دانشگاه صنعتی امیر کبیر(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی هوافضا

پایان نامه کارشناسی ارشد- دینامیک پرواز و کنترل

بررسی اثرات استفاده از بالک آیرودینامیکی در وسیله نقلیه ریلی

نگارش
وحید رضا باقری

استاد راهنما
دکتر مهدی مرتضوی

بهار ۱۳۸۷

بسمه تعالی

تـاریخ: .....

شماره مدرک .....

فـرم اطلاعات پایان‌نـامه
کارشنـاسی ارشد و دکتـرا
کتابخـانه مرکـزی

مشخصات دانشجو	نام خانوادگی : باقری	نام : وحید رضا	شماره دانشجویی: ۸۴۱۲۹۰۰۶
	دانشگاه : صنعتی امیر کبیر	دانشکده : مهندسی هوا و فضا	رشته تحصیلی : دینامیک پرواز و کنترل
عنوان	بررسی اثرات استفاده از بالک آیرودینامیکی در وسیله نقلیه ریلی		
Title :	**Effect of Using Aerodynamic Flap in Railway Vehicle**		
استاد راهنما	نام خانوادگی : مرتضوی	نام: مهدی	
استاد مشاور	نام خانوادگی : رضوانی	نام : محمد علی	
دانشنامه	کارشناسی ○ ارشد √○ دکترا ○		سال تحصیلی: ۸۶-۸۷
نوع پروژه	کاربردی√ ○ بنیادی○ توسعه ای○ نظری○		

مشخصات ظاهری								
تعداد صفحات: ۱۳۷	تصویر:√ ○	جدول: ○√	نمودار: ○√	نقشه: ○	واژه‌نامه: √○	تعداد مراجع: ۱۹	تعداد ضمائم: ○ ۳	

زبان متن	فارسی √○	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ○√ انگلیسی ○
یاداشت	لوح فشرده√ ○ دیسکت فلاپی○			
توصیفگر				
کلید واژه فارسی	**وسیله ریلی- بال آیرودینامیکی- کنترل فعال- سیستم تعلیق- چرخش در قوس**			
کلید واژه لاتین	**Railway vehicle- Aerodynamic wing- active control-suspension-Tilting within curve**			

تقدیم به :

همسر فداکارم

و

دختر عزیزم

تقدير و تشكر

خدايا چنان كن سرانجام كار

تو خشنود باشي و ما رستگار

وظيفه خود مي دانم كه از استاد گرانقدرم، جناب آقاي دكتر مهدي مرتضوي كمال تشكر را به عمل بياورم. همچنين از استادان محترم جناب آقاي دكتر رضواني، استاد مشاور و جناب آقاي دكتر داوود يونسيان، معاونت محترم پژوهشي دانشكده مهندسي راه آهن و از راهنماييها و كمک هاي بي شائبه ايشان تشكر نمايم.

خدايا به حق بني فاطمه

كه بر قول ايمان كنم خاتمه

اگر دعوتم رد كني ور قبول

من و دست و دامان آل رسول

Nomenclature

A : Aspect ratio
a_L : Lateral acceleration
a_Z : Vertical acceleration
C_L : Lift coefficient
C_{pz} : Primary vertical damping coefficient.
C_{py} : Primary lateral damping coefficient.
C_{sy} : Secondary lateral damping coefficient.
C_{rz} : Air spring reservoir damping coefficient.
D : Wing drag
d_1 : Air spring semi-spacing
$d2$: Primary vertical suspension Semi-spacing
d_3 : Wing semi-spacing
fr : Roll coefficient
g : Gravity coefficient
h_1 : 2ndary lateral suspension height (body cog)
h_2 : 2ndary lateral suspension height (bogie cog)
h_3 : Primary lateral suspension height (bogie cog)
h_4 : Wing height (body cog)
h_{g1} : Body cog height (rail level)
h_{g2} : Bogie cog height (rail level)
I_V : Half body roll inertia
I_b : Bogie roll inertia
K_{az} : Air spring area stiffness.
K_{sz} : Air spring series stiffness.
K_{rz} : Air spring reservoir stiffness.
K_{sy} : Secondary lateral stiffness.
K_{vr} : Anti roll bar stiffness.
K_{pz} : Primary vertical stiffness.
K_{py} : Primary lateral stiffness.
L : Wing lift
M_V : Half body mass
M_b : Bogie mass
PCT : Comfort index
R : Curve radius
S : Wing area
u : Control vector

