۴

معیارهای طراحی
قائم راه‌ها

فصل چهارم- معیارهای طراحی قائم راه‌ها

طراحی قائم عمدتا شامل موارد زیر است:

۱ـ شیب راه

۲ـ طول بحرانی قطعه راه در فراز

۳ـ قوسهای قائم

۴-۱- شیب

ـ راه‌ها باید طوری طرح شوند که امکان حرکت با سرعت یکنواخت در آنها وجود داشته باشد.

ـ اغلب سواریها قادر به طی شیب‌های تا حدود 8% بدون کاهش سرعت می‌باشند.

ـ تأثیر شیب برای کامیون‌ها زیاد بوده و مقدار کاهش سرعت در فراز تابعی است از:

الف ـ میزان شیب

ب ـ طول شیب

ج ـ نسبت وزن به قدرت کامیون

د ـ سرعت اولیه

ه ـ مقاومت باد

و ـ مهارت راننده

برای ملاحظه اثر مقدار شیب و طول شیب در کاهش سرعت وسایل نقلیه به شکل ۵-۱۴ آئین‌نامه مراجعه شود.

- مشکلات مرتبط با زیاد بودن شیب طولی:

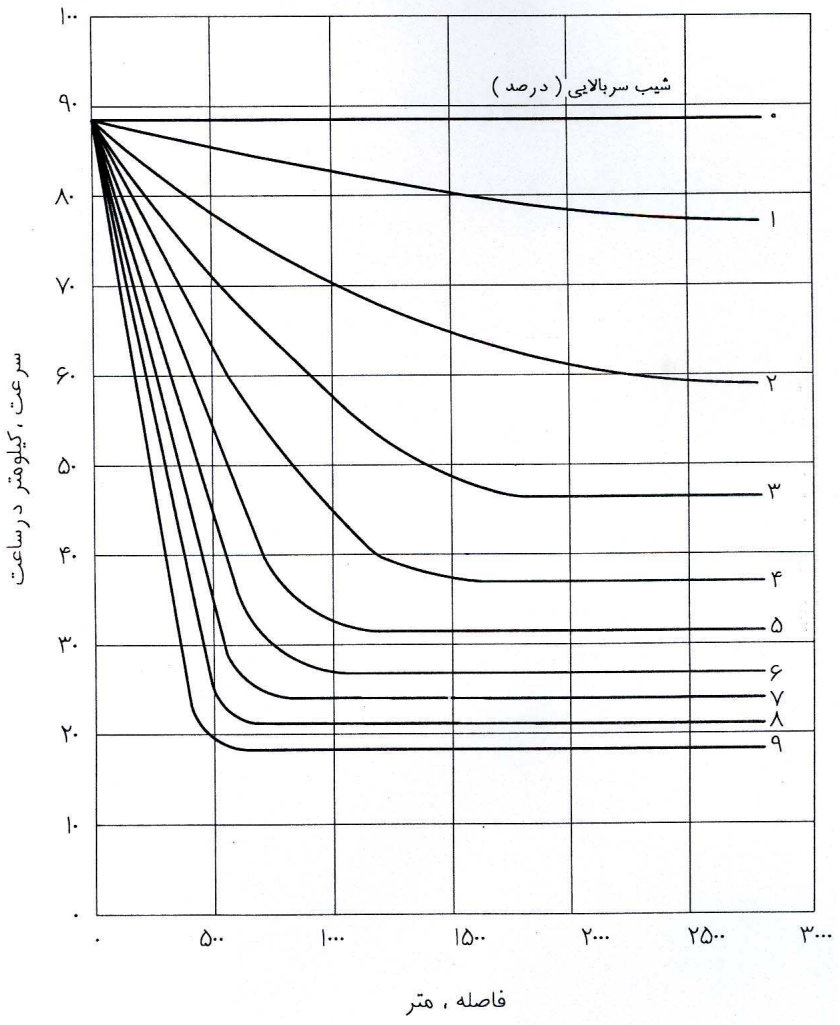
الف ـ کاهش سرعت حرکت وسایل نقلیه بویژه وسایل نقلیه سنگین

