شیمی در هواپیما (بخش دوم)

دکتر انوشیروان فرشیدیان‌فر، دانشیار گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد
Farshid@um.ac.ir
مصطفی طوفانی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد
Mostafa169@yahoo.com

نگاهی به تاریخچه بررسی پدیده شیمی

تحقیقات تئوریک در زمینهٔ شیمی تاریخچهٔ طولانی دارند. شاید بتوان گفت اولین تلاش‌ها در جهت شناخت پدیده شیمی توسط فرانسوی‌ها و آلمانی‌ها صورت گرفتند. در آلمان و فرانسه این مسئله به عنوان یکی از معضلات پیش از طراحی مورد توجه قرار گرفته بود، لذا مطالعات سیستماتیک بر روی این وضوع صورت می‌گرفتند. اما در ایالات متحده مواجهه با موضوع پس از حادث شدن مورد توجه بود و علیرغم گستردگی تحقیقات در این زمینه، مطالعات به صورت متمرکز و سیستماتیک جلو نرفتند. کشورهای دیگری نیز در بررسی این پدیده فعالیت‌هایی داشته‌اند. به عنوان مثال روسیه که البته این کشور تا دهه ۱۹۳۰ تحقیقات خود را منتشر نمی‌کرد[٦].

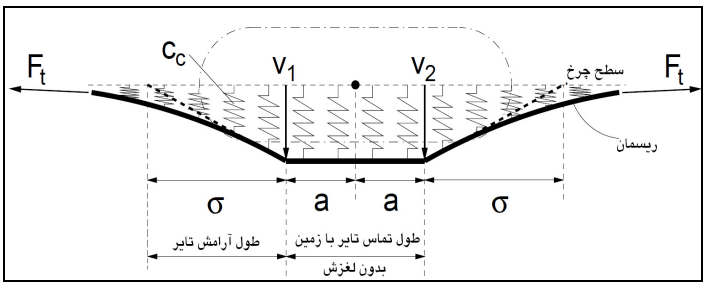
در ادامه خلاصه‌ای از پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه ارائه گردیده است. این تحقیقات در بازه‌های زمانی زیر دسته‌بندی گردیده‌اند:

- **پیش از دهه ۱۹۵۰ میلادی**

اولین بررسی مدون برای شناخت این پدیده به صنعت اتومبیل‌سازی فرانسه مربوط می‌شود. در حدود سال ۱۹۲۰ و مشخصاً بروئیت[1] به بررسی تاثیر خواص مکانیک تایر در رفتار پدیده شیمی پرداخت که وی نتایج پژوهش خود را در مقاله‌ای در سال ۱۹۲۵ ارائه کرد[٦].

در همین حین سنسود دلاود[2] در سال ۱۹۲۷، نخستین تئوری برای شیمی را در قالب فرمولی ارائه نمود. تئوری او شامل یک چرخ صلب بود، که در آن اثر نیروهای وارده از زمین نادیده انگاشته شده بود. پس از آن فرام[3] مطالعه‌ای بر روی پدیده شیمی در اتومبیل و هواپیما انجام داد و به بررسی شباهت‌های این دو پرداخت. همچنین او اولین کسی بود که به بررسی جابجایی الاستیک عمودی تایر و تاثیر آن بر روی نیروهای وارده پرداخت[٦]. در همین دوران بود که اهمیت تایر و مدلسازی آن در بررسی پدیده شیمی مشخص شد.

اولین مدلی که برای تایر ارائه گردید مدلی بود که وانسکلاب و دایتریخ در مقاله خود که در سال ۱۹٤۱ انتشار یافت، ارائه دادند. این مدل به مدل ریسمان ارتجاعی معروف می‌باشد[۱۲]. در این مدل تایر را به عنوان یک ریسمان بدون جرم با طول نامحدود در نظر می‌گیرند که تحت یک نیروی پیش کششی ثابت قرار دارد و در راستای عرضی رفتار الاستیک از خود نشان می‌دهد. در بسیاری از



شکل(۱)- تغییر مکان عرضي تایر در مرکز چرخ در مدل ریسمان ارتجاعي [۱]

بررسی‌ها ترجیح داده می‌شود که این مدل را به صورت یک ریسمان با طول محدود که به صورت دایره‌ای شکل درآمده است، استفاده کنند. این حالت به مدل تایر نزدیک‌تر می‌باشد. طول ناحیه‌ای که در تماس با سطح جاده می‌باشد برابر $2a$ است. نقاط داخل این ناحیه هیچگونه لغزشی نسبت به سطح جاده ندارند(شکل(۱).