V : Forward velocity
ω : Disturbance vector
X : State vector
Z : Measurement vector

Greek letters

θ: Roll angle
α : Angle of attack
β: Angle between Lift of Wing and vertical axes
ρ: Air density
ν : Measurement noise vector
Φ : State matrix
Γ : Disturbance matrix
Ψ : Control matrix

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده

فصل ۱ : مقدمه

۱-۱- معرفی سیستمهای نقلیه هدایت شده ۲

۱-۱-۱- معرفی انواع وسایل نقلیه هدایت شده ۲

۱-۱-۲- معرفی سیستمهای ریلی ۵

۱-۲- راه حلهای موجود برای محدودیتهای سیستمهای ریلی ۱۰

۱-۲-۱- استفاده از سیستم چرخش(Tilting) جهت حل مشکل عبور از قوسها ۱۰

۱-۲-۲- استفاده از سیستم تعلیق فعال جهت حل مشکل ناهمواریهای سطح ریل ۱۴

۱-۲-۳- استفاده از سیستمهای ضد لغزش جهت حل مشکل کمبود اصطکاک چرخ و ریل ۱۸

۱-۳- ایده واگن دارای بال آیرودینامیکی ۱۹

۱-۳-۱- تاریخچه استفاده از بال آیرو دینامیک در وسایل نقلیه با حرکت هدایت شده ۱۹

۱-۳-۲- ایده واگن دارای بال آیرودینامیکی ۲۲

فصل ۲ : بررسی بازدهی بالها در تسهیل حرکت وسیله در قوس

۲-۱- مدل دینامیکی وسیله جهت تحلیل عبور از قوس و معادلات حاکم ۲۷

۲-۱-۱- استخراج پارامترهای مدل دینامیکی ۲۷

۲-۱-۲- استخراج معادلات حرکت ۳۵

۲-۱-۳- بررسی پایداری معادلات حرکت ۴۰

۲-۲- مدل خط و قوس در نظر گرفته شده ۴۶

۲-۳- طراحی کنترلر LQG جهت کنترل بالها برای افزایش راحتی سفر در قوس ۴۸

۲-۳-۱- معادلات کلی سیستم کنترل LQG در فضای حالت ۴۹

۲-۳-۲-طراحی کنترلر LQG برای سیستم وسیله ریلی در عبور از قوس ۵۲

۲-۴- بررسی پاسخ سیستم و مقایسه نتایج با مدل وسیله بدون بال ۵۷

عنوان **صفحه**

۵-۲- ارتقاء کنترلر جهت افزایش راحتی سفر در قوس ۶۰
۶-۲- بررسی پاسخ سیستم و مقایسه نتایج با واگنهای دارای قابلیت چرخش در قوس ۶۵
۷-۲- جمع بندی و نتیجه گیری ۶۷
فصل ۳ : بررسی بازدهی بالها با هدف افزایش راحتی سفر در حرکت وسیله در خط مستقیم
۱-۳- مدل دینامیکی وسیله جهت تحلیل عبور از خط مستقیم و معادلات حاکم ۶۹
۱-۱-۳- استخراج پارامترهای مدل دینامیکی ۶۹
۲-۱-۳- استخراج معادلات حرکت ۷۲
۳-۱-۳- بررسی پایداری معادلات حرکت ۷۴
۲-۳- مدل خط در نظر گرفته شده ۷۷
۳-۳- طراحی کنترلر LQG جهت کنترل فلپها برای افزایش راحتی سفر در خط مستقیم ۷۹
۴-۳- بررسی پاسخ سیستم و مقایسه نتایج با مدل وسیله بدون فلپ ۸۲
۵-۳- جمع بندی و نتیجه گیری ۸۵
فصل ۴ : طراحی نهایی بالها و فلپها
۱-۴- شرایط آیرودینامیکی حاکم بر وسیله حمل و نقل ریلی ۸۷
