بهار ۱۳۹۵/ سال نهم/ شماره اول

فصلنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک جامدات

http://jsme.iaukhsh.ac.ir

فصلنامه علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک جامدات

طراحی، ساخت و شبیه‌سازی خودروی کارتینگ

احمد کشاورزی[۱،*]، علی اکبر صالحی[۲]

* نویسنده مسئول: Corresponding author: keshavarzi@iaukhsh.ac.ir

چکیده

امروزه با گسترش فعالیت فدراسیون اتومبیل رانی در دنیا یک از کارکردهای قدیمی خودرو یعنی مسابقه و تفریح هر روز بیشتر در دنیا مشتاقان تازه‌ای می‌یابد. یکی از بهترین و ایمن ترین مسابقات مسابقات خودروهای کارتینگ است. که سابقه ای نزدیک یک قرن در دنیا دارد. خودروهای کارت، خودروهای کوچکی هستند که می‌تواند با پایداری مناسب بر روی جاده و کنترل مسیر منحنی هیجان و نشاط را برای رانندگان به ارمغان بیاورند. پایداری و کنترل در هنگام عبور از پیچ‌ها دو پارامتر مهم در طراحی خودروهای کارتینگ می‌باشد که باید طراحان همیشه در نظر داشته باشند. در این مقاله ابتدا با استفاده از روش عددی یک مدل از خودروی کارتینگ در نرم افزار Adams ساخته می شود و نتایج مختلف آزمون دینامیکی بر روی مدل انجام می‌گیرد و در نهایت نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی با استفاده از خودروی کارتینگ ساخته شده در دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی

دینامیک خودرو، کارتینگ، پایداری، شبیه‌سازی، آزمون آزمایشگاهی

تاریخ ارسال: ۹۴/۰۲/۱۰
تاریخ بازنگری: ۹۴/۰۷/۱۶
تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۲۴

۱-استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، خمینی‌شهر، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، خمینی‌شهر، ایران

Archive of SID

www.SID.ir

Spring 2016/ vol. 9/ No. 1

Journal of
Solid Mechanics
in Engineering

Journal of

Solid Mechanics in Engineering

http://jsme.iaukhsh.ac.ir

Design, develop and simulation of Go-kart

Ahmad Keshavarzi[1,*], Ali Akbar Salehi[2]

* Corresponding Author: keshavarzi @iaukhsh.ac.ir

Abstract:

Today, the expansion of the Federation of Automobile racing car increases the competition of Go-kart. Go-kart is one of the best and safest car racing competitions. A history of nearly a century in the world. Go-karts are tiny car that can be controlled with good stability on the road and curved path for drivers bring excitement and exhilaration. Stability and control when crossing the road bend are the important parameters in designing Go-karts that the designer should always keep in mind. In this paper, the Go-kart vehicle is simulated in numerical software and then the simulation is versified with experimental test with a Go-kart that is developed in Islamic Azad university, Khomeinishahr Branch.

Key words:

Vehicle dynamic
Go-kart
Stablility
Simulation
Experimental Test

Archive of SID

1- Assistance Professor, Department of Mechanic Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr, Iran.

2- MSc Student, Department of Mechanic Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr, Iran.

www.SID.ir

۱- مقدمه

امروزه با گسترش فعالیت فدراسیون اتومبیل رانی در دنیا یک از کارکردهای قدیمی خودرو یعنی مسابقه و تفریح هر روز بیشتر در دنیا مشتاقان تازه‌ای می‌یابد. یکی از بهترین و ایمن ترین رقابت‌ها مسابقات خودروهای کارتینک است که سابقه‌ای نزدیک یک قرن در دنیا دارد. خودروهای کارت، خودروهای کوچکی هستند که می‌تواند با پایداری مناسب بر روی جاده و کنترل مسیر منحنی هیجان و نشاط را برای رانندگان به ارمغان بیاورند. پایداری و کنترل در هنگام عبور از پیچ‌ها دو پارامتر مهم در طراحی خودروهای کارتینک می‌باشد که باید طراحان همیشه در نظر داشته باشند. در این مقاله به بررسی پارامترهای مختلف خودروی کارتینک بر روی پایداری و کنترل این خودروها پرداخته خواهد شد و در نهایت با بهینه‌سازی این پارامترها خودروی مناسب ساخته می‌شود و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

