تذکر: هر یک از بخش‌های این صفحه، بر حسب نظر استاد راهنما و گروه آموزشی در تعداد صفحات بیشتری ارائه می‌شود.

مسالهٔ پژوهش:

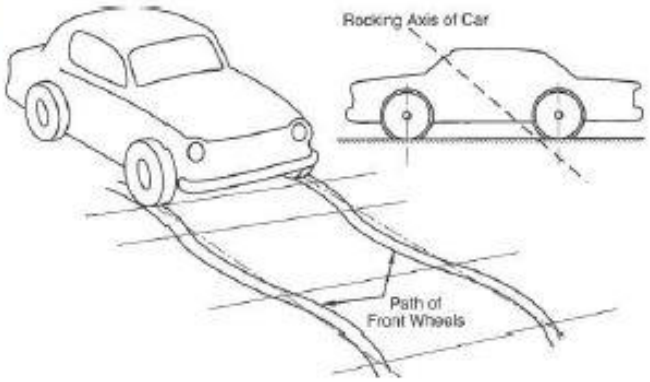
(مسالهٔ اصلی پژوهش به‌صورت صریح بیان می‌شود و اهمیت، زمینهٔ بروز و ابعاد مسأله ذکر می‌شود.)

ارتعاشات شیمی، یک لرزش جانبی/پیچشی و خود تحریک چرخ وسیله نقلیه است که بر اثر تعامل متقابل دینامیکی بین چرخ و ساختار نگهدارنده آن ایجاد می‌شود. این پدیده را می‌توان در وسایل نقلیه جاده‌ای، موتورسیکلت و ارابه‌های فرود هواپیما تجربه کرد. مطالعات گسترده‌ای بر روی دینامیک گاری‌ها و صندلی‌های چرخ‌دار، دوچرخه، موتور سیکلت، خودرو و ارابه فرود هواپیما برای جلوگیری از بروز و تشدید ارتعاشات شیمی در آن‌ها انجام شده است. این لرزش نامطلوب می‌تواند تا دامنه قابل توجهی افزایش یافته و باعث از دست رفتن کنترل وسیله و در مواردی منجر به آسیب به سیستم تعلیق چرخ گردد. برای ارزیابی خصوصیات پایداری سیستم و درک مکانیزم‌های حاکم بر ارتعاشات شیمی، به ابزارها و مدل‌های مناسب نیاز است.

عوامل مختلفی، از پارامترهای هندسی بازوی متصل به چرخ گرفته تا ویژگی‌های مکانیکی آن مانند انعطاف‌پذیری جانبی سیستم تعلیق و توزیع جرم، همچنین رفتار تایر و اصطکاک چرخ با زمین، بر ایجاد، شدت و رفتار پدیده شیمی تأثیرگذار است. بررسی تمامی پارامترهای مذکور در یک مدل، به‌دلیل پیچیدگی آن امکان‌پذیر نبوده و معمولاً بسته به ساختار و ویژگی‌های چرخ، بر روی تأثیر برخی از پارامترهای مهم‌تر تمرکز می‌شود که در بخش تاریخچه به نمونه‌هایی از پژوهش‌های مربوطه اشاره خواهد شد.

