راهسازی

نیمسال اول 95-96

دانشگاه الزهرا (س)

محمد احمدی

فصل 7: عوامل ایمنی در طراحی راه ها

عوامل ایمنی در طراحی راه ها

۶ـ ۱ ـ مقدمه

فاصله دید، تعریض و بربلندی از اجزای مهم طرح هندسی یک راه می‌باشند. تأمین فاصله دید کافی سبب افزایش ایمنی راه‌ها و کاهش احتمال تصادفات و برخوردهای غیر منتظره می‌گردد. تعریض در قوسهای تند سبب ایجاد تسهیل در عبور و مرور وسایط نقلیه و افزایش ایمنی حرکت می‌شود. همچنین تأمین شیب عرضی یکطرفه مناسب در قوسها سبب کاهش نیروی گریز مرکز وارد بر وسایط نقلیه در حال حرکت در قوس گردیده و در جهت حفظ تعادل بیشتر آنها عمل می‌نماید و در هنگامی‌که بدلیل وجود عوارض و موانع و یا کوهستانی بودن مسیر امکان استفاده از قوس‌های افقی بزرگ ممکن و یا اقتصادی نباشد رعایت و اجرای بربلندی مناسب می‌تواند سبب کاهش حداقل شعاع قوس لازم برای حرکت وسایط نقلیه در سرعت طراحی جاده گردد.

با توجه به اهمیت زیاد این سه پارامتر اساسی در اجرای طرح هندسی راه‌ها، مطالب این فصل به تشریح ضوابط مربوط به طراحی و اجرای آنها اختصاص داده شده است.

۶ـ ۲ ـ فاصله دید

تامین فاصله دید کافی برای کنترل سرعت وسایط نقلیه در جلوگیری از برخورد با موانع غیر منتظره و تصادف هنگام سبقت و توقف ناگهانی از اهمیت زیادی در طراحی ایمن و مناسب راه‌ها برخوردار است. فاصله دید باید به نحوی در نظر گرفته شود که ضمن ایجاد تسهیل حرکت وسائط تندرو، عبور وسائط نقلیه سنگین نیز بدون خطر و با ایمنی لازم صورت پذیرد. رعایت فواصل دید در راههای دو طرفه دو خطه از اهمیت زیادی برخوردار است، در طول اینگونه راهها باید قطعاتی با طول مناسب و به تعداد کافی با فاصله دید مناسب در نظر گرفته شود تا رانندگان بتوانند با استفاده از خطوط مجاور هم و با ایمنی کامل از خودروهای دیگر سبقت گیرند.

۶ـ ۲ ـ ۱ ـ انواع فواصل دید

فواصل دید بسته به نوع طرح (راه یا تقاطع) به چند بخش تقسیم می‌شوند که در ادامه هر یک از آنها تعریف و تشریح می‌گردد.

- فواصل دید در مسیر شامل سه دسته می‌باشند:
  - الف ـ فاصله دید سبقت
  - ب ـ فاصله دید توقف
  - ج ـ فاصله دید انتخاب و عکس‌العمل
- فواصل دید در تقاطع‌های به‌صورت زیر دسته‌بندی و کنترل می‌شوند:
  - الف ـ فاصله دید تشخیص تقاطع
  - ب ـ اثر زاویه و شیب تقاطع بر فاصله دید
  - ج ـ فاصله دید حرکت ایمن

۶ـ ۲ ـ ۲ ـ فاصله دید سبقت

فاصله دید سبقت اصولاً برای راه‌های دو طرفه دو خط مطرح است و منظور از آن حداقل فاصله‌ای است که رانندگان می‌توانند با سرعت مناسب و با ایمنی کافی بدون برخورد با وسیله‌ی نقلیه جهت مخالف از خودرو جلوی خود سبقت بگیرند.

در محاسبه فاصله‌ی دید سبقت از مفروضات زیر استفاده می‌شود:

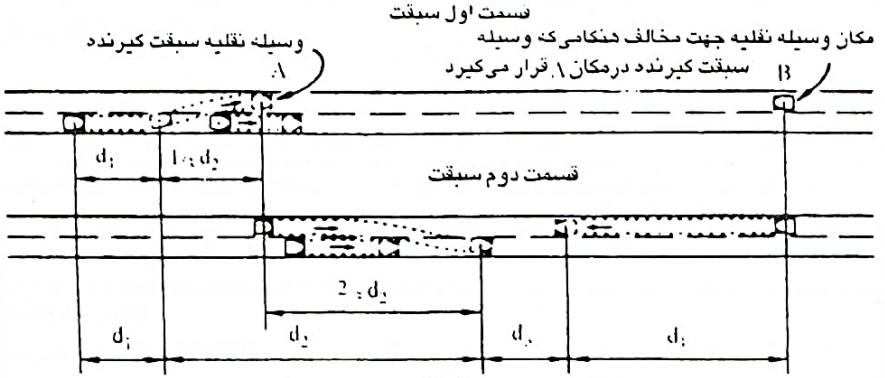
۱ ـ خودروی سبقت گرفته شده با سرعت یکنواخت حرکت می‌نماید.

۲ ـ هنگامی‌که خودروی سبقت‌گیرنده تغییر خط می‌دهد تا قبل از شروع عمل سبقت سرعت خود را کاهش داده و به دنبال وسیله‌ی نقلیه‌ی گرفته شده حرکت می‌کند.

۳ ـ هنگامی‌که خودروی سبقت گیرنده عمل سبقت را آغاز می‌نماید، می‌تواند در مدت کوتاهی در قسمت سبقت آزاد جاده عمل سبقت را انجام دهد.

۴ ـ خودروی سبقت‌گیرنده با افزایش سرعت خود که به‌طور متوسط حدود ۱۵ کیلومتر بر ساعت از سرعت خودروی سبقت گرفته شده بیشتر است، خط مجاور را اشغال نموده و عمل سبقت را انجام می‌دهد.

۵ ـ پس از بازگشت خودروی سبقت گیرنده به خط خود، فاصله کافی بین خودرو موردنظر و خودروئی که درجهت مخالف حرکت می‌کند وجود دارد. این فاصله، فاصله ایمنی نامیده می‌شود.



شکل ۶ ـ ۱ ـ حداقل فاصله دید سبقت

با توجه به شکل ۶ ـ ۱ حداقل فاصله دید سبقت از مجموع چهار فاصله‌ی زیر بدست می‌آید:

d_1 = فاصله‌ای که در زمان تصمیم‌گیری و واکنش و نیز در هنگام افزایش سرعت اولیه تا مرحله حرکت به خط سمت چپ طی می‌شود این فاصله از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$d_1 = ۰/۲۷۵\ t_1 \left(V - m + \frac{at_1}{۲}\right)$$

در این رابطه:

t_1: زمان انجام مانور اولیه (ثانیه)

a: شتاب متوسط (کیلومتر بر ساعت بر ثانیه)

V: سرعت متوسط وسیله‌ی نقلیه در حال سبقت (کیلومتر بر ساعت)

m: اختلاف سرعت وسیله‌ی نقلیه سبقت گیرنده و سبقت گرفته شده (کیلومتر بر ساعت)

d_2: فاصله‌ای که وسیله‌ی نقلیه سبقت گیرنده در سمت چپ مسیر طی می‌کند مقدار این فاصله برابر است با:

$$d_2 = ۰/۲۷۵\ Vt_2$$

در این رابطه:

t_2: مدت زمانی که وسیله‌ی نقلیه سبقت گیرنده در خط سمت چپ مسیر صرف می‌کند.

