیر تابع هدف دوم (رابطه (3-22)) حاصل از انجام بهینه‌سازی ژنتیک ..... 59
- شکل 4-15: مجموع مقادیر زوایای تورب (رادیان) در اثر جابجایی عمودی چرخ در بازه  $50 < z_N < -50$ ، برای 31 مکانیزم حاصل از انجام بهینه‌سازی ژنتیک ..... 59
- شکل 4-16: مجموع مقادیر زوایای سرجمعی (رادیان) در اثر جابجایی عمودی چرخ در بازه  $50 < z_N < -50$ ، برای 31 مکانیزم حاصل از انجام بهینه‌سازی ژنتیک ..... 60
- شکل 4-17: زوایای تورب و سرجمعی به ازای  $50 < z_N < -50$  ..... 61
- شکل 4-18: جابجایی افقی چرخ در راستای  $x$  در هنگام حرکت عمودی چرخ ..... 61
- شکل 4-19: جابجایی افقی چرخ در راستای  $y$  در هنگام حرکت عمودی چرخ ..... 62
- شکل 4-20: تغییرات زاویه تورب در اثر دوران بدنه خودرو برای سه ارتفاع چرخ ..... 62
- شکل 4-21: تغییرات زاویه سرجمعی در اثر دوران بدنه خودرو برای سه ارتفاع چرخ ..... 63
- شکل 4-22: ماکزیمم تغییرات زاویه تورب در اثر جابجایی عمودی چرخ در بازه  $50 \leq z_N \leq -50$  برای سه مکانیزم طراحی شده ..... 64
- شکل 4-23: ماکزیمم تغییرات زاویه سرجمعی در اثر جابجایی عمودی چرخ در بازه  $50 \leq z_N \leq -50$ ، برای سه مکانیزم طراحی شده ..... 65
- شکل 4-24: تغییرات جابجایی افقی چرخ نسبت به مکان اولیه در راستای  $x$  در حرکت دست‌اندازی، برای سه مکانیزم طراحی شده ..... 65
- شکل 4-25: تغییرات جابجایی افقی مرکز چرخ نسبت به مکان اولیه در راستای  $y$  در حرکت دست‌اندازی، برای سه مکانیزم طراحی شده ..... 66
- شکل 4-26: مقایسه حداکثر زاویه تورب در اثر  $4/5^0$  رول بدنه در سه ارتفاع مختلف چرخ، برای سه مکانیزم طراحی شده ..... 67

شکل 4-27: مقایسه حداکثر زاویه سرجمعی در اثر  $4/5^0$  رول بدنه در سه ارتفاع مختلف چرخ، برای سه مکانیزم طراحی شده..... 67

شکل 4-28: تغییرات سرعت زاویه‌ای چرخ به ازای  $\alpha_N = 1$  و  $\alpha_N = 0$  در هنگام حرکت عمودی چرخ..... 69

شکل 4-29: تغییرات شتاب زاویه‌ای چرخ به ازای  $\alpha_N = 1$  و  $\alpha_N = 0$  در هنگام حرکت عمودی چرخ..... 69

شکل 5-1: فلوچارت مربوط به روند کلی پایان‌نامه..... 74

## فهرست جدول‌ها

- جدول 3-1: ضرائب دستگاه معادلات خطی برای بدست آوردن سرعت خطی نقاط  $B_i (i=1, \dots, 5)$  ..... 38
- جدول 3-2: ضرائب دستگاه معادلات خطی برای بدست آوردن شتاب خطی نقاط  $B_i (i=1, \dots, 5)$  ..... 39
- جدول 4-1: محدودیتهای طراحی مکان مرکز مفاصل کروی دو انتهای بازوها ..... 43
- جدول 4-5: حالت‌های متفاوت در نظر گرفته شده برای اجرای الگوریتم ژنتیک ..... 47
- جدول 4-6: قابلیت کارایی عملکرد الگوریتم ژنتیک ..... 48
- جدول 4-7: نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک ..... 48
- جدول 4-9: موقعیت مکانی مرکز مفاصل کروی و طول بازوها ..... 50
- جدول 4-10: حداکثر تغییرات زاویه تورب و سرجمعی در اثر رول بدنه در سنتز در حرکت دست‌اندازی ..... 54
- جدول 4-11: موقعیت مکانی مرکز مفاصل کروی و طول بازوها بدست آمده از بهینه‌سازی ..... 55
- جدول 4-12: موقعیت مکانی مرکز مفاصل کروی و طول بازوها بدست آمده از بهینه‌سازی ..... 60
- جدول 4-13: حداکثر تغییرات زاویه تورب و سرجمعی در اثر رول بدنه در سنتز در حرکت دست‌اندازی و رول بدنه ..... 63