ب ـ کاهش گنجایش راه در سربالائی

ج ـ افزایش آلودگی و سروصدا در سربالائی

د ـ لغزش وسایل نقلیه در شیب در برف و یخبندان

ه ـ افزایش احتمال تصادف



شکل ۵-۱۴ کاهش سرعت وسایل نقلیه سنگین در سربالایی

۴-۱-۱- حداکثر شیب طولی در راه‌های اصلی

حداکثر شیب طولی طبق آئین‌نامه وزارت راه به شرح زیر است:

نوع منطقه	سرعت طرح (km/hr)					
	≤ 60	70	80	90	100	110
هموار*	5	4	4	4	4	3
تپه ماهور*	6	5	5	5	5	4
کوهستانی**	8	6	6	6	-	-

* چنانچه نیمرخ دوطرف راه مستقل از هم باشد می‌توان در سرازیری 1% به حداکثرهای داده شده اضافه کرد مشروط بر اینکه در نقاط سردسیر مقدار شیب از ۶٪ تجاوز نکند.

** در صورتیکه راه در مناطق گرمسیر و بدون احتمال یخبندان قرار گیرد می‌توان برای سرعت 80 km/hr از شیب 7% و برای سرعت 70 km/hr تا 8% شیب طولی را افزایش داد.

توجه: در موارد خاص نظیر زیرگذرها و نزدیکی پل‌ها در صورتیکه طول شیب کم باشد می‌توان از شیب‌های زیادتر استفاده نمود.

۴-۱-۲- حداقل شیب طولی در راه‌های اصلی

برای تخلیه آب ناشی از بارندگی حداقل شیب طولی طبق آئین‌نامه وزارت راه به شرح زیر است:

	حداقل شیب طول (٪)	
	مطلوب	مطلق
وجود جدول در کنار راه	0.5	0.3
عدم وجود جدول	0.3	0.2

۴-۲- طول بحرانی قطعه راه در فراز (سربالائی)

علاوه بر میزان شیب راه، طول شیب نیز کنترل کننده طراحی می‌باشد.

طول بحرانی یک قطعه راه در فراز عبارت است از حداکثر طولی که در طی آن در یک شیب معین، کاهش سرعت خودروهای سنگین از حد معینی تجاوز نکند.

طبق آئین‌نامه وزات راه مقدار کاهش سرعت مجاز، 25 km/hr نسبت به سرعت متوسط ترافیک در نظر می‌شود.

در شکل ۵-۱۴رابطهٔ بین شیب سربالائی و طول شیب برای مقادیر مختلف کاهش سرعت نشان داده شده است.

توجه: در صورتی که نتوان طول شیب را کمتر از طول بحرانی اختیار نمود یا مسیر راه را باید تغییر داد و یا یک خط ویژه اضافی در سربالائی در طرف راست برای خودروهای سنگینی در نظر گرفت.

۴-۳- قوسهای قائم (خم)

قوسهای قائم برای ایجاد یک تغییر تدریجی بین دو امتداد مستقیم از راه با شیب‌های طولی مختلف استفاده می‌شود.

۴-۳-۱- مبانی طراحی قوس‌های (قائم)

قوس قائم باید به گونه‌ای طراحی شود که:

الف ـ مسافت دید کافی تأمین شود.

ب ـ ایمنی و آسایش رانندگان تأمین شود.

ج ـ تخلیه آب سطحی به طور مناسبی ایجاد گیرد.