V: سرعت وسیله‌ی نقلیه سبقت گیرنده در حال عمل سبقت می‌باشد.

d_3: فاصله‌ای که پس از اتمام عمل سبقت، بین وسیله‌ی نقلیه‌ی سبقت گیرنده و وسیله‌ی نقلیه‌ی جهت مقابل وجود دارد. این فاصله به سرعت سبقت بستگی داشته و همان‌طوری‌که ذکر شد فاصله ایمنی نامیده می‌شود.

d_4: فاصله‌ای که وسیله‌ی نقلیه‌ی جهت مقابل در مدت زمانی برابر با $\frac{۲}{۳}$ مدت زمانی که وسیله‌ی نقلیه سبقت گیرنده خط سمت چپ را اشغال نموده است، طی می‌نماید. این فاصله $\frac{۲}{۳}$ مقدار فاصله d_2 در نظر گرفته می‌شود.

$$d_4 = \frac{۲}{۳}\ d_2$$

باید توجه نمود که در محاسبات فوق فرض شده است که سرعت وسیله‌ی نقلیه‌ی سبقت گیرنده و وسیله‌ی نقلیه‌ی جهت مقابل یکسان است. مقادیر حداقل فاصله دید سبقت برای سرعت‌های مختلف عبور در جدول ۶ ـ ۱ درج شده‌است.

متوسط سرعت عبور (Km/h)	۵۶	۷۰	۸۵	۱۰۰
هنگام مانور اولیه:				
متوسط شتاب (Km/h/sec)	۲/۲۵	۲/۳	۲/۳۷	۲/۴۱
زمان (t_1) (sec)	۳/۶	۴/۰	۴/۳	۴/۵
مسافت طی شده (d_1)	۴۴	۶۵	۸۸	۱۱۳
هنگام اشغال خط سبقت:				
زمان (t_2)(sec)	۹/۳	۱۰/۰	۱۰/۷	۱۱/۳
مسافت طی شده (d_2)	۱۴۵	۱۹۵	۲۵۱	۳۱۴
طول ایمنی:	۳۰	۵۵	۷۶	۹۱
وسیله‌ی نقلیه جهت مقابل:				
مسافت طی شده (d_4)	۹۶	۱۳۰	۱۶۸	۲۰۷
کل مسافت لازم ($d_1 + d_2 + d_3 + d_4$)	۳۱۵	۴۴۵	۵۸۳	۷۲۵

جدول ۶ ـ ۱ ـ مقادیر حداقل فاصله دید سبقت برای سرعتهای مختلف عبور

۶ـ۲ـ۳ـ فاصله دید توقف

فاصله دید توقف، حداقل مسافتی است که یک وسیله‌ی نقلیه پس از مشاهده مانع توسط راننده و انجام عمل ترمز در مسیر خود طی می‌نماید تا قبل از برخورد به مانع موردنظر متوقف شود. این فاصله مجموع دو فاصله است؛ یکی فاصله‌ای که وسیله‌ی نقلیه در طی زمان تصمیم‌گیری و عکس‌العمل راننده برای ترمز کردن طی می‌کند و دیگری مسافتی که وسیله‌ی نقلیه پس از انجام عمل از ترمز تا توقف کامل طی می‌نماید. در جدول ۶ ـ ۲ مقادیر فاصله دید توقف طراحی برای سرعت‌های مختلف بر اساس توصیه آئین‌نامه اشتو درج شده است.

زمان تصمیم‌گیری و عکس‌العمل: مقدار متوسط زمان لازم برای انجام عمل ترمز حدود نیم ثانیه می‌باشد اما به منظور تأمین ایمنی کافی مقدار بزرگتری از مقدار متوسط برای فاصله دید انتخاب می‌شود. این مقدار معمولاً برابر یک ثانیه است. زمان تصمیم‌گیری به عوامل مختلفی مانند سرعت وسیله‌ی نقلیه، فاصله از مانع، قدرت دید راننده، وضعیت مانع و نوع راه بستگی دارد. زمانی‌که بدین منظور برای طراحی ایمن راه‌ها در نظر گرفته می‌شود یک و نیم ثانیه است. بدین ترتیب، کل زمان برای تصمیم‌گیری و عکس‌العمل برابر با ۲/۵ ثانیه می‌باشد.

سرعت طراحی (Km/h)	زمان تصمیم‌گیری و واکنش (sec)	ضریب اصطکاک	فاصله دید توقف طراحی (m)
۳۲	۲/۵	۰/۴۰	۳۸
۴۰	۲/۵	۰/۳۸	۴۶
۴۸	۲/۵	۰/۳۵	۶۱
۵۶	۲/۵	۰/۳۴	۷۶
۶۵	۲/۵	۰/۳۲	۹۹
۷۲	۲/۵	۰/۳۱	۱۲۲
۸۰	۲/۵	۰/۳۰	۱۴۵
۸۸	۲/۵	۰/۳۰	۱۶۸
۹۷	۲/۵	۰/۲۹	۱۹۸
۱۰۵	۲/۵	۰/۲۹	۲۲۱
۱۱۴	۲/۵	۰/۲۸	۲۶۰

جدول ۶ـ۲ ـ فاصله دید توقف در سرعت‌های مختلف

فاصله ترمز: فاصله ترمز، مسافتی است که یک وسیله‌ی نقلیه‌ی در حال حرکت پس از ترمز تا توقف کامل طی می‌نماید. این فاصله بر این اساس که تغییرات انرژی جنبشی برابر با مقدار کار انجام شده است، از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$d = \frac{V^2}{254f}$$

در این رابطه:

d ـ فاصله ترمز بر حسب متر

V ـ سرعت اولیه وسیله‌ی نقلیه (کیلومتر بر ساعت)

f ـ ضریب اصطکاک بین لاستیک چرخ وسیله‌ی نقلیه و سطح جاده

ضریب اصطکاک بین لاستیک چرخ وسیله‌ی نقلیه و سطح راه بستگی به عوامل زیادی مانند سرعت وسایط نقلیه، مقدار فشار باد چرخ، نوع لاستیک، نوع روسازی سطح جاده، وجود رطوبت، برف و یا خاک در سطح راه و همچنین ترمز وسایط نقلیه دارد. از آنجائیکه مقدار این ضریب در سطح راه مرطوب کمتر از مقدار آن بر روی سطح جاده خشک است، لذا در طراحی راه‌ها فاصله دید توقف برمبنای حالتی که راه مرطوب است، تعیین می‌شود.

در صورتی که راه در شیب (سرازیری و سربالائی) قرار گرفته باشد، مقدار فاصله ترمز بطریق مشابه از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$d = \frac{V^2}{254\ (f \pm G)}$$

در این رابطه:

G، شیب راه می‌باشد که در حالت سربالائی مثبت (+G) و در حالت سرپائینی منفی (- G) درنظر گرفته می‌شود.

فاصله دید توقف با این فرض محاسبه می‌شود که ارتفاع چشم راننده از سطح راه ۱۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع مانع احتمالی از سطح راه ۱۵ سانتی‌متر باشد.

حداقل فاصله دید توقف بر مبنای عملکرد خودروسواری تعیین می‌شود. از آنجائی‌که فاصله چشم رانندگان وسائط نقلیه سنگین از سطح راه بیشتر و سرعت این وسائل از سواری‌ها کمتر است، این فاصله برای کامیون‌ها نیز مناسب می‌باشد. فقط در حالتی که موانع جانبی در انتهای جاده‌های با سراشیبی بلند داشته باشیم، بهتر است مقادیر مربوط به فاصله دید توقف کمی بیشتر از مقادیر تعیین شده انتخاب گردد.