## فهرست علامتها

مختصات مرکز اتصال رابط $i$ ام به سکوی ثابت در دستگاه مختصات ثابت	$A_i$
بردار متصل کننده مبدا مختصات به مفصل گروهی $i$ ام متصل به بدنه	$\vec{a}_i$
مختصات مرکز اتصال رابط $i$ ام به سکوی متحرک در دستگاه مختصات متحرک	$B_i$
بردار متصل کننده مبدا مختصات به مفصل گروهی $i$ ام متصل به چرخ	$\vec{b}_i$
مرکز اولیه چرخ	$B_0$
نقطه اتصال فنر با بازو شماره 1	$C_i$
فاصله متغیر مفاصل دو انتهای بازوها	$d_i$
بردار متصل کننده مفصل $i$ ام از مفاصل بر روی بدنه به مفصل $j$ ام بر روی چرخ	$\vec{d}_{ij}$
تابع هدف اول	$F_1$
تابع هدف دوم	$F_2$
ارتفاع مرکز دوران	$h_r$
طول مربوط به هر بازو و یا رابط ارتباطی بین دو سکو	$l_i$
مرکز چرخ و مرکز دستگاه مختصات متصل به سکو و یا صفحه متحرک	$N$
بردار مکانی نقطه تماس چرخ با زمین	$\vec{n}$
مختصات مرکز دستگاه مختصات ثابت متصل به پایه	$O$
مختصات جدید مرکز دستگاه مختصات ثابت متصل به پایه در اثر دوران بدنه	$O'$
شعاع چرخ	$R$
مرکز تماس چرخ با سطح زمین	$s$
ماتریس دوران	$T$
ضریب وزنی	$w_i$
پاره خط رابط بین دو مفصل متصل به بدنه و چرخ	$\overline{A_i B_i}$
زاویه جهت گیری سکو نسبت به محور $x$ دستگاه مختصات ثابت	$\alpha$
زاویه جهت گیری سکو نسبت به محور $Z$ دستگاه مختصات ثابت	$\beta$
زاویه جهت گیری سکو نسبت به محور $\gamma$ دستگاه مختصات ثابت و زاویه تورب	$\gamma$
زاویه سر جمعی	$\delta$
سرعت زاویه‌ای	$\omega$
شتاب زاویه‌ای	$\varepsilon$

## فهرست اختصارها

Bees Algorithm	BA
Genetic Algorithm	GA
Roll.Center	RC

## فصل اول

### مقدمه

#### 1.1 مقدمه

هنگامی که مردم در مورد کارایی خودروها بحث می‌کنند، معمولاً کلماتی نظیر: اسب بخار، گشتاور و شتاب صفر تا صد به ذهن‌شان خطور می‌کند. این در حالی است که اگر راننده نتواند خودرو را کنترل کند، همه قدرتی که توسط موتور ایجاد می‌گردد، بدون استفاده است. به همین دلیل، مهندسان خودرو تقریباً از هنگامی که به فناوری موتورهای احتراق داخلی چهار زمانه دست پیدا کردند، توجهشان به سیستم تعلیق معطوف گردید [1]. به طور کلی وظایف یک سیستم تعلیق در خودرو عبارت‌اند از :

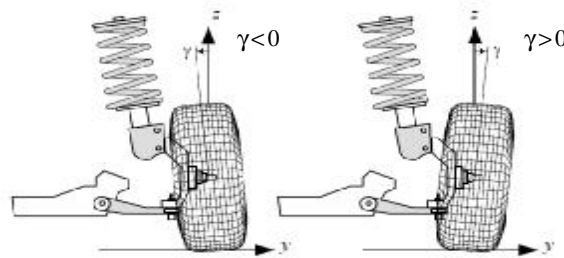
1. ایزوله کردن بدنه خودرو از اغتشاشات جاده‌ای به منظور فراهم کردن سواری راحت برای سرنشینان
2. نگه داشتن چرخ‌ها در تماس با سطح جاده به گونه‌ای که کمترین تغییرات نیرو را داشته باشیم
3. فرمان‌پذیری خوب و فراهم کردن زاویه هدایتی و تورب مناسب با توجه به شرایط جاده
4. عکس‌العمل مناسب برای کنترل نیروهای وارد بر چرخ، از جمله نیروهای طولی (شتاب و ترمز گرفتن)، نیروهای عرضی (در هنگام دور زدن)، و گشتاورهای رانشی و ترمزی