۲-۴- نیروهای لیفت مورد نیاز جهت کارا بودن سیستم ۸۹
۳-۴- طراحی نهایی بالها و فلپها ۹۰
۱-۳-۴- طراحی بالها ۹۰
۲-۳-۴- طراحی فلپها ۹۵
۴-۴- ارزیابی نهایی کارایی سطوح کنترلی در نظر گرفته شده ۹۸
فصل ۵ : سایر مزایا و معایب وسیله ریلی همراه با بال
۱-۵- نیروی درگ بالها و فلپها ۱۰۵
۲-۵- سایر مزایای طرح ۱۰۹

عنوان	صفحه
۱-۲-۵- افزایش توان شتاب گیری و ترمز گیری	۱۰۹
۲-۲-۵- کاهش انرژی مورد نیاز جهت حرکت با سرعت ثابت	۱۱۲
فصل ۶ : جمع بندی و نتیجه گیری	۱۱۴
مراجع	۱۱۸
پیوستها	
پیوست ۱ : استاندارد ارزیابی راحتی سفر وسایل ریلی در عبور از قوس	۱۲۱
پیوست ۲ : مقادیر ماتریسها و جزئیات حل مساله عبور از قوس	۱۲۴
پیوست ۳ : مقادیر ماتریسها و جزئیات حل مسئله عبور از خط مستقیم	۱۳۲

چکیده

ایده استفاده از بالهای آیرودینامیکی در وسایل ریلی توسط یک دانشمند ژاپنی در دانشگاه توهوکو برای اولین بار مطرح شد و پس از انجام تحقیقات بسیار، وسیله طراحی شده دارای بدنه شبیه هواپیما، بالهایی با دهنه کوچک در طرفین و حرکت هدایت شده و محدود همانند وسایل ریلی می باشد. در کار پژوهشی حاضر هدف اصلی ارزیابی کارایی بالهای آیرودینامیکی در وسایل حمل و نقل ریلی بوده و برای رسیدن به این هدف از مدل یک واگن با سرعت بالا استفاده شده و تحلیل های مختلفی جهت ارزیابی کارایی بالها در آن انجام شده است. مهمترین کارکردی که در ابتدای پروژه تعریف شده، عبارت است از استفاده از بالها جهت چرخش بدنه واگن در قوس و ایجاد خاصیت Tilting در واگن. کارکرد دوم استفاده از فلپها جهت ایجاد سیستم تعلیق فعال در واگن بوده و کارکردهایی همچون افزایش قدرت شتاب گیری و ترمز گیری در مراحل بعدی مورد ارزیابی قرار گرفته اند. پس از انجام تحلیل های مختلف می توان گفت ایجاد سیستم تعلیق فعال در واگن با استفاده از فلپها و یا بالهای کوچک، موضوعی است که دارای کارایی بالا با هزینه پایین بوده و امکان استفاده از این ایده در واگنهای موجود نیز وجود دارد.

فصل ۱

مقدمه

چکیده

در این فصل تلاش شده است تا مختصری از تاریخچه استفاده از بال در وسایل حمل و نقل، اعم از هوایی، زمینی و دریایی ارائه شده و سپس به بحث وسایل حمل و نقل ریلی پرداخته شود.

پس از بخش تاریخچه سیستم های حمل و نقل ریلی با حرکت هدایت شده معرفی گشته و پس از پرداختن به مشکلات و محدودیتهای این وسایل و روشهای مورد استفاده در دنیا جهت حل این مشکلات، به ارائه ایده استفاده از بالک آیرو دینامیکی جهت حل این مشکلات و رفع محدودیتهای آنها پرداخته خواهد شد.

