

تحلیل دینامیکی اثرات سرعت گیر و سرعت کاهها روی آسایش سرنشینان خودروی پراید با مدل یک چهارم خودرو و بهینه سازی شکل سرعت گیر و سرعت کاه

حامد قربانیان^۱

ghorbanian64@yahoo.com

احسان جمشیدی^۲

ehsan.jamshidi@gmail.com

محمد رضا آشوری^۳

mrashory@yahoo.com

چکیده

ارتقاء سطح ایمنی در شبکه معابر شهری نقش مهمی در افزایش اعتماد پذیری و کارایی شبکه حمل و نقل دارد و یکی از مهم ترین پارامترهای مؤثر در افزایش ایمنی، کنترل سرعت وسایل نقلیه می باشد، به طوری که موجب کاهش تعداد و شدت تصادفات بین وسایل نقلیه و افزایش ایمنی عبور عابر پیاده می گردد. در این راستا سرعت گیر^۴ و سرعت کاهها^۵ نقش مهمی در کاهش سرعت وسایل نقلیه در سطح شهر ایفا می کنند. متأسفانه در ایران به دلایل بسیاری از جمله طراحی های نادرست، استفاده بیش از حد و بی مورد از سرعت گیرها و همچنین تعیین محل نصب به صورت سلیقه ای بدون رعایت استانداردهای جهانی باعث شده تا این ابزار در کنترل سرعت خودروها، کم اثر باشد و این امر موجب شده تا آسیب به سیستم تعلیق خودروها به حداکثر برسد و به تبع آن ناراحتی سرنشینان همه خودروها را از جمله خودروهایی که هنگام عبور از روی سرعت گیرها با سرعت مجاز در حال حرکت هستند، به دنبال داشته باشد. یکی از مهم ترین ایراداتی که به سرعت گیرها وارد است نیز تأخیر در خدمات رسانی خودروهای اورژانس و آتش نشانی است. در این مقاله ابتدا انواع سرعت گیرهای موجود معرفی شده و با ساخت مدل یک چهارم^۵ خودروی پراید با جعبه ابزار سیمولینک^۶ در نرم افزار متلب^۷، اثرات آنها روی خودرو و سرنشینان آن بررسی شده است. سپس با استفاده از استاندارد ISO 2631-1، شتابهای عمودی که سرنشینان خودرو در آن احساس راحتی می کنند به دست آمده و با استفاده از الگوریتم ژنتیک^۸، طرحی جدید که با این استاندارد سازگار باشد برای سرعت گیر و سرعت کاه به دست آمده است. با استفاده از طرح بهینه سرعت گیر و سرعت کاه در سطح شهر، خودروهایی که با سرعت مجاز از روی آن ها عبور می کنند سرنشینان آن در منطقه راحتی کامل و خودروهایی که با سرعت غیرمجاز از روی آن ها می گذرند سرنشینان آن در منطقه ناراحتی کامل قرار دارند.

واژه های کلیدی: سرعت گیر، سرعت کاه، مدل یک چهارم خودرو، آسایش سرنشینان، سیمولینک، الگوریتم ژنتیک.

1. دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

2. استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

3. دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

⁴.Speed bump

⁵.Quarter model

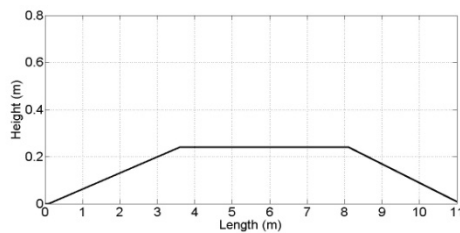
⁶.Simulink

⁷.Matlab (R2013, version)

⁸.Genetic algorithm

مقدمه

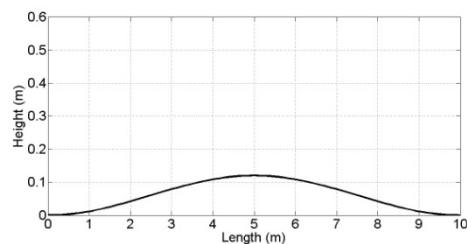
این دسته از سرعت‌کاه‌ها در اکثر موارد از جنس آسفالت ساخته می‌شوند و برآمدگی پیوسته‌ای در عرض معبر ایجاد می‌کنند. این سرعت‌کاه‌ها دارای عرض ورودی، عرض تخت و عرض خروجی می‌باشند. بازه تغییرات عرض کلی آن‌ها از ۹ تا ۱۱ متر و ارتفاع آن بین ۰/۲ تا ۰/۳ متر می‌باشد. ابعاد سرعت‌کاه دوزنقه ای که در سطح شهر ساخته شده‌اند با یکدیگر متفاوت است اما بیش‌ترین نوع ساخته شده دارای عرض ورودی ۳/۵ متر، عرض تخت ۴/۵ متر، عرض خروجی ۳ متر و ارتفاع ۰/۲۴ متر است.



شکل ۲- سرعت‌کاه دوزنقه ایشبیه سازی شده در متلب

۱-۳ سرعت‌کاه کوهانی

این دسته از سرعت‌کاه‌ها نیز در اکثر موارد از جنس آسفالت ساخته می‌شوند. این سرعت‌کاه‌ها دارای ارتفاع و زاویه ورود کمتری نسبت به دیگر سرعت‌کاه‌ها است. معمولاً عرض این نوع سرعت‌کاه‌ها دارای بازه تغییرات از ۸ تا ۱۲ متر و ارتفاع آن‌ها بین ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ متر متغیر می‌باشد. در این نوع سرعت‌کاه نیز مانند نوع قبلی، ابعاد آن در سطح شهر با یکدیگر متفاوت است اما بیش‌ترین نوع ساخته شده دارای عرض ۱۰ متر و ارتفاع ۰/۱۲ متر است.



شکل ۳- سرعت‌کاه کوهانی‌شبه سازی شده در متلب

۲- مدل یک چهارم خودروی پراید با دو درجه آزادی

طراحی و مدل‌سازی دینامیکی سیستم تعلیق خودرو برای بررسی و تحلیل ارتعاشات اتفاقی وارد بر خودرو موضوع بسیاری از تحقیقات صنعت خودرو در جهان می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، بدنه خودرو توسط یک جرم قابل ارتجاع به جرم M_s ، تجهیزات سیستم تعلیق به وسیله یک فنر با ضریب K_s و یک دمپر با ضریب C_s ، چرخ خودرو و اجزای سیستم ترمز آن (مجموعه اکسل خودرو) توسط یک جرم غیر قابل ارتجاع به جرم M_u و لاستیک خودرو نیز با یک فنر با ضریب

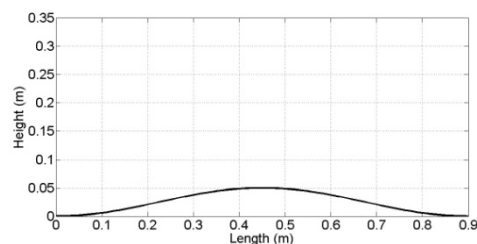
با توجه به رشد روزافزون جمعیت استفاده‌کننده از معابر شهری، اهمیت لحاظ کردن جنبه های ایمنی ترافیک کاملاً محسوس است. در زمینه ایمنی معابر، بر راه‌های کنترل سرعت وسایل نقلیه تأکید شده است که این روش‌ها با هدف اجتناب از تصادفات اعمال می‌شوند [۱]. با توجه به این‌که روش‌های سنتی مانند استفاده از پلیس راهنمایی و رانندگی هزینه بالایی داشته و همیشه نیز عملی نیست بنابراین استفاده از روش‌های آرام-سازی ترافیک منطقی‌تر به نظر می‌رسد [۲]. آرام‌سازی ترافیک، ترکیبی از ابزارها و تجهیزات ترافیکی است که سرعت وسایل نقلیه را کنترل و رفتار رانندگان را تغییر می‌دهد و نیز شرایط ایمنی را برای کاربران معبر بهبود می‌بخشد [۳]. سرعت‌گیرها و سرعت‌کاه‌ها به عنوان یکی از ابزارهای آرام‌سازی ترافیک مطرح هستند که به تنهایی یا در کنار سایر روش‌های آرام‌سازی به کار گرفته می‌شوند. بنابراین بررسی مشخصات طراحی اعم از معیارهای هندسی، ترافیکی و نیز شناخت طبقه‌بندی معابر در این زمینه حائز اهمیت خواهد بود [۴]. ضربه‌های ناشی از عبور خودرو از روی سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها و ناهمواریهای جاده، خودرو را در معرض شتاب‌های قائمی قرار می‌دهد که سبب ناراحتی و خستگی سرنشینان می‌شود. با محدودسازی این شتاب‌های عمودی برای خودروهای با سرعت مجاز می‌توان راحتی سفر با خودرو را برای سرنشینان بهبود داد [۲]. یکی از راه‌های محدود سازی این شتاب‌های عمودی، بهینه‌سازی شکل سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها می‌باشد.

۱- معرفی سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها

۱-۱ سرعت‌گیر پلاستیکی

این دسته از سرعت‌گیرها در گذشته بیشتر از جنس آسفالت یا در مواردی از بتن ساخته می‌شدند اما در حال حاضر اغلب به صورت پلاستیکی ساخته و نصب می‌شوند. هم‌اکنون پرکاربردترین سرعت‌گیر نصب شده در سطح شهر از این نوع می‌باشد. عرض این سرعت‌گیر ۰/۹ متر و ارتفاع آن ۰/۰۵ متر است.

