

بررسی و تحلیل تاثیر جرم مخزن CNG بر مولفه های اصلی عملکرد خودرو

خداداد واحدی^۱، رضا فتح اللهی^۲، سید محمدرضا امام^۳
Rreza.fathollahi@gmail.com

چکیده

با توجه به رشد روزافزون دوگانه سوز کردن خودروها، بررسی و تحلیل تاثیر جرم مخزن CNG بر مولفه های اصلی عملکرد خودرو در صنایع خودرو سازی مورد توجه جدی قرار گرفته است. در اثر اضافه شدن یک مخزن CNG به خودرو علاوه بر افزایش جرم معلق خودرو، جابجایی طولی و جابجایی بلندی مرکز جرم خودرو هم اتفاق می افتد. انتقال مرکز جرم باعث افزایش کم فرمانی خودرو می شود. همچنین تغییر پایداری غلتشی خودرو در پیچ ها و افزایش ممان اینرسی آن حول محور z از موضوعات مهم و قابل تحلیل می باشد. افزایش بلندی مرکز جرم خودرو امکان قفل شدگی چرخ های محور عقب را افزایش داده و باعث افزایش احتمال ناپایداری خودرو در ترمزگیری های شدید می شود. در این مقاله اثرات افزایش جرم مخزن CNG بر مولفه های اصلی عملکرد خودرو از دیدگاه دینامیکی مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی با تست های عملی خودرو مقایسه شده است. نتایج حاصل از تحلیل های دینامیکی با نتایج تست های عملی مطابقت خوبی را نشان می دهد.

کلید واژه:

مخزن CNG - خوش فرمانی - مرکز جرم خودرو - پایداری غلتشی - ترمزگیری - قفل شدگی چرخ ها

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه امام حسین (ع)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه امام حسین (ع)

۳- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه امام حسین (ع)

۱- مقدمه

شده در این مقاله از نتایج تست خودروهای پژو ۴۰۵ و سمند در مرکز ایدیدادا اسپانیا و به سفارش شرکت ایران خودرو می باشد.

۳- تغییرات مرکز جرم خودرو و تاثیرات آن

پراکنندگی جرم خودرو (موقعیت گرانیگاه در صفحه جاده) و سختی کناری تایرها، پارامترهای اولیه موثر بر پایداری سمتی^۱ خودرو می باشند و همچنین توزیع جرم خودرو (ارتفاع گرانیگاه) و پهنای گام خودرو، پارامترهای اولیه موثر در پایداری غلتشی خودرو می باشند [۲].

رفتار چرخشی^۱ خودروهای موتوری از کارکردهای با اهمیت خودرو است که بیشتر با واژه فرمان پذیری یا خوش فرمانی بیان می شود. فرمان پذیری واژه ای گسترده به معنی حساسیت خودرو به ورودی ها و سادگی کنترل آن می باشد. فرمان پذیری معیاری کلی از هماهنگی و همسازی میان خودرو و راننده است. راننده و خودرو یک سیستم مدار بسته را تشکیل می دهند، که راننده با نگاه به راستا و موقعیت خودرو به تصحیح ورودی فرمان برای رسیدن به مسیر مطلوب می پردازد [۳]. جابجایی طولی مرکز جرم خودرو در نتیجه اضافه شدن جرم مخزن CNG به خودرو، باعث تغییر در توزیع وزن خودرو روی محورهای عقب و جلو و به تبع باعث تغییر در فرمان پذیری خودرو به ویژه در چرخش خودرو خواهد شد که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

نظر به اهمیت مرکز جرم و نقش آن در عملکرد و پایداری خودرو، لازم است تا تغییرات مرکز جرم خودرو در اثر اضافه شدن مخزن مورد بررسی قرار گیرد. با استفاده از اطلاعات موجود، مرکز جرم و جابجایی های آن در اثر اضافه شدن مخزن CNG برای یک خودروی نمونه، تعیین شده و سپس با بهره گیری از روابط دینامیکی حاکم، تاثیرات جابجایی مرکز جرم تحلیل می شود.

مقدار $h_{v,0}$ برای ارتفاع مرکز جرم خودرو با وزن کرب^{۱۱} به کار می رود؛ موقع بارگیری خودرو، عموماً مرکز جرم خودرو بالاتر می رود، یعنی برخلاف ارتفاع خودرو که کاهش پیدا می کند، مقدار h_v یا ارتفاع مرکز جرم خودرو افزایش پیدا می کند. مقدار بالارفتن مرکز جرم خودرو وقتی که دو، چهار و یا پنج نفر سوار آن می شوند به جنس فنر محورهای عقب و جلو، ارتفاع صندلی، وزن و جثه

اضافه شدن جرم مخزن CNG به خودروی سواری، علاوه بر افزایش جرم معلق آن، باعث جابجایی طولی و جابجایی بلندی مرکز جرم خودرو نیز می شود، تغییرات فیزیکی اشاره شده بر مولفه های اصلی عملکرد دینامیکی خودرو مانند خوش فرمانی^۱، ترمزگیری^۲ و پایداری غلتشی^۳ و چرخشی^۴ تاثیر می کند که در این مقاله به بررسی و تحلیل این تاثیرات پرداخته شده است.

۲- مروری بر کارهای تحقیقاتی قبلی

تحقیقات انجام گرفته در داخل کشور در حوزه مهندسی خودرو سابقه چندان طولانی ندارد و اکثر مطالعات و تحقیقات انجام گرفته درباره خودرو، معطوف به دینامیک خودرو از جمله مباحثی چون خوش فرمانی، راحتی سفر^۵، مکانیزم سیستم های تعلیق غیرفعال^۶ و فعال^۷ و بهینه سازی آنها، پایداری خودرو و پارامترهای موثر بر آن متمرکز می باشد که شایان تقدیر و قابل استفاده در مطالعات علمی می باشند. بررسی اثرات جرم مخزن CNG بر مولفه های اصلی عملکرد دینامیکی خودرو به ویژه خودروهای سواری که در این مقاله به آن پرداخته شده است از جمله موضوعاتی است که کمتر مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. شیرعلی [۱] و همکارش در مقاله "تغییرات پایداری Rollover و Sideslip اتوبوس های شهری گازسوز" به بررسی تغییرات پایداری و لغزش جانبی اتوبوس های دارای مخزن CNG پرداخته اند و این مقاله از جمله معدود مقالات و مطالعاتی است که درباره عملکرد دینامیکی خودروهای دوگانه سوز و منتشر شده است.