۱-۱- معرفی سیستمهای نقلیه هدایت شده

۱-۱-۱- معرفی انواع وسایل نقلیه هدایت شده

عموما سیستمهای متداول حمل نقل ریلی در ۳ دسته زیر تقسیم بندی می شوند:

۱ -سیستمهای ریلی (حرکت روی دو ریل فولادی موازی)

۲ -قطارهای معلق هوایی (حرکت روی یک ریل از جنس بتون)

۳ -قطارهای معلق مغناطیسی (حرکت روی صفحه ای دارای میادین مغناطیسی)

۱- سیستمهای ریلی متداول

همان قطارهای معمولی هستند که دارای چرخهای فولادی بوده و این چرخها بر روی ریلهای فولادی قرار گرفته و با اعمال گشتاور توسط موتورهایی به چرخها مجموعه به جلو حرکت می کند. این سیستم از دهها سال قبل ساخته و تاکنون توسعه یافته است(شکل ۱-۱). اولین مدلهای این قطارها دارای لکوموتیو های بخار بوده و در ادامه از لکوموتیوهای دیزلی و برقی استفاده شده است. مهمترین ویژه‌گی این قطارها مساله چرخ و ریل آنها می باشد. این مساله موجبات محدودیتهای سرعت و راحتی سفر را ایجاد می کند. در بخشهای بعدی جزئیات بیشتری از این سیستمها بیان خواهد شد.

شکل ۱-۱ : قطار شینکانسن ژاپن

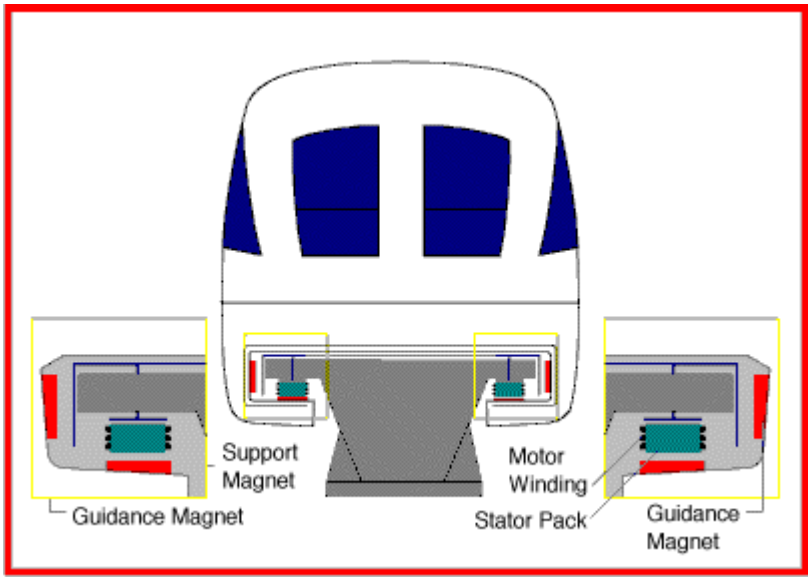
۲- قطارهای معلق هوایی

قطارهای هوایی در واقع قطارهایی هستند که با ساختار خاص در بالاتر از سطح زمین قرار گرفته اند. این قطارها عموما در حمل و نقل داخل شهری مورد استفاده قرار می گیرند. روشهای مهار این قطارها در بالای سطح زمین متفاوت می باشد. برای مثال برخی بر روی یک دال بتونی حرکت کرده و از قسمت زیرین به دال متصل می باشند . در نوع دیگر قطار از بالا به دال بتونی یا تیرهای فلزی آویزان می باشد.