شکل ۱- سرعت‌گیر پلاستیکی شبیه سازی شده در متلب



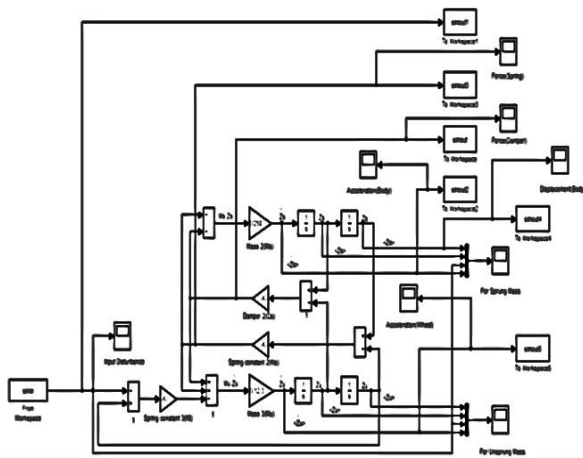
۲- 1 سرعت‌کاه دوزنقه‌ای

$$[C] = \begin{bmatrix} C_s & -C_s \\ -C_s & C_s \end{bmatrix} \quad (۹)$$

$$\{F(t)\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ K_t \cdot Z_r \end{Bmatrix} \quad (۱۰)$$

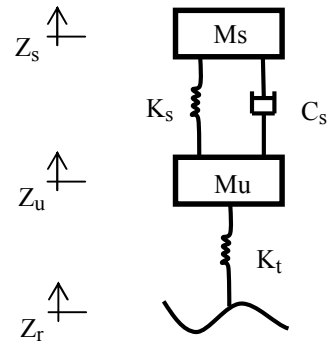
۵- شبیه‌سازی مدل در سیمولینک

نرم‌افزار سیمولینک یکی از جعبه ابزارهای نرم‌افزار متلب بوده و یک ابزار برنامه‌سازی قدرتمند برای مدل‌سازی و تحلیل سیستم‌های دینامیکی است. این مجموعه از سیستم‌های خطی، غیرخطی، زمان پیوسته، زمان نمونه و ترکیبی پشتیبانی می‌کند. با استفاده از سیمولینک می‌توان رفتار یک سیستم را بدون نیاز به ساختن آن تحلیل نمود. در نتیجه با استفاده از سیمولینک می‌توان به بررسی تأثیر اغتشاشات یا سایر عوامل ورودی بر عملکرد یک سیستم پرداخت. همچنین شبیه‌سازی سیستم‌ها این توانایی را در اختیار می‌گذارد تا عکس‌العمل یک سیستم در صورت تغییر پارامترهای ورودی آن به خوبی شناخته شود. حال پس از به دست آوردن معادلات حرکت، مدل شبیه سازی شده دو درجه آزادی خودروی پراید با تحریک سرعت‌گیر را طبق شکل ۵ در سیمولینک شبیه سازی کردیم.



شکل ۵- مدل شبیه سازی شده مدل یک چهارم خودروی پراید در سیمولینک پس از ساخت مدل، مشخصات مدل یک چهارم خودروی پراید را طبق جدول ۱ در مدل شبیه سازی شده وارد می‌کنیم. سپس خودرو را با سرعت‌های متفاوت از روی سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها عبور داده و نتایج را به صورت نمودار ثبت کرده و پس از مقایسه، آن‌ها را تحلیل می‌کنیم.

Kt مدل می‌شود [۵، ۶]. میزان جابجایی بدنه و سیستم تعلیق در راستای عمودی به ترتیب Zs، Zu می‌باشد. Zr نیز ورودی تحریکات جاده (سرعت‌گیر یا سرعت‌کاه) است.



شکل ۴- مدل یک چهارم خودرو

۳- معادلات حرکت

می‌دانیم نیروی فنر به صورت خطی طبق رابطه ۱ و نیروی کمک فنر به صورت استهلاک ویسکوز طبق رابطه ۲ به دست می‌آید. حال با توجه به دیاگرام آزاد و روابط ۱ و ۲، معادلات حرکت حاکم بر سیستم در ادامه بدست می‌آیند [۷، ۸].

$$F = K \cdot \Delta Z \quad (۱)$$

$$F = C \cdot \Delta \dot{Z} \quad (۲)$$

۱-۳ معادله جرم قابل ارتجاع

$$M_s \ddot{Z}_s + K_s (Z_s - Z_u) + C_s (\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) = 0 \quad (۳)$$

۲-۳ معادله جرم غیر قابل ارتجاع

(۴)

$$M_u \ddot{Z}_u - K_s (Z_s - Z_u) - C_s (\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + K_t (Z_u - Z_r) = 0$$

۴- فرم ماتریسی

معادله زیر را داریم:

$$[M]\{\ddot{Z}\} + [C]\{\dot{Z}\} + [K]\{Z\} = \{F\{t\}\} \quad (۵)$$

حال اگر معادلات حرکت را به فرم معادله (۳) بنویسیم، بردار جابجایی به فرم زیر به دست می‌آید:

$$\{Z(t)\} = \begin{Bmatrix} Z_s(t) \\ Z_u(t) \end{Bmatrix} \quad (۶)$$

سپس ماتریس‌های جرم، سختی، دمپر و بردار نیرو به صورتی که مشاهده می‌کنید در روابط (۷) تا (۱۰) بدست می‌آیند [۸].

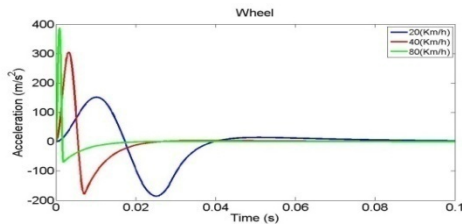
$$[M] = \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_u \end{bmatrix} \quad (۷)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} K_s & -K_s \\ -K_s & K_s + K_t \end{bmatrix} \quad (۸)$$

جدول ۱- مشخصات مدل یک چهارم خودروی پراید

مشخصات خودروی پراید
$M_s = 250$
$\mu = 12.3$
$K_s = 7000$
$K_t = 105000$
$C_s = 2600$

می‌یابد.

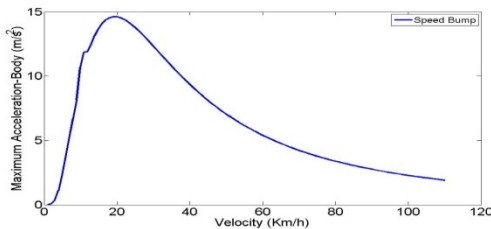


شکل ۷- شتاب عمودی چرخ هنگام عبور از سرعت‌گیر پلاستیکی

۶-۳ نمودار ماکزیمم شتاب بدنه در بازه ۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت

برای بررسی دقیق‌تر شتاب‌های عمودی بدنه، نمودار ماکزیمم قدر مطلق شتاب بدنه را از سرعت ۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت رسم کردیم.

با بررسی این نمودار در شکل ۸ مشاهده می‌گردد قدر مطلق شتاب عمودی بدنه از ۰ تا ۲۰ کیلومتر بر ساعت افزایش می‌یابد و در ۲۰ Km/h به بیش‌ترین مقدار که برابر ۱۴/۸ m/s² است، می‌رسد و از آن به بعد با افزایش سرعت، قدر مطلق شتاب عمودی بدنه کاهش پیدا می‌کند. این امر بیانگر این است که سرنشینان خودرو در سرعت ۲۰ Km/h با بیش‌ترین ناراحتی مواجه می‌شوند. با افزایش سرعت عبوری از روی سرعت‌گیر پلاستیکی به بیش از ۲۰ Km/h شتاب عمودی کاهش یافته و موجب افزایش آسایش سرنشینان خودرو می‌شود.

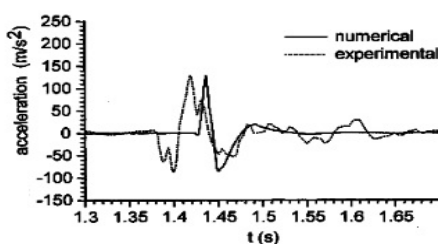


شکل ۸- ماکزیمم شتاب بدنه هنگام عبور از سرعت‌گیر پلاستیکی

۶-۴ صحنه‌گذاری نتایج

[۹Patel] در سال ۲۰۱۰، با تحریک مدل یک چهارم توسط یک سرعت‌گیر شبیه‌سازی شده توسط یک، نیم موج سینوسی به نمودارهای شتاب عمودی وارد بر چرخ، برای سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت دست یافتند. ماکزیمم این شتاب ۱۲۰ m/s² متر بر مجذور ثانیه بود. (شکل ۹)

[۱۰Paulo] نیز در سال ۲۰۰۱ و [۱۱Gawade] نیز در سال ۲۰۰۴ به نتایج مشابهی دست یافته بودند و آن نتایج را با مقدار



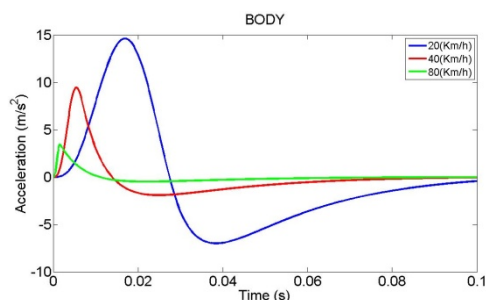
۶-۶ عبور از روی سرعت‌گیر پلاستیکی

مهم‌ترین عامل در آسایش سرنشینان خودرو، پارامتر شتاب عمودی بدنه خودرو است. هر چه شتاب عمودی کمتر شود آسایش سرنشینان خودرو نیز افزایش می‌یابد. یکی از پارامترهای دیگر که در خودرو اهمیت دارد نیروی عمودی وارد بر کمک فنر در خودرو است که به طور مستقیم روی عمر سیستم تعلیق خودرو موثر است. یعنی هر چه نیروی عمودی وارد بر سیستم تعلیق کاهش یابد، عمر سیستم تعلیق خودرو نیز افزایش پیدا می‌کند.

همانطور که در ادامه مشاهده می‌شود، ابتدا خودروی شبیه‌سازی شده را با سه سرعت ۲۰، ۴۰ و ۸۰ کیلومتر بر ساعت از روی سرعت‌گیر عبور دادیم و نمودار شتاب عمودی وارد بر بدنه و چرخ و همچنین نمودار نیروی وارد بر فنر و کمک فنر را نیز بر حسب زمان رسم کردیم.