فعالیت های انجام گرفته در صنایع خودروسازی داخلی مانند شرکت ایران خودرو درباره تاثیرات جرم مخزن CNG بر عملکرد خودرو، محدود به ارجاع انجام تست های مربوطه به مرکز تست ایدیدادا^۸ در کشور اسپانیا، که از معتبرترین مراکز تست خودرو در اروپا می باشد، بوده و صرفاً به اخذ تاییدیه از آن مرکز برای استفاده از مخازن CNG در خودروهایی مانند پژو ۴۰۵ و سمند و انجام برخی مدلسازی ها و تحلیل ها با استفاده از نرم افزار ADAMS اکتفا شده است. تاکنون گزارش مستند و جامعی در این باره از سوی شرکت های خودروساز داخلی منتشر نشده است. نمودارهای ارایه

- 1- Handling
- 2- Braking
- 3- Roll Stability
- 4- Yawing Stability
- 5- Ride
- 6- Passive Suspension
- 7- Active Suspension
- 8- IDIADA

9- Directional Stability
10- Cornering

۱۱- منظور از Kerb یا Curb خودرو، وزن خودروی خالی از سرنشین است که باک آن پر از سوخت بوده و همچنین شامل متعلقات خودرو از جمله زاپاس و غیره می باشد.

۴- فرمان پذیری یا خوش فرمانی خودرو [۳]

فرمان پذیری خودرو به ضریبی بنام شیب کم فرمانی^{۱۳} K بستگی دارد. با توجه به علامت شیب کم فرمانی، بسته به اینکه، صفر، مثبت و یا منفی باشد، خودرو به ترتیب تک فرمان^{۱۴}، کم فرمان^{۱۵} و بیش فرمان^{۱۶} خواهد بود. بهترین حالت برای فرمان پذیری، حالت تک فرمان است ولی از آنجاییکه عملاً دستیابی به این حالت بسیار دشوار است، خودروها را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که کم فرمان باشند. برای محاسبه شیب کم فرمانی برای یک خودروی نمونه از

رابطه $K = \left(\frac{W_f}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}}\right) \left(\frac{1}{g}\right)$ برای مقایسه شیب کم فرمانی

خودروی نمونه پژو ۴۰۵ در دو حالت با مخزن CNG و بدون مخزن CNG استفاده می‌کنیم که در رابطه مزبور، W_f بار محور جلو برحسب کیلوگرم، W_r بار محور عقب برحسب کیلوگرم، C_{af} سختی کناری تایرهای جلو برحسب کیلوگرم بر درجه و C_{ar} سختی کناری تایرهای پشت برحسب کیلوگرم بر درجه می‌باشند.

برای خودروی پژو ۴۰۵ که دارای تایر با سایز 185/65 R14 [۴] است، اندازه طوقه^{۱۷} ۱۴ اینچ و نسبت منظر^{۱۸} ۶۵ می‌باشد، لذا می‌توان با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده وزن خودرو روی چهار چرخ، سختی کناری^{۱۹} تایر را با استفاده از نمودارهای شکل (۱) بدست آورد.

جرم خودرو پژو ۴۰۵ بدون مخزن CNG از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$K = \left(\frac{W_f}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}}\right) \left(\frac{1}{g}\right) = \left(\frac{694}{2 \times 63.50} - \frac{450}{2 \times 44.45}\right) \left(\frac{1}{9.81}\right) = \left(\frac{5.464 - 5.061}{9.81}\right) = 0.041 \left(\frac{\text{deg}}{\text{m/s}^2}\right)$$

$$C_{af} = 63.50 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{deg}}\right), C_{ar} = 44.45 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{deg}}\right)$$

خودرو پژو ۴۰۵ با مخزن CNG:

$$K = \left(\frac{W_f}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}}\right) \left(\frac{1}{g}\right) = \left(\frac{771}{2 \times 68.04} - \frac{645}{2 \times 62.59}\right) \left(\frac{1}{9.81}\right) = \left(\frac{5.665 - 5.152}{9.81}\right) = 0.052 \left(\frac{\text{deg}}{\text{m/s}^2}\right)$$

$$C_{af} = 68.04 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{deg}}\right), C_{ar} = 62.59 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{deg}}\right)$$

13- Under steer Gradient
14- Neutral Steer
15- Under Steer
16- Over Steer
17- Rim Size
18- Aspect Ratio
19- Cornering Stiffness

سرنشین ها بستگی دارد. رابطه زیر می‌تواند یک تقریب از بلندی مرکز جرم $h_{v,pl}$ ^{۱۲} باشد:

$$h_{v,pl} = h_{v,0} + \Delta h_v$$

$$\begin{aligned} \text{two people } \Delta h_{v,2} & \gg +12\text{mm} \\ \text{four people } \Delta h_{v,4} & \gg -8\text{mm to } +29\text{mm} \end{aligned} \quad (1)$$

به‌منظور محاسبه تغییرات بلندی مرکز جرم خودروی پژو ۴۰۵ در اثر اضافه شدن مخزن به عنوان یک نمونه از خودروهای دارای مخزن CNG، می‌توان جرم یک مخزن CNG فولادی پر را که در حدود ۱۴۵ کیلوگرم می‌باشد، با جرم دو نفر سرنشین تخمین زد. در نتیجه در اثر اضافه شدن مخزن CNG به خودرویی مانند پژو ۴۰۵، طبق رابطه (۱) مرکز جرم خودرو حدود ۱۲ میلی متر بالاتر می‌رود. با بالانس کردن گشتاورها حول نقطه اثر $m_{v,f}$ (جرم خودرو روی محور جلو) یا $m_{v,r}$ (جرم خودرو روی محور عقب) در فاصله میان دو محور L و در جهت طولی، مرکز جرم و فاصله آن از محور جلو I_f و فاصله از محور عقب I_r را می‌توان بدست آورد.

$$I_f = \frac{m_{v,r}}{m_{v,t}} L; I_r = \frac{m_{v,f}}{m_{v,t}} L = L - I_f \quad (2)$$

با استفاده از رابطه (۲) و اوزان موجود برای خودروی پژو ۴۰۵ [۴]، می‌توان به راحتی جابجایی مرکز جرم خودرو پژو ۴۰۵ در اثر اضافه شدن مخزن CNG به جرم تقریبی ۱۴۵ کیلوگرم را بدست آورد. مرکز جرم خودرو پژو ۴۰۵ بدون مخزن CNG:

$$I_f = \frac{m_{v,r}}{m_{v,t}} L = \frac{450(\text{kg})}{1144(\text{kg})} \times 2654(\text{mm}) = 1043.96(\text{mm})$$

$$I_r = \frac{m_{v,f}}{m_{v,t}} L = L - I_f = 2654 - 1043.96 = 1610.04(\text{mm})$$

مرکز جرم خودرو پژو ۴۰۵ با مخزن CNG:

$$I'_f = \frac{m'_{v,r}}{m'_{v,t}} L = \frac{584(\text{kg})}{1290(\text{kg})} \times 2654(\text{mm}) = 1201.50(\text{mm})$$

$$I'_r = \frac{m'_{v,f}}{m'_{v,t}} L = L - I'_f = 2654 - 1201.50 = 1452.50(\text{mm})$$

بنابراین مرکز جرم خودرو پژو ۴۰۵ در اثر اضافه شدن مخزن CNG به جرم تقریبی ۱۴۵ کیلوگرم به اندازه $I_r - I'_r = 1610.04 - 1452.50 = 157.54(\text{mm})$ به سمت محور عقب خودرو جابجا می‌شود.