نقاط خارج از سطح تماس نیز دارای یک جابجایی می‌باشند که مقدار آن وابسته به جابجایی محدوده سطح تماس بوده و یک تابع نمایی از آن می‌باشد (طول آرامش تایر). این محدوده در عقب و جلوی محدوده سطح تماس قرار داشته و با σ مشخص شده است. طول آرامش تایر در این مدل طبق رابطه زیر ارائه گردیده است[۳]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{F_t}{c_c}} \qquad (۱)$$

که در آن F_t، نیروی کششی ریسمان، و C_c، سختی عرضی تایر در واحد طول می‌باشد. آنها همچنین جابجایی عرضی تایر y را، بر اساس معادله الاستیک زیر تعریف نمودند:

$$\frac{\sigma}{V}\dot{y} + y = y_c + (\sigma + a)\psi \qquad (۲)$$

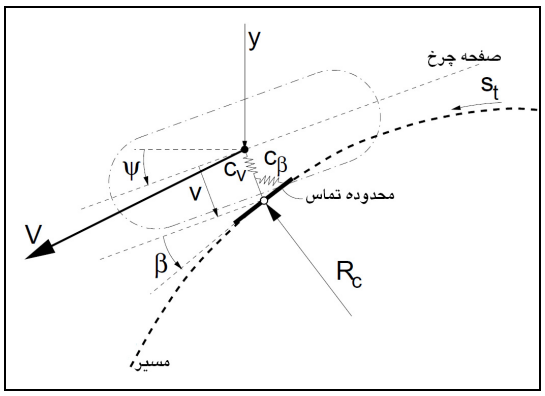
که در آن y_c جابجایی عرضی مرکز سطح تماس چرخ می‌باشد.

در سال ۱۹٤٤ شرکت رایت فیلد[٤] در دیتون اوهایو اولین آزمایشات عملی برای بررسی پدیده شیمی بر روی هواپیما را انجام داد. در اولین تست سرعت انجام شده بر روی هواپیمای جنگی Me 309، ارتعاشات شیمی شدیدی در ارابه دماغه مشاهده شد که با طراحی جدید پیستون میراکننده‌های شیمی آن، مقدار زیادی از ارتعاشات شیمی، در این هواپیما حذف شدند. همچنین این شرکت با انجام تست انواع تایر هواپیما بر روی درام فولادی، به بررسی جابجایی عرضی و نیروهای وارده بر آن پرداخت[٦].

در سال ۱۹٤٥ مقاله‌ای با نام "شیمی در چرخ جلو از یک ارابه فرود سه‌چرخه" در روسیه منتشر گردید. نگارنده این مقاله کلدیش[٥] بود که مدل جدیدی برای تایر هواپیما ارائه کرده بود. این موضوع تا مدتی در دنیای غرب ناشناخته ماند. کلدیش در مدل خود ناحیه تماس را به صورت نقطه‌ی تماس[٦] و دو درجه آزادی نسبت به لبه چرخ در نظر گرفته بود؛ درجه آزادی عرضی v و درجه آزادی پیچشی حول محور عمودی β دو درجه آزادی مورد نظر کلدیش بودند. در اینجا نیز فرض شده است که لغزشی در نقطه تماس با زمین رخ نمی‌دهد و نیروهای وارده به صورت تابع خطی از جابجایی هستند[۳](شکل(۲).

$$F_y = k_v\dot{v} + c_v v \qquad (۳)$$

$$M_z = k_\beta\dot{\beta} + c_\beta\beta \qquad (٤)$$



شکل(۲)- مدل تماس نقطه‌ای کلدیش برای تایر [۳]

- **دهه ۱۹۵۰ میلادی**

در دهه۱۹۵۰ علی‌رغم مطالعات انجام شده بر روی شیمی و استفاده از میراکننده‌هایی برای مهار آن، همچنان ماهیت این پدیده و علل پیدایش آن ناشناخته مانده بود. مرکز گسترش هوایی رایت[۷] $(WADC)$ مطالعاتی را در سال ۱۹۵۱ بر روی شیمی با هدف شناخت، بررسی علل و مدل‌سازی این پدیده و مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج تست‌های عملی انجام شده در آزمایشگاه‌ها و لابراتوارها شروع کرد[٦].