خودروهای کارت به ارائه یک خودرو کم هزینه با اجزای و زیر سیستم‌های ساده و محدود به منظور سواری، تخلیه هیجان و آموزش قشر جوان تا کنون توسعه داده شده است. اگرچه تحقیقات در مورد خودروهای کارت اطلاعات زیادی در زمینه طراحی، ساخت، قوانین و فن آوری‌های استفاده شده در این خودروهای را فرآهم می‌نماید اما ادبیات مربوط کمی در زمینه پارامترهای موثر بر دینامیک خودروی کارتینگ وجود دارد، به عنوان مثال می‌توان به تحقیقات گواگلیانو[1] و همکاران [۱] در سال ۲۰۰۰، میرانو[2] [۲] در سال ۲۰۰۰، پونزو و رنزی[3] [۳] در سال ۲۰۰۴، موزاپاپا[4] و همکاران[۴] در سال ۲۰۰۷ اشاره نمود.

سیستم تعلیق و فرمان در خودروهای کارت ساده شده است و المان هایی مانند کمک فنر، میله موج‌گیر، فنر از روی سیستم تعلیق برداشته شده است و تنها مکانیزم سیستم تعلیق و زوایای چرخ حفظ شده است. در سیستم فرمان نیز جعبه فرمان، چرخ دنده شانه‌ای و تلسکوبی فرمان برداشته شده است و جای آن را یک اهرم‌بندی ساده گرفته است. حذف این المان‌ها از سیستم تعلیق و سیستم فرمان باعث می‌شود که نیروهای زیادی از روی جاده به سازه خودرو و قربیلک فرمان وارد شود، این نیروی زیاد می‌تواند باعث کاهش مشخصه‌های دینامیک و مانورپذیری خودرو شود[۴، ۵ و ۶]. یک دیگر از مشکلاتی که خودروهای کارتینک در هنگام مانور در روی پیچ‌ها دارند مشکل حذف شدن دیفرانسیل از سیستم انتقال قدرت آنها می‌باشد، حذف این سیستم باعث می‌شود که در هنگام عبور از پیچ سرعت چرخ داخل پیچ و چرخ خارج پیچ به یک اندازه باشد که خود مانعی در حرکت حول نقطه ثابت می‌باشد[۵]. اگرچه حذف اجزای گفته شده باعث کاهش مانورپذیری خودرو بر روی پیچ‌ها می‌شود اما می‌تواند یک قابلیت مهم به خودروی کارت که همان شتاب جانبی بالا است را اضافه نماید که خود نقش مهمی در جذب مخاطب این خودرو خواهد داشت[۶]. اما رسیدن به یک نقطه متوسط طراحی که اولا باعث کاهش شتاب جانبی خودرو نشود و از طرفی دیگر باعث افزایش عملکرد پارامترهای دینامیکی خودرو شود همراه یکی از مهمترین چالش‌های پیش روی طراحان این نوع خودروها بوده است[۷ و ۸].

