

بررسی تغییرات شتاب قائم در محل اعمال بر بلندی معوج بر اساس بکارگیری مدل یک چهارم خودرو در طرح هندسی جاده‌های دو خطه

مقاله علمی - پژوهشی

حسین پورخانی، گروه برنامه ریزی حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
علی عبدی کردانی*، استاد، گروه برنامه ریزی حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
ناهید امینی، دانشجوی دکتری، گروه برنامه ریزی حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: aliabdi@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۱ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

صفحه ۱۸۹-۲۰۲

چکیده

هدایت آب‌های سطحی ناشی از بارش‌های آسمانی در رویه راه از اهمیت زیادی برخوردار است. معمولاً این کار به کمک شیب‌های طولی و عرضی مسیر تامین می‌گردد. این مهم در محل قوس‌های افقی با در نظر گرفتن نقشی که طراحی صحیح آن‌ها در تامین ایمنی دارد، دوچندان می‌شود. در این تحقیق راهکار استفاده از بر بلندی معوج در محل تغییر شیب عرضی مسیر از حیث کم و کیف شتاب قائم خود را بررسی شده است. استفاده از بر بلندی معوج می‌تواند ناشی از قرارگیری در دو سر قوس افقی و یا صرفاً قرارگیری در محل تغییر راستای زهکشی مسیر باشد. مطالعه شتاب قائم به کمک مدل دینامیکی سیستم تعلیق یک چهارم خودرو با دو درجه آزادی صورت پذیرفته است. به منظور مدل‌سازی هندسی مسیر از روش‌های هندسی تحلیلی و جبر خطی استفاده شد. معادلات صفحه رویه آسفالت در محل بر بلندی معوج برای داده‌های هندسی کلی مسیر مانند عرض مسیر، شیب عرضی در مسیر افقی مستقیم، طول اعمال بر بلندی معوج بدست آمد. در ادامه با مدل‌سازی ریاضی صفحه‌های عمود بر مسیر حرکت خودرو (موازی با محور طولی راه) و تعیین خطوط فصل مشترک با صفحه‌های رویه راه، معادلات پروفیل طولی مسیر (محل تماس چرخ خودرو) تعیین گردید. داده‌های پروفیل طولی و مدل سیستم تعلیق در محیط متلب پیاده‌سازی و نتایج استخراج گردید. مطالعه مدل دینامیکی خودرو برای سرعت‌های ۹۰، ۷۰، ۵۰ و ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت برای خودرویی مشخص (در اینجا پراید) نشان داد حداکثر شتاب قائم در حالت اعمال بر بلندی سستی به ترتیب برابر ۱، ۷۳، ۱، ۹۳، ۱، ۹۶ و ۱، ۹۶ می‌باشد. استفاده از روش بر بلندی معوج راهکاری موثر در زهکشی عرضی مسیر است (با توجه به تامین شیب عرضی لازم در مسیر) ولیکن شتاب قائم را به شکل محسوس به مقادیر مجاز نزدیک می‌کند (هر چند در این تحقیق از جد مجاز عبور نکرد).

واژه‌های کلیدی: بر بلندی معوج، طراحی قوس افقی، ایمنی جاده، شتاب قائم، مدل یک چهارم خودرو

۱- مقدمه

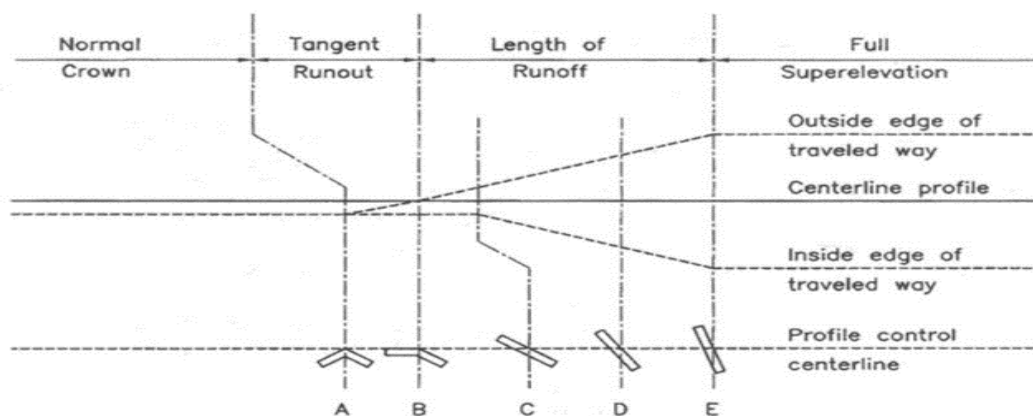
محل تغییرات بر بلندی شیب آسفالت برابر صفر و در همسایگی آن، مقداری کم و عمل‌آزیر شیب حداقل عرضی باشد. در این حالت هدایت آب‌های سطحی با مشکل مواجه بوده و طی مسیر می‌تواند همراه با خطر باشد. در شکل ۲ روش سستی پروفیل طولی بر بلندی در محل تغییرات شیب عرضی آورده شده است.

در روش سستی تامین شیب عرضی (بر بلندی) معمولاً بلندشدگی رویه راه جهت تغییر علامت شیب عرضی با چرخش حول محوری موازی با راه (محور میانی - لبه کناری سمت راست - لبه کناری سمت چپ) صورت می‌پذیرد. چرخش حول محور طولی ناگزیر باعث می‌شود در قسمت‌هایی از