شکل 1-الف مسیر ترسیمه‌ای از چرخ‌های جلو را در وسیله نقلیه جاده‌ای در حین بروز شیمی را به تصویر کشیده است. شکل 1-ب بررسی حادثه شیمی هواپیما هنگام فرود در فرودگاه بارسلونا در سال 1999 را نشان می‌دهد، که در آن مسیر معوج تایر اصلی چرخ ارابه فرود سمت راست به وضوح قابل مشاهده است[1]. هر دو نمونه شیمی به دلیل لرزش جانبی و شدید چرخ‌ها، مسیرهای موج‌دار روی زمین تشکیل می‌دهند. ارتعاشات شیمی به‌طور معمول دارای یک فرکانس در محدوده 10 تا 30 هرتز است و می‌تواند به دامنه‌های قابل توجهی برسد. این پدیده باعث لقی چرخ‌ها، خوردگی و همین طور کاهش عمر قطعات در اثر پدیده خستگی ناشی از بارهای نوسانی می‌شود. در ارابه فرود هواپیما، ارتعاشات شیمی به‌طور معمول از طریق ارابه فرود به سازه اصلی هواپیما انتقال پیدا کرده و باعث نارضایتی مسافران و از همه مهمتر باعث تکآن‌های شدیدی در کابین می‌شود که دیدن و خواندن ابزارآلات اندازه‌گیری دقیق را برای خلبان دشوار می‌کند. متأسفانه پیش‌بینی شیمی در مرحله طراحی اغلب دشوار است که احتمالاً به دلیل کمبود دانش در مورد پدیده، دقت نسبتاً کم مدل‌های تحلیلی و عدم وجود ابزارهای مناسب است.