12- Index pl= partial loaded or partly laden

$$c=L \frac{C_{af}}{C_{af}+C_{ar}}=2654 \times \frac{63.5}{63.5+44.45}=1560.55 \text{ (mm)}$$

$$e=l_r-c=1610.04-1560.55=49.49 \text{ (mm)}$$

خودرو پژو ۴۰۵ با مخزن:

$$c'=L \frac{C_{af}}{C_{af}+C_{ar}}=2654 \times \frac{68.04}{68.04+62.59}=1380.08 \text{ (mm)}$$

$$e'=l'_r-c=1452.50-1380.08=72.42 \text{ (mm)}$$

با توجه به تعاریف و محاسبات فوق و شکل (۲) درباره حاشیه استاتیکی، می توان نتیجه گرفت که پس از اضافه شدن مخزن CNG به خودروی پژو ۴۰۵، کماکان نقطه تک فرمان پیش از مرکز جرم قرار دارد و با افزایش فاصله مزبور، کم فرمانی خودرو افزایش یافته است.

۵- تغییرات پایداری خودروی دارای مخزن CNG

پایداری و واژگونی خودرو که در دینامیک خودرو تحت عنوان باژگونش^{۲۲} بیان می شوند از رفتارهای مهم یک خودرو به شمار می روند. از پارامترهای تاثیرگذار بر روی این رفتار، ابعاد خودرو، توزیع وزن و در نهایت ارتفاع مراکز مهم می باشد که شامل بلندی مرکز جرم و بلندی مرکز غلت است در حقیقت باژگونش، پاسخ خودرو در مقابله با نیروهای خارجی اعمال شده روی خودرو از طرف جاده می باشد [۶].

پایداری یک خودرو با در نظر گرفتن سیستم تعلیق علی الخصوص در پیچها رابطه ای معکوس با فاصله مرکز جرم h_v تا محور غلت دارد ($h=h_v-h_r$). یعنی هرچه فاصله بین مرکز جرم تا محور غلت بیشتر باشد پایداری خودرو کاهش می یابد و هرچه این اختلاف کمتر باشد، پایداری افزایش خواهد یافت. رابطه معکوس بین این فاصله با پایداری خودرو به این علت است که نیروی خارجی وارد شده به خودرو بویژه نیروی شعاعی جانب مرکز در هنگام دور زدن به مرکز جرم وارد می شود و بدیهی است که این نیروها حول محور خنثی خودرو گشتاور ایجاد می کنند. مقدار این گشتاور در پایداری و ناپایداری خودرو نقش اساسی خواهد داشت. بنابراین اگر مقدار این گشتاور که رابطه ای مستقیم با h دارد از حد مجاز بیشتر شود باعث واژگون شدن خودرو می شود.

هرچه نیروی جانب مرکز افزایش یابد، شتاب عامل واژگونی خودرو نیز افزایش می یابد. شتاب جانبی که در آن شتاب، باژگونش شروع

مشاهده می شود که با اضافه شدن مخزن CNG (جرم حدود ۱۴۵ کیلوگرم) به خودرو پژو ۴۰۵، شیب کم فرمانی آن اندکی افزایش می یابد و در واقع فرمان خودرو، کم فرمان تر می شود؛ لذا می توان نتیجه گرفت که وضعیت فرمان پذیری خودرو و در واقع پایداری سمتی^{۲۰} خودرو تغییر چندانی نمی کند.

یکی از پارامترهای مهم دیگر در بررسی عملکرد دینامیکی خودرو که در فرمان پذیری آن نیز نقش دارد، حاشیه استاتیکی^{۲۱} خودرو است که همانند شیب کم فرمانی، معیاری از رفتار مانای خوش فرمانی خودرو است. حاشیه استاتیکی با نقطه ای از خودرو که اعمال نیروی کناری در آن سرعت چرخشی مانا ایجاد نمی کند (نقطه تک فرمان) مشخص می شود. خط تک فرمان، مکان هندسی نقاطی از صفحه x-z است که در راستای آن نیروهای کناری بیرونی، سرعت چرخشی مانا ایجاد نمی کنند.

با توجه به اینکه حاشیه استاتیکی خودرو عبارت است از فاصله نقطه تک فرمان تا گرانیگاه که توسط فاصله محور چرخ ها بی بعد گردیده است، بنابراین:

$$\text{Static Margin} = \frac{e}{l} \quad (۳)$$

هنگامی که نقطه تک فرمان پیش از گرانیگاه است، حاشیه استاتیکی مثبت و خودرو کم فرمان است. در گرانیگاه، حاشیه استاتیکی صفر بوده و خودرو تک فرمان است و هنگامی که نقطه پس از گرانیگاه است، حاشیه استاتیکی منفی گردیده و خودرو بیش فرمان است. در خودروها عموماً حاشیه استاتیکی در بازه ۰/۰۵ تا ۰/۰۷ است [۳].

فاصله نقطه تک فرمان از محور عقب خودرو را می توان با استفاده از رابطه زیر بدست آورد:

$$c=L \frac{C_{af}}{C_{af}+C_{ar}} \quad (۴)$$

که در آن:

c : فاصله نقطه تک فرمان تا محور عقب، L : فاصله دو محور خودرو، C_{af} : سختی کناری تایر محور جلو و C_{ar} : سختی کناری تایر محور جلو است.