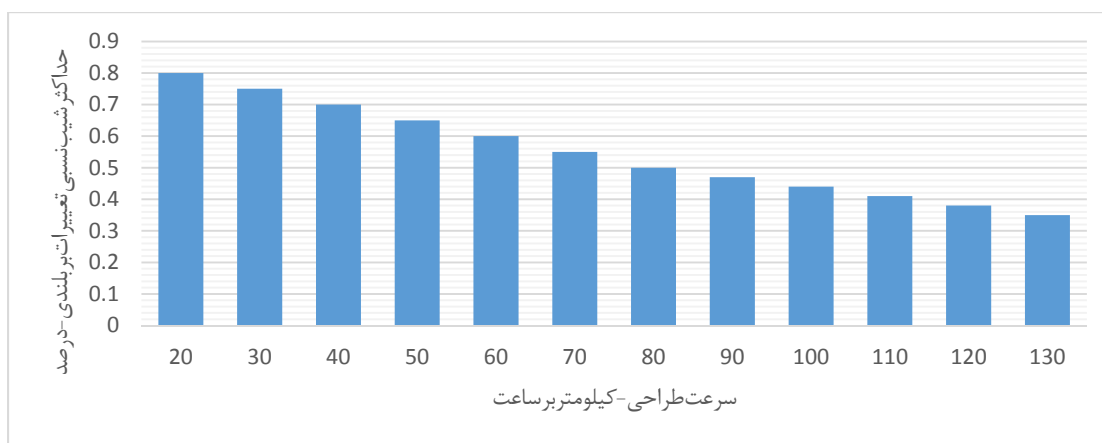
دایره‌ای در نظر گرفته می‌شود (از E تا B). اشتوپیشنهاد می‌دهد شیب این دو قسمت با هم برابر باشند (محدوده Runoff و Runout)، (Officials, 2018).
 ۲۰۱۸). اشتوبرای شیب تغییرات بر بلندی در راه‌های بایک خط عبور در هر جهت مقدار بیشینه‌ای را پیشنهاد می‌دهد. شکل ۲ نمودار تغییرات مقدار پیشنهادی را برای سرعت‌های طراحی مختلف نشان می‌دهد (Officials, 2018).
 برای سرعت‌های بیشتر این شیب کمتر می‌باشد که به مفهوم بلندتر بودن طول کلو توئید برای سرعت‌های بیشتر می‌باشد. با افزایش تعداد خط عبور این مقادیر با ضریب $\frac{n}{1+0/5(n-1)}$ قابل افزایش خواهد بود که در آن n تعداد خطوط عبور یک جهت می‌باشد (Marchionna & Perco, 2000).

همانگونه که مشاهده می‌شود در روش‌های سنتی هرگونه بلندشدگی یا افتادگی ناگهانی آسفالت صرافادر دو محل رخ می‌دهد که عبارت‌اند از شروع بر بلندی بیشینه قوس افقی و نیز شروع افزایش بر بلندی مسیر مستقیم. علاوه بر وجود شیب عرضی در قوس‌های افقی، مسیر مستقیم جاده نیز به جهت فراهم شدن زهکشی مناسب با مقدار کمی شیب عرضی اجرامی گردد (مقطع A در شکل ۱).

به هنگام اتصال مسیر مستقیم به قوس افقی نیمه از عرض جاده همسوی با شیب بر بلندی می‌باشد و نیم دیگر شیب مخالف بر بلندی دارد. برای دستیابی به بر بلندی در نیمه دارای شیب مخالف، می‌بایست در یک طول مشخص و با تغییرات غیر ناگهانی به شیب صفر رسیده (مقطع B شکل ۱) و سپس تا دستیابی به بر بلندی بیشینه (مقطع E در شکل ۱) مشمول تغییرات شود. معمولاً کلو توئید به منظور تغییرات شیب عرضی از صفر تا میزان بر بلندی قوس



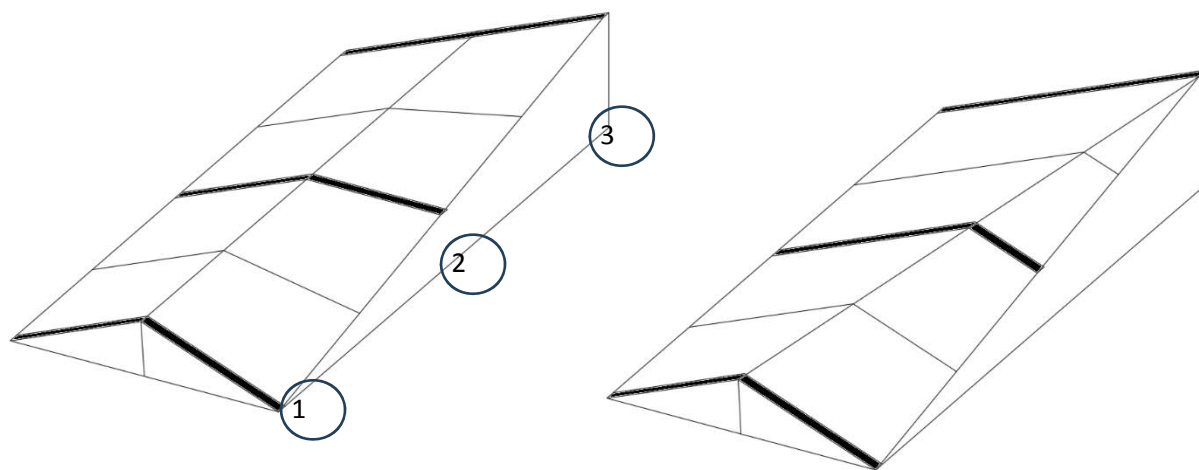
شکل ۱. نمودار کلی تغییرات بر بلندی در قوس اتصال و قوس افقی (Officials, 2018)



شکل ۲. نمودار حد اکثر شیب نسبی تغییرات بر بلندی برای سرعت‌های طراحی مختلف

چرخش رویه از محور طولی به محوری مورب که واصل بین حداکثر بلندشدگی آسفالت در لبه های مقطع A و B می باشد، در مسیر راه هیچ بخشی از حرکت خود رو بدون زهکشی عرضی نخواهد بود. هر چند با این راهکار مساله مهم هدایت آبهای سطحی حل شد ولیکن ناگزیر در مسیر چرخ های و وسایل نقلیه بلندشدگی آسفالت ایجاد می گردد که می تواند احساس ناراحتی برای کاربران راه ایجاد نماید.

شیب طولی نمودار واقع در شکل ۱ مبتنی بر داده های شکل ۲ می باشد. همانگونه که مشاهده می گردد برای سرعت های پایین تر استفاده از شیب های بیشتر مقدور بوده و هر چه سرعت بالاتر شود شیب های یاد شده کاهش می یابد. بابت کارگیری بر بلندی معوج ساختار های نشان داده شده در شکل ۲ که مبتنی بر روش های سنتی است تغییر می یابد. در شکل ۳ تفاوت این دو رویکرد نشان داده شده است. در شکل ۳ ب عملاً با تغییر محل



شکل ۳. مقایسه تغییرات بر بلندی در روش سنتی (سمت چپ) و روش بر بلندی معوج (سمت راست)

اصلی بکارگیری بکارگیری معوج هدایت عرضی آب های سطحی می باشد. در تحقیقات صورت گرفته عمدتاً یک حد نهایی قایل قبول برای شتاب قائم در نظر گرفته شده است (Basil Psarianos 2017). در پاره ای از تحقیقات تلاش شد با اصلاح هندسی و گرد نمودن محل بر بلندی معوج آثار تیز شدن لبه آسفالت جبران شود (Konstantinos Apostoleries 2019).