۳- قطارهای معلق مغناطیسی[۱]

قطارهای مغناطیسی نسل جدید سیستم حمل و نقل ریلی بوده که بیشتر در حمل و نقل حومه ای استفاده می شوند. این قطار ها بر اساس مکانیزم یک موتور الکتریکی طراحی و ساخته شده اند. در هر قطار دو مکانیزم وجود دارد . یکی جهت معلق کردن قطار و دیگری جهت به جلو راندن آن. اساس کار این مکانیزمها آن است که دو میدان مغناطیسی مشابه یکدیگر را دفع و میادین مخالف یکدیگر را جذب می کنند. جهت معلق سازی قطار از دو میدان مغناطیسی مشابه یکی در زیر قطار و دیگری در سطح ریل استفاده می شود. جهت پیشرانش هم از میادین مغناطیسی در جلو و عقب وسیله استفاده می شود. در قسمت جلو نحوه تغییر میادین به گونه ای است که همواره کشش را درقطار ایجاد کرده و درقسمت عقب فشار را ایجاد می کنند.و البته در هنگام ترمز گیری این فرایند بالعکس خواهد شد. در ژاپن محققان به سرعت $517\ km/h$ با استفاده از این تکنولوژی دست پیدا کرده اند.

شکل زیر نمای شماتیک از نحوه مهار و تعلیق و پیشرانش قطار مغناطیسی را نشان می دهد.



شکل ۲-۱ : نمای شماتیک قطار مغناطیسی

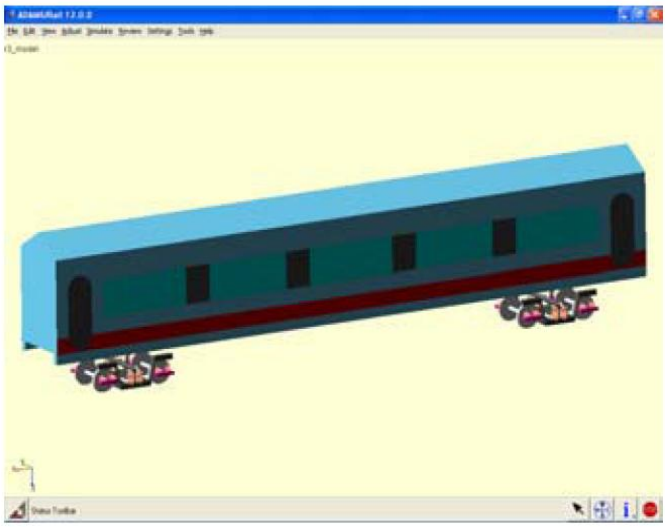
شکل ۳-۱ : نمای شماتیک قطار مغناطیسی در چین

۲-۱-۱- معرفی سیستمهای ریلی[۲]

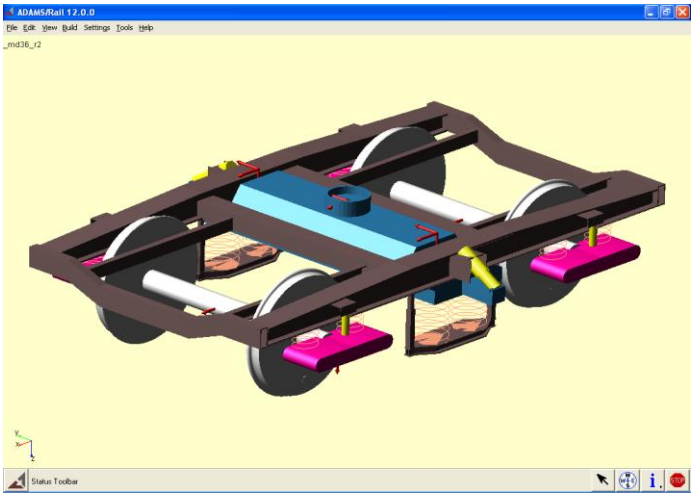
سیستمهای ریلی همان قطارهای معمولی هستند که از ۳ جزء اصلی

- بدنه
- بوژی ۱
- بوژی ۲

تشکیل شده اند(اشکال ۴-۱ و ۵-۱).