در این مقاله یک خودرو کارتینک در نرم افزار دینامیکی Adams ابتدا مدل خواهد شد و سپس مدل ساخته شده در برابر تست‌های دینامیک مختلف خودرو (تغییر مسیر، قلاب ماهی و مسیر سینوسی) مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در نهایت بر روی مدل ساخته شده تاثیر پارامترهای هندسی مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- شبیه‌سازی

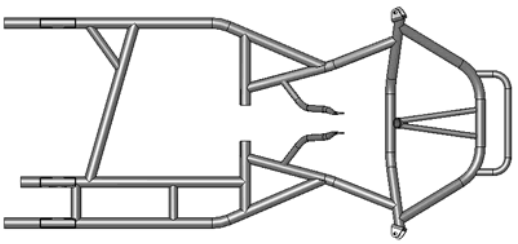
فریم طراحی شده در نرم افزار Adams به منظور شبیه‌سازی در شکل(۱) نشان داده شده است. این فرم مد tony می‌باشد که یک از مشهورترین فریم‌های موجود در بازار است.

[1] *Guglielmino*
[2] *Mirone*
[3] *Ponzo and Renzi,*
[4] *Muzzupappa*

Archive of SID

www.SID.ir

ابعاد هندسی فریم انتخاب شده به منظور شبیه‌سازی در نرم افزار در جدول(۱) آورده شده است.

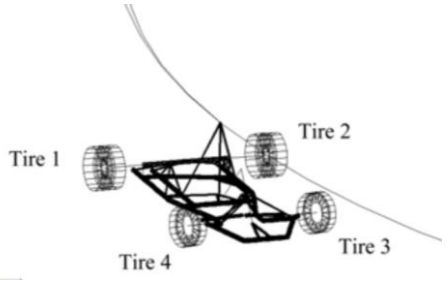


شکل (۱) فریم خودروی کارتینگ شبیه‌سازی شده

جدول (۱) مقادیر هندسی فریم شبیه‌سازی شده.

پارامتر هندسی	اندازه
فاصله بین چرخ جلو و عقب (mm)	۱۰۸۰
فاصله بین چرخ‌های عقب(mm)	۹۵۰
فاصله بین چرخ‌های جلو (mm)	۱۲۰۰
زاویه کستر (degree)	۱۱
زاویه محور فرمان (degree)	۶
شعاع چرخ جلو (mm)	۱۳۰
شعاع چرخ عقب (mm)	۱۴۰

جنس لوله‌های مورد استفاده در فریم استیل A284 می‌باشد و قطر مورد استفاده از ۱۴ تا ۳۰ میلی متر با ضخامت ۱/۵ و ۲ میلی‌متر است.



شکل (۱) خودروی کارتیگ مدل شده در نرم افزار Adams

مجموع وزن خودرو همراه با راننده ۱۴۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است که ۵۷ درصد این وزن بر روی چرخ‌های عقب و ۴۳ درصد آن بر روی چرخ‌های جلو توزیع شده است.

برای شبیه‌سازی لاستیک در این شبیه‌سازی از مدل تایر پژکا استفاده شده است[۹]. در این مدل باید مشخصات لاستیک با استفاده از ضرایب پژکا در نرم افزار وارد شود، ضرایب پژکا لاستیک خودروی کارت در جدول(۲) آورده شده است.

جدول (۲) مقادیر ضریب پژکا تایر

مشخصه	تایر عقب	تایر جلو
Width (mm)	۲۰۰	۱۳۰
R1(mm)	۱۴۰	۱۳۰
R2(mm)	۷۳	۶۳
CN(N/mm)	۲۰۰	۱۵۰
Cs (N)	۲۵۰۰	۱۰۰۰
Cα (N/rad)	۱۰۰۰۰	۴۰۰۰
Cγ (N/rad)	۲۰۰۰	۸۰۰
CRR	۳۰	۲۰
CDR	۰/۲	۰/۱
U0	۱/۸	۱/۸
U1	۰/۴	۰/۴