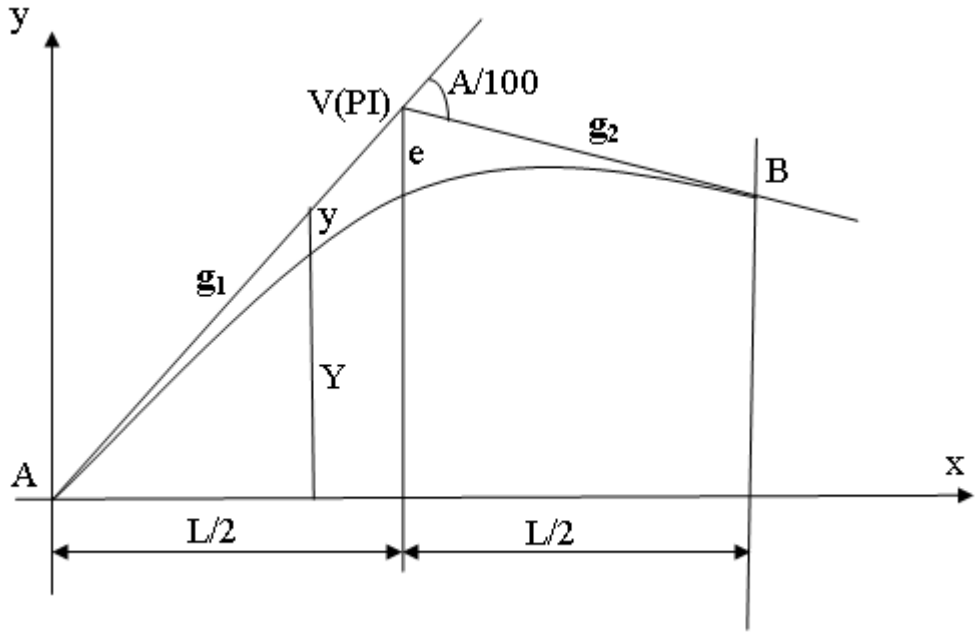
۴-۳-۲- انواع قوسهای قائم(از نظر شکل قوس)

۱-سهمی ساده (بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد)

۲-سهمی درجه ۳

۳- دایره ای

در قوسهای قائم سهمی فاصله عمودی قوس از خط مماس بستگی به مجذور فاصله افقی از نقطه تماس دارد.



$A = (g_2 - g_1) \times 100$ اختلاف جبری شیبها (٪)

L = طول کل قوس (m)

e = اختلاف فاصله عمودی از نقطه V تانقطه وسط قوس (m)

۴-۳-۳- ملاحظات در قوس هاس قائم سهمی

- شیب مماس که به طرف بالا صعود می کند (از چپ به راست) مثبت در نظر گرفته می شود.
- شیب مماس که به طرف پایین نزول می کند (از چپ به راست) منفی در نظر گرفته می شود.
- می توان ثابت کرد که رابطه y با x به صورت زیراست:

$$y=\frac{1}{2}\left(\frac{g_2-g_1}{L}\right)x^2 \qquad \Rightarrow \qquad y=\frac{1}{2}\left(\frac{A}{100L}\right)x^2 \qquad (1)$$

$$r=\frac{A}{100L}$$ نسبت تغییرات شیب سهمی

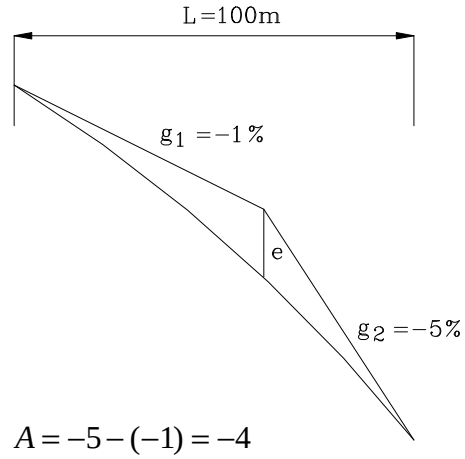
$$y=\frac{1}{2}rx^2$$

$$\left.\begin{array}{l} x=\frac{L}{2} \\ y=e \end{array}\right\} \qquad \Rightarrow \qquad \left\{ e=\frac{AL}{800} \qquad (2)\right.$$

اگر طرفین رابطه ۱ را بر طرفین رابطه ۲ تقسیم کنیم خواهیم داشت:

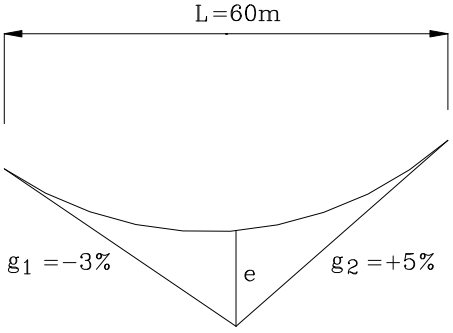
$$y=\left(\frac{x}{L}\right)^2\times 4e$$

مثال- برای دو حالت زیر مقدار e را حساب کنید .



$$A=-5-(-1)=-4$$

$$e=\frac{1}{800}\times(-4)\times 100=-0.5m$$



$$A=5-(-3)=8$$

$$e=\frac{1}{800}\times 8\times 60=0.6m$$

توجه:

- اگر $e < 0$ باشد آنگاه e از نقطه تقاطع به طرف پایین اندازه گیری می شود.
- اگر $e > 0$ باشد آنگاه e از نقطه تقاطع به طرف بالا اندازه گیری می شود.