در همین حین مورلند[۸] در مقاله‌ای با عنوان "داستان شیمی " در سال ۱۹٥٤ به گسترش مدل کلدیش با همان دو درجه آزادی پرداخت. تنها تفاوت مدل مورلند با کلدیش، در این بود که مورلند برای پاسخ زاویه پیچشی β تاخیر زمانی را در معادله تعادل عرضی در نظر گرفته بود. لذا مورلند یک ثابت زمانی با نام τ را در معادلات خود وارد کرد که نشان‌گر همان تاخیر در پاسخ می‌باشد. امروزه این مدل با نام مدل تماس نقطه‌ای یا مدل مورلند مورد استفاده قرار می‌گیرد[۳]. در ادامه معادله مورلند برای سرعت زاویه پیچشی، همراه با ثابت زمانی τ ارائه گردیده است.

$$\dot{\beta} = -\frac{1}{\tau}\left(\frac{F_y}{c_{f\alpha}} + \beta\right) \qquad (٥)$$

همچنین او ثابت زمانی را به صورت زیر تعریف می‌نماید:

$$\tau = \frac{a\sigma}{(a+\sigma)V} \qquad (٦)$$

مورلند در مدل خود از معیار پایداری روث‌هورویتس[۹] برای بررسی پایداری پدیده شیمی استفاده کرد و اثر پارامترهای ممان اینرسی چرخ، سختی پیچشی و سختی عرضی تایر را بر روی پایداری مطالعه نمود[۱۲].

در سال ۱۹۵۷ اسمایلی[۱۰] ترکیبی از تئوری‌های موجود تایر را در یک تئوری ارائه کرد. در حقیقت او تغییراتی بر روی پایه تئوری وانسکلاب و دایتریخ انجام داد. او از سری تیلور جهت تقریب میزان جابجایی عرضی y، براساس جابجایی عرضی مرکز محل تماس y_c استفاده نمود:

$$y = y_c + a\frac{dy_c}{ds} + \frac{a^2}{2!}\frac{d^2y_c}{ds^2} + \ldots \qquad (٧)$$

همچنین او نیروی عرضی و ممان بازگردان را به راحتی از جابجایی عرضی تایر محاسبه کرد. نتایج محاسبات اسمایلی با نتایج محاسبات کلدیش در تئوری تماس نقطه‌ای بسیار مشابه بودند[۳]:

$$F_y = c_v(y - y_c) \qquad (٨)$$

$$M_z = c_\beta\left(\frac{dy_c}{ds} - \psi\right) \qquad (٩)$$

تنها نکته‌ای که در اینجا مورد سوال قرار می گیرد اینست که چه تقریبی از سری تیلور برای دستیابی به دقت کافی لازم است؟ اسمایلی خود در مقاله‌ای بیان می‌دارد که هنگامی که طول موج شیمی از ٤ برابر شعاع تایر بیشتر است تقریب درجه‌ی ۳ مناسب می‌باشد[۱۲،٦].

• **دهه ۱۹۶۰ میلادی**

بسیاری از تحلیل‌ها شیمی را به صورت یک پدیده غیرخطی تحلیل کرده‌اند. هر چند توضیح خطی مکانیزم شیمی معمولاً ویژگی‌های پایه آن را آشکار می‌سازد؛ اما این در حالت کلی برای یک پیش‌بینی دقیق از سیستم ارابه فرود غلط است. زیرا این پدیده خود نتیجه پدیده‌های غیرخطی ذاتی مختلفی می‌باشد، از جمله برهم‌کنش‌های غیرخطی تایر با زمین، اصطکاک کلمب در ضربه‌گیرها[۱۱]، لقی‌های عرضی و پیچشی در بازوی گشتاور[۱۲] و میرائی هیدرولیک در میراکننده شیمی.

پاسچکا یکی از اولین افرادی بود که مدل‌های غیرخطی را برای بررسی این پدیده ارائه کرد. او در سال ۱۹۶۶، در تز دکتری خود با عنوان "پدیده شیمی چرخ" با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی در تایر و سیستم تعلیق، به بررسی این پدیده پرداخت. او رفتارگذاری تایر را بر مبنای تئوری ریسمان ارتجاعی بررسی نمود[۱۳]. در این تئوری او عرض تایر را با به کار بردن چند ریسمان ارتجاعی مدل‌سازی کرده و خواص متغیر و دینامیک تایر را نیز در آن لحاظ نمود. در معادلات داده شده رابطه بین نیروهای اینرسی و جابجایی دینامیک و نیروهای خارجی با جابجایی استاتیک ارائه شده‌اند.

در اکثر مدل‌سازی‌های خطی از لغزش در محل تماس صرف‌نظر شده است لذا برای حرکات با فرکانس پایین کاربرد دارند. اما پاسچکا در مقاله خود در سال ۱۹۷۳، روشی را برای محاسبه ارتعاشات در سرعت و فرکانس‌های بالا ارائه داده است. همچنین او اظهار می‌دارد که محاسباتش حاکی از تاثیر مثبت افزایش اینرسی در کاهش تمایل به شیمی در سرعت و فرکانس بالا می‌باشند؛ هرچند این امر تاثیر افزاینده در نیروی جانبی بر روی تایر و ارابه فرود دارد[۱۳].

نتایج تحقیقات او با داده‌های تجربی تطابق خوبی داشتند.