۶ـ۲ـ۴ـ فواصل دید انتخاب و عکس‌العمل

در محل‌های خاصی از راه (به ویژه در جاده‌های با سرعت طرح بالا) در بررسی تقاطع‌ها، محل‌های ایست کنار جاده و در نزدیکی دور برگردانها و مانند آنها به منظور جلوگیری از

واکنش‌های آنی توأم با خطای راننده، بهتر است فاصله دید بزرگتری از فاصله دید توقف پیش‌بینی شود این فاصله، فاصله دید انتخاب نامیده می‌شود. مقادیر مربوط به این فاصله دید بر طبق آئین‌نامه طرح هندسی راه‌ها (آئین‌نامه ایران) در جدول ۶ ـ ۳ درج شده است.

سرعت طرح (km/h)	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۳۰
فاصله دید (متر)	۱۴۵	۱۷۵	۲۰۰	۲۳۰	۲۷۵	۳۱۵	۳۳۵	۴۱۵

جدول ۶ ـ ۳ ـ مقادیر فاصله دید انتخاب و عکس‌العمل

۶ ـ ۲ ـ ۵ ـ فاصله دید تشخیص تقاطع

فاصله دید تشخیص، به منظور ایجاد امکان بروز عکس‌العمل به موقع جهت کنترل وسیلهٔ نقلیه برای جلوگیری از تصادف در هنگام مواجه راننده با مانعی در تقاطع در نظر گرفته می‌شود.

همچنین این فاصله برای راننده فرصت کافی جهت تصمیم‌گیری و عکس‌العمل قبل از رسیدن به تقاطع به منظور تغییر مسیر حرکت در تقاطع را فراهم می‌آورد. بنابراین بهتر است شرایطی فراهم گردد تا تقاطع از مسیرهای منشعب به آن بهتر دیده شود. این شرایط بقرار زیر است: ۱ ـ فاصله دید طراحی از حداقل فاصله دید توقف لازم بیشتر است. ۲ ـ از قرارگیری تقاطع در نزدیکی قوسهای قائم محدب خودداری گردد. ۳ ـ از قرارگیری تقاطع در قوس‌های تند به‌خصوص در سمت داخلی قوس‌ها اجتناب شود. ۴ ـ امکان روشنائی تقاطع در شب فراهم گردد. ۵ ـ چنانچه به هر علت تأمین فاصله دید توقف و تشخیص تقاطع امکانپذیر نباشد باید به کمک علائم ترافیکی توجهات لازم به رانندگان داده شود.

فاصله دید در هر شاخه از تقاطع تا نقطه شروع ورودی‌ها و خروجی‌ها باید حداقل برابر فاصله توقف وسیله‌ی نقلیه طراحی در سرعت طرح همان شاخه از تقاطع باشد، همچنین بهتر است فاصله دید در هر شاخه تقاطع از ۱۸۰ متر کمتر نباشد. در مجاورت تقاطع شیب راه نیز باید به حداقل کاهش یابد بطوری‌که حداکثر شیب از ۳٪ تجاوز ننماید.

همان‌طوری‌که گفته شد در تقاطع‌های همسطح فاصله دید باید حداقل برابر با فاصله دید توقف و یا بیشتر از آن در نظر گرفته شود. در تقاطع‌های غیر همسطح باید توجه نمود هنگامیکه قوس قائم مقعر در زیر گذرها، مورد استفاده قرار می‌گیرد وجود پل سبب کاهش فاصله دید به مقداری کمتر از حداقل لازم برای توقف نمی‌گردد. در برخی شرائط لازم است مقدار فاصله دید در قوس قائم مقعر در زیر گذر کنترل شود. این کنترل به کمک روابط زیر انجام می‌شود:

فاصله دید بزرگتر از طول قوس قائم است $(S>L)$

$$L = ۲S - \frac{۸۰۰}{A}\left[C - \left(\frac{H_۱ + H_۲}{۲}\right)\right]$$

فاصله دید کوچکتر از طول قوس قائم است $(S<L)$

$$L = \frac{S^۲A}{۸۰۰}\left[C - \left(\frac{H_۱ + H_۲}{۲}\right)\right]^{-۱}$$

در این روابط:

L - طول قوس قائم (متر)　　S - فاصله دید (متر)　　A - تفاضل جبری شیب‌های طرفین

C - فاصله آزاد قائم (متر)　　$H_۱$ - ارتفاع چشم راننده از سطح جاده (متر)

$H_۲$ ـ ارتفاع مانع از سطح جاده (متر)

مقادیر مطرح شده در این روابط در اشکال ۶ ـ ۳ و ۶ ـ ۴ نشان داده شده است، معادلات مذکور هنگامی دارای اعتبار هستند که فاصله لبه‌ی کناری ساختمان‌ها از رأس قوس از ۶۰ متر بیشتر نباشد.

۶ ـ ۲ ـ ۶ ـ فاصله دید حرکت ایمن در تقاطع

طرح هندسی تقاطع‌های باید به‌گونه‌ای باشد که در امتداد مسیرهای منتهی به تقاطع و نیز گوشه‌های تقاطع، دید کافی وجود داشته باشد تا رانندگان وسایط نقلیه یکدیگر را به موقع ببینند و بدین ترتیب احتمال تصادف کاهش یابد. مقدار فاصله دید به نوع تجهیزات و علائم کنترل ترافیک بستگی دارد. هرگاه به علتی تأمین فاصله دید کافی ممکن نباشد، باید سرعت وسائط نقلیه در نزدیکی تقاطع‌ها کنترل شده و مقدار آن کاهش داده شود. شکل ۶ ـ ۲ طریقه رسم خط دید در تقاطع‌های همسطح را نشان می‌دهد. سطحی که در محدوده خط دید و تقاطع قرار دارد مثلث دید نامیده می‌شود. مثلث دید تقاطع‌های با توجه به وضعیت‌های مختلف کنترل ترافیکی، متفاوت است؛ در شرائطی که تقاطع دارای علائم لازم نباشد، راننده وسیله‌ی نقلیه‌ای که به تقاطع نزدیک می‌شود باید پس از دیدن موانع، فرصت کافی برای کاهش سرعت خود داشته باشد. مقدار زمان لازم برای این منظور برابر با زمان درک و عکس‌العمل و زمان ترمزگیری می‌باشد (حدود ۳ ثانیه). در این حالت طول ضلعی از مثلث دید که در امتداد هر یک از مسیرها واقع است باید حداقل برابر با مقادیر جدول ۶ ـ ۴ باشد. باید توجه نمود که در راه‌های کم ترافیک ممکن است تأمین طولهای ارائه شده مستلزم هزینه زیاد باشد. حالت دیگر تأمین امکان توقف کامل وسایط نقلیه است که در این‌صورت نیز طول ضلع مثلث دید در امتداد هر یک از مسیرهای تقاطع باید حداقل برابر با مقادیر جدول ۶ ـ ۵ باشد تا زمان کافی برای انجام عکس‌العمل لازم وجود داشته باشد.