ب- رد لاستیک چرخ دنده اصلی فرود هواپیما هنگام پدیده شیمی

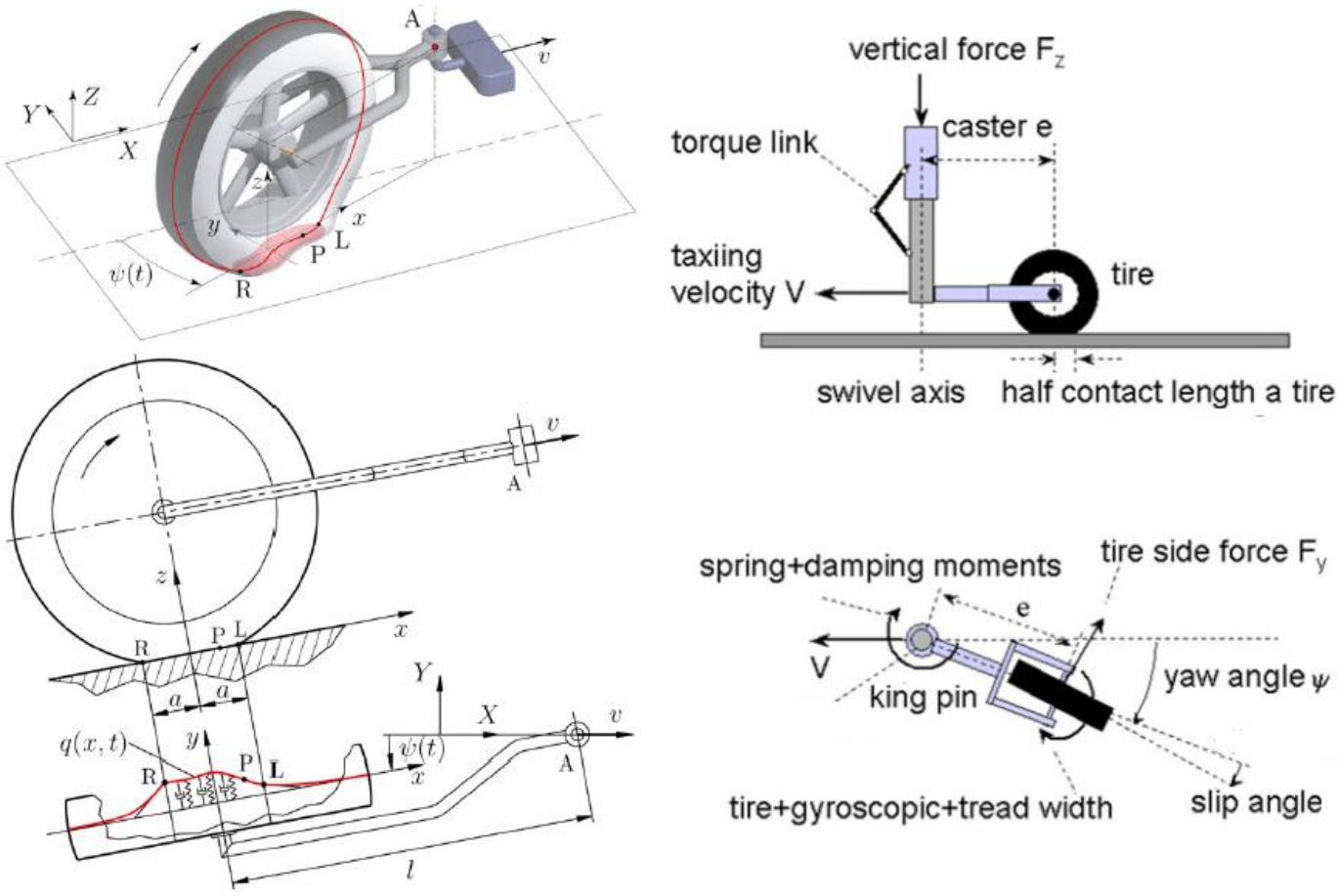


الف- تصویرگری شیمی در یک وسیله نقلیه جاده‌ای

شکل 1- نمونه‌هایی از شیمی در چرخ ارابه‌های فرود هواپیما و وسیله نقلیه جاده‌ای[1]

برای پیش‌بینی قابل اعتماد شیمی، مدل‌های ریاضی مناسب لازم است. یک مشکل متداول در هنگام مطالعه رفتار شیمی، عدم وجود داده‌های آزمایشگاهی لازم برای تأیید روش‌های ریاضی است. استفاده از مدل‌های قدیمی مستعد خطا و عدم دقت است. زیرا از یک طرف مدل‌های قدیمی معمولاً به‌دلیل سادگی، فاقد درجه آزادی کافی (DOF) بوده و یا به عبارت دیگر به علت عدم شناخت صحیح خصوصیات مکانیکی سیستم برای گرفتن و بروز نظری رفتار واقعی آن مناسب نیستند.از طرف دیگر تعیین پارامترهای مدل‌سازی دشوار و نیازمند انجام آزمایش‌های شناسائی است. دو مشکل مذکور به طور کلی منجر به برآورد نادرست پارامترها و تنظیم لازم برای تطبیق نتایج تحلیلی و تجربی می‌شود.

مدل‌های ریاضی ارائه شده برای بررسی پدیده شیمی معمولاً دو بخش سیستم تعلیق و تایر را در نظر می‌گیرند. برای هر یک از بخش‌های مذکور، تئوری‌های متنوعی ارائه شده است. در شکل 2 الف، ترسیمه‌ای از مدل سیستم تعلیق و در شکل 2 ب، مدلی از رفتار تایر نمایش داده شده است. مدل‌های نمایش داده شده در شکل 2 طیف وسیعی از کاربردها، از چرخ ویلچر گرفته تا چرخ دماغه هواپیما را در بر می‌گیرند. از این جهت در این پایان‌نامه بر روی ارائه مدلی تحلیلی برای ارتعاشات شیمی با فرض یک تایر صلب یا با رفتار خطی تمرکز می‌شود. به منظور بررسی صحت مدل، از نتایج تجربی موجود در مقالات برای آزمون پدیده ارتعاشات شیمی استفاده خواهد شد. در تعدادی از پژوهش‌های تجربی مذکور با حرکت بستر در تماس با چرخ، سرعت نسبی چرخ و جاده شبیه‌سازی می‌شود. با امکان تغییر پارامترهای مختلف مکانیکی سازه متصل به چرخ، تأثیر هر یک در ایجاد و تشدید ارتعاشات شیمی بررسی و با نتایج عددی مقایسه خواهد شد.



الف- ترسیمه‌ای از مدل سیستم تعلیق[2]

ب- مدلی از رفتار تایر [3]

شکل2- طرح‌واره چرخ و بازوی فرمان‌پذیر متصل به آن

پیشینه‌ی پژوهش:

(تحقیقاتی که تاکنون در ارتباط با مسالهٔ این پژوهش، توسط پژوهشگران دیگر، در مراجع معتبر علمی منتشر شده است، به تفصیل ارائه و نقد می‌شود.)