می توان فاصله نقطه تک فرمان تا گرانیگاه (e) را برای خودروی پژو ۴۰۵ که فاصله بین دو محور آن ۲۶۵۴ میلی متر است بصورت زیر محاسبه کرد:

خودرو پژو ۴۰۵ بدون مخزن:

می‌شود، شتاب آستانه واژگونی می‌گویند که توسط رابطه زیر با بلندی مرکز جرم و بلندی مرکز غلت در بیان می‌شود [۳]:

$$a_v = \frac{t}{g \left[2h_v \left(1 + R_\phi \left(1 - \frac{h_r}{h_v} \right) \right) \right]} \quad (5)$$

که در رابطه فوق:

t: گام خودرو^{۲۳}، R_ϕ : نرخ غلتش^{۲۴}،

h_v : بلندی مرکز جرم خودرو

h_r : بلندی مرکز غلت از سطح جاده در راستای مرکز جرم

همچنانکه پیشتر ذکر شد، ارتفاع مرکز جرم خودروی نمونه پژو ۴۰۵ در اثر اضافه شدن مخزن CNG به اندازه تقریبی ۱۲-۱۰ میلی متر به سمت بالا جابجا می‌شود و به اندازه حدود ۱۵۷ میلی متر هم به سمت محور عقب خودرو جابجا می‌شود. لذا برای خودروی پژو ۴۰۵ که سیستم تعلیق محور جلو آن از نوع مک فرسون^{۲۵} و سیستم تعلیق محور عقب آن از نوع بازوهای پیرو^{۲۶} می‌باشد، محور غلت در وضعیت نشان داده شده در شکل شماره (۳) بوده و در نتیجه جابجایی مرکز جرم خودرو، فاصله مرکز جرم خودرو تا محور غلت خودرو ($h = h_v - h_r$) افزایش پیدا می‌کند. همانطور که در بخش قبلی ذکر شد، افزایش فاصله مزبور باعث کاهش پایداری غلتشی خودرو پژو ۴۰۵ خواهد شد.

۶- ممان اینرسی جرم [۵]

علاوه بر نوع رانش، ممان اینرسی خودرو حول محور عمودی $J_{z,v}$ عامل تعیین کننده برای عملکرد پیچیدن خودرو می‌باشد. همچنانکه ممان اینرسی کاهش می‌یابد، قابلیت مانوردهی افزایش پیدا می‌کند، در حالیکه پایداری رانندگی خودرو وقتیکه در یک خط مستقیم و پیچ‌های S شکل حرکت می‌کند، به همان مقدار کاهش می‌یابد.

اگر طول خودرو L_t و فاصله دو محور l در معادلات زیر در نظر گرفته شوند، ممان اینرسی خودرو حول محور z را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$J_{z,v} = 0.1269 m_{v,t} l L_t + \Delta m l_x^2 \quad (\text{kg m}^2) \quad (6)$$

جایی که l_x فاصله بین جرم بارگذاری Δm تا مرکز جرم خودرو می‌باشد.

خودرو پژو ۴۰۵ بدون مخزن:

$$m_{v,t} = 1144 \text{ (kg)}, L_t = 4.407 \text{ (m)}, l = 2.654 \text{ (m)}$$

$$J_{z,v} = 0.1269 m_{v,t} l L_t = 0.1269 \times 1144 \times 2.654 \times 4.407 =$$

$$1697.97 \text{ (kg m}^2\text{)}$$

خودرو پژو ۴۰۵ با مخزن:

$$m_{v,t} = 1290 \text{ (kg)}, L_t = 4.407 \text{ (m)}, l = 2.654 \text{ (m)}$$

$$\Delta m = 145 \text{ (kg)}, l_x @ 1.35 \text{ (m)}$$

$$J_{z,v} = 0.1269 m_{v,t} l L_t + \Delta m l_x^2 =$$

$$0.1269 \times 1290 \times 2.654 \times 4.407 + 145 \times 1.35^2 =$$

$$1962.23 \text{ (kg m}^2\text{)}$$

با توجه به نتایج بالا، معلوم می‌شود که در اثر اضافه شدن مخزن CNG به خودرو ممان اینرسی خودرو حول محور z افزایش می‌یابد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مانوردهی آن کاهش می‌یابد ولی پایداری خودرو در مسیر مستقیم و پیچ‌های S شکل افزایش می‌یابد.

۷- ترمز گیری

واضح است که نیروی ترمزی لازم برای کندش خودرو و ایست آن ارتباط مستقیمی با ضریب اصطکاک لاستیک چرخها با سطح جاده و نیروی عمودی وارد بر سطح جاده از طرف چرخها دارد. افزایش جرم مخزن CNG به جرم معلق خودرو به طور معمول حدود ۱۲-۱۰ درصد وزن خودرو و به تبع نیروی عمودی وارد بر سطح تماس چرخها را افزایش می‌دهد. همین امر موجب افزایش نیروی ترمزی به هنگام کندش و ایست خودرو است. اما موضوع مهمتر رفتار ترمزگیری و پایداری خودرو در ترمزگیری است که ذیلاً به بررسی آن پرداخته شده است [۵].

وقتی که راننده ترمز می‌کند، نیروی ترمزی معادل، به عنوان نیروی واکنشی در مرکز جرم V کل خودرو عمل می‌کند:

$$F_{x,v,b} = \mu_{x,w} F_{z,v,t} \quad (7)$$

جهت طولی کاهش پیدا می کند، بلکه در جهت کناری^{۲۸} نیز کمتر می شود. اگر محور عقب قفل کند، نیروهای کناری در چرخهای غلتنده محور جلو اتفاق خواهد افتاد، که باعث تشدید مسئله می شود، و در صورت حتی یک گردش^{۲۹} جزیی، شرایط ناپایدار می شود (شکل ۵). لیکن، اگر محور جلو قفل کند، چرخهای عقبی که هنوز در حال غلتیدن هستند، نیروهای کناری پایدار کننده تولید می کنند که این شرایط، پایدار است (شکل ۶).

واضح است که هرچقدر که نیروی ترمزی در محور عقب کمتر باشد امکان قفل شدگی چرخهای محور عقب و ناپایداری خودرو نیز بیشتر خواهد بود؛ لذا افزایش جرم مخزن CNG که باعث بالاتر آمدن مرکز جرم خودرو و به تبع افزایش بار انتقالی از محور عقب به محور جلو و در نتیجه آن، افزایش نیروی ترمزی محور جلو و کاهش نیروی ترمزی محور عقب می شود، امکان قفل شدگی چرخهای محور عقب را بیشتر کرده و امکان ناپایداری خودرو را در ترمزگیری های شدید توسط راننده فراهم می کند که نامطلوب است؛ در نتیجه، ضرورت دارد که از شیرهای تناسبی^{۳۰} و یا سیستم ترمز ضد قفل برای خودروهایی که مخزن CNG به آنها اضافه می شود استفاده شود تا خطر قفل شدگی و ناپایداری ناشی از آن مرتفع شود [۷].