سرعت نزدیک شدن (کیلومتر بر ساعت)	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۸۰	۱۰۰
فاصله (متر)	۲۵	۳۲	۴۰	۵۰	۶۶	۸۵

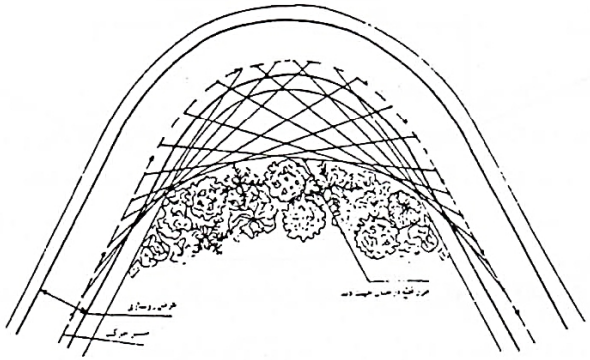
جدول ۶ـ۴ـحداقل طول خط دید برای کاهش سرعت

سرعت طرح (کیلومتر بر ساعت)	۵۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۱۰
فاصله (متر)	۶۰	۸۰	۱۰۵	۱۶۰	۱۸۵

جدول ۶ـ۵ـحداقل طول خط دید برای ایجاد توقف

۶ـ۲ـ۷ـفاصله دید در قوس‌های افقی

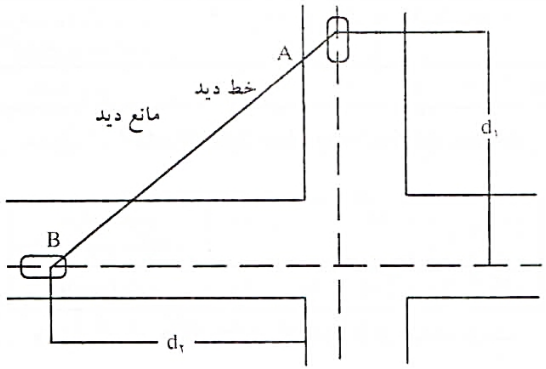
طراحی پلان راه باید به‌نحوی باشد که موانعی از قبیل ابنیه فنی، برشها، ساختمان‌ها، حفاظ‌ها و نرده‌های ایمنی و مانند آنها که در سمت داخلی قوس واقع شده‌اند در برابر دید افقی لازم ایجاد ننمایند.



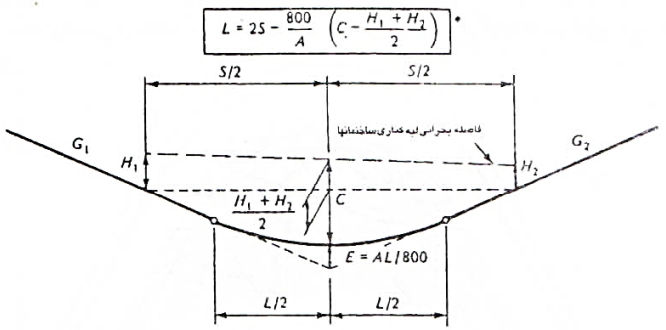
شکل ۶ـ۵ـطریقه رسم منحنی حد دید

۶ـ۲ـ۷ـ۱ـفاصله دید سبقت در قوس‌های افقی

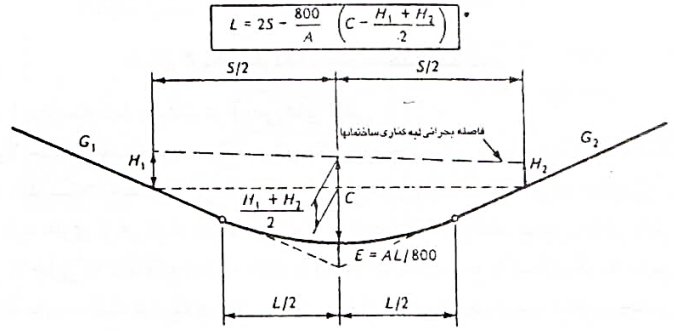
معمولاً حداقل فاصله دید سبقت برای یک راه، چند برابر فاصله دید توقف است. برای تأمین فاصله دید سبقت باید از قوس‌های افقی با شعاع‌های بزرگ استفاده گردد. همچنین محدوده داخل قوس باید عاری از هر گونه عارضه‌ای که مانع از دید گردد، باشد. بهمین خاطر باید قسمت داخلی قوس تا جایی که دید لازم برای سبقت را ایجاد نماید از موانع پاکسازی گردد. بدین منظور با استفاده از مقدار مسافت دید لازم برای سبقت و به کمک روش ترسیمی، منحنی حد دید رسم می‌گردد. در شکل ۶ـ۵ طریقه رسم منحنی حد دید سبقت برای یک قوس افقی نشان داده شده است. در این شکل منطقه‌ی هاشور زده باید عاری از هر گونه مانع باشد.



شکل ۶ـ۲ـفاصله دید حرکت در تقاطع‌های همسطح



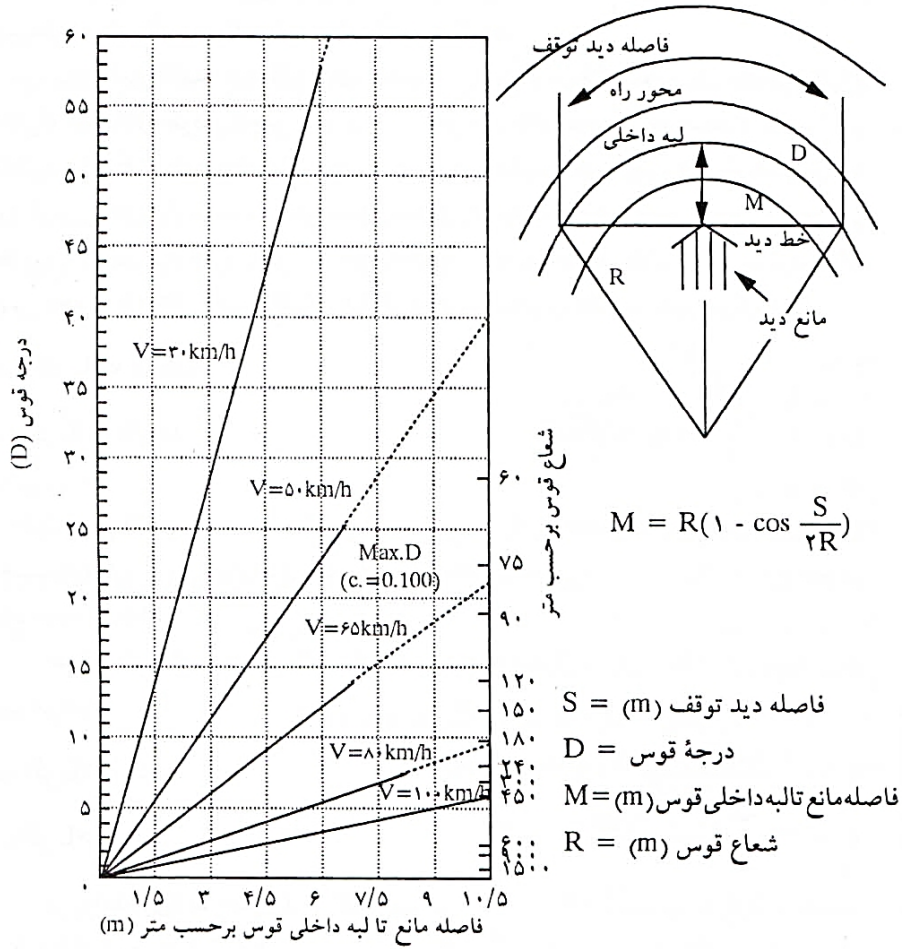
شکل ۶ـ۳ـکنترل فاصله دید هنگامی که این فاصله از طول قوسی قائم بزرگتر است



شکل ۶ـ۴ـکنترل فاصله دید هنگامی که این فاصله از طول قوس قائم کوچکتر است

۶ - ۲ ـ ۷ ـ ۲ ـ فاصله دید توقف در قوس‌های افقی

برای تعیین مقدار فاصله دید توقف لازم در قوس‌های افقی از نمودار شکل ۶ ـ ۶ استفاده می‌گردد. با استفاده از این نمودار می‌توان با در دست داشتن فاصله مانع تا لبه داخلی قوس و مقدار سرعت طراحی مقادیر شعاع قوس و یا درجه‌ی قوس لازم برای تأمین فاصله دید توقف را تعیین نمود.