پژوهش‌های انجام شده بر روی ارتعاشات شیمی طیف وسیعی را در بر می‌گیرد که می‌توان از دیدگاه‌های مختلف از جمله نوع وسیله نقیله، چگونگی در نظر گرفتن رفتار تایر، مدل اصطکاک بین چرخ و جاده، رویکرد استخراج مدل ریاضی، رویکردهای تجربی و همچنین روند تاریخی دسته‌بندی نمود. این پدیده در زندگی روزمره از ارتعاشات چرخ‌های جلو گاری دستی تا چرخ ارابه فرود دماغه هواپیما به چشم می‌خورد و از همین جهت مورد توجه پژوهش‌گران بسیاری قرار گرفته است[4].

بیشترین پژوهش صورت گرفته بر روی پدیده شیمی، مربوط به ارابه فرود هواپیماست. توتا[1] و هم‌کاران با ارائه یک مدل ریاضی از ارابه فرود دماغه هواپیما که در آن جزئیات هندسی از جمله زاویه ریک[2] صرفنظر شده قبلی در نظر گرفته شده بود، شرایط پایداری را با به کارگیری یک تئوری پایداری خطی بررسی کردند. آن‌ها هم‌چنین یک تحلیل غیرخطی را برای بررسی رفتار کیفی ناپایداری هاپف[3] و فراتر از آن به کارگرفتند[5].

هواپیماهای مسافربری برای پرواز طراحی شده‌اند، اما هنگام حرکت روی زمین، برخاستن و فرود آمدن، پارامترهایی از جمله سرعت و نیروی عمودی وارد به ارابه فرود بایستی در محدوده خاصی باشند.در شرایط خاص ارابه فرود ممکن است در طول مانورهای زمینی نوسانات ناخواسته‌ای را نشان دهند که منجر به نوسانات شیمی می شود. داویدسون[4] به بررسی مدل ارتعاشات ارابه فرود هواپیما [5] و مقایسه آن با دو مدل دیگر(مدل چرخ عقب[6] و مدل چرخ عقب با انعطاف‌پذیری جانبی[7]) پرداخت[6]. هوکرافت[8] و هم‌کاران با مطالعه‌ای در زمینه ارتعاشات ارابه فرود هواپیما و تأثیر سرعت و نیروی عمودی وارد به ارابه فرود را بررسی نمودند. دینامیک ارابه فرود ارائه شده با سه درجه آزادی بیان می‌شود که شامل: حرکت پیچشی، حرکت درون صفحه‌ای و حرکت خارج از صفحه است. آن‌ها شرایط مختلف حرکت را مورد ارزیابی قرار دادند و محدوده‌ای را که در نمودارهای سرعت بر حسب نیروی عمودی وارد به ارابه، منطقه امن خوانده می‌شود، محدوده‌ای که باعث ارتعاشات شیمی می‌شود و میزان شدت و نوع این نوسان را مشخص نمودند.[7]

تغییر شکل تایر یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد ارتعاشات شیمی است و به همین دلیل همواره مورد توجه پژوهش‌گران در این زمینه بوده است[1]. ماس[9] مقایسه‌ای بین مدل‌های مختلف تایر برای تحلیل ناپایداری شیمی انجام داده است[8]. سه مدل شامل مدل مماس مستقیم، مدل فون شیلیپ[10] و مدل رینگ صلب توسط وی بررسی شده است. برای مدل نسبتاً ساده مماس مستقیم، عبارت‌های تحلیلی برای مرزهای تعادل به‌صورت تابعی از پارامترهای سیستم بیان و نهایتاً یک حل عددی مقدار و بردار ویژه سیستم با مدل‌های مختلف استخراج گردید.