۴-۳-۴- محاسبه رقوم قوس سهمی

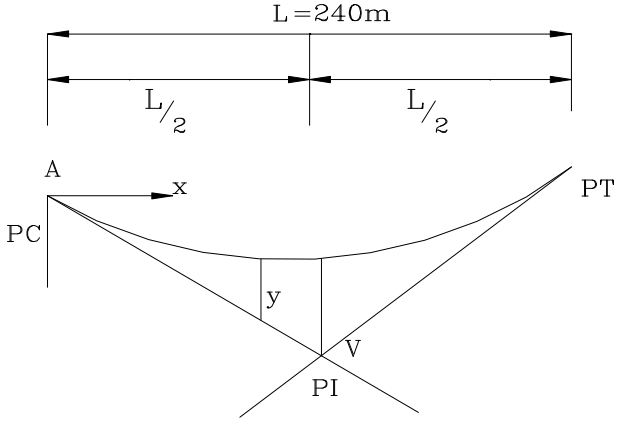
- با استفاده از روابط $y = \left(\frac{x}{L}\right)^2 \times 4e$ و یا $y = \frac{r}{2}x^2$ می توان فاصله قائم قوس تا مماس را بدست آورد. با ترکیب آن با ارتفاع مربوطه هر نقطه در امتداد مماس اولیه، مقادیر رقوم قوس قائم بدست می‌آید.

- درصورتیکه قوس دارای مماسهای مساوی وایستگاههای قرینه باشد، محاسبات نیمه اول را در نیمه دوم قوس نیز می توان مورد استفاده قرار داد . بنابراین قسمت اول را نسبت به مماس AV وقسمت دوم را نسبت به مماس BV حساب نمود.

مثال- یک شیب -5% شیب دیگری با $+4.2\%$ را در ایستگاه $52+00$ که دارای ارتفاع ۱۳۰ متر است قطع می کند. یک قوس قائم سهمی که طول آن ۲۴۰ متر است، مورد استفاده قرار می گیرد. درصورتیکه فاصله بین هر دو ایستگاه متوالی را ۳۰متر فرض کنیم، رقوم قوس را در ایستگاهها محاسبه نمایید.

تعداد ایستگاه $= \frac{240}{30} + 1 = 9$

طول قوس : $L = 240m$



رقوم PI (ایستگاه ۵۲) $= 130m$

رقوم PC (ایستگاه ۴۸) $= 130 + \left(120 \times \frac{5}{100}\right) = 136m$

رقوم PT (ایستگاه ۵۶) $= 130 + \left(120 \times \frac{4.2}{100}\right) = 135.04m$

رقوم نقاط دیگر روی مماس AV نیز به همین ترتیب قابل محاسبه است

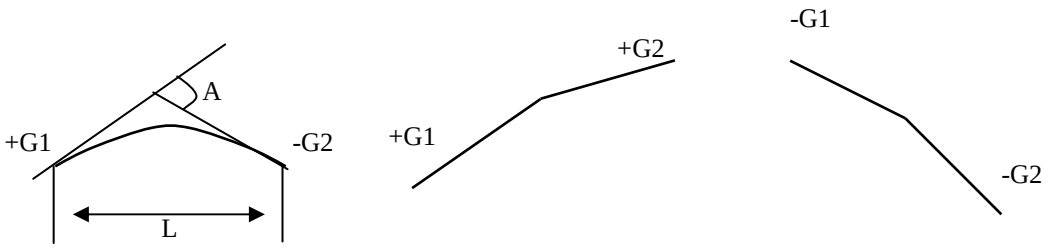
$$\left.\begin{array}{l} y = \left(\frac{x}{L}\right)^2 \times 4e \\ \begin{cases} e = \frac{AL}{800} \\ A = 4.2 - (-5) = 9.2 \end{cases} \Rightarrow e = \frac{9.2 \times 240}{800} = 2.76m \end{array}\right\} \Rightarrow y = \left(\frac{x}{240}\right)^2 \times 4 \times 2.76 = 1.9167 \times 10^{-4} x^2$$