استفاده از روش بر بلندی معوج می تواند قبل و بعد از قوس های افقی و یا در مسیر مستقیم خود رو باشد. در خصوص مورد دوم، علت ایجاد عوج در راستای بر بلندی ممکن است ناشی از تغییر محل زهکش کناری جاده از یک جهت به جهت مخالف باشد. برای قوس های افقی نیز دو حالت اتصال مسیر مستقیم به قوس افقی و یا اتصال دو قوس افقی بصورت پشت به پشت و تشکیل قوس معکوس متصور می باشد. بطور کلی هدف

۲- روش شناسی

- در این تحقیق به منظور مدل سازی هندسه مسیر از روش های تحلیل هندسی و جبر خطی استفاده شده است. دو حالت کلی زیر در نظر گرفته شده است:
- اتصال در محل بلندشدگی یک طرف عرض راه: می تواند در محل اتصال مسیر مستقیم با قوس افقی باشد. البته در یک قطعه مستقیم راه که در بخشی از راه هدایت آب های سطحی به جای دو طرف راه، فقط در یک طرف راه باشد، استفاده از این حالت می تواند متصور باشد.
 - اتصال در محل بلندشدگی دو طرف عرض راه: می تواند در محل اتصال دو قوس افقی پشت به پشت (قوس معکوس) باشد. در قطعه مستقیم راه در

حالتی که زهکشی جاده فقط در یک جهت امکان رخ دادن داشته باشد و از سویی تغییر محل زهکشی از جهت به جهت مخالف رخ دهد، این حالت قابل اجرا می باشد. برای هر یک از حالات فوق موارد زیر پیاده سازی گردید:

الف) فرموله کردن رویه راه در محل ایجاد بریلندی معوج بر اساس فرمول کلی صفحه در دستگاه دکارتی.

ب) فرموله کردن صفحه ماربر مسیر حرکت خود در (موازی محور طولی راه)

ج) محاسبه فصل مشترک صفحه های یاد شده فوق (الف و ب) که معادله ریاضی خط منحنی در دستگاه دکارتی بوده و عملاً هندسه پروفیل طولی مسیر بلند شدگی آسفالت را تشکیل خواهد داد.

۲-۱- بررسی هندسی و جبری بلند شدگی یک سمت عرض محور

در شکل ۴ هندسه کلی مسیر آورده شده است. متغیرهای بکار رفته در این شکل به قرار زیر می باشد:

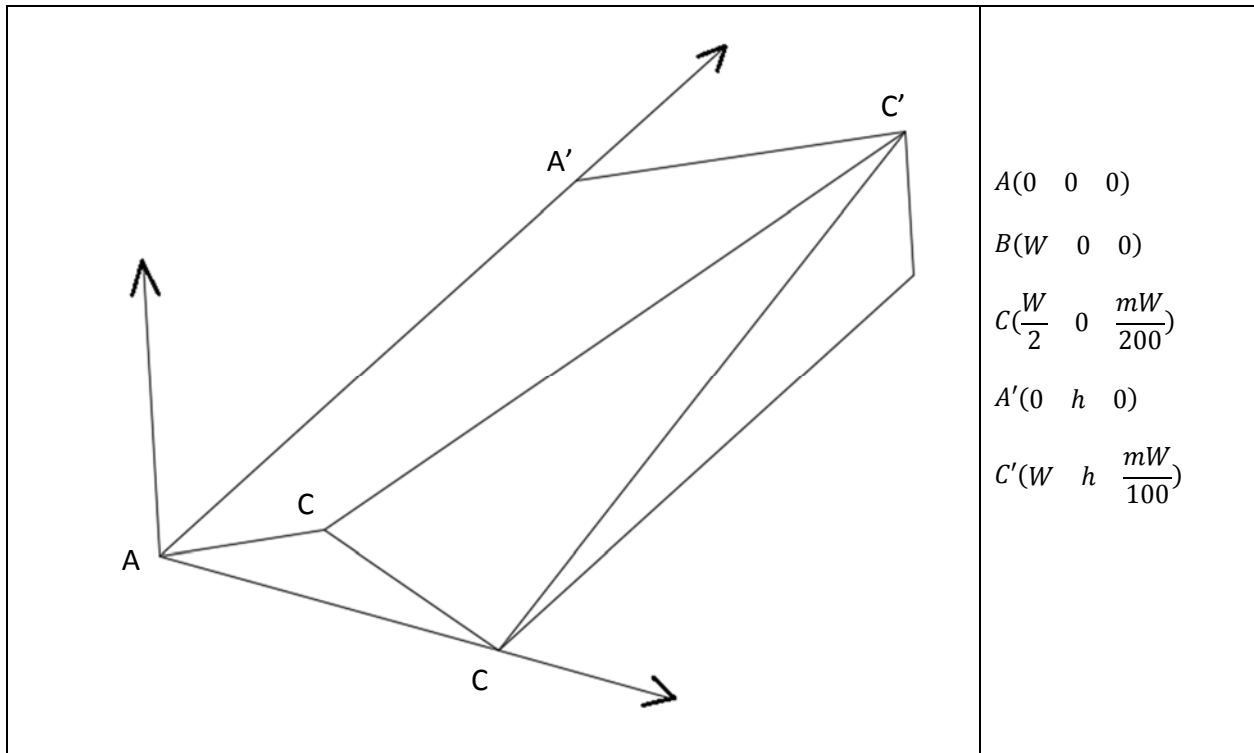
W : عرض کلی محور بر حسب متر؛

m : شیب عرضی راه در مسیر مستقیم بر حسب درصد؛

h : طول محدوده اعمال بریلندی معوج؛

n : فاصله عرضی مقطع طولی مطالعاتی از محور راه بر حسب متر

همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می گردد در محل اعمال بریلندی معوج، رویه های $A'C'C$ و BCC' سطح راه را می سازند. برای رویه $A'C'C$ به منظور تعیین بردار عمود بر سطح، از ضرب داخلی بردارهای $C'A'$ و $C'C$ مطابق رابطه استفاده می گردد.