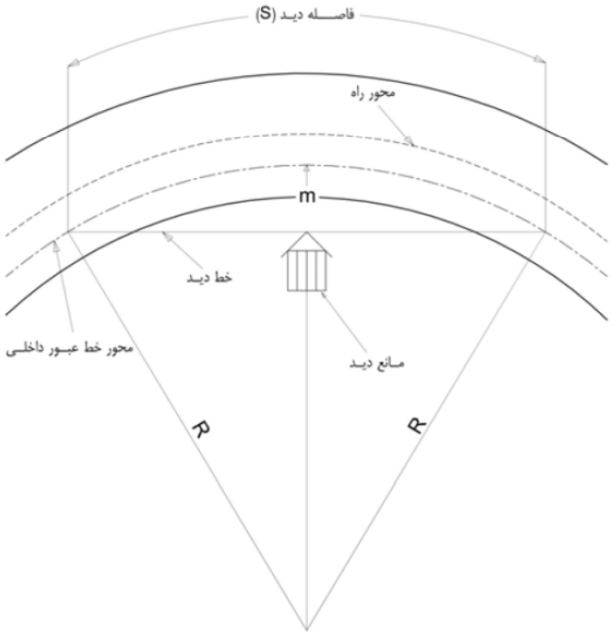
شکل ۶ ـ ۶ ـ نمودار تعیین حداقل شعاع قوس لازم برای کنترل فاصله دید توقف در قوسهای افقی

۵-۲-۱-۹- فاصله دید در قوس‌های افقی

فاصله دید در قوس‌های افقی ممکن است به وسیله موانع مختلف، مانند ابنیه فنی، ساختمان‌ها، درختان، ترانشه‌ها و عوارض طبیعی محدود شده باشد. هنگام طراحی مسیر، برای فاصله دید کافی در قوس‌های افقی در طول خط دید (وتر منحنی محور میان خط عبور داخلی)، باید ضوابط این ردیف مورد استفاده قرار گیرد. در این ارتباط، دو حالت به شرح زیر، هنگام طراحی در نظر گرفته می‌شود:

الف - حالتی که $S < L$ باشد،

در این حالت فاصله دید (S) کوچکتر از طول قوس (L) افقی است و خط دید در ارتفاع ۰/۸۴ متری (میانگین ارتفاع چشم ۱/۰۸متر و ارتفاع شی ۰/۶۰ متر برای فاصله دید توقف) در امتداد محور میانی خط عبور کناری در نظر گرفته می‌شود (شکل ۵-۳)



شکل ۵-۳- فاصله دید در قوس افقی برای حالت $S < L$

مطابق شکل، فاصله مانع از محور طولی از رابطه (۵-۱۵) به دست می‌آید.

$$m = R(1 - \cos(\frac{28/65\, S}{R})) \qquad (۱۵-۵)$$

که در آن:

m = فاصله مانع تا محور طولی خط عبور داخلی (متر)

R = شعاع قوس افقی (متر)

S = فاصله دید توقف (متر)

مقدار زاویه بر حسب درجه است.

در این ارتباط می‌توان از جدول‌های (۵-۱۲) و (۵-۱۳) برای فواصل دید توقف استفاده کرد.

ب - حالتی که $S > L$ باشد.

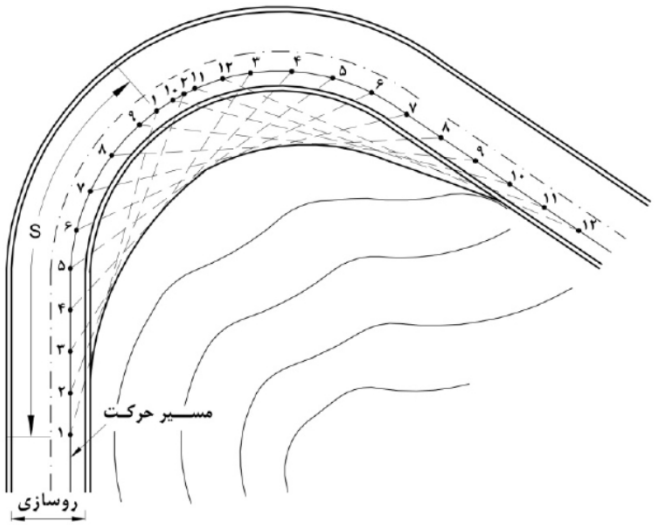
در این حالت فاصله دید بزرگتر از طول قوس افقی است و خط دید در ارتفاع ۰/۸۴ متری در امتداد محور میانی خط عبور کناری در نظر گرفته شده است. برای محاسبه m از رابطه (۵-۱۶) استفاده می‌شود.

$$m = \frac{L\,(2S - L)}{8R} \qquad (۱۶-۵)$$

که پارامترهای S، m و R مطابق رابطه (۵-۱۵) است.

چناچه فاصله مانع از محور طولی برای فاصله دید سبقت محاسبه می‌شود، خط دید در ارتفاع ۱/۰۸متر (میانگین ارتفاع چشم ۱/۰۸متر و ارتفاع مانع ۱/۰۸متر برای فاصله دید سبقت) در امتداد محور میانی خط عبور کناری در نظر گرفته می‌شود.

برای پاکسازی محوطه شامل درختان یا زمین طبیعی می‌توان با در نظر گرفتن فاصله دید، مطابق شکل (۵-۴) عمل کرد.



شکل ۵-۴- نحوه تعیین میزان پاکسازی محوطه در قوس افقی

۶-۲-۸- فاصله دید سبقت در قوس‌های قائم

طراحی خط پروژه راه در پروفیل طولی بهتر است به‌گونه‌ای باشد که وجود شیب‌های طرفین و قوس‌های قائم مانع از ایجاد دید لازم برای سبقت وسایط نقلیه در قوس‌های قائم نگردد. همان‌طوری‌که در فصل پنجم ذکر شد برای اتصال شیب‌های طرفین خط پروژه در پروفیل طولی معمولاً از قوس‌های قائم سهمی درجه‌ی دوم استفاده می‌شود و حداقل طول لازم در طراحی این قوس‌ها بر مبنای تأمین مسافت دید توقف تأمین می‌گردد.