ایستگاه	فاصله ایستگاه تا مبدا x(m)	رقوم مماس AV (m)	y (m)	رقوم سهمی (m)
48(PC)	0	136	0	136
49	30	134.5	0.17	134.67
50	60	133	0.69	133.69
51	90	131.5	1.55	133.05
52(PI)	120	130	2.76	132.76
53	150	128.5	4.31	132.81
54	180	127	6.21	133.21
55	210	125.5	8.45	133.95
56(PT)	240	124	11.04	135.04

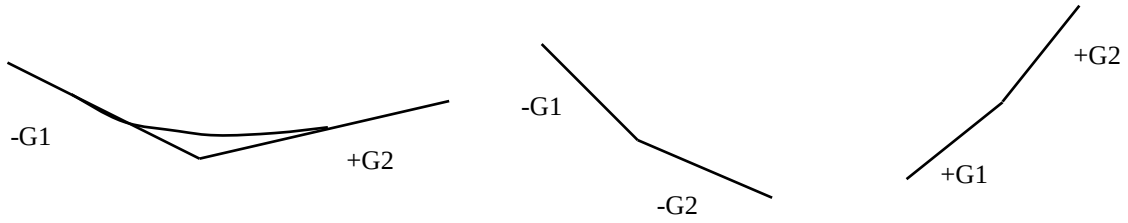
۴-۳-۵- انواع قوسهای قائم (از نظر تحدب و تقعر)

۱ـ خم‌های گنبدی

۲ـ خم‌های کاسه‌ای



خم های گنبدی

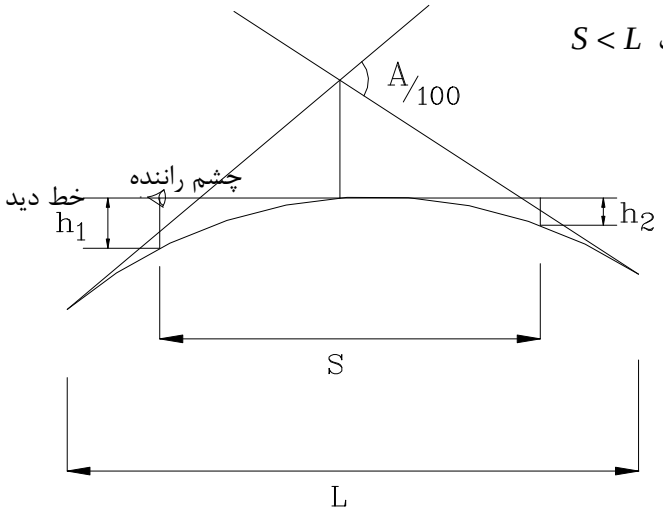


خم های کاسه ای

۴-۳-۶- خم گنبدی

۴-۳-۶-۱- فاصله دید توقف در خمهای گنبدی

حالت اول : فاصله دید S کمتر از طول خم است $S < L$



دراین حالت:

$$L = \frac{AS^2}{100\left(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}\right)^2}$$

S =فاصله دید (m)

h_1 = ارتفاع چشم راننده از سطح جاده (m)

h_2 = ارتفاع جسم از سطح جاده (m)

A = قدر مطلق تفاضل جبری دو شیب $(\%)$

L = طول قوس قائم (m)

طبق آیین نامه وزارت راه فاصله دید توقف باید مساوی فاصله دید راننده (با ارتفاع ۱۰۷ سانتیمتر از سطح راه) از مانع احتمالی واقع بر سطح راه (با ارتفاع ۱۵ سانتیمتر) یا بیشتر از آن باشد، یعنی:

$h_1 = 1.07m$

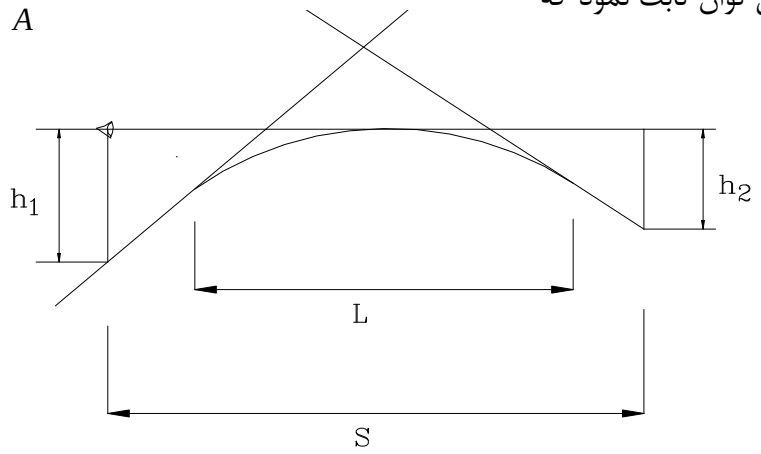
$h_2 = 0.15m$

بنابراین:

$$L = A\times\frac{S^2}{100\left(\sqrt{2\times1.07}+\sqrt{2\times0.15}\right)^2}\times A \quad \Rightarrow \quad L = A\times\frac{S^2}{404}$$

حالت دوم : فاصله دید از طول خم بیشتر است: $(S > L)$

در این حالت می توان ثابت نمود که $L = 2S - \frac{200\left(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}\right)^2}{A}$



اگر مجددا مقادیر پیشنهادی وزارت راه برای h1 و h2 را بر فاصله دید توقف به کار ببریم بدست می آید:

$$L = 2S - \frac{404}{A}$$

۴-۳-۶-۲- تعیین حداقل طول خم گنبدی

بنا به آیین نامه وزارت راه طول خم گنبدی باید به اندازه ای باشد که حداقل فاصله توقف برای راننده وسیله نقلیه فراهم شود.

$$L \geq A\frac{S^2}{404}$$

$$S^2/_{404} = K \Rightarrow L \geq KA$$

L = طول خم گنبدی (m)

K = ضریب تابع سرعت طرح که می توان آن را از جدول زیر بدست آورد. معنای فیزیکی آن طول لازم خم برای یک درصد تغییر شیب طولی است (بر حسب m).

A = قدرمطلق تفاضل جبری دو شیب

جدول ۵-۲۵ مقادیر حداقل K برای خم گنبدی

سرعت طرح (km/hr)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
فاصله دید توقف، S (m)	30	50	65	85	105	130	160	190	220	255	240
حداقل مقدار K (m)	3	7	11	18	27	42	63	89	120	161	208

توجه : حداقل طول خم برای اختلاف شیب بیش از نیم درصد $30m$ است وبرای اختلاف شیب نیم‌درصد وکمتر از آن به طول خم احتیاجی نیست .

بنابراین : نیازی به خم نیست $A \le 0.5 \Rightarrow$

طول خم $= L = \max\{30m, KA\}$ $\Rightarrow A > 0.5$

مثال: مطلوب است حداقل طول خم گنبدی درصورتیکه $g_1 = 1\%$ و $g_2 = -2\%$ و سرعت طرح $40\,{}^{km}\!/_{hr}$ باشد .

$$A = |-2-1| = 3$$

$$S = 50m, K = 7m \Rightarrow L = \max\{30m, 7\times 3 = 21m\} \Rightarrow L = 30m$$

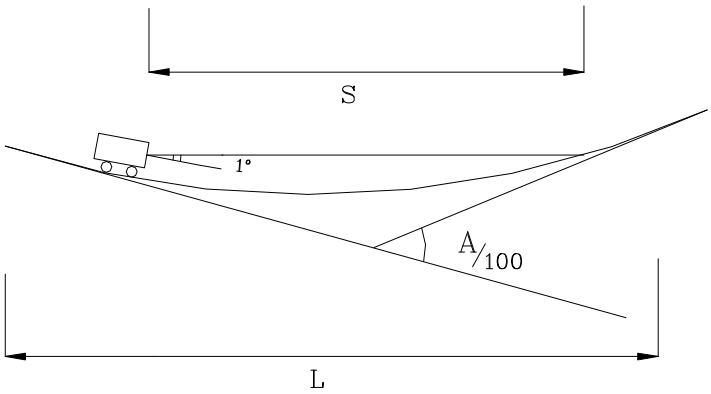
۴-۳-۷- خم کاسه‌ای

۴-۳-۷-۱- فاصله دید توقف درخم‌های کاسه‌ای

طول خم در خمهای کاسه ای بر اساس فاصله دید توقف در شب به کمک نور چراغهای جلو خودرو تعیین می شود . ارتفاع چراغهای جلو از سطح راه ۶۰ سانتیمتر و پرتو نور چراغ با زاویه یک درجه بالای محور طولی خودرو در نظر گرفته می‌شود.