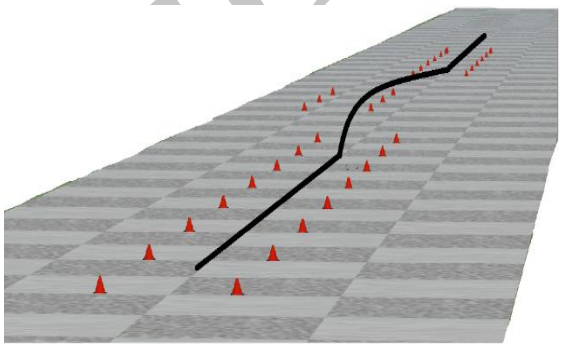
۲-۱ تست دینامیکی تغییر مسیر DLC

در این بخش خودرو به منظور بررسی در تست DLC قرار می‌گیرد. تست DLC تستی است که در آن خودرو تغییر مسیر می‌دهد و دوباره به مسیر اولیه خود باز می‌گردد. نموداری که در این تست باید طی شود یک نمودار U شکل است که در شکل(۳) نشان داده شده است.

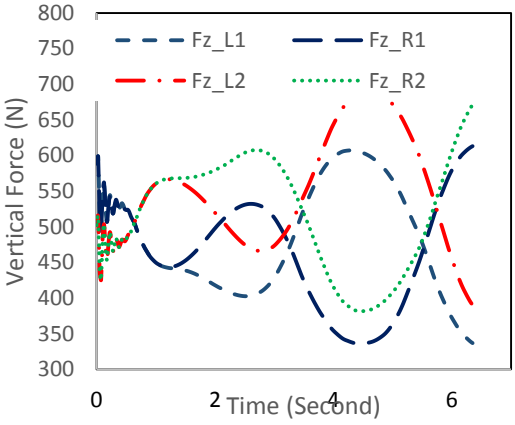
Archive of SID

www.SID.ir

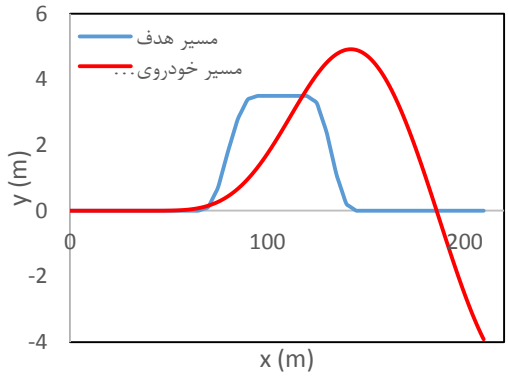
در شکل(۴) مقدار نیروی عمودی بر روی هر کدام از چرخ‌ها در هنگام عبور از تست DLC نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت به دلیل مقدار بار بیشتر بر روی محور عبق نیروی عمودی بیشتری بر روی هر کدام از دو چرخ عقب نسبت به دو چرخ جلو وارد شده است. در شکل(۵) مسیر حرکت خودرو در هنگام عبور از میدان تست DLC نشان داده شده است همانور که از شکل می‌توان دریافت که خودرو قادر به دنبال کردن مسیر تست نمی‌باشد که یکی از نقاط ضعف خودروهای کارتینگ است.



شکل (۳) مسیر تست DLC



شکل (۴) نیروی عمودی وارد بر هر کدام از چرخ‌ها در هنگام مانورDLC



شکل (۵) مسیر حرکت خودرو در هنگام عبور از تست DLC

۲-۱ تست دینامیکی قلاب ماهی (Fishhook)

تست دینامیکی قلاب ماهی نیز همانند تست DLC یک از تست‌های نشان دهنده عملکرد دینامیکی خودروی کارتینگ است، دراین تست هر چه فاصله افقی بین انتهای قلاب و ابتدای قلاب کمتر باشد خودرو عملکرد بهتری دارد، نزدیک شدن قلاب به دایره بهترین نوع عملکرد دینامیکی می‌باشد.

در شکل(۶) زاویه فرمان لازم برای انجام آزمون قلاب ماهی نشان داده شده است، همانطور که از این شکل دیده می‌شود در ابتدا زاویه فرمان ۳۰ درجه به خودرو داده می‌شود و سپس فرمان بر می‌گردد و در موقعیت زاویه منفی ۳۰ درجه قرار می‌گیرد. علت زاویه کم فرمان در این تست فرمان بدون جعبه دنده خودروی کارتینگ می‌باشد.