برای تأمین فاصله دید لازم برای سبقت باید طول قوس قائم سهمی را افزایش داد. در حالتی‌که شیب‌های طرفین ناچیز باشد و یا در قوس‌های قائم مقعر این کار معمولاً به سادگی امکان‌پذیر است. در قوس‌های قائم محدب، در حالتی‌که شیب‌های طرفین زیاد باشد، معمولاً به طول قوس زیادی نیاز است و ممکن است به‌دلایل رعایت سایر مشخصاتی که باید در طراحی خط پروژه مدنظر قرار گیرد تأمین این طول امکانپذیر نباشد. حداقل طول لازم برای قوس قائم سهمی محدب به منظور تأمین فاصله دید کافی برای سبقت از روابط زیر تعیین می‌گردد:

الف - اگر $L < S$ باشد:

$$L = \frac{AS^2}{200\,(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

ب - اگر $L > S$ باشد:

$$L = 2S - \frac{200}{A}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2$$

در این روابط:

L - طول قوس قائم به متر S - فاصله دید به متر A - تفاضل جبری شیب‌های طرفین برحسب درصد h_1 - ارتفاع چشم راننده از سطح جاده (110_{cm}) h_2 - ارتفاع مانع از سطح جاده (15_{cm})

حداقل طول قوس سهمی مقعر برای تامین فاصله دید لازم برای سبقت از روابط زیر تعیین می‌شود:

الف: اگر $L>S$ باشد:

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3/5S}$$

ب - اگر $L>S$ باشد:

$$L = 2S - \frac{120 + 3/5S}{A}$$

در روابط فوق: L - طول قوس قائم مقعر بر حسب متر S - فاصله نور چراغ‌ها بر حسب متر A - تفاضل جبری شیب‌های طرفین بر حسب درصد می‌باشد. در روابط بالا فرض شده است که ارتفاع چراغ‌های جلو از سطح جاده ۰/۶ متر و نور چراغ‌ها با زاویه‌ی یک درجه نسبت به محور طولی وسایط نقلیه پخش می‌گردد.

۶ـ۳ـ تعریض

اگر شعاع قوس‌های افقی از حد معینی کمتر باشد لازم است که عرض جاده در قوس افزایش یابد، این افزایش عرض به‌دلایل زیر صورت می‌پذیرد: الف ـ شعاع مسیر طی شده به وسیله‌ی چرخ‌های عقب وسیله‌ی نقلیه در قوس کوچکتر از شعاع مسیر طی شده توسط چرخ‌های جلوی آن است. بدین ترتیب وسایط نقلیه در قوس‌ها، عرض بیشتری از جاده را اشغال می‌کنند. ب ـ از آنجائی‌که رانندگان در قوس‌ها به سختی می‌توانند در امتداد محور مسیری که از آن عبور می‌کنند، حرکت نمایند؛ لذا از نقطه نظر روانی برای ایجاد حرکت ایمن باید عرض راه در قوس افزایش یابد.

تعریض روسازی راه‌های دو خطه بر طبق آئین‌نامه ایران مطابق شکل ۶ ـ ۷ صورت می‌پذیرد و مقدار آن از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$W = W_c - W_n$$

$$W_c = ۲ (D + C) + F_A + Z$$

در این روابط:

W - عرض اضافی ناشی از تعریض (متر)

W_c عرض روسازی راه در قوس (متر)

W_n ـ عرض روسازی در مسیر مستقیم (متر)

D - فاصله‌ی عرضی پشت تا پشت چرخ وسیله‌ی نقلیه (متر)

C - فاصله‌ی آزاد جانبی وسیله‌ی نقلیه (متر)، این فاصله برای روسازی‌هائی با عرض ۶، ۶/۵، و ۷/۳ متر به‌ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۷ و ۰/۹ متر در نظر گرفته می‌شود.

F_A - عرض پیش آمدگی جلو وسیله‌ی نقلیه (متر)

Z - اضافه عرض ایمنی به‌دلیل دشواری رانندگی در قوس (متر)

مقادیر F_A، Z و D از روابط زیر تعیین می‌شوند:

$$D = U + R - \sqrt{R^۲ - L^۲}$$

$$F_A = \sqrt{R^۲ + A (۲L + A)} - R$$

$$Z = ۰/۱ \frac{V}{\sqrt{R}}$$

در این روابط:

U - فاصله عرضی پشت تا پشت چرخ وسیله‌ی نقلیه در مسیر مستقیم (متر)

R - شعاع محور راه در قوس (متر)

V - سرعت طرح (کیلومتر بر ساعت)

A - فاصله پیش‌آمدگی وسیله‌ی نقلیه نسبت به محور جلو

L - فاصله بین محور جلو و عقب

برای تعیین مقدار اضافه عرض ناشی از تعریض در قوس‌ها وسیله‌ی نقلیه مناسبی به‌عنوان وسیله‌ی نقلیه مبنای طراحی انتخاب می‌گردد. با توجه به این‌که اضافه عرض لازم برای کامیونها در مقایسه با خودروی سواری بیشتر است، لذا معمولاً یک کامیون به‌عنوان وسیله‌ی نقلیه طراحی برای تعریض انتخاب می‌شود در مواردی که شعاع قوسها نسبتاً کم باشد و تعداد تریلی‌های عبوری از جاده زیاد باشد باید عرض اضافی ناشی از تعریض افزایش داده شود. این افزایش بر طبق آئین‌نامه برای قوس‌های با شعاع بین ۱۰۰ تا ۱۷۰ متر برابر ۱۵ سانتیمتر و برای قوس‌های با شعاع کمتر از ۱۰۰ متر برابر ۳۰ سانتیمتر است. با توجه به پر هزینه بودن تعریض روسازی، در صورت نیاز به تعریض توصیه می‌شود که میزان اضافه عرض، حداقل برابر ۰/۶ متر منظور گردد. تعریض راه‌های دو خط یکطرفه همانند راه‌های دو خطه دو طرفه است، اما این مقدار برای راه‌های ۴ خطه، مجزا نشده ۲ برابر مقادیر فوق است.

طریقه‌ی انجام تعریض در قوس‌ها به شرح زیر است:

۱ ـ تعریض می‌تواند در هر دو سمت داخلی و خارجی راه انجام شود.

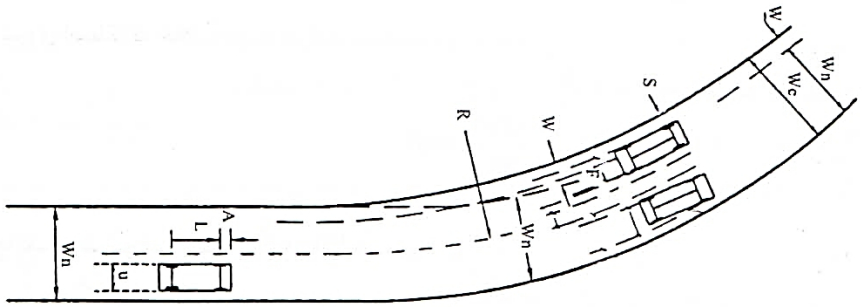
۲ ـ در قوسهای ساده (بدون کلوتوئید) بهتر است تعریض فقط در امتداد لبه داخلی روسازی انجام شود و در قوسهای دارای کلوتوئید بهتر است تعریض در امتداد لبه خارجی روسازی و یا نصف آن در امتداد لبه داخلی و نصف دیگر در امتداد لبه خارجی انجام گردد.

۳ ـ بهتر است تعریض قوس به جای یک خط مستقیم به‌صورت یک قوس ملایم اجرا شود.

۴ ـ تعریض قوس باید بصورت تدریجی در یک طول کافی صورت پذیرد، همچنین بهتر است که تعریض در طول تأمین بر بلندی اجرا گردد.