حالت اول : مسافت دید S کاملا در قوس قرار می گیرد $S < L$

در اینصورت :



$$L = \frac{AS^2}{122 + 3.5S}$$

حالت دوم : مسافت دید S بیشتر از طول قوس است $S > L$

دراین حالت :

$$L = 2S - \frac{122 + 3.5S}{A}$$

۴-۳-۷-۲- تعیین حداقل طول خم کاسه‌ای

حداقل طول خم در خمهای کاسه ای بر اساس فاصله دید توقف در شب به کمک نور چراغهای جلو تعیین می شود.

$$L \geq \frac{AS^2}{122 + 3.5S} \quad , \quad K = \frac{S^2}{122 + 3.5S} \Rightarrow L \geq KA$$

L = طول خم کاسه ای (m)

K = ضریبی است تابع سرعت طرح و وضعیت روشنایی راه که می توان آن را از جدول ۵-۲۶ حساب کرد .

A = قدرمطلق تفاضل جبری دو شیب

جدول ۵-۲۶ مقادیر حداقل K برای خم کاسه ای

سرعت طرح (km/hr)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
فاصله دید توقف، S (m)	30	50	65	85	105	130	160	190	220	255	240
حداقل مقدار K (m)	4	8	12	17	22	29	38	46	54	64	74

مثال: مطلوب است تعیین حداقل مقدار طول خم کاسه ای در صورتیکه $g_1 = -3\%$ و $g_2 = 4\%$ وسرعت طرح $100\,{}^{km}\!/_{hr}$ باشد.

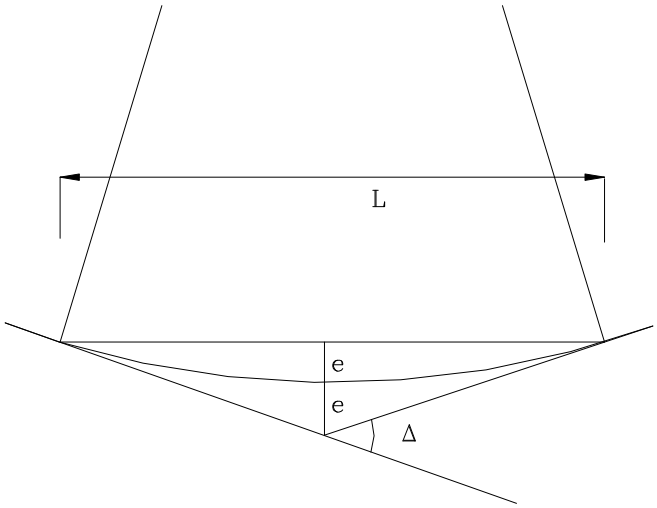
$A = |4 - (-3)| = 7$

$S = 190m \;,\; K = 46m \;\Rightarrow\; L \geq KA \;\Rightarrow\; L \geq 46 \times 7 \;\Rightarrow\; L \geq 322m$ از جدول ۵-۲۶

۴-۳-۷-۳- راحتی راننده در خمهای کاسه‌ای سهمی

در خمهای کاسه ای نیروی گریز از مرکز(جانب مرکز) با نیروی وزن جمع شده وممکن است باعث ناراحتی سرنشینان وسیله نقلیه گردد.