۶-۶-۱ نمودار شتاب عمودی بدنه

طبق نتایج به دست آمده با افزایش سرعت عبوری، شتاب عمودی بدنه، هم در قسمت مثبت هر منحنی (حرکت بدنه به سمت بالا) و هم در قسمت منفی هر منحنی (حرکت بدنه به سمت پایین) کاهش می‌یابد.



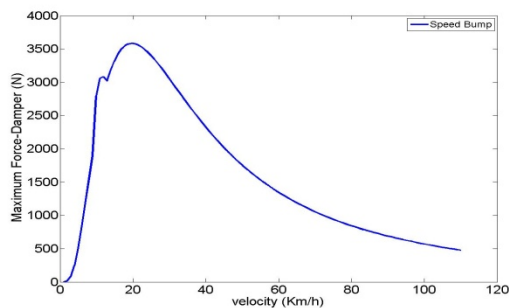
شکل ۱۰- شتاب عمودی بدنه هنگام عبور از سرعت‌گیر پلاستیکی

۶-۶-۲ نمودار شتاب عمودی چرخ

برای شتاب عمودی چرخ خودرو این شتاب مستقیماً به سیستم تعلیق نیز وارد می‌شود، که با افزایش سرعت، در قسمت مثبت هر منحنی (حرکت بدنه به سمت بالا) افزایش می‌یابد ولی در قسمت منفی هر منحنی (حرکت بدنه به سمت پایین) کاهش

۶-۷ نمودار ماکزیمم نیروی وارد بر کمک فنر در بازه ۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت

برای بررسی دقیق‌تر نیروی عمودی وارد بر کمک فنر، نمودار ماکزیمم قدر مطلق نیروی وارد بر کمک فنر را از سرعت ۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت رسم کردیم. با بررسی این نمودار در شکل ۱۳ مشاهده می‌گردد، قدر مطلق نیروی عمودی وارد بر کمک فنر از ۰ تا ۲۰ کیلومتر بر ساعت افزایش می‌یابد و در ۲۰ Km/h به بیش‌ترین مقدار که برابر 3600N نیوتنمی باشد، می‌رسد و از آن به بعد با افزایش سرعت، قدرمطلق نیروی عمودی وارد بر بدنه کاهش می‌یابد. این امر بیانگر این است که خودروهایی که با سرعت مجاز از روی سرعت‌گیر پلاستیکی عبور می‌کنند به سیستم تعلیق خودروی آن‌ها آسیب جدی رسانده می‌شود و عمر آن کاهش پیدا می‌کند، که این موضوع با ماهیت سرعت‌گیرها در تضاد است.



شکل ۱۳- ماکزیمم نیروی وارد بر کمک فنر هنگام عبور از سرعت‌گیر پلاستیکی

۷- عبور از روی سرعت‌گاه ذوزنقه‌ای

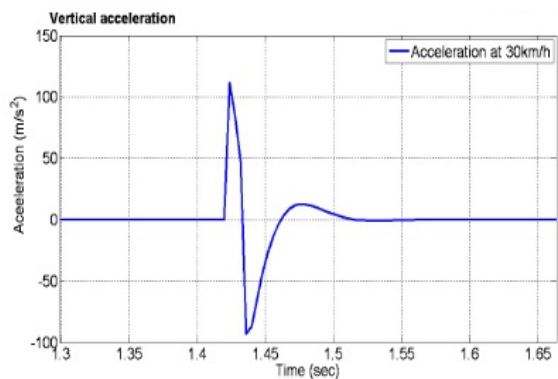
همان‌طور که در ادامه مشاهده می‌شود، مانند بخش قبل، خودروی شبیه‌سازی شده را با سه سرعت ۲۰، ۴۰ و ۸۰ کیلومتر بر ساعت از روی سرعت‌گاه ذوزنقه‌ای عبور دادیم و نمودار شتاب عمودی وارد بر بدنه و چرخ و همچنین نمودار نیروی وارد بر فنر و کمک فنر را نیز برحسب زمان رسم کردیم.

۷-۱ نمودار شتاب عمودی بدنه

طبق نتایج به دست آمده با افزایش سرعت عبوری، شتاب عمودی بدنه، در قسمت مثبت هر منحنی (حرکت بدنه به سمت بالا) افزایش و در قسمت منفی هر منحنی (حرکت بدنه به سمت پایین) در سرعت ۴۰ Km/h نسبت به سرعت ۲۰ Km/h افزایش و در سرعت ۸۰ Km/h نسبت به سرعت ۴۰ Km/h کاهش می‌یابد.

تجربی نیز مقایسه کردند و نتایج با یکدیگر اختلاف قابل قبولی داشتند.

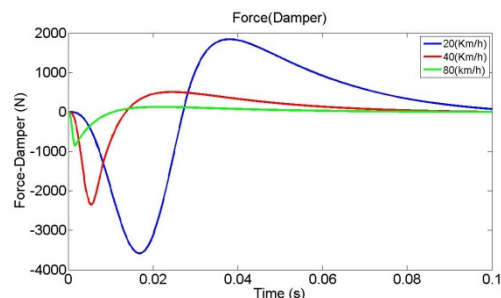
شکل ۹- شتاب عمودی چرخ توسط Patel



شکل ۱۰- شتاب عمودی چرخ توسط Paulo

۶-۵ نمودار نیروی عمودی وارد بر کمک فنر

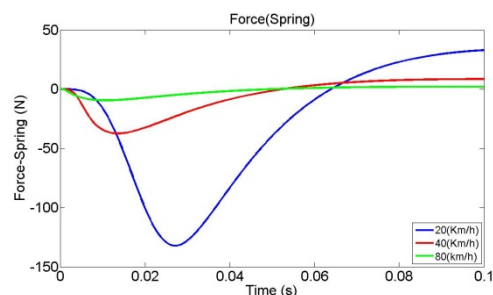
نتایج به دست آمده حاکی از آن است که با افزایش سرعت عبوری، نیروی عمودی وارد بر کمک فنر، هم در قسمت مثبت هر منحنی (باز شدن کمک فنر) و هم در قسمت منفی هر منحنی (بسته شدن کمک فنر) کاهش می‌یابد.



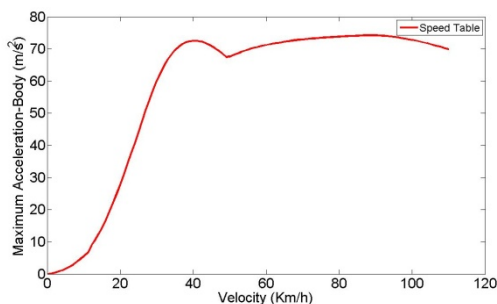
شکل ۱۱- نیروی وارد بر کمک فنر هنگام عبور از سرعت‌گیر پلاستیکی

۶-۶ نمودار نیروی عمودی وارد بر فنر

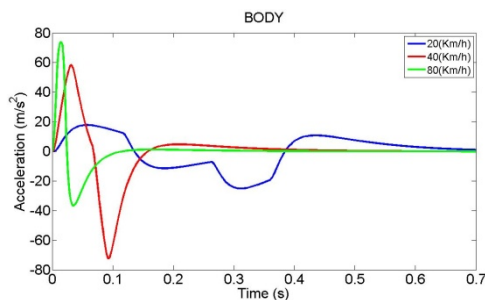
برای نیروی عمودی وارد بر فنر نیز با افزایش سرعت، نیروی عمودی وارد بر فنر نیز هم در قسمت مثبت هر منحنی (باز شدن فنر) و هم در قسمت منفی هر منحنی (بسته شدن فنر) کاهش می‌یابد.



شکل ۱۲- نیروی وارد بر فنر هنگام عبور از سرعت‌گیر پلاستیکی



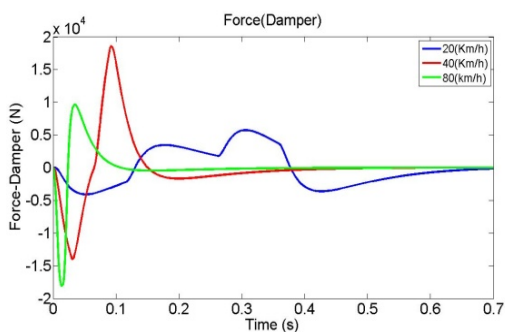
شکل ۱۶- ماکزیمم شتاب بدنه هنگام عبور از سرعت کاه دوزنقه ای



شکل ۱۴- شتاب عمودی بدنه هنگام عبور از سرعت کاه دوزنقه ای

۷-۴ نمودار نیروی عمودی وارد بر کمک فنر

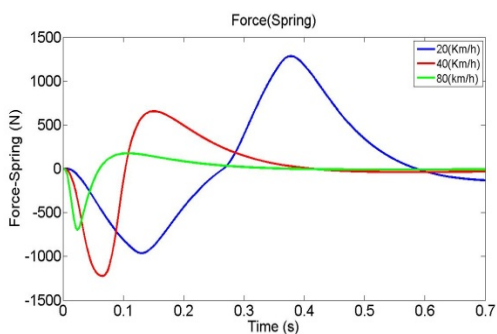
نتایج به دست آمده حاکی از آن است که با افزایش سرعت عبوری، نیروی عمودی وارد بر کمک فنر در قسمت مثبت هر منحنی (باز شدن کمک فنر) در سرعت 40 Km/h نسبت به سرعت 20 Km/h افزایش و در سرعت 80 Km/h نسبت به سرعت 40 Km/h کاهش و در قسمت منفی هر منحنی (بسته شدن کمک فنر) افزایش می‌یابد.