میزان شتاب جانبی وارد شده بر خودرو در هنگام عبور از آزمون قلاب ماهی در شکل(۷) نشان داده شده است همانطور که از شکل پیداست بیشینه شتاب نزدیک به0.8g به خودرو وارد می‌گردد.

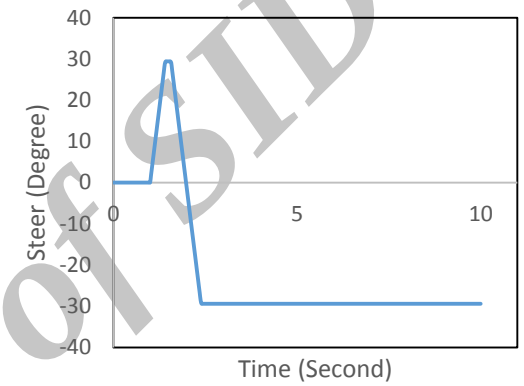
در شکل(۸) میزان رول خودرو در هنگام عبور از آزمون نشان داده شده است، همانطور که از شکل مشخص است بیشینه رول خودرو در حدود مثبت و منفی ۲ درجه می‌باشد

Archive of SID

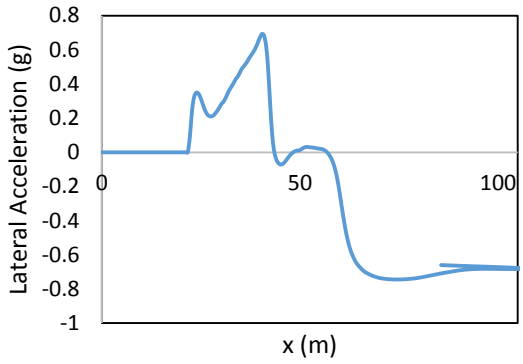
www.SID.ir

که مقدار رول کمی است. این مقدار رول نشان می‌دهد که خودرو در هنگام عبور از آزمون بلند نشده است.

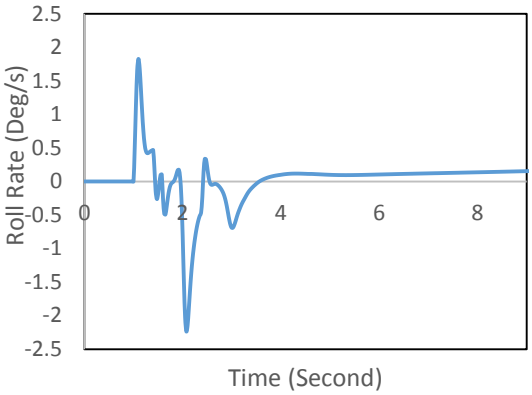
در شکل(۹) میزان سرعت خطی هر کدام از چهار چرخ خودرو در آزمون نشان داده شده است. این سرعت‌ها با توجه به نبودن دیفرانسیل و کوچک بودن طول و عرض خودرو اختلاف زیادی باهم ندارند و تنها دلیل اختلاف کوچک بین آنها وجود رول دو درجه این خودرو می‌باشد که در شکل(۸) نشان داده شده بود.