## 5. تحمل کردن وزن استاتیکی خودرو [2]، [3]

## 2.1 تعاریف سینماتیک چرخ و تعلیق

زاویه تورب<sup>1</sup>، زاویه‌ای است بین صفحه چرخ و خط عمود بر سطح جاده (وقتی که از جلو به خودرو نگاه شود). اگر بالای چرخ از خودرو دور شود، تورب مثبت و وقتی به خودرو نزدیک شود، تورب منفی خواهد بود. در شکل 1-1 زاویه تورب مثبت و منفی در چرخ نشان داده شده است. تورب چرخ سبب لاستیک سایبی و عدم تعادل دینامیکی خودرو می‌شود [4].

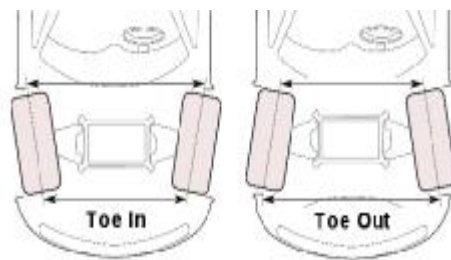


شکل 1-1: زاویه تورب مثبت و منفی ( $\gamma$ )

زاویه سرجمعی<sup>2</sup>، زاویه‌ای بسیار کوچک است که هر یک از چرخ‌ها با محور طولی خودرو می‌سازند و یا به عبارت دیگر زاویه‌ای است که چرخ‌ها نسبت به جهت حرکت منحرف می‌شوند. وقتی که از جلو به خودرو نگاه شود، اگر جهت آن به سمت داخل خودرو باشد، سرجمعی داخل (سرجمعی این) و اگر به سمت خارج خودرو باشد سرجمعی خارج (سرجمعی اوت) گویند. شکل 1-2 این زاویه را نشان می‌دهد [5].

<sup>1</sup>Camber angle

<sup>2</sup>Toe angle



شکل 1-2: زاویه سرجمی خارج و داخل ( $\delta$ )

حرکت دست‌اندازی<sup>1</sup> به حرکت عمودی خودرو در هنگام برخورد با پستی و بلندی‌های جاده گفته می‌شود. حرکت پیچشی<sup>2</sup>، به عکس‌العمل خودرو در هنگام دور زدن بر روی یک مسیر منحنی اشاره دارد.

اختلالات فرمان‌پذیری چرخ اگر در اثر قرار گرفتن چرخ در ناهمواری‌ها باشد، فرمان‌گیری دست‌اندازی<sup>3</sup> و اگر در اثر غلتش بدنه خودرو باشد فرمان‌گیری غلتشی<sup>4</sup> نامیده می‌شود. این دو پدیده سبب ایجاد تغییر در موقعیت و جهت اعضای مکانیزم می‌شوند که این امر باعث تغییر در زوایای اصلی چرخ و در نتیجه عدم خوش‌فرمانی و تعادل در خودرو خواهد شد [6]. اثر چرخ<sup>5</sup>، به فاصله عرضی چرخ‌های قرار گرفته در دو طرف خودرو گفته می‌شود.

### 3.1 سیستم تعلیق پنج بازویی:

سیستم تعلیق پنج بازویی برای اولین بار توسط کمپانی دیملر-بنز<sup>6</sup> در خودروهای سری w201 و w124، با نام "تعلیق چندبازویی"<sup>7</sup> بکار گرفته شد. از آن زمان تاکنون این نوع از سیستم تعلیق