۵ – در قوسهای دایره‌ای بدون کلوتوئید می‌توان $\frac{۱}{۲}$ تا $\frac{۱}{۳}$ طول تأمین اضافه عرض در امتداد مستقیم و مابقی در طول قوس صورت پذیرد، اما در قوس‌های دارای کلوتوئید تأمین اضافه عرض ناشی از تعریض در قوس کلوتوئید انجام می‌گردد.

۶ ـ در تهیه نقشه‌های اجرایی باید محدوده‌ی مربوط به تعریض قوس با جزئیات کامل مشخص و در اختیار مهندسین ناظر و مجری قرار داده شود.



شکل ۶ـ۷ـطریق تعریض جاده در قوسها

۶ـ۴ ـ بربلندی[1] (دور)

شیب عرضی یکطرفه‌ی راه در قوس دور یا بربلندی نامیده می‌شود. هنگام حرکت یک وسیله‌ی نقلیه در قوس نیروی گریز از مرکز سعی در پرتاب نمودن وسیله‌ی نقلیه به‌خارج از جاده را دارد. برای اینکه بتوان تعادل وسیله‌ی نقلیه را به‌نحوی تأمین نمود تا با سرعت طرح بتواند از قوس عبور نماید، ایجاد شیب عرضی یکطرفه در قوس که سبب خنثی نمودن نیروی گریز از مرکز شود نقش مؤثری را ایفا می‌نماید. با استفاده از شیب عرضی یکطرفه می‌توان در مقطع راه بین نیروی اصطکاک جانبی چرخ و روسازی و مؤلفه وزن وسیله‌ی نقلیه در امتداد بربلندی، با نیروی گریز از مرکز تعادل ایجاد کرد.

۶ـ۴ـ۱ ـ ضرورت دستیابی به بربلندی

برای بررسی اهمیت و ضرورت دستیابی به بربلندی در قوسها، تعادل یک وسیله‌ی نقلیه به هنگام حرکت در یک قوس دایره‌ای مطابق شکل ۶ ـ ۸ در نظر گرفته می‌شود. چنان‌چه شعاع قوس دایره‌ای R، سرعت طراحی جاده V و جرم وسیله‌ی نقلیه m باشد، نیروی گریز از مرکز موثر بر وسیله‌ی نقلیه که سعی در پرتاب آن به خارج از قوس دارد برابر با $\frac{mv^2}{R}$ می‌باشد. با ایجاد یک شیب عرضی به اندازه β، وزن وسیله‌ی نقلیه W که در جهت ثقل عمل می‌کند، دارای یک مؤلفه افقی برابر با $W\sin\beta$ خواهد شد. این مؤلفه در جهت خنثی کردن مؤلفه افقی نیروی گریز از مرکز $(\frac{mv^2}{R}\cos\beta)$ عمل می‌نماید. با در نظر گرفتن تعادل وسیله‌ی نقلیه در قوس و این‌که جهت

1 - *Superelevation*

نیروی اصطکاک خلاف جهت حرکت است خواهیم داشت:

$$F = fN = fW\cos\beta + f\frac{WV^2}{gR}\sin\beta \qquad (\sin\beta << \text{small})$$

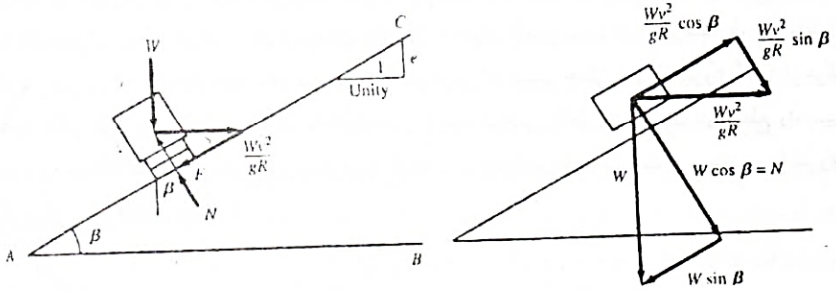
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow W\sin\beta + F = \frac{MV^2}{gr}\cos\beta$$

$$W\sin\beta + fW\cos\beta = \frac{WV^2}{gR}\cos\beta$$

با تقسیم طرفین این رابطه به $W\cos\beta$ خواهیم داشت:

$$\tan\beta + f = \frac{V^2}{gR} \quad \text{یا} \quad R = \frac{V^2}{g(e+f)}$$

در رابطه اخیر $e = \tan\beta$ شیب عرضی در قوس (دور) می‌باشد. پارامتر f نیز ضریب اصطکاک جانبی لاستیک چرخ با سطح جاده است. مقدار ضریب اصطکاک تابع عوامل زیر می‌باشد: ۱ ـ وضعیت لاستیک چرخ‌های خودرو ۲ ـ نوع روسازی ۳ ـ خشک، تر یا یخ زده بودن مسیر راه ۴ ـ سرعت خودرو.



شکل ۶ـ۸ـتعادل وسیله‌ی نقلیه در قوس تحت اثر نیروی گریز از مرکز و شیب عرضی

بر طبق آئین‌نامه برای تعیین حداقل شعاع قوس‌های دایره‌ای می‌توان مقادیر ضریب اصطکاک را از جدول ۷ ـ ۶ بدست آورد.

سرعت طراحی Km/h	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰
ضریب اصطکاک جانبی (f)	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۸

جدول ۷ـ۶ـمقادیر ضریب اصطکاک جانبی بر اساس سرعت طراحی

با توجه به نکات ارائه شده، برای اینکه وسیله‌ی نقلیه از قوس موردنظر با سرعت طرح و ایمنی کامل عبور نماید باید رابطه‌ی زیر برقرار باشد:

$$R \geq \frac{V^2}{g(e + f)}$$

اگر مقدار سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت و مقدار شعاع قوس بر حسب متر باشد خواهیم داشت:

$$R \geq \frac{V^2}{127/2\ (e + f)}$$

رابطه‌ی اخیر مقدار حداقل شعاع قوس دایره‌ای در یک قوس با سرعت طرح معین و شیب عرضی معین را نشان می‌دهد.

۶ـ۴ـ۳ـ میزان بربلندی

ایجاد شیب عرضی یکسره در قوس‌های جاده‌ها اگرچه ایمنی بیشتری را برای عبور وسیله‌ی نقلیه‌ای که با سرعت طرح از قوس عبور می‌کند، ایجاد می‌نماید، اما باید این موضوع را نیز مدنظر داشت که همیشه وسائط نقلیه در هنگام عبور از قوس سرعت بالائی را ندارند. در هنگام شلوغی راه و مخصوصاً در فصول سرد سال که ممکن است به‌دلیل بارش برف و یخبندان، کاهش سرعت و کاهش ضریب اصطکاک بین سطح جاده و لاستیک وجود داشته باشد، لذا وجود بربلندی ممکن است سبب سُر خوردن وسیله‌ی نقلیه بطرف داخل قوس گردد، از این رو حداکثر بربلندی در قوس‌ها باید محدود شود. مقادیر حداکثر بربلندی بستگی به شرائط جوی منطقه‌ای که راه در آن ایجاد می‌شود، دارد.