شکل ۴. نمای کلی محل بریلندی معوج - بلند شدگی یک سمت محور

$$N = C'A' * C'C = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ -W & 0 & -\frac{mW}{100} \\ -\frac{W}{2} & -h & -\frac{mW}{100} \end{vmatrix} \quad (1)$$

$$= -\frac{hmW}{100}\vec{i} - \frac{mW^2}{200}\vec{j} + Wh\vec{k}$$

برای فرموله کردن رابطه ریاضی صفحه $A'C'C$ می توان از بردار عمود بر سطح محاسبه شده در ۱ و نیز یک نقطه مشخص از صفحه یاد شده استفاده کرد. در اینجا نقطه C' انتخاب می گردد. رابطه ریاضی صفحه یاد شده در رابطه ۲ آورده شده است.

$$-\frac{hmW}{100}(x - W) - \frac{mW^2}{200}(y - h) + Wh\left(z - \frac{mW}{100}\right) = 0 \quad (2)$$

برای رویه BCC' به منظور تعیین بردار عمود بر سطح، از ضرب داخلی بردارهای CB و CC' مطابق رابطه ۳ استفاده می گردد.

$$N = CB * CC' = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ W & 0 & -\frac{mW}{200} \\ \frac{W}{2} & h & \frac{mW}{200} \end{vmatrix} \quad (3)$$

$$= \frac{hmW}{200}\vec{i} - \frac{mW^2}{200}\vec{j} + \frac{Wh}{2}\vec{k}$$

برای فرموله کردن صفحه BCC' می توان از بردار عمود بر سطح محاسبه شده در ۳ و نیز یک نقطه مشخص از صفحه یاد شده استفاده کرد. در اینجا نقطه C انتخاب می گردد. رابطه ریاضی صفحه یاد شده در رابطه ۴ آورده شده است.

$$\frac{hmW}{200}\left(x - \frac{W}{2}\right) - \frac{mW^2}{200}(y - 0) + \frac{Wh}{2}\left(z - \frac{mW}{200}\right) = 0 \quad (4)$$

نقطه ای روی محور افقی X که در فاصله $n + \frac{W}{2}$ از مبدأ قرار دارد و راستای عمود یاد شده تشکیل می گردد.

برای تعیین معادله خطوط پروفیل طولی، در این قسمت اقدام به فرموله کردن معادله صفحه عمود بر راستای محور راه بر اساس شد که در رابطه ۵ آورده شده است. در اینجا بردار عمود بر سطح همان بردار یکه راستای X است بنابراین رابطه صفحه با در نظر گرفتن یک نقطه مشخص (در این جا

$$N = \vec{i} \quad (5)$$

$$\left(x - \left(\frac{W}{2} + n\right)\right)\vec{i} = 0$$

معادله خط پروفیل طولی واقع در صفحه $A'C'C$ بر اساس محاسبه فصل مشترک صفحه های روابط ۲ و ۵ صورت می پذیرد. که در رابطه ۶ آورده شده است.

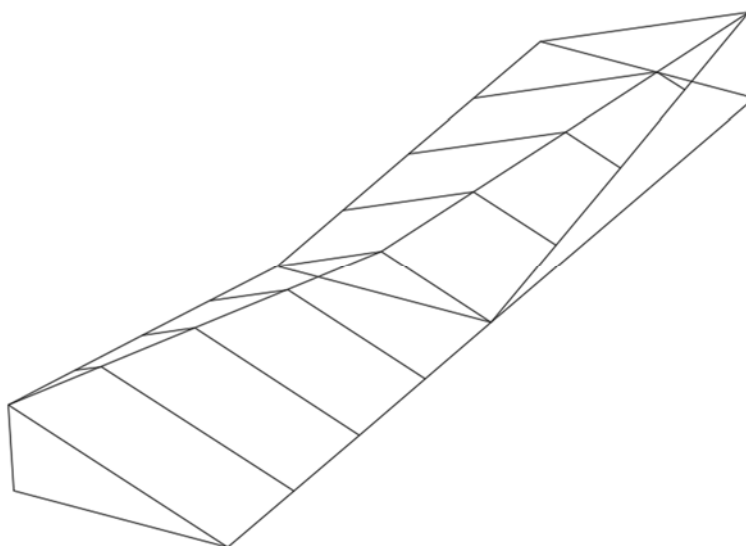
$$-\frac{hmW}{100} \left(\frac{W}{2} + n - W \right) - \frac{mW^2}{200} (y - h) + Wh \left(z - \frac{mW}{100} \right) = 0 \quad (6)$$

معادله خط پروفیل طولی واقع در صفحه $A'C'C'$ بر اساس محاسبه فصل مشترک صفحه‌های روابط ۵ و صورت می‌پذیرد. که در رابطه ۷ آورده شده است.

$$\frac{hmW}{200} \left(\frac{W}{2} + n - \frac{W}{2} \right) - \frac{mW^2}{200} (y - 0) + \frac{Wh}{2} \left(z - \frac{mW}{200} \right) = 0 \quad (7)$$

۲-۲- بررسی هندسی و جبری بلندشدگی دو سمت عرض محور

این حالت در حقیقت با تکرار حالت قبل به شکل قرینه معکوس قابل دستیابی است بنابراین محاسبات متفاوت نمی‌باشد. در شکل ۵ این خالت نشان داده شده است.



شکل ۵. نمای کلی محل بر بلندی معوج-بلندشدگی در دو سمت محور در محل قوس معکوس

۲-۳- مدل سیستم تعلیق یک چهارم خودرو

شتاب قائم رادریپی خواهد داشت. بر اساس استاندارد ISO شتاب قائم احساس ناراحتی را برای انسان در پی دارد (Marjanen, ۲۰۱۰). جدول ۱ گستره‌ای از تاثیرات شتاب قائم بر روی ایجاد ناراحتی را نشان داده است.