[1] Thota
[2] Rake angle
[3] Hopf Bifurcation
[4] Davidson
[5] LG-Shimmy Model
[6] Trailing Wheel Model
[7] Trailing Wheel Model With Lateral Flexibility
[8] Howcroft
[9] Mass
[10] Von Schlippe

رفتار تایر از عوامل مؤثر دیگر بر ارتعاشات شیمی است و با توجه به فیزیک و هندسه تایر و میزان ارتباط آن با زمین و همچنین اثرات سیستم تعلیق که اتصال آن به تایر است، تأثیر بسزایی در پیدایش و شدت ارتعاشات شیمی دارد. شنهای[11] و هم‌کاران از سیستم تعلیق چرخ برای بررسی پایداری ارتعاشات شیمی و ارزیابی تفاوت بین مدل های تایر استفاده نمودند. آن‌ها به‌منظور تمرکز بر رفتار لاستیک، از میرایی‌های موجود در ساختار صرفنظر نموده و بازوی سیستم تعلیق را بدون جرم در نظر گرفتند[9].

گرچه یکی از عوامل مهم پیدایش پدیده شیمی، تغییر شکل تایر است، ولی منحصر به آن نبوده و برخی از پژوهش‌ها با فرض چرخ صلب به بررسی آن پرداخته‌اند[6]. از جمله ژوراولف[12] و کلیموف[13]، نشان دادند که تئوری اصطکاک خشک ترکیبی می‌تواند با در نظر گرفتن چرخ‌های کاملاً صلب، ارتعاشات شیمی را به خوبی ایجاد کند و نتیجه گرفتند که رفتار اصطکاک بین چرخ و جاده از عوامل مهم ایجاد ارتعاشات شیمی است[10].

سای[14] و هم‌کاران[11] مدل چرخ صلب را در نظر گرفته و حالات ارتعاشات شیمی پیچشی و جانبی و همچنین سینماتیک غیرخطی را مورد بررسی قرار دادند. برگی[15] و هم‌کاران به بررسی چرخ های یدک‌کش با کمک مدل لاستیک پرداختند. آن‌ها تأخیر زمانی در تماس تایر و زمین و ماهیت غیر صاف سیستم ناشی از اصطکاک تماسی زمین را به‌طور هم‌زمان در نظر گرفتند. آن‌ها مدلی را به‌صورت آزمایشگاهی ارائه دادند که علاوه بر نتایج تجربی، به تغییر پارامترهای آن و مدل نمودن ریاضی‌اش بپردازند. از نظر تجربی و ریاضی تأیید کردند که وجود توأم تأخیر زمانی و لغزش جزئی در تماس تایر و زمین منجر به ایجاد یک ساختار متناوب از انشعابات فوق بحرانی و زیر بحرانی در سیستم بدون میرایی می شود و محدوده پایدار و ناپایدار و همچنین محدوده ارتعاشات شیمی را شناسایی کردند [12].

تکاس[16] با بررسی مدل‌های فراوان از جمله چرخ جلو هواپیما، چرخ یدک‌کش، چرخ‌های عقب اتوبوس، چرخ موتورسیکلت و... به ارائه مدل‌های ریاضی فراوانی پرداخته است. او با در نظرگرفتن میزان درجه آزادی‌های متفاوت و بیان آن‌ها به روش‌های مختلف موفق به تعیین پایداری سیستم با استفاده از معادلات خطی شد[13].

ژوراولف[17] و هم‌کاران مدل ریاضی جدیدی برای پدیده شیمی ارائه نمودند که تئوری اصطکاک خشک چند جزئی[18] می‌تواند پدیده شیمی را برای چرخ‌های کاملاً سفت و سخت توضیح دهد و از این رو می‌تواند حداقل یکی از دلایل این

[11] Shenhai
[12] Zhuravlev
[13] Klimov
[14] Cai
[15] Beregi
[16] Takács
[17] Zhuravlev
[18] polycomponent dry friction

پدیده در حالت کلی باشد. آن‌ها ساده‌ترین مدل ریاضی معادلات چرخ جلو هواپیما را بیان نموده آن را توسعه دادند. سپس معادلات مدل تعامل چرخ و جاده را به آن افزوده و با کمک تقریب اول پده[19] به بررسی ارتعاشات شیمی پرداختند[14].