شکل ۴-۱ : واگنهای پارسی مدل سازی شده در نرم افزارADAMS

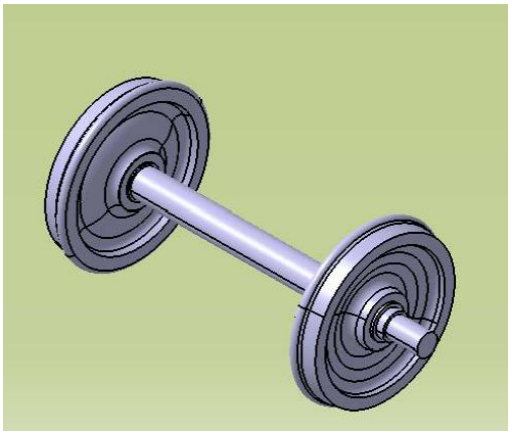


شکل ۵-۱ : بوژی واگنهای پارسی مدل سازی شده در نرم افزارADAMS

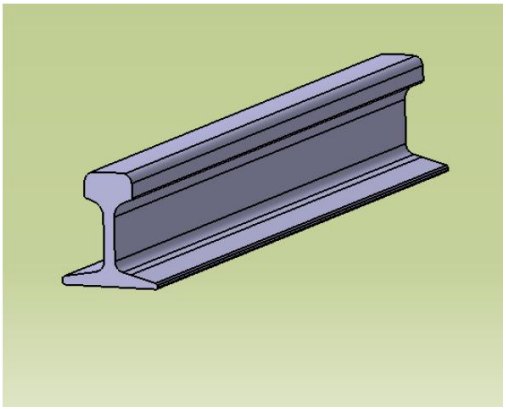
بوژیها وسیله ای هستند که بدنه روی آنها قرار گرفته و با استفاده از چرخ و محور قابلیت حرکت برای واگن را ایجاد می نمایند. بوژیها معمولا دارای سیستم تعلیق بوده که جهت راحتی سفر طراحی شده اند. هر بوژی دارای چرخهای فولادی بوده و این چرخها بر روی ریلهای فولادی قرار می گیرند. از نقطه نظر کشش این قطارها دارای انواع مختلفی هستند. در بعضی یک واحد کشنده در ابتدای قطار وجود دارد. این واحد کشنده یا لوکوموتیو در انواع بخاری، زغال سنگی، دیزل-الکتریک و الکتریک- الکتریک وجود دارد. در این قطارها تمامی فرامین حرکتی از لوکوموتیو صادر شده و سایر واگنها فقط دارای بوژیهای حمال می باشند. در نوع دیگری که به ترنستها یا قطارهای خودکشش معروف هستند ، هر واگن دارای یک واحد کشنده می باشد.

این واحد کشنده بر حسب نوع خط می تواند دیزل الکتریک و یا الکتریک-الکتریک باشد. در این نوع سیستمها هر واگن وظیفه تامین نیروی کشش خود را داشته و لذا بوژیهای این واگنها عموما از نوع بوژیهای خود کشش می باشند.

در تمام این سیستمها واگنها دارای چرخهایی با شکل ذوذنقه ای بوده که بر روی سطح ریل قرار می گیرند(اشکال ۶-۱ و ۷-۱)



شکل ۶-۱ : چرخ و محور در وسایل حمل و نقل ریلی



شکل ۷-۱ : پروفیل ریل UIC57

پروفیل خاص چرخ و ریل منجر به حرکتهای عرضی مجموعه چرخ و محور در قوسها می شود که در صورتی که فرکانس این حرکتهای عرضی با فرکانس طبیعی مجموعه برابری کند پدیده هانتیگ و ناپایداری چرخ و ریل رخ می دهد.

در تمامی این سیستمها واگن دارای سیستم تعلیق بوده و وظیفه این سیستم کاهش بارهای وارده به مسافر می باشد.