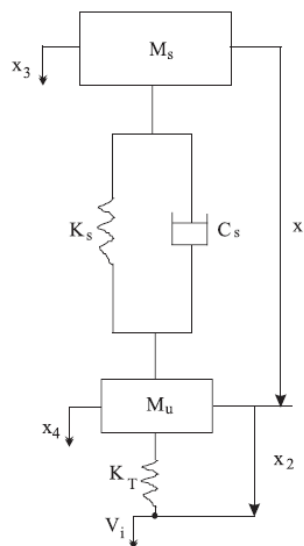
در این تحقیق شتاب قائم در محل بر بلندی معوج مورد مطالعه قرار می‌گیرد. با توجه به گوشه دار بودن نمودار تغییرات بر بلندی، عملاً خودرو بایک دست انداز رو برو می‌شود. وجود حرکت ناگهانی قائم، تغییرات

جدول ۱. سطوح مختلف ایجاد ناراحتی بر اساس شتاب قائم m/s^2 (Al-Ashmori & Wang, 2020)

Weighted Acceleration (m/s^2)	ISO Comfort Level
<0.315	Not uncomfortable
0.315–0.63	A little uncomfortable
0.5–1	Fairly uncomfortable
0.8–1.6	Uncomfortable
1.25–2.5	Very uncomfortable
>2	Extremely uncomfortable

در این مدل، یک چهارم جرم بدنه خودروه به عنوان جرم فنربندی شده و یک چهارم جرم کل اکسل ها و چرخ ها به عنوان جرم فنربندی نشده در نظر گرفته می شوند. معیار عملکرد در مدل فوق شتاب جرم فنربندی شده و میزان جابجایی تعلیق می باشد. این مدل دارای دو درجه آزادی (جابجایی جرم فنربندی شده، جرم فنربندی نشده) می باشد. در شکل ۶ مدل یک چهارم خودرو نشان داده شده است.

در یکی از تحقیقات قدیمی آستانه راحتی شتاب قائم برابر $0.2 * g$ ذکر شده است (McGe, H.W 1984) که در اینجا g شتاب قائم گرانش زمین می باشد. مدل بکاررفته در این تحقیق به منظور مطالعه سیستم تعلیق، مدل یک چهارم خودرو می باشد. در خودرو جهت تعدیل اثرات نامطلوب ناشی از ناهمواری سطح جاده از سیستم تعلیق استفاده می شود. این اثرات باعث خستگی راننده و سرنشینان آن بوده به گونه ای که ممکن است سلامتی راکبین را به خطر انداخته و حتی در کیفیت رانندگی تاثیر بگذارد (Türkay & Akçay, 2005)



شکل ۶. نمونه یک مدل سیستم تعلیق یک چهارم خودرو (Türkay & Akçay, 2005)

حالت با تعریف متغیرهای حالت زیر در رابطه ماتریسی ۸ آورده شده است (Türkyay & Akçay, 2005).

در شکل ۶، M_S جرم بدنه خودرود و فنربندی شده، M_U جرم فنربندی نشده چرخ و محور، K_S ثابت فنربندی سیستم تعلیق، C_S ثابت میرایی سیستم تعلیق، K_T ثابت فنربندی چرخ می باشد. معادلات حاکم بر سیستم در فضای x_1 : فاصله بین جرم های فنربندی شده و فنربندی نشده
 x_2 : فاصله بین جرم فنربندی نشده و جاده
 x_3 : سرعت مطلق جرم فنربندی شده
 x_4 : سرعت مطلق جرم فنربندی نشده

$$\dot{X} = AX + BV_i \Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -K_S & 0 & -C_S & C_S \\ M_S & 0 & M_S & M_S \\ K_S & K_T & C_S & -C_S \\ M_U & M_U & M_U & M_U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_i \quad (8)$$

V_i سرعت ورودی فضای حالت می باشد. در این تحقیق شتاب قائم جرم فنربندی شده و نامورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور فرم ماتریسی شماره ۹ برای خروجی تعریف می گردد.

$$Y = CX \Rightarrow Y = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (9)$$

فرم ماتریسی ۹ مقدار C را می دهد که با مشتق گیری نسبت به زمان مقدار C و \dot{C} بدست می آید. در این تحقیق سیستم معادلات فوق با کدنویسی در محیط GNU octave پیاده سازی شده است.

مشخصات سیستم تعلیق خودرود برای پیاده سازی سناریوهای سیستم تعلیق لازم است مشخصات جرم های فنربندی شده و فنربندی نشده، سختی فنرها و نیز خصوصیات میراگر تعریف گردد. در این تحقیق از مشخصات خودرود پراید استفاده شده که در جدول ۲ آورده شده است (قربانیان، جمشیدی، احسان و آشوری، 2011).

جدول ۲. مشخصات مدل یک چهارم خودرود اتومبیل پراید (قربانیان و همکاران، ۲۰۱۱)

پارامتر	مقدار
M_S	۲۵۰ کیلوگرم
M_U	۲۰ کیلوگرم
K_S	۷۰۰۰ نیوتن بر متر
K_T	۱۰۵۰۰۰ نیوتن بر متر
C_S	۲۶۰۰ نیوتن ثانیه بر متر

۳- یافته‌های تحقیق

در این قسمت ابتدا مشخصات هندسی رویه راه (ویژگیهای برش‌های طولی) برای سرعت‌های مختلف طراحی و نیز فاصله از محور راه و در گام بعد نتایج شبیه‌سازی یک چهارم خود را برای سرعت‌های مختلف، بررسی می‌شوند. شکل‌های ۷ و ۸ نمودارهای پروفیل طولی رویه راه را نشان می‌دهند که در این شکل‌ها:

-محور افقی: طول مسیر - متر

-محور قائم: بلندی شیب آسفالت - متر

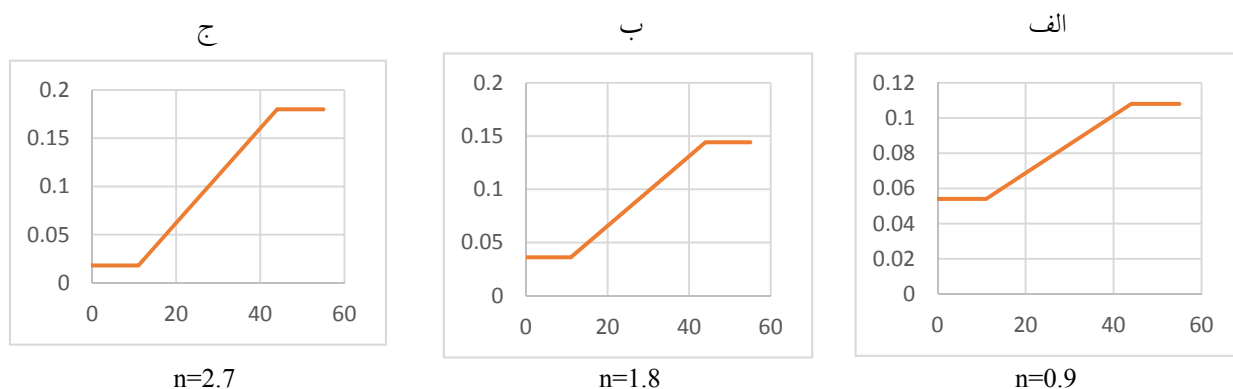
- n : فاصله عرضی مقطع پروفیل طولی از محور میانی راه بر حسب متر

-سرعت طراحی ۵۰ کیلومتر بر ساعت

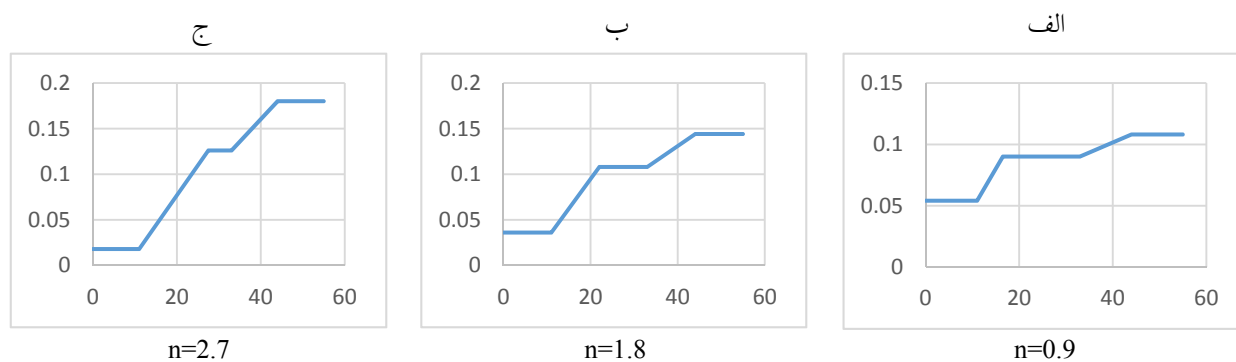
شکل ۷ دربردارنده تغییرات رویه راه برای ۳ برش طولی متفاوت در حالت تغییرات بر بلندی سنتی می‌باشد.

در شکل ۸ تغییرات بر بلندی رویه راه برای ۳ برش طولی در حالت تغییرات بر بلندی معوج آورده شده است.

در شکل ۷ مابده از ای مقادیر مختلف n و از کوچک به بزرگ شیب نمودار افزایش می‌یابد. در روش سنتی اعمال بر بلندی، نمودار تغییرات کاملاً پیوسته و بدون هرگونه پریدگی در لبه آسفالت در میانه نمودار می‌باشد.



شکل ۷. سه برش طولی مختلف رویه راه - روش اعمال بر بلندی سنتی



شکل ۸. سه برش طولی مختلف رویه راه - روش بر بلندی معوج

نمودارهای شکل ۸ برای n های مختلف از کوچک به بزرگ ضمن دربر داشتن افزایش شیب کلی نمودار، نشان دهنده وجود یک پرش در محدوده ابتدای انتهای اعمال تغییرات می باشد. در جدول ۳ نتایج مدل سازی یک چهارم خودرو برای خودرو پراید و مقادیر شتاب قائم برای سرعت های مختلف و مابه ازای فاصله های متفاوت از محور افقی میانی راه آورده شده است.

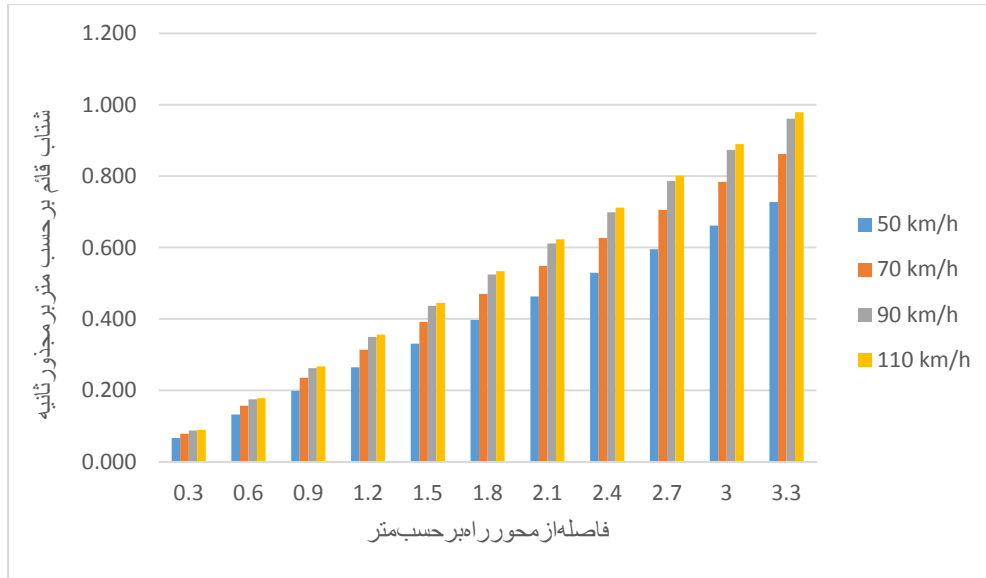
جدول ۳. نتایج مدل سازی اندازه گیری شتاب قائم متر بر مجذور ثانیه برای سرعت های مختلف

												km/h	
3.6	3.3	3	2.7	2.4	2.1	1.8	1.5	1.2	0.9	0.6	0.3		
0.794	0.728	0.661	0.595	0.529	0.463	0.397	0.331	0.265	0.198	0.132	0.066	50	بر بلندی
0.940	0.862	0.784	0.705	0.627	0.549	0.470	0.392	0.314	0.235	0.157	0.078	70	
1.048	0.961	0.874	0.786	0.699	0.612	0.524	0.437	0.349	0.262	0.175	0.087	90	
1.067	0.979	0.890	0.801	0.712	0.623	0.534	0.445	0.356	0.267	0.178	0.089	110	
0.794	1.458	1.326	1.195	1.065	0.936	0.808	0.680	0.550	0.414	0.265	0.132	50	بر بلندی
0.940	1.730	1.576	1.422	1.269	1.118	0.967	0.814	0.655	0.484	0.314	0.157	70	
1.048	1.932	1.761	1.591	1.422	1.254	1.084	0.911	0.729	0.532	0.350	0.175	90	
1.067	1.969	1.795	1.622	1.450	1.278	1.106	0.929	0.742	0.540	0.356	0.178	110	