۸- تست های انجام گرفته بر روی خودروی نمونه

از آنجایی که در بررسی و تحلیل عملکرد خودرو به صورت محاسبات نظری، بسیاری از ساده سازی ها در معادلات دیفرانسیل به دلیل اجتناب از پیچیدگی معادلات و قابل حل بودن آنها صورت می پذیرد، لذا اکثر پارامترهای عملیاتی که در عملکرد خودرو دخالت دارند حذف شده و نمی توان از عملکرد صحیح و ایمن خودرو منطبق با نتایج تحلیل های نظری اطمینان حاصل کرد. لذا ضروری است که یک سری از تست های استاندارد و عملی برای خودرو تحت شرایط مشخص انجام شود تا از عملکرد و ایمنی خودرو در وضعیت جدید اطمینان حاصل شود.

تست شعاع ثابت - حالت پایدار از جمله تست های رایج برای اندازه گیری شیب کم فرمانی خودرو است که بر اساس ISO 4138 (E) 1996 انجام می شود. این تست را به چندین روش می توان انجام داد. معمولاً وضعیت شعاع ثابت و سرعت متغیر که تحت شرایط پیوسته انجام می شود، مورد استفاده قرار می گیرد.

یعنی ضریب اصطکاک $\mu_{X,W}$ ضربدر نیروی وزن کل خودرو $F_{Z,V,t}$ برابر نیروی ترمزی است.

نیروی ترمزی $F_{X,V,B}$ که روی مرکز جرم خودرو عمل می کند، باعث بوجود آمدن نیروهای طولی $F_{X,W,B,f}$ و $F_{X,W,B,r}$ در مرکز نقاط تماس چرخ محورهای جلو و عقب شده و همچنین باعث یک افزایش $+F_{Z,V,0}$ در بار محور جلو و یک کاهش $-F_{Z,V,0}$ در بار محور عقب می شود. وقتی که خودرو به عنوان یک جسم صلب در نظر گرفته می شود، با توجه به شکل (۴)، معادلات به صورت زیر خواهد بود:

$$\Delta F_{Z,V,0} = \mu_{X,W} F_{Z,V,t} \chi \quad (\text{kN}) \quad (8)$$

$$\chi = h_V / l \quad (9)$$

پارامتر χ ، ضریب بدون بعد و نشان دهنده تاثیر مستقیم اندازه ارتفاع مرکز ثقل خودرو h_V و تاثیر معکوس فاصله بین محور عقب و جلوی خودرو l ، بر مقدار بار انتقالی $\Delta F_{Z,V,0}$ از محور عقب به محور جلو در ترمزگیری می باشد.

$$F_{Z,V,f,dyn} = F_{Z,V,f} + \Delta F_{Z,V,0} \quad \& \quad F_{Z,V,r,dyn} = F_{Z,V,r} - \Delta F_{Z,V,0} \quad (10)$$

نیروی ترمزی محور جلو:

$$F_{X,W,B,f} = \mu_{X,W} F_{Z,V,f,dyn} \quad (11)$$

نیروی ترمزی محور عقب:

$$F_{X,W,B,r} = F_{X,V,B} - F_{X,W,B,f} = \mu_{X,W} F_{Z,V,r,dyn} \quad (12)$$

مرکز جرم پایین تر و فاصله دو محور بیشتر، باعث انتقال بار $\Delta F_{Z,V,0}$ کمتر می شود (که نامطلوب است) و برعکس.

برای مثال برای خودروی پژو ۴۰۵ دوگانه سوز که مرکز جرم آن به اندازه ۱۲-۱۰ میلی متر نسبت به حالت پایه به سمت بالا جابجا شده است، $\Delta F_{Z,V,0}$ افزایش می یابد و همین امر باعث افزایش نیروی ترمزی چرخهای محور جلو می شود.

۷-۱- پایداری در ترمزگیری

اگر هر دو چرخ یک محور در صورت عدم استفاده از سیستم ترمز ضد قفل^{۲۷}، قفل کند، یعنی روی جاده بلغزد، نه تنها اصطکاک در

28- Lateral
29- Yawing
30- Proportioning Valves

فواصل، قدری متفاوت تر از ۲ خودروی دیگر می باشد. در مجموع می توان موارد زیر را نتیجه گرفت:

- سرعت کمتر خودرو دوگانه سوز در تمام مدت مانور همچنانکه زاویه لغزش کمتر می شود، از دست می رود و خودرو دوگانه سوز در طول مسیر تا انداره‌ای آسان تر رانده می شود.
- برای این تست، خودروی دوگانه سوز نشان داده است که در طی مسیر، بطور شگفت آوری سریع است و در کل رفتار قابل کنترل و سریع دارد.

۹- نتیجه گیری

همچنانکه در متن مقاله به تفصیل بیان شد، عمده ترین تاثیر فیزیکی که در اثر اضافه شدن مخزن CNG به خودرو وارد می شود، جابجایی طولی و بلندی مرکز جرم خودرو می باشد. این فاکتور بیشترین تاثیر را بر فرمان پذیری یا خوش فرمانی، رفتار ترمزگیری و پایداری در ترمزگیری و همچنین پایداری غلتشی خودرو به ویژه وقتی که خودرو با شتاب جانب مرکز بالا در حال گردش باشد، می گذارد. شیب کم فرمانی خودرویی که مخزن CNG به آن اضافه می شود به واسطه تغییر پراکندگی جرم خودرو، افزایش می یابد، یعنی خودرو که معمولا به صورت کم فرمان طراحی می شود در اثر این تغییر کماکان کم فرمان باقی می ماند.

در اثر تغییر فاصله بین محور غلت خودرو و مرکز جرم آن، گشتاور ناشی از نیروی شعاعی جانب مرکز که در هنگام دور زدن به مرکز جرم خودرو وارد می شود نیز تغییر یافته و احتمال باژگوش خودرو در پیچها، متناظر با افزایش یا کاهش فاصله مرکز جرم تا محور غلت، تغییر می یابد.

افزایش بلندی مرکز جرم خودرو در اثر اضافه شدن مخزن به خودرو تاثیرات متعددی بر عملکردهای مختلف خودرو خواهد داشت که در نتیجه آن، ممان اینرسی جرم خودرو حول محور z که عامل تعیین کننده برای عملکرد پیچیدن خودرو بوده و معمولا در مطالعات پایداری خودرو مورد توجه قرار می گیرد، افزایش می یابد. در اثر افزایش ممان اینرسی جرم خودرو حول محور z، مانوردهی خودرو کم شده ولی پایداری خودرو در مسیر مستقیم و پیچهای S شکل قدری افزایش می یابد.