شکل ۱۷- نیروی وارد بر کمک فنر هنگام عبور از سرعت کاه دوزنقه ای

۷-۵ نمودار نیروی عمودی وارد بر فنر

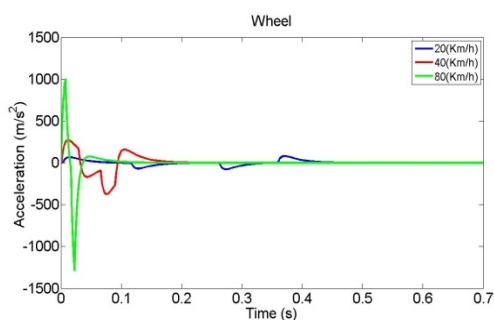
برای نیروی عمودی وارد بر فنر نیز با افزایش سرعت، نیروی عمودی وارد بر فنر نیز هم در قسمت مثبت هر منحنی (باز شدن فنر) و هم در قسمت منفی هر منحنی (بسته شدن فنر) کاهش می‌یابد.



شکل ۱۸- نیروی وارد بر فنر هنگام عبور از سرعت کاه دوزنقه ای

۷-۲ نمودار شتاب عمودی چرخ

برای شتاب عمودی چرخ خودرو که این شتاب مستقیماً به سیستم تعلیق نیز وارد می‌شود، با افزایش سرعت، در قسمت مثبت هر منحنی (حرکت بدنه به سمت بالا) و هم در قسمت منفی هر منحنی (حرکت بدنه به سمت پایین) افزایش می‌یابد.



شکل ۱۵- شتاب عمودی چرخ هنگام عبور از سرعت کاه دوزنقه ای

۷-۳ نمودار ماکزیمم شتاب بدنه در بازه ۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت

برای بررسی دقیق‌تر شتاب‌های عمودی بدنه، نمودار ماکزیمم قدر مطلق شتاب بدنه را از سرعت ۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت رسم کردیم.

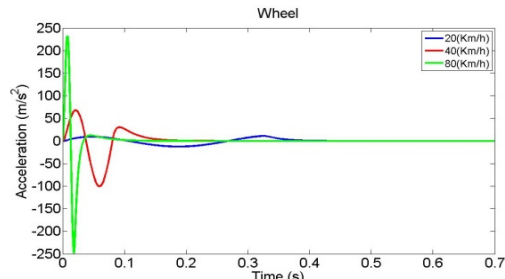
با بررسی این نمودار در شکل ۱۶ مشاهده می‌گردد قدر مطلق شتاب عمودی بدنه با افزایش سرعت، افزایش می‌یابد و در سرعت 95 Km/h به بیش‌ترین مقدار که برابر 75 m/s^2 می‌باشد، می‌رسد. لازم به ذکر است در این سرعت، سرنشین دچار ناراحتی شدیدی می‌گردد.

همان‌طور که از شکل ۱۶ بر می‌آید، سرعت‌کاه‌های دوزنقه ای در محدوده سرعت زیر 15 Km/h بیش‌ترین راحتی را برای سرنشینان به ارمغان می‌آورد.

در این نوع سرعت‌کاه دوزنقه ای از سرعت 15 Km/h به بالا از آسایش سرنشین کاسته می‌شود، و با افزایش شتاب عمودی وارد بر چرخ و در پی آن سیستم تعلیق، از عمر سیستم تعلیق نیز کاسته می‌شود.

۸-۲ نمودار شتاب عمودی چرخ

برای شتاب عمودی چرخ خودرو که این شتاب مستقیماً به سیستم تعلیق نیز وارد می‌شود، با افزایش سرعت در قسمت مثبت هر منحنی (حرکت بدنه به سمت بالا) و هم در قسمت منفی هر منحنی (حرکت بدنه به سمت پایین) افزایش می‌یابد.



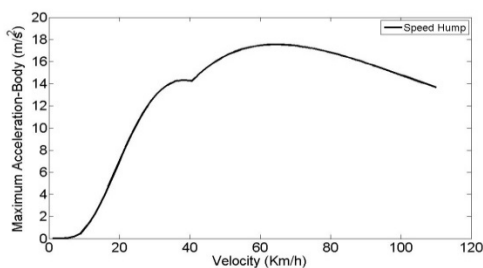
شکل ۲۱- شتاب عمودی چرخ هنگام عبور از سرعت‌گاه کوهانی

۸-۳ نمودار ماکزیمم شتاب بدنه در بازه ۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت

با بررسی این نمودار در شکل ۲۱ مشاهده می‌گردد قدر مطلق شتاب عمودی بدنه با افزایش سرعت، افزایش می‌یابد و در سرعت ۶۳ Km/h به بیش‌ترین مقدار که برابر $17/5 \text{ m/s}^2$ می‌باشد، می‌رسد. لازم به ذکر است در این سرعت، سرنشین، دچار ناراحتی شدیدی می‌گردد.

همان‌طور که از شکل ۲۱ بر می‌آید، سرعت‌گاه‌های کوهانی در محدوده سرعت زیر ۲۵ Km/h، بیش‌ترین راحتی را برای سرنشینان به ارمغان می‌آورد.

در این نوع سرعت‌گاه کوهانی از سرعت ۲۵ Km/h به بالا از آسایش سرنشین کاسته می‌شود، و با افزایش شتاب عمودی چرخ و در پی آن سیستم تعلیق، از عمر سیستم تعلیق نیز کاسته می‌شود.



شکل ۲۱- ماکزیمم شتاب بدنه هنگام عبور از سرعت‌گاه کوهانی

۸-۴ نمودار نیروی عمودی وارد بر کمک فنر

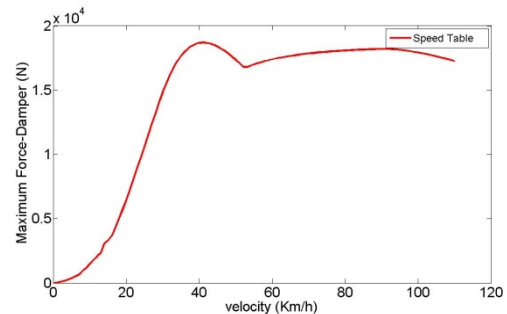
نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که با افزایش سرعت عبوری، نیروی عمودی وارد بر کمک فنر در قسمت مثبت هر منحنی (باز شدن کمک فنر) در سرعت ۴۰ Km/h نسبت به سرعت ۲۰ Km/h افزایش و در سرعت ۸۰ Km/h نسبت به سرعت ۴۰ Km/h کاهش و در قسمت منفی هر منحنی (بسته

۷-۶ نمودار ماکزیمم نیروی وارد بر کمک فنر در بازه ۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت

برای بررسی دقیق‌تر نیروی عمودی وارد بر کمک فنر، نمودار ماکزیمم قدر مطلق نیروی وارد بر کمک فنر را از سرعت ۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت رسم کردیم.

با بررسی این نمودار در شکل ۱۹ مشاهده می‌گردد، قدر مطلق نیروی عمودی وارد بر کمک فنر در سرعت ۴۰ Km/h به بیش‌ترین مقدار که برابر 19000 N نیوتن است، می‌رسد.

لازم به ذکر است در این سرعت نیروی عمودی وارد بر کمک فنر در حالت ماکزیمم خود قرار دارد و از آن به بعد با افزایش سرعت، قدرمطلق نیروی عمودی وارد بر بدنه تقریباً در محدوده ثابتی باقی می‌ماند.



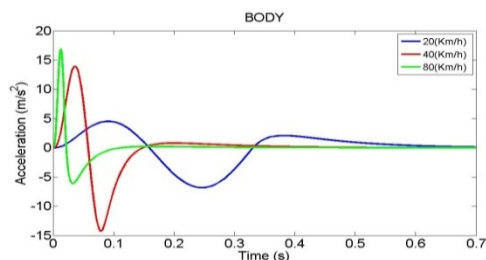
شکل ۱۹- ماکزیمم نیروی وارد بر کمک فنر هنگام عبور از سرعت‌گاه دوزنقه ای

۸-۸ عبور از روی سرعت‌گاه کوهانی

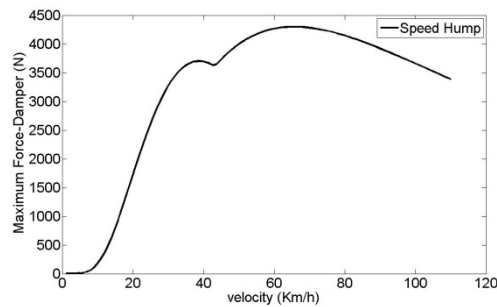
همان‌طور که در ادامه مشاهده می‌شود، مانند بخش قبل، خودروی شبیه‌سازی شده را با سه سرعت ۲۰، ۴۰ و ۸۰ کیلومتر بر ساعت از روی سرعت‌گاه کوهانی عبور دادیم و نمودار شتاب عمودی وارد بر بدنه و چرخ و همچنین نمودار نیروی وارد بر فنر و کمک فنر را نیز برحسب زمان رسم کردیم.

۸-۱ نمودار شتاب عمودی بدنه

طبق نتایج با افزایش سرعت عبوری، شتاب عمودی بدنه، در قسمت مثبت هر منحنی (حرکت بدنه به سمت بالا) افزایش و در قسمت منفی هر منحنی (حرکت بدنه به سمت پایین) در سرعت ۴۰ Km/h نسبت به سرعت ۲۰ Km/h افزایش و در سرعت ۸۰ Km/h نسبت به سرعت ۴۰ Km/h کاهش می‌یابد.



شکل ۲۰- شتاب عمودی بدنه هنگام عبور از سرعت‌گاه کوهانی



شکل ۲۴- ماکزیمم نیروی وارد بر کمک فنر هنگام عبور از سرعت‌کاه کوهانی

۹- مقایسه کلی

با توجه به این که در حال حاضر، سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌هایی که درباره‌ی آن‌ها بحث کردیم به طور گسترده در کشور نصب و اجرا گردیده‌اند، رانندگان نیز چاره‌ای جز عبور از روی آن‌ها ندارند. بنابراین در این بخش ما به بررسی نمودارهای شکل‌های ۲۵ و ۲۶ می‌پردازیم تا کم‌ضررترین و نه به‌ترین ابزار کنترل سرعت را از بین آن‌ها انتخاب کنیم.