عموما سیستم تعلیق در واگنهای مسافری شامل دو بخش اولیه و ثانویه می باشد. تعلیق اولیه وظیفه اتصال چرخها به فریم بوژی و تعلیق ثانویه وظیفه اتصال فریم بوژی به بدنه را برعهده دارند. تعلیق اولیه از نوع فنرهای لول و یا لاستیکی و تعلیق ثانویه از نوع فنرهای لول و یا هوایی می باشد.

در بعضی از واگنها که سرعت کاری آنها بیش از 160 km/h می باشد از سیستم تعلیق فعال استفاده می شود. فواید استفاده از این نوع سیستمها پس از بررسی مشکلات سیستمهای متداول به خوبی نمایان خواهد شد. این موضوع به تفضیل در بخشهای بعدی همین فصل بررسی خواهد شد.

حرکت واگن روی ریل یک حرکت محدود می باشد. این محدودیت دارای مزایا و معایبی می باشد. از جمله مزایای این سیستم، ایمنی بالا به دلیل عدم امکان انحراف از مسیر نامی می باشد. اما این محدودیت نیز دارای عیوبی می باشد که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- محدودیت سرعت در قوسها

همان طور که می دانیم به هر وسیله ای در عبور از قوسها شتاب خروج از مرکز مشخصی وارد می شود. این شتاب وابسته به پارامترهایی چون سرعت وسیله ، شعاع قوس و جرم وسیله است. در وسایل حمل و نقل ریلی با افزایش سرعت مقدار این شتاب افزایش یافته و نتیجتا ممکن است منجر به خروج از خط شود. برای کاهش اثرات این شتاب از ایجاد شیب جانبی در خط در محل قوسها استفاده می شود(Cant). با توجه به لزوم افزایش سرعت قطارها، حل مشکل عبور از قوسها همواره یکی از مهمترین مسائل برای شرکتهای طراح و سازنده وسایل حمل و نقل ریلی می باشد.

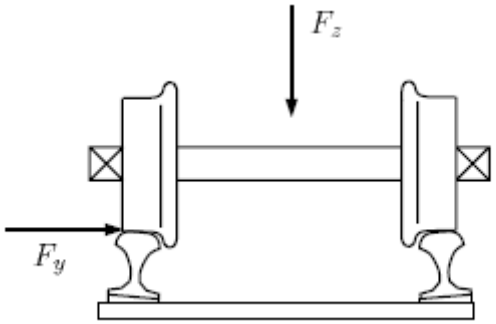
- تماس چرخ و ریل و نتایج آن

تماس چرخ و ریل یک پدیده کاملا پیچیده مکانیکی است. تا کنون تئوریهای مختلفی جهت مدل سازی ریاضی مساله تماس ارائه شده است. آنچه که باعث پیچیده شدن این موضوع می شود، شکل ذوذنقه ای پروفیل چرخ می باشد. نتیجتا نقطه تماس تبدیل به یک سطح شده و این سطح نیز در طی مسیر ثابت نبوده و همواره در حال تغییر است. وزن و نیروهای بین چرخ و ریل منجر به ایجاد ناهمواریهایی در سطح ریل و چرخ می شوند. مشکلات مربوط به چرخ پس از هر سرویس بررسی و حل می شود لیکن ناهمواریهای سطح ریل(Irregularities) به راحتی قابل حل نیست و هزینه های زیادی در پی خواهد داشت. این ناهمواریها در عبور قطار از روی آنها تبدیل به یک عامل تحریک کننده شده که فرکانس این تحریکات به طور مستقیم به سرعت قطار وابسته می باشد. در نهایت این تحریکات منجر به کاهش معیار راحتی سفر و افزایش شتابهای وارد بر مسافر خواهد شد.