افزایش جرم معلق خودرو، نیروی عمودی وارد بر سطح تماس چرخها با جاده و به تبع نیروی ترمزی هر دو محور را به هنگام کندش و ایست خودرو افزایش می دهد و در نتیجه باعث بهبود ترمزگیری خودرو می شود. اما موضوع مهمتر، رفتار ترمزگیری و پایداری خودرو در ترمزگیری است. در اثر افزایش بلندی مرکز جرم خودرو، بار انتقالی از محور عقب خودرو به محور جلو به هنگام

تست عبور از موانع در مسیر^{۳۱} نیز از جمله تستهای رایج می باشد که در آن نتایج مانور تغییر مسیر شدید ارائه می شود. معمولا در شروع، تست با سرعت کم و متعادل حدود ۵۵ Km/hr و به صورت پله ای با افزایش تقریبی ۵ Km/hr تا محدوده مورد نظر انجام می شود و برای هر سرعت تست، ۳ دور رانش انجام می شود. سرعت ماکزیمم وقتی که نتوان بدون برخورد به مخروطها (موانع) از مسیر تعیین شده عبور کرد، بدست می آید. (خودروی VP4، خودروی پژو ۴۰۵ بنزینی در وضعیت طراحی پایه و خودروی VP3، خودروی پژو ۴۰۵ دارای مخزن CNG است که بعضی تغییرات در آن صورت گرفته است).

۸-۱- نتایج حاصل از تستهای انجام شده

در نمودار شکل (۷)، ملاحظه می شود که تا شتاب جانبی 6 m/s^2 افزایش زاویه غریبک فرمان در هر ۳ نوع خودرو به صورت خطی بوده و تقریبا برهم منطبق است؛ با افزایش بیشتر شتاب جانبی، رفتار خودروی دارای مخزن CNG، سریعا از حالت خطی خارج شده و افزایش شدیدتری پیدا می کند [۴].

در نمودار شکل های (۸) و (۱۱)، زاویه لغزش و زاویه لغزش به کنار برای هر ۳ نوع خودرو تا شتاب جانبی 6 m/s^2 حالت خطی داشته و پس از آن، افزایش بیشتری برای هر ۳ نوع خودرو دارد.

در نمودار شکل (۹)، زاویه غریبک فرمان برای هر ۳ نوع خودرو با افزایش سرعت طولی خودرو تا سرعت ۸۵ Km/hr به صورت خطی افزایش می یابد ولی پس از آن خودروی دارای مخزن CNG افزایش زاویه شدیدتری از خود نشان می دهد.

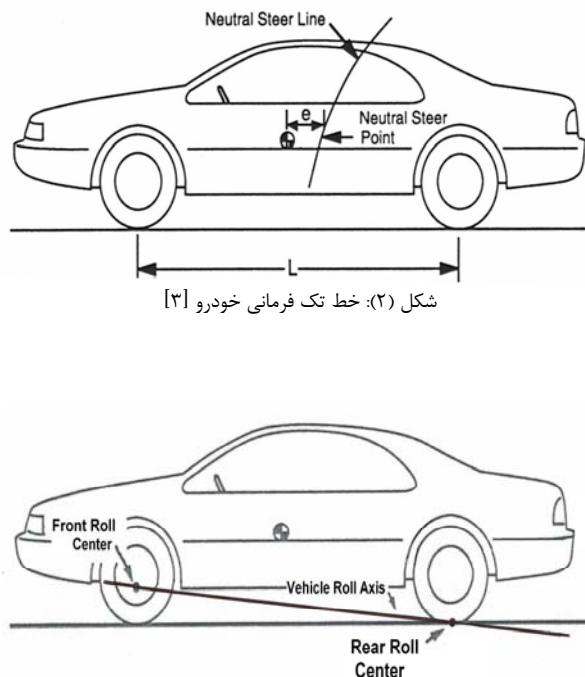
با توجه به نمودارهای مذکور می توان موارد زیر را از تست شعاع ثابت - حالت پایدار نتیجه گرفت:

- فرمان خودرو بنزینی کمتر از خودروی دارای مخزن CNG، کم فرمان است و در واقع با اضافه شدن مخزن، کم فرمانی خودرو افزایش می یابد که این نتیجه با تحلیل دینامیکی انجام شده همخوانی دارد.

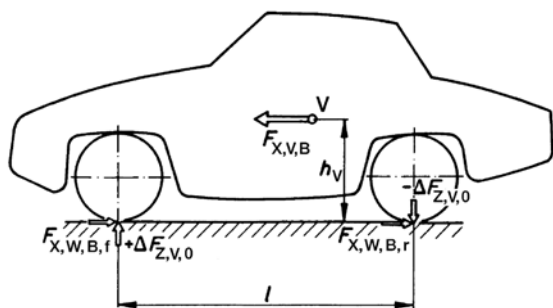
- افزایش تدریجی زاویه لغزش بین عقب و جلو خودرو به خوبی بالانس می شود.

نمودارهای شکل (۱۳) برای تست عبور از موانع در مسیر، رفتار تقریبا مشابهی را برای هر ۳ نوع خودرو در حالت بدون سرنشین و با سرنشین نشان می دهند. رفتار خودروی دارای مخزن در بعضی

نظر به افزایش احتمال ناپایداری چرخشی خودروی دارای مخزن CNG بواسطه افزایش امکان قفل شدگی چرخهای عقبی در ترمزگیریهای شدید و ناگهانی، ضروری است که در خودروهای دارای مخزن از ترمزهای دارای سیستم ضد قفل (ABS) استفاده شود.

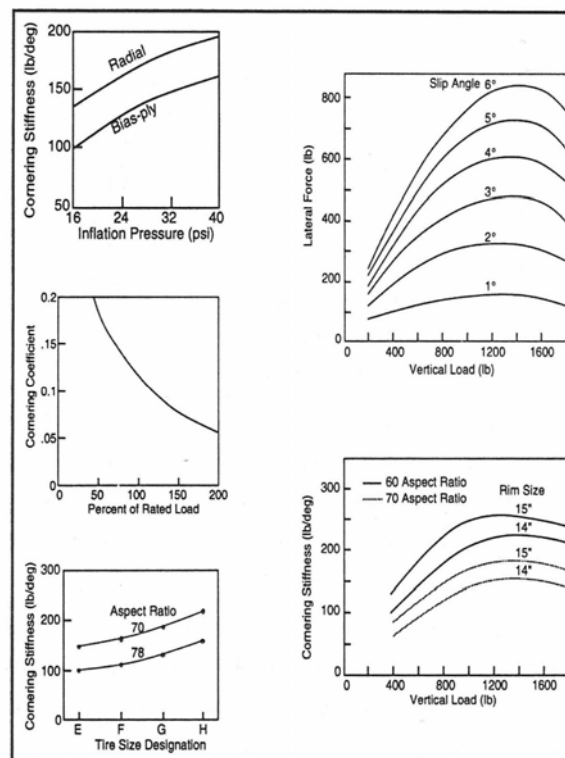


شکل (۳): شکل شماتیک مراکز غلت و محور غلت خودروی پژو ۴۰۵



شکل (۴): نیروی ترمزی که روی مرکز جرم خودرو V عمل می کند، باعث انتقال بار محورها به اندازه $\pm \Delta F_{Z,V,0}$ و اعمال نیروهای ترمزی $F_{X,W,B,r}$ روی محور جلو و $F_{X,W,B,r}$ روی محور عقب می شود. اگر از مقاومت های آیرودینامیک و غلت صرف نظر شود، نیروها به آسانی قابل محاسبه هستند [۵]