• **دهه ۱۹۷۰ میلادی**

در دهه ۱۹۷۰ برخی محققان مامور رسیدگی به ارتعاشات ارابه فرود و بررسی اثر عواملی نظیر عیوب تایر و یا ناصافی جاده در میزان این ارتعاشات شدند. آنها دریافتند هنگامی که فرکانس ارتعاشاتی بار معمولی در حدود دو برابر فرکانس شیمی باشد سبب کاهش ناپایداری هواپیما می‌گردد. همچنین دریافتند که حرکات شیمی هنگامی که فرکانس آن نزدیک به فرکانس چرخش تایر باشد، بزرگ خواهد بود. مطالعات نشان داد که نیروی ترمزی در جهت افزایش پایداری و نیروی کشش در جهت کاهش پایداری پدیده شیمی موثر هستند هر چند این تاثیر کم باشد.

در سال ۱۹۷۱ راجرز[۱۳] یک فرمول تجربی برای اندازه‌گیری برخی از پارامترها معرفی کرد. سپس در قدم بعدی با گسترش مدل پایه‌ای ریسمان ارتجاعی یک مدل تئوریک جهت اثبات فرضیات تجربی خود ارائه نمود. او از سری تیلور جهت تقریب جابجایی در مدل ریسمان استفاده کرد. نتایج محاسبات او با نتایج بدست آمده از مدل مورلند شباهت بسیار داشتند، هرچند اساس کار او بر پایه تئوری ریسمان ارتجاعی بود[۳].

• **دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ میلادی**

در دهه ۱۹۸۰ طراحان در پی آن بودند تا بین افزایش وزن خالص هواپیما، قدرت مانور هواپیما، سرعت بالای آن و حداقل استانداردهای لازم تعادلی پیدا نمایند. کاملاً مشخص بود که این عوامل در پدیده

magazine@isme.ir
www.isme.ir

شیمی نیز تاثیرگذار هستند. از این رو اهمیت طراحی و تست سازه‌ها و سیستم‌های هواپیما بیش از پیش مشهود گردیدند.

کراباچر[14] در سال ۱۹۹۷ در مقاله‌ای به مقایسه دو مدل تایر ارائه شده توسط مورلند و وانسکلاب- دایتریخ در بررسی *پدیده* شیمی، پرداخت. او در انتها نتیجه‌گیری کرد که مدل مورلند در حقیقت تخمینی از مدل وانسکلاب می‌باشد ولی دارای محدوده پایداری کمتری نسبت به آن است. همچنین او نشان داد که نتایج دو مدل در موارد بسیاری بر هم منطبق می‌باشند، به غیر از مواردی مانند فرکانس شیمی بالا یا سرعت خیلی کم، که مدل مورلند در تعیین نقاط پایدار بسیار محتاطانه‌تر عمل می‌کند[۱۵].

همان‌گونه که ذکر شد، اولین فردی که از مدل غیرخطی در تحلیل پدیده شیمی استفاده نمود پاسچکا بود. اما پس از او مدل‌های غیرخطی بسیاری ارائه گردید که در بیشتر آنها هدف یافتن روشی برای خطی‌سازی و حل آسان‌تر مدل مورد نظر بود. از آن جمله در سال ۱۹۸۰ گراسمن[15] از یک روش خطی‌سازی برای حل معادلات غیرخطی و تعیین ضریب میرائی و ضریب ارتجاعی فنر معادل به جهت کاهش زمان حل استفاده نمود[۱۴،۳]. در سال ۱۹۸۱ بورتون[16] از توابع توصیفی جهت حل معادلات غیرخطی استفاده کرد. او با استفاده از تحلیل هارمونیک توانست یک مدل ارابه فرود غیرخطی با اجزای غیرخطی را تحلیل نموده و با کمک روش‌های خطی‌سازی مرزهای پایداری را به خوبی پیش‌بینی نماید [۱۴،۱۲].

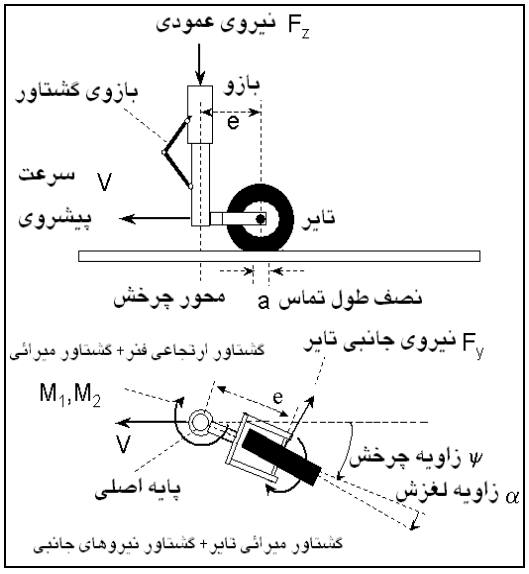
زامسکی[17] نیز در سال ۱۹۹۷ با ارائه مقاله‌ای با در نظر گرفتن یکی از مدل‌های غیرخطی ارابه فرود و نیروهای وارده بر آن، به بررسی پایداری شیمی با معیار روث هورویتس می‌پردازد. مدل او شامل گشتاورهای پیچشی وارد بر بخش پایینی ارابه فرود می‌باشد. همچنین معادله الاستیک تایر را بر مبنای مدل ریسمان ارتجاعی ارائه نمود:

$$I_z\ddot{\psi} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 \qquad (۱۰)$$

$$\dot{\alpha} + \frac{V}{\sigma}\alpha = \frac{V}{\sigma}\psi + \frac{(e-a)}{\sigma}\dot{\psi} \qquad (۱۱)$$

که در آن I_z ممان اینرسی ارابه حول محور Z و $M_{1,2,...,5}$ گشتاورهای وارده بر ارابه فرود می‌باشند (شکل(۳)).

او با سه روش خطی‌سازی مسئله غیرخطی را ساده نموده و پایداری را در آن مورد بررسی قرار می‌دهد. در نهایت نیز با کمک مدل‌سازی، پاسخ‌های مدل غیرخطی را تعیین نموده و آن را با پاسخ‌های روش‌های خطی مقایسه می‌نماید[۱۶]. همچنین وی در مقاله دوم خود در سال ۲۰۰۰، روش توابع توصیفی را به طور کامل شرح داده و مسئله غیرخطی شیمی را به عنوان نمونه‌ای از مسائل غیرخطی با اجزای غیرخطی، به کمک این روش خطی‌سازی و حل می‌نماید و جواب‌ها را با نتایج عددی و تجربی مورد مقایسه قرار می‌دهد[۱۷].



شکل(۳)- مدل غیرخطی زامسکی برای ارابه فرود [۱۷]

در سال ۱۹۹۹ جاسلین پریچارد[۱۸] از لابراتوار تحقیقاتی ارتش آمریکا در مقاله‌ای به بررسی دینامیک ارابه فرود پرداخته و دو پدیده ارتعاشی شیمی و ارتعاشات ترمزی را در ارابه فرود مورد مطالعه قرار می‌دهد. او ابتدا به بیان مسئله و بیان تاریخچه‌ای از تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در گذشته بر روی این دو پدیده پرداخته و سپس مدل‌ها و روش‌های جدید در حل این مسئله را بیان می‌نماید. این مقاله می‌تواند مرجع خوبی جهت آشنایی با سیر تاریخی تحقیقات بر روی این دو پدیده باشد[٦].

- **پس از سال ۲۰۰۰**

در اواخر قرن بیستم و شروع قرن بیست‌ویکم تحولات علمی بسیاری در جهان اتفاق افتادند و دستاوردهای بزرگی در مسیر علم به وقوع پیوستند. شیمی نیز از این قاعده مستثنی نبوده و بررسی این پدیده نیز به روز شد. با ورود کامپیوتر به عرصه محاسبات، دیگر از طولانی شدن و افزایش حجم محاسبات نگرانی وجود نداشت و بیشتر تمایل به افزایش دقت در محاسبات و پیش‌بینی‌ها بود تا کاهش حجم و تعداد محاسبات. در این دوره معادلات قویتری، با درجات آزادی بیشتری جهت پیش‌بینی این پدیده مورد استفاده قرار گرفتند. استفاده از روش‌های حل معادلات غیرخطی مانند روش‌های پرتوربیشن و دسترسی آسان‌تر به حل‌های عددی، دست محققان را در افزایش دقت پیش‌بینی‌ها باز می‌گذاشتند.

در سال ۲۰۰۱ یکی از شاگردان پاسچکا به نام بزلینک در پایان‌نامه دکتری خود به بررسی جامع پدیده شیمی پرداخت. او خود اظهار می‌دارد که مقالات ارائه شده در این زمینه محدود بوده و تمرکز آنها بر شرایط خاص می‌باشند. لذا وی در این پایان‌نامه، سعی در ارائه دیدی جامع از این پدیده و مکانیزم‌های پایه درگیر با آن دارد تا بتواند به عنوان راهنمایی برای طراحی‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. مدل‌های استفاده شده در اینجا از ساده‌ترین مدل خطی شروع شده و تا یک مدل اجزا محدود غیرخطی پیش می‌روند. او همچنین در یک فصل به بررسی مدل‌های ارائه شده برای تایر با دید تحلیلی می‌پردازد و در انتها مجموعه‌ای از پارامترهای موثر و دقت لازم اندازه‌گیری آنها را بیان می‌دارد. این پایان‌نامه یکی از جامع‌ترین مستندات در زمینه شیمی می‌باشد[۳].