<sup>1</sup> Bump movement

<sup>2</sup> Cornering movement

<sup>3</sup> Bump steering

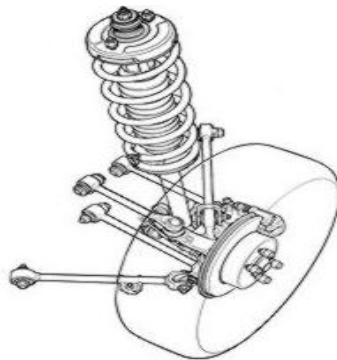
<sup>4</sup> Roll steering

<sup>5</sup> Wheel track

<sup>6</sup> Deimler-benz

<sup>7</sup> Multilink suspension

در خودروهای فراوانی مورد استفاده واقع شده است. داشتن پارامترهای طراحی زیاد، توانایی این مکانیزم را در برآورده کردن نیازهای سیستم تعلیق در خودروهای امروزی با در نظر گرفتن راحتی، پایداری و ایمنی خودرو افزایش داده است، در عین حال با توجه به پیکربندی فضایی<sup>1</sup> پیچیده، سنتز<sup>2</sup> آن نسبت به سایر مکانیزم‌های تعلیق مشکل‌تر است [7]. در این مکانیزم پنج بازو با ده مفصل کروی به بدنه و چرخ متصل می‌شوند. در شکل 1-3 یک سیستم تعلیق پنج‌بازویی نشان داده شده است. به مانند سایر اجسام فضایی، چرخ و پنج بازو هر کدام در فضای سه بعدی دارای شش درجه آزادی می‌باشند. بنابراین مجموع درجات آزادی برابر است با  $f_{tot} = 6 \times 6 = 36$ . از طرف دیگر هر مفصل کروی سه درجه محدودیت آزادی ایجاد می‌کند که با توجه به ده عدد مفصل موجود در مکانیزم، مجموع محدودیت آزادی برابر با 30 می‌باشد. از آنجا که هر کدام از بازوها توانایی دوران حول محور خود را نیز ندارند، پنج محدودیت آزادی دیگر بوجود می‌آید. از بحث فوق می‌توان نتیجه گرفت که یک سیستم تعلیق پنج‌بازویی تنها دارای یک درجه آزادی واقعی می‌باشد [8]. مکانیزم تعلیق پنج‌بازویی در گروه مکانیزم‌هایی معروف به ربات‌های موازی<sup>3</sup> قرار می‌گیرند و از این رو برای تحلیل حرکات و روابط حاکم در این نوع از مکانیزم از تئوری‌ها و قراردادهای موجود در ربات‌های موازی استفاده می‌شود.



شکل 1-3: سیستم تعلیق مستقل چند بازویی

<sup>1</sup> Spatial orientation

<sup>2</sup> Synthesis

<sup>3</sup> parallel manipulator

## 4.1 تعریف مسئله

نحوه عکس‌العمل خودرو در هنگام برخورد با دست‌انداز و همچنین نحوه عکس‌العمل غلتشی خودرو در هنگام دور زدن بر روی پیچ، از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر خوش‌فرمانی و تعادل خودرو می‌باشند که سبب بوجود آمدن تغییرات هندسی در موقعیت و جهت اعضای مکانیزم سیستم فرمان و تعلیق خودرو شده و به دنبال آن اختلالاتی را در فرمان‌پذیری چرخ‌ها و تعادل دینامیکی خودرو بوجود می‌آورند [9].

مساله اصلی در این پایان‌نامه، طراحی سینماتیکی یک مکانیزم سیستم تعلیق مستقل عقب خودرو به منظور رسیدن به فرمان‌گیری دست‌اندازی و غلتشی بهینه، به نام مکانیزم تعلیق پنج‌بازویی است. به عبارت دیگر هدف یافتن موقعیت مکانی مفاصل و همچنین طول بازوها به گونه‌ای است که سیستم تعلیق قادر به برآورده کردن هر چه بهتر شرایط ایده‌آل سینماتیکی خودرو در حرکت دست‌اندازی و غلتشی در هنگام پیچ باشد. لذا پس از تحلیل سینماتیکی مکانیزم و تعیین رفتار حرکتی آن برای این دو پدیده، به بهینه‌سازی مکانیزم بر اساس چند شاخص عملکرد، پرداخته خواهد شد. این شاخص‌های عملکرد، تغییرات زوایای اصلی چرخ و مکانیزم تعلیق، یعنی زوایای تورب و سرجمعی و همچنین جابجایی افقی چرخ می‌باشند. لذا مبنای بهینه‌سازی، کمینه نمودن تغییرات این زوایا و جابجایی افقی مرکز چرخ خواهد بود.

این تحقیق با توجه به روش‌های استفاده شده در آن برای مکانیزم پنج‌بازویی، نسبت به تحقیق‌های مشابه از چند جنبه حائز اهمیت می‌باشد که عبارت‌اند از:

(1) استفاده از دو روش مختلف سنتز و مقایسه نتایج سینماتیکی حاصل از هر یک از مکانیزم‌های بدست آمده

(2) در نظر گرفتن همزمان شرایط مختلف جاده‌ای (دست‌انداز و پیچ) و تعریف تابع هدفی مبتنی بر هر دوی آنها