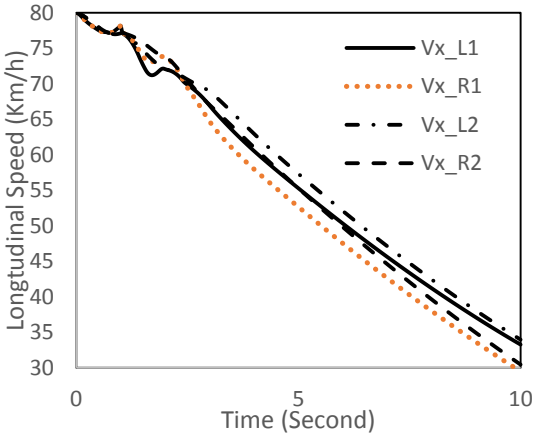
شکل (۶) زاویه فرمان داده شده به خودرو هنگام تست قلاب ماهی



شکل (۷) شتاب جانبی در تست قلاب ماهی



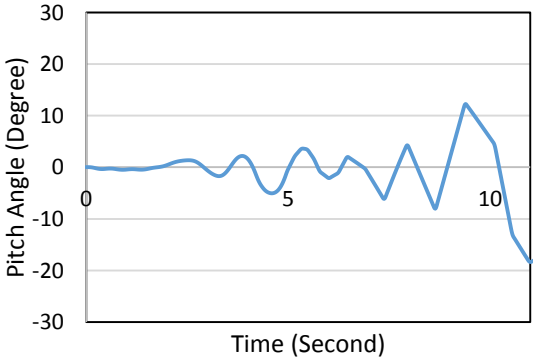
شکل (۸) رول خودرو



شکل (۹) رول خودرو

۳-۲ عبور از جاده سینوسی

در این نوع آزمون خودرو در یک جاده با پستی و بلندی‌های سینوسی مورد ارزیابی قرار میگیرد، پایداری و چشبندگی موثر بر روی سطح این جداه از معیارهای ارزیابی خودرو در این آزمون می‌باشد.



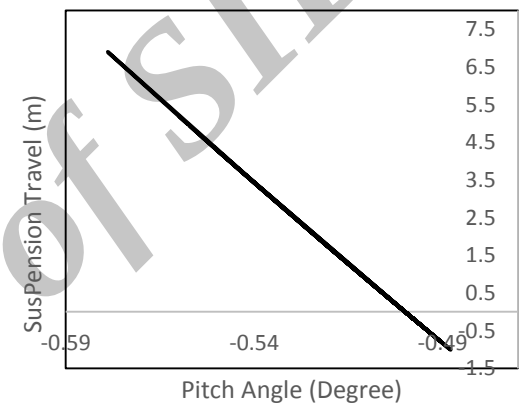
شکل (۱۰) تغییرات زاویه پیچ خودرو

Archive of SID

www.SID.ir

همانطور که در شکل(۱۰) نشان داده شده است تغییرات زاویه پیچ از ثانیه ۹ به بعد بسیار زیاد می‌شود و خودرو چسبندگی خود را بر روی جاده از دست می‌دهد. این وضعیت باعث ناپایداری خودرو می‌شود.

میزان حرکت جرم فنر بندی نشده خودرو به جرم فنر بندی شده نسبت به زاویه پیچ در شکل(۱۱) آورده شده است همانطور که انتظار می‌رود به دلیل حذف فنر سیستم تعلیق این تغییرات بسیار کوچک است و در هر چهار چرخ تقریبا به یک اندازه می‌باشد.



شکل (۱۱) عبور از جاده سینوسی

۳- صحه گذاری نتایج

به منظور بررسی صحت نتایج شبیه‌سازی در این مقاله یک خودروی کارتینگ با ابعاد گفته شده در جدول(۱) در دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر ساخته شد. در شکل(۱۲) خودروی ساخته شده در این نشان داده شده است.

شکل (۱۲) خودروی کارتینگ ساخته شده در دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی‌شهر

به منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی انجام گرفته در این مقاله ابتدا یک زاویه فرمان ثابت روی خودرو ایجاد می شود و شعاع منحنی طی شده توسط خودرو در سرعت‌های مختلف محاسبه می‌گردد و سپس همین زاویه به صورت عملی بر روی خودروی کارتینگ ساخته شده ایجاد می‌گردد و در سرعت‌های مختلف شعاع منحنی طی شده اندازه‌گیری می‌گردد، اختلاف بین شعاع منحنی شبیه‌سازی شده و منحنی آزمایش مقدار اختلاف شبیه‌سازی از مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. در جدول(۲) مقدار این اختلاف در سرعت‌های مختلف نشان داده شده است.