در سال ۲۰۰۲ گروهی از محققان از ایرباس در مقاله‌ای با عنوان "شیمی در ارابه فرود هواپیما" با استفاده از همان مدل ارائه شده توسط زامسکی با بی‌بعدسازی پارامترها مدل را خطی‌سازی کرده و به بررسی مرزهای پایداری و تاثیر چند پارامتر در این پایداری‌ها پرداختند. در نهایت نیز با کمک بسته نرم‌افزاری *AUTO* [۱۹] حل عددی مسئله را انجام داده و دوشاخگی[۲۰] را در دامنه ارتعاشات پیش‌بینی شده مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها اظهار داشتند که این دقت از محاسبات با نتایج عملی سازگاری داشته و بالا بردن دقت که مستلزم افزایش حجم محاسبات و پیچیدگی بیشتر می‌باشد، توجیه‌پذیر نیست [۱۸].

در همین مورد، در سال ۲۰۰٦ هونگ‌لانگ[۲۱] نیز با کار بر روی همان مدل زامسکی ابتدا آن‌را خطی‌سازی نموده، آنگاه اثر تغییر سرعت و طول بازوی چرخ را بر روی آن مورد بررسی قرار می‌دهد. همچنین با استفاده از دو روش کنترلی *RMPC* و *LPV* و ترکیب آنها، سعی در طراحی کنترلری مناسب جهت پیشگیری از این پدیده، در شرایط تغییر در دو پارامتر بالا می‌نماید[۵].

در سال ۲۰۰۸ فلاح و همکارانش هم، همان مدل ارائه شده توسط زامسکی را در نظر گرفتند و با کمک نتایج

حاصل از حل معادلات او، سعی در طراحی کنترلری برای خنثی کردن شیمی نمودند. آنها نیز نتایج بررسی خود را با حل‌های عددی مقایسه کردند[۱۹].

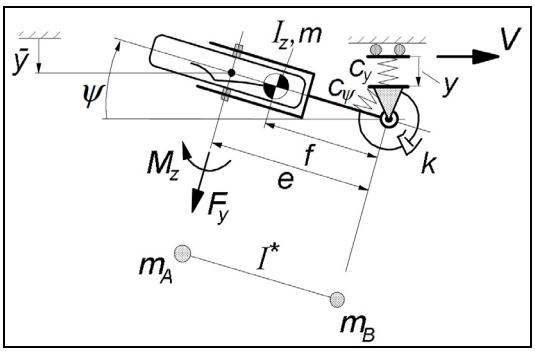
در سال ۲۰۰۳ ژو[۲۲] و ژانگ[۲۳] با در نظر گرفتن یک مدل ٤ درجه آزادی غیرخطی از ارابه فرود، پدیده شیمی را در آن مورد بررسی قرار دادند. مدل غیرخطی آنها یکی از قوی‌ترین مدل‌های غیرخطی ارائه شده میباشد. آنها با استفاده از یکی از روش‌های پرتوربیشن که روش توسعه‌یافته بالانس هارمونیکی افزایشی موسوم به IHB[۲٤] می‌باشد، به حل این معادلات پرداختند. نتایج ارائه شده آن‌ها مطابقت بسیار خوبی با نتایج حاصل از حل عددی داشتند[١٤].

در سال ۲۰۰۵ پاسچکا کتابی تحت عنوان "دینامیک ماشین و تایر" به چاپ رساند. او در این کتاب ابتدا پارامترهای تایر را معرفی و مدل‌های مختلف ارائه شده را مورد بررسی قرار داد. مدل براش را به طور کامل توضیح داده و معادلات آن را ارائه نمود. در فصل شش کتاب نیز مشخصاً به بررسی پدیده شیمی پرداخت. او در اینجا مدلی را ارائه نمود که در آن علاوه بر اثر ممان اینرسی ارابه فرود، اثر جرم ارابه را نیز در فاکتوری جداگانه در معادلات لحاظ نمود(شکل(٤)):

$$-m_A(e\ddot{\psi}-\ddot{y})+m_B\ddot{y}+c_y y=F_y \qquad (١٢)$$

$$-m_A e(e\ddot{\psi}-\ddot{y})+I^*\ddot{\psi}+k\dot{\psi}+c_\psi\psi=-F_y e+M_z \qquad (١٣)$$

که در آن m_A همان جرم متمرکز در پین چرخ ارابه فرود، و m_B جرم متمرکز در پین اتصال به بدنه می‌باشند. او سپس معادلات را بی‌بعد ساخته و به بررسی پایداری در آن‌ها پرداخت. این کتاب حاصل تلاش‌ها و تحقیقات چندین ساله او و شاگردانش در زمینه تایر و شیمی می‌باشد[۱](شکل(٤)).