آئین‌نامه اشتو مقدار حداکثر بربلندی را بر حسب شرائط مختلف به‌شرح زیر توصیه نموده است:

مناطق گرمسیر ٪e = ۱۲، مناطق معتدل رو به گرمی ٪e = ۱۰، مناطق معتدل رو به سردی ٪e = ۸ و در مناطق سردسیر ٪e = ۶. آئین‌نامه طرح هندسی راه‌ها در ایران بر مبنای انواع راه‌ها و شرایط منطقه، مقادیر حداکثر بربلندی را بشرح زیر محدود می‌نماید:

۱ ـ راه‌های دو خطه و راه جانبی دو خطه و رابط‌ها در مناطقی که در معرض بارش برف و یخبندان نمی‌باشند. $e_{max} = ۱۲٪$

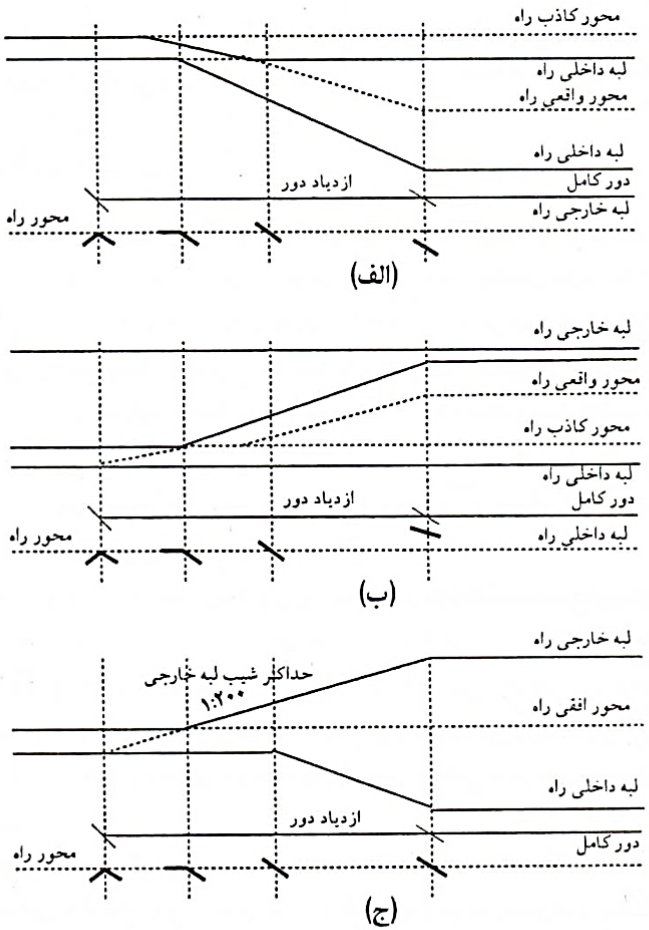
۲ ـ در آزادراهها و بزرگراهها $e_{max} = ۱۰٪$

۳ ـ در مناطق با ارتفاع بیش از هزار متر از سطح دریا و در شرایط برف و یخبندان $e_{max} = ۸٪$

۴ ـ در مناطق حومه شهری به‌دلیل امکان توسعه آتی طرح و کاهش یافتن سرعت طرح $e = ۶٪$

در مناطقی که شرائط جوی مناسب باشد، مقدار حداکثر بربلندی برای اتصالات یکطرفه می‌تواند به ۱۴ درصد افزایش یابد. در واقع بیشترین بربلندی ممکن، در قوسهای شیبراهه‌های تقاطع‌ها به‌ویژه در قوس‌های تند در سرازیری در نظر گرفته می‌شود.

در مواردی که شعاع قوس انتخاب شده بیشتر از حداقل شعاع لازم بر اساس سرعت طرح باشد، مقدار شیب عرضی باید کمتر از مقدار حداکثر در نظر گرفته شود.



شکل ۶ـ۹ ـ طریقه اجرای بربلندی در راههای دو طرفه بدون میانه

۶ـ۴ـ۳ـ اجرای بربلندی

جهت تأمین و اجرای بربلندی معمولاً یکی از سه روش زیر به‌کار گرفته می‌شود.

۱ ـ دوران نیمرخ عرضی راه حول لبه‌ی داخلی

۲ ـ دوران نیمرخ عرضی راه حول لبه‌ی خارجی

۳ ـ دوران نیمرخ عرضی راه حول محور طولی

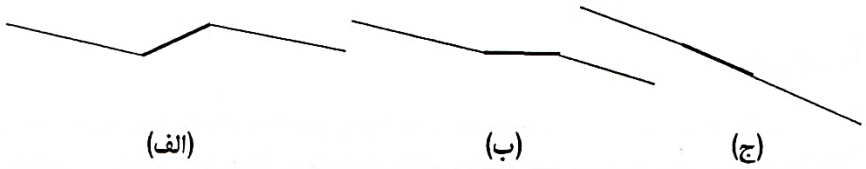
روش سوم به‌دلیل ایجاد کمترین تغییر مکان در لبه‌های روسازی متداول‌ترین روش برای اجرای بربلندی در راه‌های دو طرفه بدون میانه می‌باشد. در شکل ۶ ـ ۹ در قسمت‌های الف، ب و ج طریقه‌ی اجرای بربلندی روش‌های ۱، ۲ و ۳ بترتیب نشان داده شده است.

در جاده‌های مجزا شده دارای میانه بر اساس عرض و مقطع عرضی میانه می‌توان به یکی از سه طریق نشان داده شده در شکل ۶ ـ ۱۰ نسبت به تأمین بربلندی لازم اقدام نمود.

الف ـ برای میانه‌های با عرض بیش از ۹ متر: هر یک از دو روسازی طرفین به‌صورت جداگانه دوران داده شود.

ب ـ برای میانه‌های با عرض متوسط: دوران روسازی‌های طرفین حول هر یک از لبه‌های میانی و اجرای میانه به‌صورت افقی انجام می‌شود.

ج ـ برای میانه‌های کم عرض با بربلندی متوسط: اجرای بربلندی در تمام عرض راه و میانه صورت می‌گیرد.



شکل ۶ ـ ۱۰ ـ طریقه‌ی اجرای بربلندی در راه‌های دارای میانه

در قوس‌های سه مرکزی متقارن بهتر است در قوس کوچکتر (دایره وسط) دور به‌صورت کامل اجرا گردد و بربلندی از ابتدا و انتهای قوس میانی به‌طرف قوس اول و سوم به‌صورت تدریجی کاهش یابد تا در شروع و انتهای قوس‌های اول و سوم صفر گردد.

در قوس‌های کلوتوئید ـ دایره ـ کلوتوئید، قوس دایره به‌صورت دور کامل اجرا شده و مقدار بربلندی در طول قوس‌های کلوتوئید به‌تدریج کاهش یافته تا در ابتدا و انتها صفر گردد. باید توجه داشت که در هر دو حالت قوس‌های سه مرکزی متقارن و قوس اتصال کلوتوئید ـ دایره ـ کلوتوئید، شیب تغییرات تدریجی بربلندی نباید از ۱:۲۰۰ تجاوز نماید در غیر این‌صورت باید بر اساس شیب حداکثر ۱:۲۰۰ مقدار بربلندی کاهش داده شود و دور در بعد از قوس‌های شروع و انتها در قسمتی از مسیر مستقیم جاده صفر گردد.

در مورد قوس‌های مرکب دو مرکزی و سه مرکزی غیر متقارن می‌توان مقداری از دور لازم را در قوس‌های بزرگتر و دور کامل را در قوس کوچکتر اجرا نمود. در هر حالت در صورت نیاز به تأمین دور در قوس‌های بزرگتر، در هر یک از این قوس‌ها باید حداقل دور لازم اعمال گردد.