دستگاه‌های آزمایشگاهی مختلفی نیز برای انجام آزمون‌های تجربی پدیده شیمی ساخته شده است[15]. برای اندازه‌گیری پارامترهای سختی و میرایی تایر، دستگاهی طراحی شده است که چرخ در یک قاب سخت قرار گرفته و طول تماس تایر با کمک اندازه قاب تنظیم شده است. چرخ در نقطه مرکزی خود در جهت جانبی با نیروهای مختلف کشیده شده و سختی چرخ نسبت به طول تماس اندازه‌گیری شده محاسبه می‌گردد. برای به‌دست آوردن میرایی، چرخ در جهت جانبی در همان قاب ثابت کمی ضربه می‌خورد و شتاب جانبی نقطه مرکزی چرخ ثبت می‌شود. میرایی از کاهش لگاریتمی سیگنال ارتعاش مشخص می‌گردد.

پژوهش‌های تجربی و شبیه‌سازی فراوانی برای مدل نمودن و مقایسه آن‌ها با واقعیت انجام گرفته است. لوی[20] و هم‌کاران در اولین قدم یک چرخ ویلچر را با قابلیت تغییر دادن و سنجیدن خصوصیات مکانیکی آن مانند طول خارج از مرکز، ارتفاع و جرم طراحی کردند. از یک دستگاه دویدن ورزشی برای شبیه‌سازی جاده‌های واقعی استفاده کردند. مدل ارائه شده به‌صورتی است که دستگاه دویدن ورزشی به‌صورت چرخان در حال حرکت است و نوار روی دستگاه همانند جاده عمل نموده و امکان تغییر خاصیت‌های فیزیکی جاده را فراهم می‌آورد. همچنین آونگی به عنوان نیروی خارجی در بالای دستگاه افزوده شده است تا امکان تغییر سرعت و ضربه زدن به چرخ ویلچر را داشته باشد که هدف از این کار تغییر سرعت چرخ ویلچر، اختلال در پایداری سیستم و ایجاد ارتعاشات شیمی است. در بسیاری از شبیه‌سازی‌ها نشان داده شده که ارتعاشات شیمی تا حد زیادی تحت اثر اصطکاک تغییر نموده و ناپدید می‌شود و یا این‌که به نیروی اصطکاک مربوط به مرکز چرخش در پیچ جاده‌ها و نیروی پیچ در نقطه تماس در جاده‌ها وابسته می‌گردد[16].

می[21] و هم‌کاران بر روی پدیده شیمی در خودرو فعالیت نمودند. آن‌ها نشان دادند که با کاهش پارامترهای میرایی و سختی، زمانی که چرخ‌های جلو در جهت مخالف می‌چرخند، دامنه حرکت در سرعت بالا حالت لرزش جدیدی نشان داده می‌شود که همان ارتعاشات شیمی است. طراحی کنترل کننده ارتعاشات شیمی به‌ندرت مورد توجه قرار می‌گیرد. با توجه به سیستم فرمان و سیستم تعلیق وسایل نقلیه از میراگر فعال[22] استفاده می‌شود تا ارتعاشات شیمی را به حداقل ممکن رسانده و از بین برد[17].

[19] First-order Pade´ approximation
[20] Ioi
[21] Mi
[22] active damper

فرضیه‌ها یا سؤال‌های پژوهش:

(در این بخش، بر اساس مطالعات پیشینه و تحلیل مسأله، فرضیه‌هایی که باید در این پژوهش اثبات شوند یا سؤال‌هایی که باید پاسخ داده شوند، جمع‌بندی و به‌صورت صریح بیان می‌شوند.)