طبق استاندارد *AASHO*،شتاب ناشی از نیروی جانب مرکز نباید از $0.3\,{}^{m}\!/_{Sec^2}$ بیشتر شود.



$$\frac{V^2}{R} = 0.3\,{}^{m}\!/_{Sec^2}$$

$$\frac{(0.278)^2\left(V[{}^{km}\!/_{h}]\right)^2}{R} = 0.3 \Rightarrow 0.3R = 0.077V^2 \Rightarrow R = 0.257V^2$$

$$L \approx R\Delta \Rightarrow L = 0.257V^2\Delta$$

$$\tan\Delta = \frac{A}{100} \Rightarrow \Delta = \frac{A}{100}$$

$$L = 0.257V^2\frac{A}{100} \Rightarrow L = 0.00257V^2A$$

توجه : طول خم کاسه‌ای را باید هم با در نظر گرفتن فاصله دید و هم با در نظر گرفتن راحتی راننده حساب کرده و هر کدام بیشتر بود آن را بعنوان حداقل طول خم کاسه‌ای انتخاب نمود.

۴-۴- معیارهای کلی نیمرخ طولی(امتداد قائم) مسیر

تا کنون معیارهای زیر مورد بررسی قرار گرفت:

۱- شیب راه

۲- طول بحرانی قطعه راه در فراز

۳- قوسهای قائم شامل:

الف- فاصله دید توقف

ب- راحتی راننده

علاوه بر رعایت نمودن ضوابط مربوط به موارد فوق، باید موارد زیر را نیز در مورد طراحی پروفیلهای طولی راه رعایت نمود:

۱- یک خط شیب یکنواخت، تغییرات تدریجی شیب هماهنگ با پستی و بلندی طول مسیر، بر یک خط شکسته متشکل از قطعه های کوچک با شیبهای متفاوت برتری دارد.

۲- باید بجای نیمرخ طولی با خمهای گنبدی و کاسه‌ای متوالی و یا تک گودهای غیرمنتظره از شیبهای تدریجی استفاده شود .

۳- باید از ایجاد خط سر پایینی موجدار با طول زیاد، که موجب افزایش سرعت خودرو سنگین در سرپایینی میشود، احتراز شود.

۴- بهتر است از ایجاد سرپایینی با قطعه های تغییر شیب متوالی هم‌جهت اجتناب شود .

۵- در سربالائی طولانی، بویژه در راهی با سرعت طرح کم، بهتر است شیب در نزدیکی قله کاهش داده شود .

۶- در شرایطی که یک تقاطع همسطح در یک قطعه شیبدار راهی با شیب متوسط یا زیاد قرار دارد، بهتر است از شیب قطعه در محل تقاطع و حوالی آن کاسته شود .

۷- از بکار بردن خمهای کاسه ای در ترانشه ها (خاکبرداری) اجتناب شود، مگر آنکه تخلیه مناسب آبهای سطحی راه امکان‌پذیر باشد.

۸- در شرایطی که طول سربالائی از مقدار بحرانی به میزان قابل توجهی بیشتر باشد و حجم ساعت طرح از مقدار گنجایش در شیب در مورد راههای دوخطه دوطرفه تا ۲۰٪ و در مورد راههای چندخطه تا ۳۰٪ بیشتر باشد لازم است خط ویژه سربالائی در طرف راست راه برای خودروهای سنگین در نظر گرفته شود.

۴-۵- معیارهای کلی در مورد هماهنگی پلان و نیمرخ طولی مسیر

طراحی امتدادهای افقی وقائم مسیر نباید بصورت مستقل از هم انجام پذیرد، بلکه باید همراه هم و بصورت هماهنگ با یکدیگر صورت گیرد.

۱- در یک خم گنبدی نباید پیچ تند در قله خم قرار گیرد .

۲- در یک خم کاسه ای نباید پیچ تند در کف کاسه قرار گیرد .

۳- پیچ و نیمرخ طولی راه باید تا حد امکان در تقاطع وحوالی آن بصورت ملایم باشد.

۴- در راههای دوخطه دوطرفه، لزوم تأمین امکان سبقت بطور کاملا ایمن معمولا در طول قابل ملاحظه ای از راه، ایجاب می کند که از ترکیب پیچ و خم صرف‌نظر شود.

۵- در راه جداشده بهتر است تغییر در عرض میانه باشد و بکار گرفتن نیمرخ جدا برای هریک از دو جهت ترافیک مورد توجه قرار گیرد تا طرح راه و عملکرد ترافیک از مزایای راه یکطرفه برخوردار شود.