در شکل‌های ذکر شده برای قابلیت بررسی بهتر و دقیق‌تر، نمودارهای کلیه سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها را در یک نمودار رسم کرده‌ایم.

با توجه به نمودارها درمی‌یابیم، سرعت‌کاه کوهانی تا سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت کمترین شتاب عمودی بدنه و کمترین نیرو را به کمک فنر در بین سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها وارد می‌کند. از سرعت ۳۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت نیز شتاب و نیروی وارده به خودرو نیز با حداکثر شتاب و نیروی سرعت‌گیر پلاستیکی برابری می‌کند.

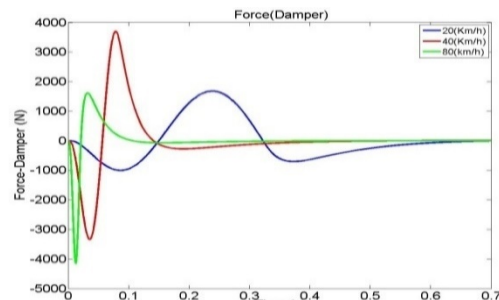
سرعت‌گیر پلاستیکی همان‌طور که در مباحث قبل بیان شد به دلیل کاهش نیروی وارد بر کمک فنر و شتاب وارد بر بدنه در سرعت‌های بالا، توان بازدارندگی را در سرعت‌های غیر مجاز ندارد.

اما سرعت‌کاه کوهانی به دلیل ایجاد ناراحتی روی سرنشینان خودرو در سرعت‌های بالا و غیرمجاز از توان بازدارندگی لازم برخوردار است.

همه انواع سرعت‌کاه‌های دوزنقه‌ای به دلیل ایجاد شتاب عمودی و نیروی عمودی بسیار زیاد بیش‌ترین آسیب را به سیستم تعلیق خودرو وارد می‌کند و بیش‌ترین ناراحتی را برای سرنشینان خودروی پراید به وجود می‌آورد.

با توجه به مطالب بیان شده به این نتیجه می‌رسیم که سرعت‌کاه کوهانی به عنوان کم‌ضررترین ابزار کنترل سرعت در سطح شهر موجود می‌باشد.

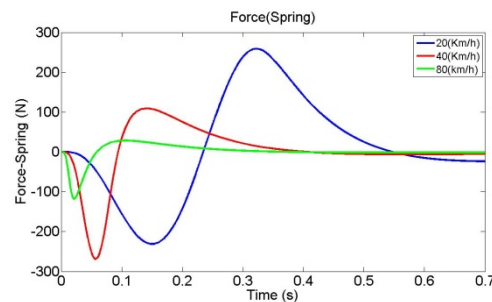
شدن کمک فنر) افزایش می‌یابد.



شکل ۲۲- نیروی وارد بر کمک فنر هنگام عبور از سرعت‌کاه کوهانی

۸-۵ نمودار نیروی عمودی وارد بر فنر

برای نیروی عمودی وارد بر فنر نیز با افزایش سرعت، نیروی عمودی وارد بر فنر نیز هم در قسمت مثبت هر منحنی (باز شدن فنر) و هم در قسمت منفی هر منحنی (بسته شدن فنر) کاهش می‌یابد.



شکل ۲۳- نیروی وارد بر فنر هنگام عبور از سرعت‌کاه کوهانی

۸-۶ نمودار ماکزیمم نیروی وارد بر کمک فنر در بازه ۰ تا

۱۱۰ کیلومتر بر ساعت

برای بررسی دقیق‌تر نیروی عمودی وارد بر کمک فنر، نمودار ماکزیمم قدر مطلق نیروی وارد بر کمک فنر را از سرعت ۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت رسم کردیم.

با بررسی این نمودار در شکل ۲۴ مشاهده می‌گردد، قدر مطلق نیروی عمودی وارد بر کمک فنر در سرعت ۶۳ Km/h به بیش‌ترین مقدار که برابر ۴۳۰۰ نیوتن است، می‌رسد.

لازم به ذکر است در این سرعت نیروی عمودی وارد بر کمک فنر در حالت ماکزیمم خود قرار دارد و بیش‌ترین آسیب در این سرعت به سیستم تعلیق خودرو وارد می‌شود.

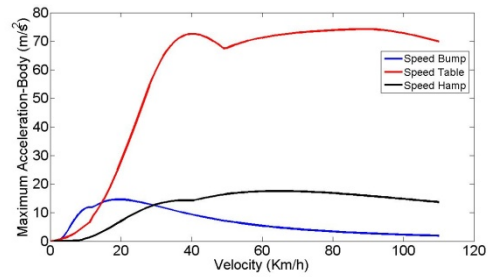
حال FHDN به عنوان تابع هدف شتاب‌های عمودی ایده‌آل خود را که می‌خواهیم در سرعت‌های مختلف (مجاز و غیر مجاز) به بدنه خودرو و در نهایت سرنشینان در هنگام عبور از روی سرعت‌گیر و یا سرعت‌کاه‌های مختلف وارد شود به نرم افزار سیمولینک معرفی نماییم. سپس این نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات اولیه‌ای که با کدهای متلب به آن معرفی می‌گردد، شروع به ساختن سرعت‌گیر موردنظر می‌کند و نمودارهای ماکزیمم شتاب هر کدام از سرعت‌گیرهای ساخته شده را رسم کرده و از آن نسل به‌ترین نمودار که همان نزدیک‌ترین پاسخ به پاسخ هدف ماست را انتخاب کرده و به همین شکل در هر نسل نمودارها به پاسخ ما نزدیک‌تر می‌شوند. در نهایت ما نزدیک‌ترین نمودار شتاب عمودی به نمودار شتاب عمودی ایده‌آل خود را به دست می‌آوریم، که سرعت‌گیر یا سرعت‌کاه رسم شده، همان سرعت‌گیر یا سرعت‌کاه بهینه ما می‌باشد. حال به دست آوردن شتاب‌های عمودی ایده‌آل که معیار ما برای بهینه‌سازی می‌باشد ضروری است.

سازمان استاندارد جهانی (ISO) مقادیری را که به عنوان مقادیر مرزی مطلوب برای شتاب‌های قائم بدنه در فرکانس‌های مختلف پیشنهاد کرده است [۱۳]. در استاندارد شماره ۱-۲۶۳۱ این سازمان مقادیری که نشان‌گر مرز بین احساس راحتی و ناراحتی در سرنشینان خودرو است، به عنوان معیاری برای تعیین حد تحمل انسان در برابر ارتعاش‌های مداوم بدنه خودرو برای مدت زمان طولانی در جاده‌ها به کار می‌روند. این مقادیر در فرکانس‌هایی که بدن انسان حساس‌تر است برای راحتی کامل انسان 0.3 m/s^2 متر بر مجذور ثانیه و برای ناراحتی 2 m/s^2 متر بر مجذور ثانیه می‌باشد [۱۳].

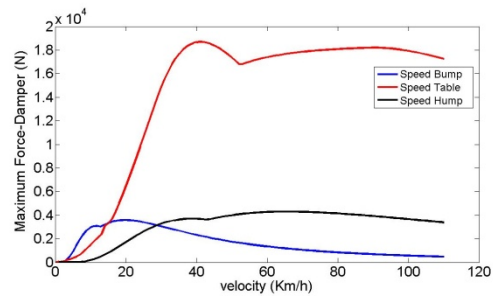
سازمان امور ترابری و بزرگراه‌های ایالتی امریکا (AASHTO) و انجمن مهندسی حمل و نقل (ITE) و موسسه بین‌المللی آرام‌سازی ترافیک (TTIC) مرز شتاب عمودی بین راحتی و ناراحتی انسان برای مدت بسیار کوتاه $9/8 \text{ m/s}^2$ متر بر مجذور ثانیه تعیین کرده‌اند [۱۴]. بنابراین در این مقاله ما این مقدار را معیار مرز بین راحتی و ناراحتی سرنشین خودرو در نظر می‌گیریم و هر چه از این معیار کاهش یابد به سمت راحتی بیشتر پیش می‌رویم و با افزایش این معیار به ناراحتی سرنشین افزوده می‌شود.

۱۱- بهینه‌سازی سرعت‌گیر پلاستیکی

طبق استانداردهای بین‌المللی سرعت‌گیرهای پلاستیکی می‌بایست فقط در مکان‌هایی که حداکثر سرعت مجاز آن‌ها ۲۰ کیلومتر بر ساعت است نصب کرد، مانند پارکینگ‌ها و مراکز خرید، اما متأسفانه در کشور ما این نوع سرعت‌گیر هم اکنون بیش‌ترین استفاده را دارد و اکثراً در خیابان‌های اصلی شهر نصب می‌گردند که سرعت مجاز آن خیابان‌ها ۴۰ کیلومتر بر ساعت نیز



شکل ۲۵- مقایسه ماکزیمم شتاب‌های بدنه



شکل ۲۶- مقایسه ماکزیمم نیروهای وارد بر کمک فنر

۱۰- بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

در این بخش به دنبال این هستیم تا با بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک به طرحی که کم‌ترین آسیب را به سیستم تعلیق وارد کرده و کم‌ترین ناراحتی را برای سرنشینان خودروهایی که با سرعت مجاز از روی آن‌ها عبور می‌کنند، دست یابیم.

۱۰-۱ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک روشی برای جستجوی تصادفی عددی است که از فرآیند ساده شده تکامل طبیعی تقلید می‌کند. الگوریتم بر روی جمعیتی از پاسخ‌ها عمل کرده و با به کار بردن اصل بقای بهترینو تکامل، به ایجاد جواب‌های بهتر و مناسب‌تر می‌پردازد [۲، ۱۲]. در هر بار تکرار تمامی فرضیه‌ها با استفاده از یک تابع تناسب مورد ارزیابی قرار داده می‌شوند. آنگاه تعدادی از بهترین فرضیه‌ها با استفاده از یک تابع احتمال انتخاب شده و جمعیت جدیدی را تشکیل می‌دهند. در این مقاله ما از روش انتخاب به‌ترین عضو هر اجتماع استفاده کردیم.