- تأثیر پارامترهای هندسی، اصطکاک چرخ با جاده، سرعت و توزیع جرم در ارتعاشات شیمی چقدر است؟
- در چه شرایطی ناپایداری حاصل از ارتعاشات شیمی دارای سیکل حدی است؟
- آیا با افزودن تجیهزاتی بر روی سازه متصل به چرخ می‌توان ارتعاشات شیمی را به تأخیر انداخت، از بین برد و یا کاهش داد؟

اهداف پژوهش:

هدف تجزیه و تحلیل تأثیر رفتار تایر بر پایداری شیمی و درک بهتر این پدیده است که منجر به اهداف زیر می‌شود:

- درک مکانیک حاکم بر ارتعاشات شیمی:

ارتعاشات شیمی یک پدیده پیچیده است و تحت تأثیر عوامل زیادی قرار دارد. بیشتر پژوهش‌ها بر روی تجزیه و تحلیل تأثیر پارامترهای طراحی بر پایداری شیمی متمرکز است، اما سازوکارهای موجود در آن هنوز مبهم هستند. برای اطمینان از صحت مدل ریاضی، نیاز به بررسی میزان تطبیق نتایج عددی و تجربی است.

- فراهم آوردن امکان بررسی رفتار میراگرهای مناسب جهت کاهش اثرات شیمی:

در اکثر کاربردهای صنعتی، به منظور پیشگیری از آثار مخرب ارتعاشات شیمی، از میراگرهایی که به این منظور طراحی و ساخته می‌شود، استفاده می‌کنند. در غیراین‌صورت، با اصلاح و بهینه‌سازی مشخصات مکانیک چرخ و سازه متصل به آن، از شدت ارتعاشات شیمی می‌کاهند. انجام این پژوهش، این امکان را فراهم می‌سازد تا راه‌کارهای کاهش این ارتعاشات بررسی شود.

پیش‌بینی دستاوردها: (دانشجویان دکتری در تکمیل جدول باید شیوه‌نامهٔ ارزیابی کفایت بروندادهای رسالهٔ دکتری دانشگاه را مد نظر قرار دهند.)

رفع نیازهای ملی □	آدرس موضوع در اسناد بالادستی ملی یا در سازمآن‌های مرتبط:
انتشارات علمی □	نوع (مقاله، گزارش فنی، کتاب) و محل ارائه:
ثبت اختراع □	محل ثبت اختراع:
تولید محصول و تجاری‌سازی □	محل ارائه و مشتریان احتمالی:
سایر □	توضیحات:

بیان نوآوری اصلی تحقیق در یک یا دو جمله:

این تحقیق امکان خواهد داد تا پارامترهای مهم در بروز ارتعاشات شیمی شناسائی شود تا با اندازه‌گیری آن‌ها آستانه پدید آمدن آن قابل پیش‌بینی و پیشگیری گردد. با توجه به سابقه مسأله، نوآوری احتمالی در مدل‌سازی دقیق‌تر چرخ فرمان‌پذیر و تطبیق کامل‌تر مدل با شرایط واقعی (مثلاً در نظر گرفتن تأثیر لقی در سیستم) است.

روش تحقیق:

(روش انجام این پژوهش از نظر ورودی‌ها، نحوهٔ تجزیه و تحلیل، روش بررسی نتایج و پاسخ به مسالهٔ پژوهش، با جزئیات لازم مطابق نظر دانشکده توضیح داده می‌شود و در صورت نیاز، با نمودار ترسیمی و جدول زمانی کامل خواهد شد. در طول انجام پژوهش، اگر تغییری در این بخش لازم بود، دانشکده در مورد آن تصمیم‌گیری خواهد کرد.)

- بررسی و مطالعه در مورد پدیده شیمی
- استخراج معادلات دینامیکی
- پیاده‌سازی روابط حاکم در نرم‌افزار Matlab و استخراج نتایج
- تطبیق نتایج تجربی و شبیه‌سازی‌های عددی
- تدوین و نگارش پایان‌نامه