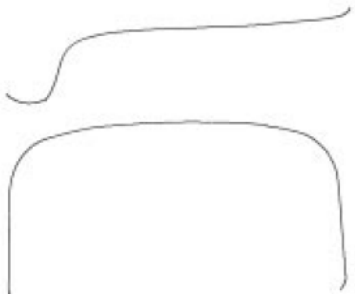
- محدودیت شتاب در وسایل نقلیه ریلی

همواره میزان حداکثر ضریب اصطکاک در تماسهای چرخ و ریل که از نوع فولاد با فولاد می باشد دارای محدودیتهای بسیاری می باشد. وسایل حمل و نقل ریلی جهت شروع حرکت و ایجاد شتاب نیازمند به نیروی اصطکاک بیشتر در تماس چرخ و ریل می باشند. در صورتی که گشتاور حاصل از

این نیروی اصطکاک در چرخ کمتر از گشتاور نیروی کشش باشد، پدیده لغزش اتفاق خواهد افتاد. در بوژیهای حمال این کمبود اصطکاک منجر به نوع دیگری از لغزش شده و عملا چرخ روی ریل کشیده می شود.



شکل ۸-۱ : نمای شماتیک از نحوه قرارگیری مجموعه چرخ محور و ریلها



شکل ۹-۱ : نمای شماتیک از پروفیل چرخ و ریل در تماس

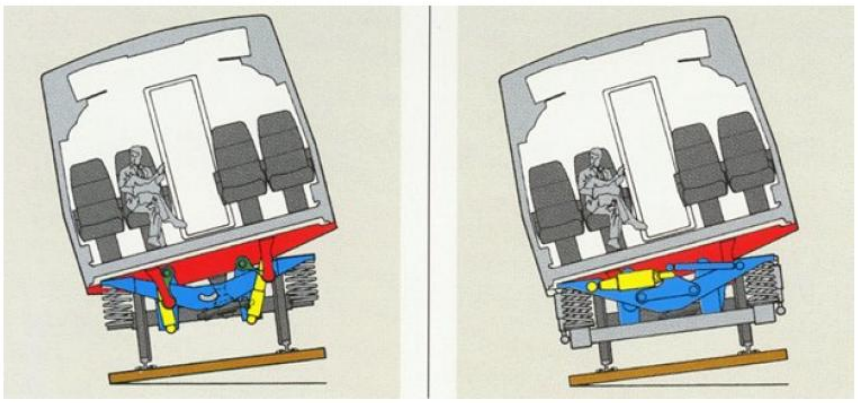
۲-۱- راه حلهای موجود برای محدودیتهای سیستمهای ریلی

۱-۲-۱- استفاده از سیستم چرخش(Tilting) جهت حل مشکل عبور از قوسها[۳]

- تاریخچه قطارهای با قابلیت چرخش

ایده چرخش بدنه واگن در قوسها جهت افزایش سرعت ایده جدیدی نیست و اولین بار در آلمان در سال ۱۹۳۸ ارائه شد. قطارهای آزمایش به همراه سیستم غیر فعال (یا فعال) چرخش در فرانسه در سال ۱۹۵۷ و در آلمان در سال ۱۹۶۵ ساخته شد.

سیستم چرخش می تواند غیر فعال یا فعال باشد. در سیستم غیر فعال نقطه چرخش در بالای مرکز اینرسی بدنه واگن واقع شده و سیستم تعلیق به بدنه اجازه می دهد در عبور از قوسها چرخش کند. مثالهایی از این نوع، قطار تالگو اسپانیایی و قطار های چرخش ژاپنی می باشد.



شکل۱۰-۱ : سیستم فعال چرخشی با جک بالای تعلیق ثانویه

در سیستم چرخش فعال یک جک (پنوماتیک ، الکتریک یا هیدرولیک) برای نیرو وارد کردن فعال در سیستم به بدنه جهت چرخش بدنه استفاده می شود. این بازوی قدرت می تواند در بالای سیستم تعلیق ثانویه قرار گیرد(شکل ۱۰-۱).

در صورتی که جک بین سیستم تعلیق اولیه یا ثانویه قرار گیرد آنگاه سیستم چرخش مطابق اشکال زیر خواهد بود.