۱۰-۲ معیار راحتی و ناراحتی سرنشینان خودرو

برای بهینه‌سازی سرعت‌گیر و سرعت‌کاه ابتدا باید هدف خود را برای بهینه‌سازی مشخص کنیم. همان‌طور که از ابتدا تاکنون بیان شد هدف در این مقاله آسایش سرنشینان خودروهایی است که با سرعت مجاز از روی سرعت‌گیر یا سرعت‌کاه‌ها عبور می‌کنند و به تبع آن ناراحتی برای سرنشینان خودروهایی که با سرعت غیرمجاز از روی آن‌ها عبور می‌کنند، تا با انجام این کار بتوان تمایزی بین آن‌ها قائل شد.

می‌باشد. بنابراین ما مبنا را برای سرعت مجاز عبور از روی سرعت‌گیرهای پلاستیکی طبق استانداردهای جهانی ۲۰ کیلومتر بر ساعت در نظر می‌گیریم. برای بهینه‌سازی سرعت‌گیر پلاستیکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، ابتدا می‌بایست نمودار شتاب‌های ماکزیمم ایده‌آل خود را به نرم‌افزار معرفی نماییم. تا الگوریتم ژنتیک با بهینه‌سازی سرعت‌گیرها و رسم نمودار شتاب ماکزیمم خود را به نمودار ایده‌آل برساند. شتاب ایده‌آل را در ۱۱ سرعت طبق جدول ۲ معرفی می‌نماییم که منحنی آن در شکل ۲۸ با رنگ آبی مشخص است. سپس محدوده ارتفاعی که تقریباً می‌خواهیم سرعت‌گیر بهینه ما در آن قرار داشته باشد را معرفی می‌کنیم.

جدول ۲- مقادیر ایده‌آل شتاب عمودی در سرعت‌های مختلف

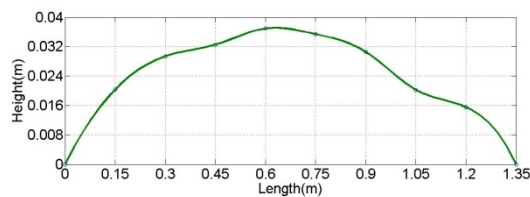
شتاب عمودی (m/s ²)	سرعت (Km/h)
۲/۵	۱۰
۵	۲۰
۷	۳۰
۹/۸	۴۰
۹/۹	۵۰
۱۰	۶۰
۱۰/۲	۷۰
۱۰/۵	۸۰
۱۰/۸	۹۰
۱۱	۱۰۰
۱۱/۲	۱۱۰

دول ۳- ابعاد سرعت‌گیر پلاستیکی بهینه‌سازی شده

ارتفاع (cm)	عرض (cm)
۰	۰
۲	۱۵
۳	۳۰
۳/۳	۴۵
۳/۸	۶۰
۳/۶	۷۵
۳/۱	۹۰
۲	۱۰۵
۱/۶	۱۲۰
۰	۱۳۵

۱۱-۱ نمودارهای الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی

سرعت‌گیر



شکل ۲۷- سرعت‌گیر پلاستیکی بهینه‌سازی شده

همان‌گونه که در بخش ۲-۱۱ بیان شد، شتاب عمودی ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه، مرز بین راحتی و ناراحتی سرنشینان خودرو در مدت زمان کوتاه مانند گذر از روی سرعت‌گیرها است.

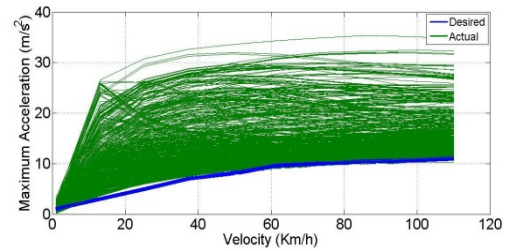
سرعت مجاز عبور از روی سرعت‌گیر پلاستیکی ۲۰ کیلومتر بر ساعت است. ما در معرفی شتاب ایده‌آل در سرعت ۲۰ کیلومتر بر ساعت شتاب عمودی را ۵ متر بر مجذور ثانیه معرفی کردیم که تقریباً سرنشین، هنگام عبور از روی سرعت‌گیر پلاستیکی با این سرعت احساس راحتی داشته باشد. (شتاب‌های پایین‌تر از این شتاب ارتفاع بسیار پایین برای سرعت‌گیر را نتیجه داده و در عمل سرعت‌گیر بی‌اثر می‌شود.) و به دلیل این‌که سرعت‌گیرها در خیابان‌هایی با سرعت مجاز تا ۴۰ کیلومتر بر ساعت نیز نصب می‌شوند، حد بین راحتی و ناراحتی را در آن سرعت‌ها قرار دادیم. در عمل در سرعت‌های از ۲۰ کیلومتر بر ساعت تا ۴۰ کیلومتر بر ساعت، سرنشین از راحتی به مرز ناراحتی می‌رود و در سرعت‌های بالاتر نیز کاملاً در حالت ناراحتی قرار دارد. پس از

جدول ۴- مقادیر ایده آل شتاب عمودی در سرعت‌های مختلف

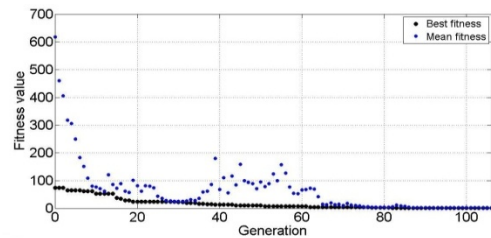
شتاب عمودی (m/s ²)	سرعت (Km/h)
۱	۱۰
۲	۲۰
۳/۵	۳۰
۵	۴۰
۷	۵۰
۹/۸	۶۰
۱۰/۲	۷۰
۱۱	۸۰
۱۵	۹۰
۱۸	۱۰۰
۲۰	۱۱۰

همان‌گونه که در بخش ۲-۱۱ بیان شد، شتاب عمودی ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه، مرز بین راحتی و ناراحتی سرنشینان خودرو در مدت زمان کوتاه مانند گذر از روی سرعت‌گیرها می‌باشد. سرعت مجاز عبور از روی سرعت‌گاه‌ها ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. ما در معرفی شتاب ایده‌آل در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت شتاب عمودی را ۵ متر بر مجذور ثانیه معرفی کردیم که تقریباً سرنشین هنگام عبور از روی سرعت‌گاه با این سرعت، احساس راحتی داشته باشد. (شتاب‌های پایین‌تر از این شتاب ارتفاع بسیار پایین برای سرعت‌گاه را نتیجه داده و در عمل سرعت‌گاه بی‌اثر می‌شود.)

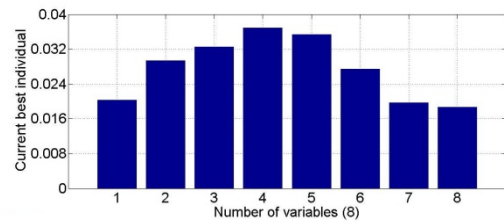
و به دلیل این‌که سرعت‌گاه‌ها در خیابان‌هایی با سرعت مجاز تا ۵۵ کیلومتر بر ساعت نیز نصب می‌شوند، حد بین راحتی و ناراحتی را در سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت قرار دادیم. در عمل در سرعت‌های از ۴۰ کیلومتر بر ساعت تا ۶۰ کیلومتر بر ساعت سرنشین از راحتی به مرز ناراحتی می‌رود و در سرعت‌های بالاتر نیز کاملاً در حالت ناراحتی قرار دارد. پس از شروع به کار الگوریتم ژنتیک در هر نسل به‌ترین نمودار ماکزیمم شتاب عمودی رسم شده (منحنی‌های سبز رنگ در شکل ۳۲) و این عمل آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا به منحنی شتاب عمودی ایده‌آل معرفی شده برسد. همان‌طور که در شکل ۳۳ مشاهده می‌کنید از نسل ۶۴ نمودار همگرا می‌شود و در نهایت سرعت‌گیر بهینه شده که در سرعت‌های مجاز سرنشین احساس آسایش و در سرعت‌های غیر مجاز احساس ناراحتی به او دست می‌دهد، طبق شکل ۳۱ به دست می‌آید. ابعاد سرعت‌گاه بهینه نیز در جدول ۵ آورده شده است.



شکل ۲۸- نمودارهای ماکزیمم شتاب‌ها



شکل ۲۹- نمودار همگرایی



شکل ۳۰- نقاط هدف شکل بهینه سرعت‌گیر پلاستیکی

۱۲- بهینه‌سازی سرعت‌گاه‌ها

طبق استانداردهای بین‌المللی سرعت‌گاه‌ها را می‌بایست فقط در خیابان‌هایی که حداکثر سرعت مجاز آن‌ها ۴۰ کیلومتر بر ساعت است نصب کرد. سرعت‌گاه‌ها پس از سرعت‌گیر پلاستیکی بیش‌ترین تعداد را در سطح شهر دارا هستند، ولی متأسفانه از یک استاندارد خاصی تبعیت نمی‌کنند و به جرأت می‌توان گفت هیچ‌کدام از دو سرعت‌گاه اندازه یکسانی ندارند. در این بخش ما می‌خواهیم با بهینه‌سازی به یک طرح واحد از مجموعه سرعت‌گاه‌ها (دوزنقه‌ای و کوهانی) برسیم. سرعت‌گاه‌ها در خیابان‌هایی که سرعت مجاز در آن‌ها تا ۵۵ کیلومتر بر ساعت نیز می‌باشد معمولاً ساخته می‌شوند. بنابراین ما مینا را برای سرعت مجاز عبور از روی سرعت‌گاه‌ها طبق استانداردهای جهانی ۴۰ کیلومتر بر ساعت در نظر می‌گیریم. برای بهینه‌سازی سرعت‌گاه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک، ابتدا می‌بایست مانند بخش قبل نمودار شتاب‌های ماکزیمم ایده‌آل خود را به نرم افزار معرفی نمایم تا الگوریتم ژنتیک با بهینه‌سازی سرعت‌گاه‌ها و رسم نمودار شتاب ماکزیمم، خود را به نمودار ایده‌آل برساند. شتاب را در ۱۱ سرعت طبق جدول ۴ معرفی می‌نماییم که منحنی آن در شکل ۳۲ با رنگ آبی مشخص است. سپس محدوده ارتفاعی که تقریباً می‌خواهیم سرعت‌گیر بهینه ما در آن قرار داشته باشد را معرفی می‌کنیم.