ترمزگیری نیز افزایش می یابد و در نتیجه نیروی ترمزی محور جلو افزایش و نیروی ترمزی محور عقب کاهش می یابد که همین امر، امکان قفل شدگی چرخهای محور عقبرا افزایش می دهد، در نتیجه احتمال ناپایداری چرخشی در ترمزگیری های شدید و ناگهانی افزایش می یابد که نامطلوب است.

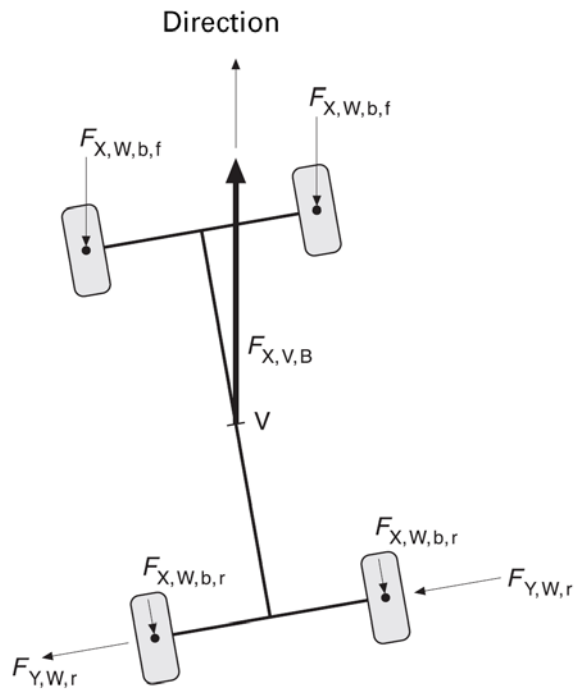


شکل (۱): متغیرهای موثر بر سختی کناری تایر [۳]

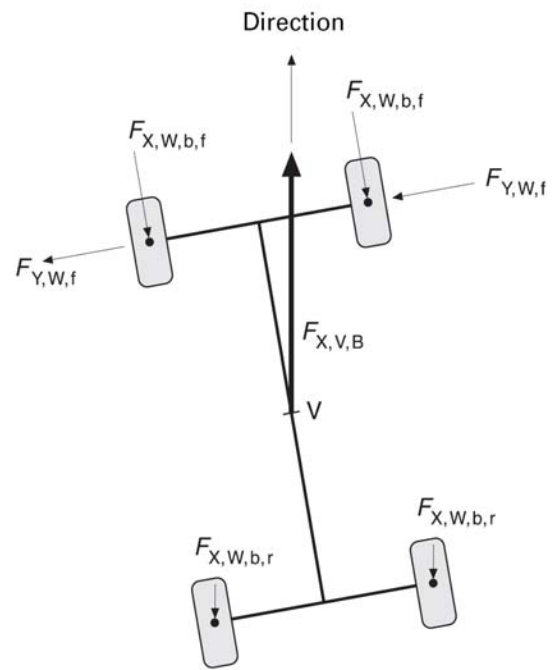
۱۰- ارائه پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصله از بررسی های دینامیکی فوق و با عنایت به اینکه تاثیرات منفی افزایش جرم مخزن CNG به جرم معلق خودرو بیشتر از اثرات مثبت آن می باشد، پیشنهاد می شود که شرکت های خودروساز داخلی به جای اعمال تغییر در پیکربندی خودروهای بنزین سوز، به طراحی و ساخت خودروهای پایه گازسوز اقدام نمایند.

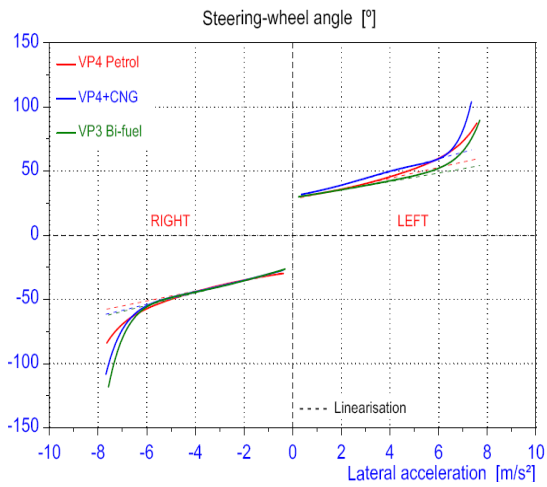
به منظور افزایش راحتی سفر خودروهای دارای مخزن، پیشنهاد می شود که در سیستم تعلیق عقب خودرو از دمپرهای (کمک فنر) گازی، در صورت وجود فضای فیزیکی لازم استفاده شود. همچنین پیشنهاد می شود که افت استاتیکی ناشی از وزن مخزن را در محور عقب با انتخاب فنرهای دارای سختی بالاتر و افزودن فشار باد لاستیک چرخهای عقبی جبران شود.