از اطلاعات جدول(۳) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بیشینه اختلاف بین مدل شبیه‌سازی و مدل آزمایشگاهی در حدود ۷/۴ درصد در سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت می باشد که مقدار ناچیزی است. بنابراین مدل شبیه‌سازی ساخته شده در نرم افزار Adams به مدل واقعی ساخته شده بسیار نزدیک می‌باشد و نتایج بدست آمده از تحلیل عددی بدست آمده قابل قبول است.

جدول (۳۲) مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی و نتایج آزمایشگاهی

درصد خطا	شعاع پیچ آزمایشگاهی (m)	شعاع پیچ شبیه‌سازی (m)	زاویه فرمان (deg)	سرعت (km/h)

Archive of SID

www.SID.ir

٪ ۵/۶	۱۲	۱۱,۲	۱۵	۱۰
٪ ۳/۳	۶,۳	۵,۳	۳۰	۱۵
٪ ۳/۲	۹,۴	۹,۲	۲۰	۲۰
٪۶/۸	۶,۷	۶,۱	۳۰	۲۵
٪ ۷/۴	۹,۴	۱۰	۲۰	۳۰

۸- تشکر و قدردانی

سپاس پروردگار بزرگ را که توفیق انجام این پژوهش را به اینجانب عطا فرمود.

تشکر خالصانه خود را تقدیم می‌نمایم به کلیه عزیزانی که در تدوین و تکمیل مطالعه حاضر نقش برجسته‌ای داشته‌اند.

«شایان گفتن است کلیه اعتبار مالی طرح پژوهشی حاضر، توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر تامین شده است.»

مراجع:

[1] Guglielmino, E., Guglielmino, I. D., Mirone, G. (2000).Caratterizzazione num erico-sperim entale di un go-kart da com petizione. Atti Del XXIX-Convene AIAS, 2000, pp.57-68, Lucca.

[2] Mirone, G. (2003). Multi-body modification of a go-Kart with flexible frame: simulation of the dynamic behavior and experiment validation. Proc. JSAE Int. Body Engineering Conf. 2003.

[3] Ponzo, C. and Renzi, F., Parametric multi-body analysis of kart dynamics. The 30th FISITA World Cong. 2004, Barcelona, Spain.

[4] Muzzupappa, M., Matrangolo, G.,Vena, G., Experimental and numerical analysis of the go-kart frame torsional behavior. XVII Ingegraf–XV ADM. 2005, Seville.

[5] Biancolini, M. E., Cerullo, A. and Reccia, L., Design of a tuned sandwich chassis for competition go-kart. Int. J. Vehicle Design, vol.44, 2007, pp.360-378.

[6] Cianetti, F., Di Pietro, G., Guglielmino, E. and La Rosa, G. (). Structural optimization of a composite material racing-car body. 4th Int. Conf. New Design Frontiers for More Efficient, Reliable and Ecological Vehicles, 1994, Firenze.

.

[7] Kim , K.C., Kim , C.M., Analysis process applied to a high stiffness body for improved vehicle handling properties. Int. J. Automotive Technology, vol.8, 2007, pp.629-636.

[8] Lee, J. H., Yoo, W. S., Predictive control of a vehicle trajectory using a coupled vector with vehicle velocity and sideslip angle. Int. J. Automotive Technology, vol.10, 2, 2009, pp.211-217.

[9] Jazar, R., Vehicle Dynamic theory and application, Springer, 2011.

[10] Mirone, G., Multibody elastic simulatio0n of a Go-kart correlation, International Journal of Automotive Technology, Vol. 11, No. 4, 2010, pp. 461−469.

Archive of SID

www.SID.ir