۱۳- روش ساخت سرعت‌کاه بهینه

با توجه به این که سرعت‌کاه‌های موجود در سطح شهر هر کدام به شکلی ساخته شده و ابعاد آن‌ها چه از لحاظ طول و چه از لحاظ ارتفاع مشابه یکدیگر نمی‌باشند و توجه به این نکته که سرعت‌کاه بهینه به دست آمده در بخش قبل نیز اگر به صورت دقیق ساخته نشود ممکن است نتیجه معکوس دهد بنابراین برای ساخت سرعت‌کاه در سطح شهر پیشنهاد می‌شود از ابزاری که در شکل ۳۵ مشاهده می‌کنید استفاده شود. بدین صورت که یک شابلونی برای هر نوع سرعت‌کاه، دقیقاً با ابعاد سرعت‌کاه، ساخته شده و هنگام ساخت از آن‌ها برای تأیید نهایی استفاده شود.



شکل ۳۵- روش ساخت سرعت‌کاه‌ها با شابلون

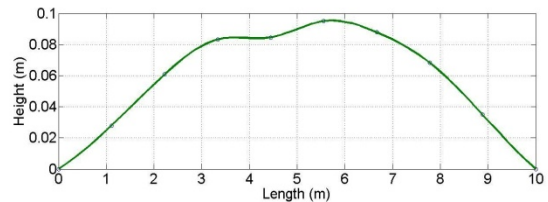
۱۴- سرعت‌کاه بالشتکی

تأخیر سرعت‌گیرها و سرعت‌کاه‌ها در عملیات کمک‌رسانی وسایل نقلیه اورژانسی مانند آمبولانس‌ها و خودروهای آتش‌نشانی مشکل‌ساز است. سرعت‌کاه بالشتکی در دسته‌بندی ابزار کنترل سرعت قرار می‌گیرد. در واقع هر بالشتک از چند سرعت‌کاه معمولی که با فاصله در یک خط در عرض خیابان نصب می‌شود، تشکیل می‌شود. آن‌ها در یک سری چند تایی در طول یک خیابان نصب می‌شوند. طراحی سرعت‌کاه به این شکل باعث می‌شود که رانندگان خودروهای معمولی مجبور شوند سرعت خود را کم کنند چون فاصله بین بالشتک‌ها به اندازه‌ای طراحی می‌شود که در هر صورت یک یا دو چرخ خودروهای معمولی از روی آن‌ها رد می‌شود. از آنجایی که طول اکسل در خودروهای اورژانسی مانند آتش‌نشانی و آمبولانس بیشتر از خودروهای معمولی است این نوع وسایل نقلیه می‌توانند بدون نیاز به کم کردن سرعت از بین بالشتک‌ها عبور کنند و در نتیجه تأخیری در سرویس دهی آن‌ها ایجاد نمی‌شود. یکی از مشکلاتی که همیشه متوجه بسیاری از شهرداری‌ها بوده انتقاد شدید از آن‌ها به دلیل استفاده از سرعت‌گیر و سرعت‌کاه و کند کردن وسایل نقلیه اورژانسی بوده است. بالشتک‌ها به عنوان راه حلی موثر، باعث می‌شود تا از این انتقادها کاسته شود. بالشتک‌ها را می‌توان از آسفالت، بتن یا

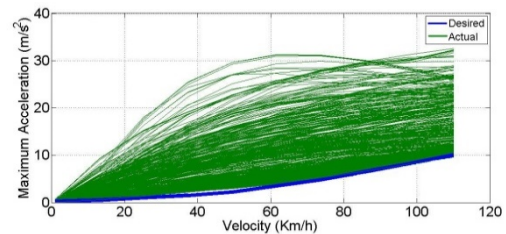
جدول ۵- ابعاد سرعت‌کاه کوهانی بهینه‌سازی شده

ارتفاع (cm)	عرض (cm)
۰	۰
۲/۸	۱۲۰
۶	۲۳۰
۸/۲	۳۴۰
۸/۳	۴۵۰
۹/۲	۵۶۰
۸/۹	۶۷۰
۶/۹	۷۸۰
۳/۸	۸۹۰
۰	۱۰۰۰

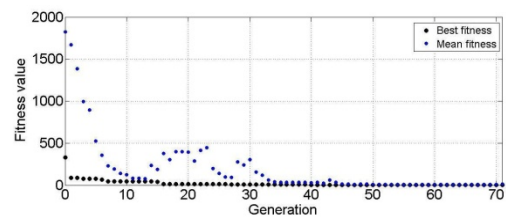
۱۲- انمودارهای الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی سرعت‌کاه



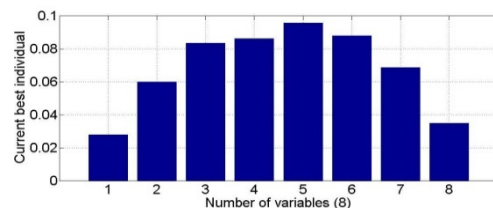
شکل ۳۱- سرعت‌کاه بهینه‌سازی شده



شکل ۳۲- نمودارهای ماکزیمم شتاب‌ها



شکل ۳۳- نمودار هم‌گرایی



شکل ۳۴- نقاط هدف شکل بهینه‌سازی شده

۱۵- ضوابط نصب سرعت گیر و سرعت کاه‌ها

(۱) استفاده از سرعت‌گیرهای پلاستیکی در اماکنی توصیه می‌شود که حداکثر سرعت وسایل نقلیه از ۲۰ کیلومتر بر ساعت تجاوز نمیکنند. پارکینگ‌ها یا مراکز خرید به عنوان بهترین اماکن برای نصب این وسیله است. نصب این وسیله در اماکن و معابری که محل رفت و آمد عمومی هستند مناسب نیست و باعث ایجاد مشکل برای وسایل نقلیه و سرنشینان می‌شود.

(۲) فقط خیابان‌ها و مناطق مسکونی محلی مناسب برای نصب سرعت‌کاه‌ها هستند و سرعت عبور از آن‌ها نیز بین ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

(۳) نصب این ابزار تنها در خیابان‌های مسکونی که روزانه کمتر از ۲۵۰۰ و بیشتر از ۱۰۰۰ وسیله نقلیه از آن‌ها عبور میکنند مجاز است.

(۴) سرعت‌کاه تنها زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ناکارآمدی و عملی نبودن ابزار دیگر کنترل سرعت (مثل تابلوها و علائم) مسجل شده باشد.

(۵) سرعت‌کاه‌ها برای نصب، نیاز به موافقت کتبی ۱۰٪ صاحبین املاک (یک رأی به ازای هر مالک) و ۶۷٪ ساکنین (یک رأی به ازای هر واحد مسکونی) خیابان محل نصب دارند.

(۶) نصب سرعت‌کاه در خیابان‌هایی که مسیر اولیه و اصلی رفت و آمد وسایل نقلیه اورژانسی مانند آمبولانس، آتش نشانی و نیروهای پلیس هستند و بنابر تشخیص متخصصان باعث تأخیر غیرقابل قبول در سرویس دهی میشوند، ممنوع است.

(۷) سرعت‌کاه‌های کوهانی باید به صورت سری چندتایی با فاصله معین در طول یک مسیر نصب شوند تا سرعت وسایل نقلیه قبل و بعد از هر سرعت‌کاه کوهانی کنترل شود. فاصله بین هر سرعت‌کاه بسته به طول خیابان محل نصب می‌تواند بین ۶ تا ۱۸ متر باشد.

(۸) نصب سرعت‌کاه در خیابان‌هایی که دارای یک مسیر در هر جهت حرکت هستند و تابلوی محدودیت سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت دارند ممکن است. البته سرعت‌کاه‌هایی که دارای طول بیشتر است می‌تواند در خیابان‌هایی با حداکثر سرعت مجاز ۴۰ کیلومتر بر ساعت نیز نصب شود.

(۹) سرعت‌گیرها و سرعت‌کاه‌ها نباید در معابر دارای شیب بیش از ۸ درصد نصب شود.

(۱۰) به دلیل تامین امنیت، این ابزار در خیابان‌هایی که طبق تایید متخصصان از طول و عرض مناسب و دید کافی از فاصله دور برخوردار نباشد و همچنین دارای پیچ و خم زیاد و شیب نامناسب باشند نصب نمی‌شود.

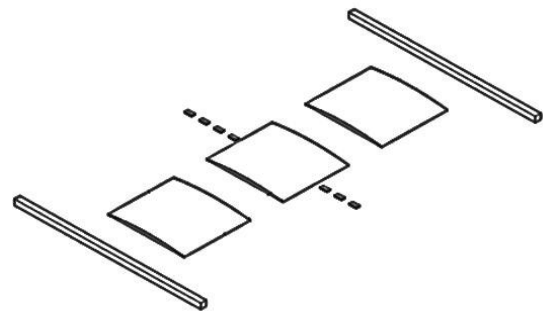
(۱۱) علائم هشدار دهنده که به راننده وجود سرعت‌کاه و همچنین سرعت عبور از آن‌ها را اعلام کند باید در فاصله مناسب قبل از شروع یک سری سرعت‌کاه نصب شوند.