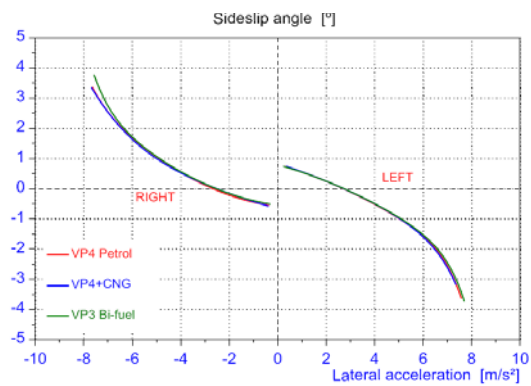
شکل (۶): وقتی که چرخ‌های جلو قفل می‌کنند، شرایط خودرو پایدار باقی می‌ماند اگرچه که نمی‌توان دیگر خودرو را فرمان دهی کرد [۵]



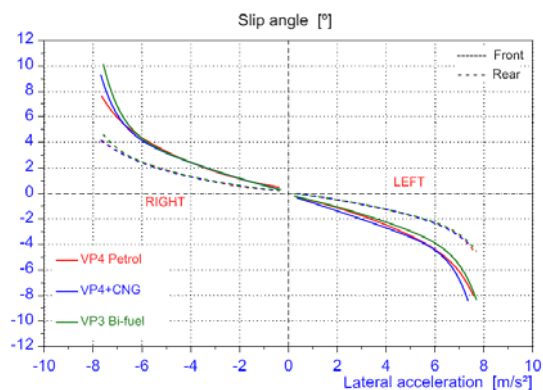
شکل (۵): چرخ‌های عقب قفل کننده منجر به شرایط رانندگی ناپایدار می‌شوند [۵]



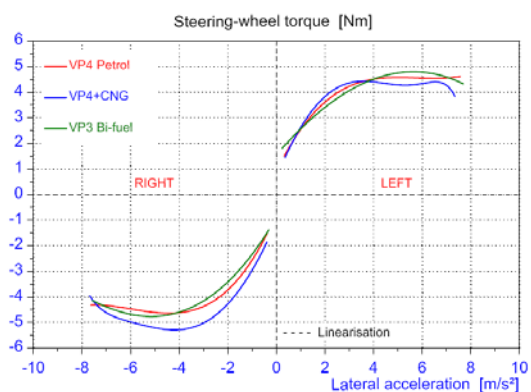
شکل (۷): زاویه غربیلک فرمان در مقایسه با شتاب جانبی [۴]



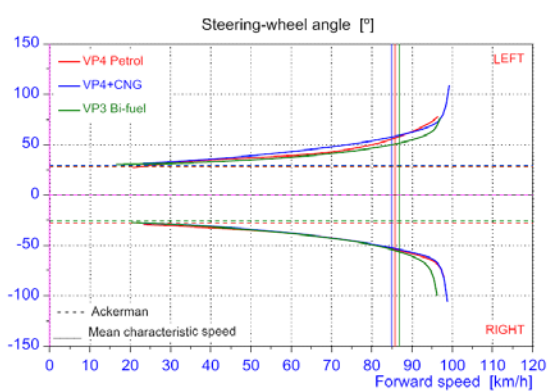
شکل (۱۱): زاویه لغزش به کنار در مقایسه با شتاب جانبی [۴]



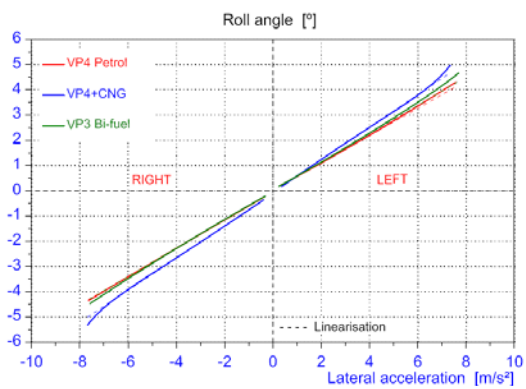
شکل (۸): زاویه لغزش در مقایسه با شتاب جانبی [۴]



شکل (۱۲): گشتاور غربلیک فرمان در مقایسه با شتاب جانبی [۴]



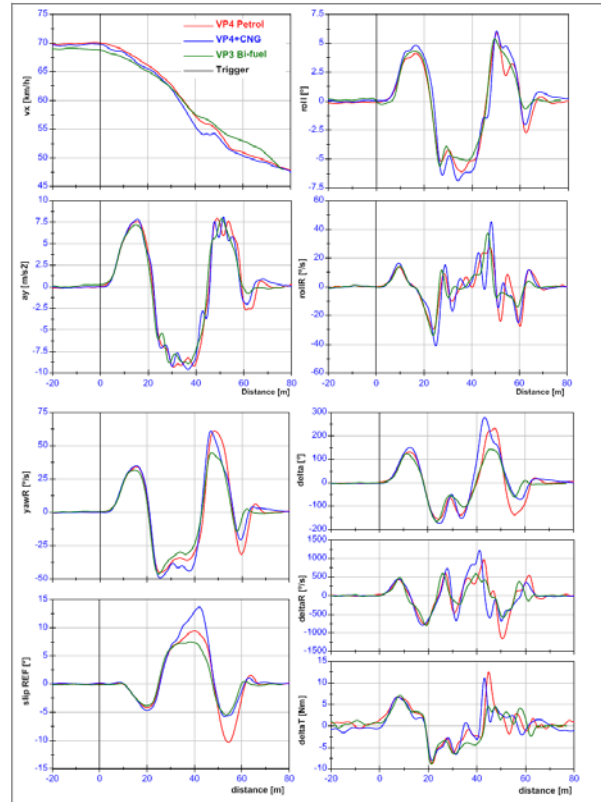
شکل (۹): زاویه غربلیک فرمان در مقایسه با سرعت [۴]



شکل (۱۰): زاویه غلت در مقایسه با شتاب جانبی [۴]

۱۱- مراجع

- [۱] ه. شیرعلی، م. رستم نژاد، "تغییرات پایداری Rollover و Sideslip اتوبوسهای شهری گازسوز"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس تبدیل سوخت خودروها به گاز طبیعی فشرده، سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، ۱۳۸۱.
- [۲] ر. کاظمی، ع.ا. جعفری، س.م.م. انصاری موحد، "اصول طراحی سیستمهای تعلیق و فرمان خودرو"، انتشارات نخل دانش، چاپ دوم، ۱۳۸۴.
- [۳] ت. گیلیسی، برگردان: ر. کاظمی، س.م.م. انصاری موحد، "مبانی دینامیک خودرو"، نشریه پیام ایران خودرو، ۱۳۸۱.
- [4] Report No. SC 050203-1, Project No. 050203, "Vehicle dynamics measurements with IKCO / Peugeot 405 bi-fuel and petrol", IDIADA, Spain, 2005.
- [5] Reimpel, Jornsens & Stoll, Helmut & Betzler, Jurgen W. "The Automotive Chassis", Butterworth-Heinemann, Second Edition, 2001.
- [6] Happian-Smith, Julian "An Introduction to Modern Vehicle Design", Butterworth-Heinemann, 2002.
- [7] Karnopp, Dean "Vehicle Stability", Marcel Dekker Inc., 2004.



شکل (۱۳): تاریخچه زمانی میانگین یابی شده سریعترین رانش ها شرایط بدون سرنشین [۴]