شکل(۴)- مدل چرخ پاسچکا با در نظر گرفتن وزن چرخ[۱]

در سال ۲۰۰۸ توتا[۲۵] و همکارانش، در مقاله خود مدلی ارائه کردند که در آن علاوه بر در نظر گرفتن اثرات پیچشی، اثرات خمشی نیز لحاظ شده بودند. این مدل دارای سه درجه آزادی می‌باشد:

$$I_z\ddot{\psi}+M_{k\psi}+M_{D\psi}+M_F+M_{D\lambda}-F_z e\sin\theta=0 \qquad (١٤)$$

$$I_x\ddot{\delta}+M_{k\delta}+M_{D\delta}+M_{\lambda\delta}+F_z e\sin\theta=0 \qquad (١٥)$$

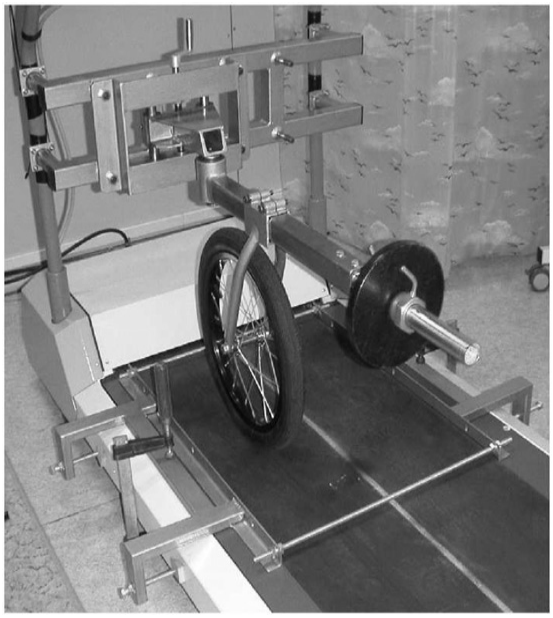
$$\dot{\lambda}+\frac{V}{L}\lambda-V\sin\theta-l\dot{\delta}-(e-h)\dot{\psi}\cos\theta=0 \qquad (١٦)$$

معادله اول بیان‌گر اثرات پیچشی، معادله دوم، اثرات خمشی و معادله سوم، معادله الاستیک تایر می‌باشد. در معادله سوم اثرات پیچش و خمش با یکدیگر کوپل شده‌اند. آنها سپس معادلات را خطی‌سازی و حل کردند. آنگاه به بررسی محدوده پایداری در چند پارامتر مهم با توجه به داده‌های یک هواپیمای ساده پرداختند[۲۰].

تاکاکس[۲٦] و استپن[۲۷] در سال ۲۰۰۷ در مقاله خود با استفاده از یک مدل دو درجه آزادی و به کمک معادلات دیفرانسیل جزئی شیمی را مدل کردند و به بررسی پایداری و دوشاخه‌شدن در آن پرداختند. آنها

مـدل را بـا نسـخه جدیـدتری از نـرم‌افـزار *AUTO* (*AUTO97*) به صورت عددی حـل کـرده و بـا نتـایج خود مقایسه نمودند[۷،۲۱].

در سال ۲۰۰۹ نیـز آنهـا در مقالـه‌ای دیگـر اثـر تـاخیر زمانی[۲۸] را در معادلات دیفرانسـیل جزئـی مـدل خـود اضافه کرده و نتایج تحقیقات خود را با داده‌های عددی و تجربی مقایسه نمودند. آنها برای نتایج تجربـی مـدل ساده‌ای از چرخ و مسیر حرکت را در آزمایشگاه خـود ساخته و بـه انـدازه‌گیـری نیروهـا و تغییـر مکـان‌هـای حاصله پرداختند[۲۲] (شکل(۵).



شکل(۵)- مدل آزمایشگاهی ساخته شده توسط تاکاکس و استپن

نتیجه‌گیری

بـا توجـه بـه مسـائل ارائـه شـده و آمارهـا و ارقـام از حوادث، منجر به خسارت بر اثر شیمی، دیگـر اهمیـت ایـن موضـوع و اهمیـت توجـه بـه آن در طراحـی هواپیماها، بر کسی پوشیده نیستند. اما اطلاعـات انـدک ما از علت این پدیده و منابع کم موجود در این زمینـه، شاید اندکی هراس در مقابله با ایـن پدیـده را موجـب گردند.