پلاستیک فشرده تهیه کرد، اما بهترین گزینه برای ساخت آن‌ها نوع پلاستیکی است. سرعت‌کاه‌های بالشتکی را بسته به عرض خیابان می‌توان در اندازه‌های گوناگونی ساخت. ابعاد هر بالشتک را در جدول ۶ می‌توان مشاهده کرد.

جدول ۶- ابعاد هر بالشتک

ابعاد	اندازه
طول (cm)	۲۱۰
عرض (cm)	۱۸۰

قبل از نصب بالشتک‌ها م‌بایست عرض خیابان محل نصب اندازه گرفته شود، سپس فاصله بین بالشتک‌ها را تعیین می‌کنیم. این فاصله نباید از ۹۰ سانتی متر بیشتر باشد تا حداقل یکی از چرخ‌های خودروهای معمولی از روی بالشتک عبور کند.



شکل ۳۶- نمای سه بعدی سرعت‌کاه بالشتکی

همان‌گونه که در شکل ۳۶ و جدول ۷ مشاهده می‌کنید، با یک محاسبه ساده پیوسته، خودروهای اضطراری بدون هیچ مشکلی از بین بالشتک‌ها و بدون عبور از روی آن‌ها به مسیر خود ادامه می‌دهند، اما خودروهای سواری مانند پراید می‌بایست حداقل یک چرخ آن‌ها از روی بالشتک عبور کند.

جدول ۷- فاصله مرکز چرخ‌های جلو خودروها

اندازه	های جلو فاصله مرکز چرخ
۱۴۰	(cm) پراید
۲۲۰	(cm) آتش نشانی
۲۱۰	(cm) آمبولانس

با سرعت غیرمجاز در حال حرکت هستند را ایفا کند. برای مشکل تأخیر در عملیات امداد رسانی وسایل نقلیه اورژانسی نیز سرعت‌کاه‌های بالشتکی پیشنهاد شد تا با نصب این نوع سرعت‌کاه در مسیر رفت و آمد آن‌ها از بروز این مشکل جلوگیری شود.

مراجع

- [1] Mock C. N. , Forjough S. N. and Rivara F. P. , "Epidemiology of transport related injuries in Ghana," *Journal of Accident Analysis and Prevention*, vol. 31, pp. 359-370, 1999.
- [2] Baghmishe M. T. , Hassannejad R. and Mirzaei M. , "Application of genetic algorithms in optimal design of a passive suspension system a vehicle subjected to random excitations of actual road," *Modares Journal of mechanical Engineering (Scientific Research Monthly Journal)*, vol. 10, pp. 1-12, 2010.
- [3] Schabbach K. , "Traffic calming in Europe," *ITE Journal (Institute of Transportation Engineers, 1997)*.
- [4] Department of public works and guidelines, "Residential speed hump program and guidelines," 2007
- [5] Karris S. , "Introduction to simulink with engineering applications," *Orchard Publications*, 2006
- [6] Akay H. , Turkay S. , "A study of random vibration characteristics of a quarter car model," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 282, pp. 111-124, 2004
- [7] Ahmadian M. , Pare C. , "A quarter car experimental analysis of alternative semi active control methods," *Journal of Intelligent Material System and Structures*, vol. 11, pp. 604-612, 2001
- [8] Sawant S. H. , Mrunalinee V. , Manorama A. and Dipali D. , "Vibrational analysis of quarter car vehicle system subjected to harmonic excitation by road surface," *Undergraduate Academic Research Journal*, vol. 1, 2012.
- [9] Patel C. B, Gohil P. P and Borhade B. , "Modelling and vibration analysis of a road profile measuring system," *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 1, pp. 13-28, 2010.
- [10] Paulo C. G. , de Barcellos C. S. and da Rosaneto A. , "A numerical model for passenger car ride comfort studies," *SAE Technical Paper*, vol. 39, 2001.
- [11] Gawade T. R. , Mukherjee S. and Mohan D. , "Wheel lift -off and ride comfort of three-wheel vehicle over bump," *IE Journal - MC*, vol. 85, pp. 79-83, 2004.
- [12] McCall J. , "Genetic algorithms for modeling and optimization," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 184, pp. 205-222, 2005.
- [13] ISO 2631-1(International Standard Organization), "Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration," Second Edition, 1997.
- [14] AASHTO(American Association of State Highway Transportation Officials), "A policy on geometric design of highway and streets," Fifth Edition, Washington, DC, 2004.
- [15] Rylande R. , Bjorkman M. , "Road traffic noise influenced by bumps," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 250 , pp. 157-159, 2002
- [16] Berthod C. , "Traffic calming speed humps and speed cushions," Annual Conference of The Transportation Association of Canada, Edmonton, Alberta, 2011.
- [17] Alkhatib R. , Jazar G. and Golnaraghi M. F. , "Optimal

(۱۲) سرعت‌کاه نباید در خیابان‌های بن‌بست با طول کمتر از ۲۵ متر نصب شود.

(۱۳) بر روی هر سرعت‌کاه باید خطوط مخروطی شکل و با رنگی مشخص کشیده شود تا رویت آن‌ها را از فاصله دور و در شب تسهیل بخشد.

۱۶- نتیجه‌گیری

هدف از این مقاله، تحلیل سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌های موجود در سطح شهر و شناسایی کم‌ضررترین آن‌ها برای سرنشین و خودرو و همچنین بهینه‌سازی آن‌ها برای رسیدن به طرحی که سرنشینان خودروهای دارای سرعت مجاز، هنگام عبور از روی آن‌ها طبق استاندارد، کمترین شتاب را تحمل کنند و در ضمن خودروهایی که با سرعت غیرمجاز از روی آن‌ها عبور می‌کنند، سرنشینان آن بیشترین شتاب را متحمل شده و در ناراحتی کامل باشند، بوده است.

به منظور دستیابی به این اهداف، ابتدا مدل یک چهارم خودرو را در نرم‌افزار سیمولینک شبیه‌سازی کردیم، سپس انواع سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌های موجود در سطح شهر را در متلب با کد نویسی ساخته و مدل یک چهارم خودروی پراید را با آن‌ها تحریک کرده و نتایج را به دست آوردیم.

پس از تحلیل و بررسی رفتار مدل شبیه‌سازی خودرو به این نتیجه رسیدیم که سرعت‌کاه کوهانی در سرعت‌های مجاز کم‌ضررترین ابزار کنترل سرعت در سطح معابر شهری است. در ضمن سرعت‌کاه‌های دوزنقه‌ای نیز بیشترین ناراحتی را برای سرنشین و همچنین بیشترین آسیب را به سیستم تعلیق خودرو وارد می‌کنند، حتی در سرعت‌های مجاز.

بنابراین ما بر آن شدیم تا برای تمایز بین رانندگان متخلف و رانندگانی که با سرعت مجاز از روی سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها عبور می‌کنند، با بهینه‌سازی سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها بتوانیم شتاب وارد بر خودرو را برای خودروهای عبوری با سرعت مجاز کاهش دهیم که نتیجه آن آسایش بیشتر سرنشینان می‌باشد و به تبع آن نیروی وارد بر سیستم تعلیق نیز کاهش پیدا می‌کند.

مقاطع عرضی سرعت‌گیر و سرعت‌کاه بهینه‌سازی شده در نقشه‌های ۲۷ و ۳۱ قابل ملاحظه می‌باشد. در ضمن برای ساخت سرعت‌کاه‌ها از جمله سرعت‌کاه بهینه‌سازی شده نیز می‌بایست از شابلون پیش ساخته که در شکل ۳۵ مشاهده می‌کنید، استفاده شود.

بنابراین برای به‌ترین عمل‌کرد سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها علاوه بر بهینه‌سازی آن‌ها می‌بایست کلیه قوانین و استانداردهای نصب از جمله موقعیت نصب، فاصله دید و نمایان ساختن آن‌ها نیز مد نظر قرار گیرد تا با کنار هم قرار گرفتن کلیه این عوامل، این ابزار بتواند به‌ترین عمل‌کرد را در کاهش سرعت خودروهای عبوری که

design of passive linear suspension using genetic algorithm,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 275, pp. 665-691, 2004.

[18] Tamboli J. A. , Joshi S. G, “Optimization design of passive suspension system of a vehicle subjected to actual random excitations,” *Journal of Sound an Vibration*, vol. 219, pp. 193-205, 1999.

[19] Agharkakli A. , ChavanU. s. and Phvithran S. , “Simulation and analysis of passive and active suspension system using quarte car model for nonuniform road profile,” *International Journal of Engineering Research and Application*, vol. 2, pp. 900-906, 2012.

[20] Hessling J. P. , “Analysis and synthesis of speed limiting road humps,” *International Symposium on Precision Mechanical Measurments*, NPL London, 2008.

[21] Salau T. A. , Adeyfa A. O. and Oke S. A. , “Vehicle speed control using road bumps,” *Transport Journal*, vol. xix, pp. 130-136, 2004.

[22] Baupal A. E. , McPhee J. J. and Calamai P. H, “Application of genetic algorithms to the design optimization of an active vehicle suspension system,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 163, pp. 87-94, 1998.

[۲۳] شعراف س. آ، مشهدی ب، شبیه‌سازی و مقایسه رفتار ارتعاشی خودروی پراید با سیستم تعلیق عادی، نیمه فعال و فعال، سومین همایش ملی مهندسی مکانیک، ۱۳۸۹.

[۲۴] دامرودی م، پوزش پ، انواع مکانیزم‌های سیستم تعلیق، ماهنامه مهندسی خودرو و صنایع وابسته، ص. ۳۵-۳۹، ۱۳۸۹.

[۲۵] مشهدی ب، حاتم آباد م، تحلیل حرکت خودرو بر جاده‌های آزمون در محیط مجازی، ماهنامه مهندسی خودرو و صنایع وابسته، شماره ۸، ص. ۱۱-۱۷، ۱۳۸۸.