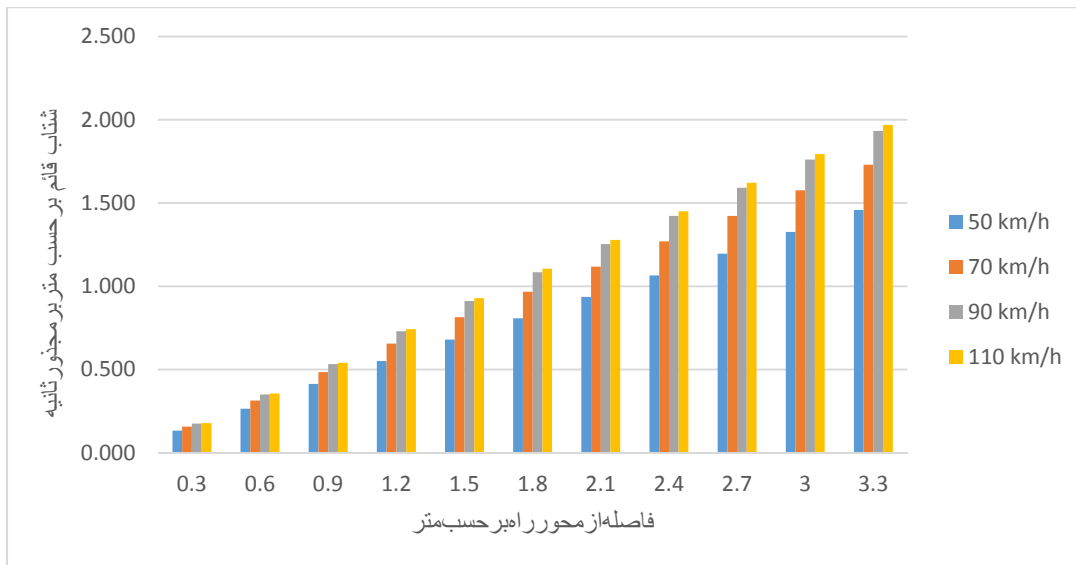
۵- نتیجه گیری

شتاب قائم در محدوده ایجاد ناراحتی (حتی ناراحتی زیاد) قرار دارد. بنابراین استفاده مستقیم از روش اعمال بر بلندی معوج و ایجاد پرش در رویه بدون تمهیدات جداگانه قابل توصیه نمی باشد. باتوجه به استفاده از مدل سازی سیستم تعلیق دو درجه آزادی در این تحقیق و از سویی دست یابی به اعداد نزدیک تر به واقعیت در صورت استفاده از روابط پیچیده تر، استفاده از مدل های دارای درجه آزادی بیشتر مثل مدل نصف خودرو با چهار درجه آزادی برای مطالعات آتی پیشنهاد می گردد. به ویژه اینکه استفاده از مدل یاد شده امکان مطالعه پدیده کله زنی رانین فراهم می آورد.

در شکل ۹ و ۱۰ نمودار میله ای حداکثر شتاب قائم برای سرعت های مختلف به ترتیب در حالت استفاده از روش سنتی و روش معوج آورده شده است. مقایسه دو نمودار نشان می دهد استفاده از روش اعمال بر بلندی معوج به شکل کاملاً محسوساً افزایش تغییرات شتاب قائم را می تواند در پی داشته باشد. در حالی که بر اساس مطالعه جدول ۱ و داده های شکل ۹ حتی در بالاترین سرعت ها و بیشترین فاصله از محور راه (نزدیکی لبه آسفالت) شتاب قائم در محدوده ایجاد ناراحتی قرار ندارد (مگر قسمت های سمت راست نمودار به مقدار جزئی در محدوده بالای ۰.۸ متر بر مجذور ثانیه قرار دارد) برای شکل ۱۰ و حالت استفاده از روش بر بلندی معوج برای همه سرعت ها و ویژه نزدیکی لبه آسفالت (n های بزرگتر)