در نگاه اول تعداد مقالات موجود در زمینـه شـیمی ارابه فرود، محدود به نظر می‌رسـند. امـا امـری کـه مـی‌بایسـت از آن مطلـع بـود، ایـن اسـت کـه پیشرفت‌های بسـیاری ممکـن اسـت در ایـن زمینـه صورت گرفته باشند، اما به صورت انحصاری بـوده و در مقالات عمومی منتشر نشده باشند. هیـتچ[۲۹] در سـال ۱۹۸۰ در یـک مقالـه کـه در آن بـه بررسـی دینامیک هواپیما پرداخته بود بیان می‌دارد که شیمی در ارابه فرود آن‌قدر کمیاب است که می‌تـوان آن را نادیده انگاشت. اما در طراحـی هواپیماهـایی ماننـد بوئینگ *۷۳۷* و فوکر *F-28*، مطابق محاسبات انجـام شده، به نظر می‌رسـد کـه هـر یـک توانـایی کنتـرل شیمی را تا حدی دارا می‌باشند. این مسئله این شک را بوجود می‌آورد که این کمپـانی‌هـا در رقابـت بـا یکدیگر یا در تفاهمات صـورت گرفتـه بـین خـود، بی‌شک توانسته‌اند در این مسئله بـه موفقیـت‌هـایی دست یافته و بـه پیشـرفت‌هـایی نائـل گردنـد. امـا هیچیک از آنها این مباحـث را در مقـالات عمـومی منتشر ننموده ودر اختیار محققان قرار نداده‌اند. هـر تولید جدیدی از این طراحـان، مـی‌توانـد وسـیله‌ای جهت آموختن رموز آنان باشد.

مراجع

[1]- Engelsman, W.P.D., “Shimmy an Introduction”, WFW 92-130, Eindhoven, 21 99-59000/92-1287, (1992).

[2]- Pacejka, H.B., “Approximate Dynamic Shimmy Response of Pneumatic Tires”, International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, pp. 49-60, (1973).

[3]- Zhou, J.X., and Zhang, L., “Incremental Harmonic Balance Method for Predicting Amplitudes of a Multi-d.o.f. Non-linear Wheel Shimmy System with Combined Coulomb and Quadratic Damping”, Journal of Sound and Vibration, 279, 403-416, (2003).

[4]- Krabacher, W.E., “A Comparison of the Moreland and Von Schlippe-Dietrich Landing Gear Tire Shimmy Models”, Vehicle System Dynamics Supplement 27, pp. 335-338, (1997).

[5]- Somieski, G., “Shimmy Analysis of a Simple Aircraft Nose Landing Gear Model Using Different Mathematical Methods”, Aerospace Science and Technology , Vol. 1, No. 8, pp. 545–555, (1997).

[6]- Somieski, G., “An Eigen Value Method for Calculation of Stability and Limit Cycle in Nonlinear Systems”, Nonlinear Dynamics, Vol. 26, No. 1, pp. 3–22, (2001).

[7]- Etienne Coetzee Group, “Shimmy in Aircraft Landing Gear”, Airbus Document Provided to the Study Group by Etienne Coetzee, pp. B1-B11, (2002).

[8]- Fallah, M.S., Long, S.H., Xie, W.F., and Bhat, R., “Robust Model Predictive Control of Shimmy Vibration in Aircraft Landing Gears”, Journal of Aircraft, Vol. 45, No. 6, (2008).

[9]- Thota, P; Krauskopf, B; and Lowenberg, M; “Interaction of Torsion and Lateral Bending in Aircraft Nose Landing Gear Shimmy”, Nonlinear Dyn, (2008).

[10]- Takacs, D., and Stepan, G., “Experiments on Quasi-Periodic Wheel Shimmy”, Proceedings of the ASME, International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, Las Vegas, Nevada, USA, (2007).

[11]- Takacs, D., Orosz, G., and Stepan, G., “Delay Effects in Shimmy Dynamics of Wheels with Stretched String-like Tyres”, European Journal of Mechanics A/Solids, Vol. 28, pp.516–525, (2009).

پی‌نوشت

1- G. Broulhiet
2- D. Sensaud de Lavaud
3- H. Fromm
4- Wright Field
5- M.V. Keldysh
6- Point Contact Tyre Model
7- Wright Air Development Center
8- W.J. Moreland
9- Roth-Hurwitz
10- R.F. Smiley
11- Strut Oleo
12- Torque Link
13- L.C. Rogers
14- W.E. Krabacher
15- D.T. Grossman
16- T.D. Burton
17- G. Somieski
18- J. Pritchard
۱۹- نرم‌افزاری مربوط به دانشگاه کنکوردیا است که برای بررسی بیشتر می‌توانید سایت زیر را ببینید:
http://cmvl.cs.concordia.ca/auto/
20- Bifurcation
21- S.H. Long
22- J.X. Zhou
23- L. Zhang
24- Incremental Harmonic Balance Method
25- P. Thota
26- D. Takacs
27- G. Stepan
28- Delay
29- Hitch

✶ ✶ ✶