شکل ۹. نمودار میله‌ای حداکثر شتاب قائم - روش سنتی اعمال بر بلندی



شکل ۱۰. نمودار میله‌ای حداکثر شتاب قائم - روش بر بلندی معوج

- provided in highway design, *The University of Texas at San Antonio*.
- Karyawan, I. D. M. A., Widianty, D., & Sideman, I. A. O. S. (2017). Analisis Kelandaian Melintang sebagai Elemen Geometrik pada Beberapa Tikungan Ruas Jalan Mataram-Lembar. *Spektrum Sipil*, 2(1), 12-21 .
- Kobryń, A. (2017). Transition curves for highway geometric design, *Springer*.
- Konstantinos Apostoleris, Basil Psarianos (2019) Skew Superelevation Edge Rounding Design Improving Riding Comfort on Freeways, *Transportation Research Record*, Vol. 2673(1) 343–357.
- Kordani, A. A., Molan, A. M., & Monajjem, S. (2014). New formulas of side friction factor based on three-dimensional model in horizontal curves for various vehicles. Paper presented at the T&DI Congress 2014, *Planes, Trains, and Automobiles*.
- Lee, J. Y., Lee, J. D., Bärghman, J., Lee, J., & Reimer, B. (2018). How safe is tuning a radio? using the radio tuning task as a benchmark for distracted driving. *Accident Analysis & Prevention*, 110, 29-37 .
- Lin, Y., & Niu, J. (2011). Effect of Highway Horizontal Alignment on Driver Decision Behavior on Trajectory Path ICTE 2011, 2683-2688.
- McGee, H.W., Rizzo, R.S., Tustin, B. (1984). Highway Design and Operation Standards Affected by Vehicle Characteristics. Bellomo-McGee, Inc. *Final Report to Federal Highway Administration*, December.
- Manual, N. R. C. T. R. B. T. F. o. D. o. t. H. S., & Manual, T. O. J. T. F. o. t. H. S. (2010). Highway safety manual, Vol. 1. AASHTO.
- Marchionna, A., & Perco, P. (2007). A proposal to update the clothoid parameter limiting criteria of the Italian standard. *Paper presented at the Int. Societa Italiana Infrastrutture Viarie Congress*.
- Marjanen, Y. (2010). Validation and improvement of the ISO 2631-1 (1997) standard method for evaluating discomfort from whole-body vibration in a multi-axis environment. *Yka Marjanen*.
- Monajjem, s. (2012). Highway Engineering Design and Traffic (6th ed.). *Tehran: Angezeh*.
- Mustakim, A., Yosomulyono, S., & Juniardi, F. (2017). Evaluasi kelayakan geometrik jalan pada ruas jalan raya singkawang-bengkayang قربانیان، جمشیدی، احسان، آشوری. (۲۰۱۱). تحلیل دینامیکی اثرات سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها روی آسایش سرنشینان خودروی پراید با مدل یک چهارم خودرو و بهینه‌سازی شکل سرعت‌گیر و سرعت‌کاه. *مهندسی مکانیک و ارتعاشات*. ۲۲(۲). ۶۵-۷۹
- Abdulhafedh, A. (2019). Design of Superelevation of Highway Curves: An Overview and Distribution Methods. *Journal of City and Development*, 1(1), 35-40.
- Al-Ashmori, M., & Wang, X. (2020). A Systematic Literature Review of Various Control Techniques for Active Seat Suspension Systems. *Applied Sciences*, 10(3), 1148.
- Awadallah, F. (2005). Theoretical analysis for horizontal curves based on actual discomfort speed. *Journal of Transportation Engineering*, 131(11), 843-850.
- Basil Psarianos, Elias Choueiri, Joelle Aoun (2017). Operational and Safety Performance Investigation of Skew Superelevation Runoff, *TRB 2017 Annual Meeting*.
- Brown, A., & Brennan, S. (2014). On the required complexity of vehicle dynamic models for use in simulation-based highway design. *Journal of Safety Research*, 49, 105. e101-112 .
- Choudhari, T., & Maji, A. (2019). Socio-demographic and experience factors affecting drivers' runoff risk along horizontal curves of two-lane rural highway. *Journal of Safety Research*, 71, 1-11.
- Durth, W., & Lippold, C. (1995). Entwurf der neuen richtlinien fuer die anlage von strassen- teil: linienfuehrung (RAS-L 1994). *Straße Und Autobahn*, 46. (2).
- Easa, S. M., & Mehmood, A. (2008). Optimizing design of highway horizontal alignments: New substantive safety approach. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 23(7), 560-573 .
- Gillespie, T. D. (1992). Fundamentals of vehicle dynamics, Vol. 400, *Society of automotive engineers Warrendale, PA*.
- Harwood, D. W., Council, F., Hauer, E., Hughes, W., & Vogt, A. (2000). Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways. Retrieved from.
- Hong, H. S. (2014). Review of maximum superelevation utilized in current method

- Türkay, S., & Akçay, H. (2005). A study of random vibration characteristics of the quarter-car model. *Journal of sound and vibration*, 282(1-2), 111-124 .
- Wegman, F. (2014). Analyzing road design risk factors for run-off-road crashes in the Netherlands with crash prediction models. *Journal of Safety Research*, 49, 121. e121-127 .
- Zegeer, C., Stewart, R., Reinfurt, D., Council, F., Neuman, T., Hamilton, E., Hunter, W. (1991). Cost-effective geometric improvements for safety upgrading of horizontal curves.
- Zegeer, C. V., Stewart, J. R., Council, F. M., Reinfurt, D. W., & Hamilton, E. (1992). Safety effects of geometric improvements on horizontal curves. *Transportation Research Record*.
- Journal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 6. (3).
- Officials, T. (2018). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, *AASHTO*.
- Othman, S., Thomson, R., & Lannér, G. (2012). Using naturalistic field operational test data to identify horizontal curves. *Journal of Transportation Engineering*, 138(9), 1151-1160 .
- Shao, Y. m., & Xu, J. (2016). Effects of geometric features of highway horizontal alignment on steering behavior of passenger car. *Journal of Vibroengineering*, 18(6), 4086-4104.
- Torbic, D. J., O'Laughlin, M. K., Harwood, D. W., Bauer, K. M., Bokenkroger, C. D., Lucas, L. M., Brown, A. (2014). Superelevation criteria for sharp horizontal curves on steep grades.

Investigating the Changes of Vertical Acceleration at the Place of Application of Curved Lifting Based on the Use of a Quarter Car Model in the Geometric Design of Two-Lane Roads

*Hossien Pourkhani, Department of Civil Engineering,
Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*Ali Abdi Kordani, Professor, Department of Civil Engineering,
Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*Nahid Amini, Ph.D., Candidate, Department of Civil Engineering,
Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

E-mail: aliabdi@eng.ikiu.ac.ir

Received: Jan 2024- Accepted: Jun 2024

ABSTRACT

Surface water caused by rainfall is very important on the road surface. Usually, this work is provided with the help of longitudinal and transverse slopes of the track. This is more important in the location of horizontal arches considering the role that their correct design has in providing safety. In this research, the method of using elevation at the place of change of the transverse slope of the road has been investigated in terms of low and good vertical acceleration of the vehicle. The use of crooked elevation can be placed at both ends of the horizontal arch or simply placed at the place of change of the drainage route. The vertical acceleration study has been done with the help of the dynamic model of the suspension system of a quarter car with two degrees of freedom. Analytical geometry and linear algebra methods were used for the geometric modeling of the route. The equations of the asphalt top plate in place on the height of the curve were obtained for the general geometrical data of the track such as the width of the track, the transverse slope in the straight horizontal path, the length applied to the height of the curve. In the following, by mathematical modeling of the planes perpendicular to the vehicle's path (parallel to the longitudinal axis of the road) and determining the intersection lines with the road surfaces, the equations of the longitudinal profile of the road (contact point of the vehicle wheel) were determined.

Keywords: Warped Elevation, Horizontal Arc Design, Road Safety, Vertical Acceleration, One Quarter Car Model