

فصل سوم

اجزاء طرح

مقدمه

مسیر راه یا خیابان، تأثیر بسزایی بر محیط‌زیست، بافت اجتماع و کاربران راه دارد. طرح هندسی شامل اجزای متنوع و متعدد متصل به یکدیگر بمنظور ایجاد معابری در خدمت ترافیک به نحو کارا و ایمن و مطابق با عملکرد مورد نظر است. هر یک از این اجزا بایستی مکمل دیگر اجزاء برای ایجاد طرحی کارا، ایمن و یکنواخت باشد.

طراحی راه‌ها و خیابان‌ها با طبقات عملکردی مشخص به صورت جداگانه در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. تمام طبقات راه‌ها و خیابان‌ها در تعدادی از عناصر اصلی طرح مشترک‌اند. این اجزاء شامل فاصله دید، یک‌بری، تعریض سواره‌رو، شیب‌ها، مسیر افقی، نیم‌رخ طولی، و اجزاء دیگر طرح هندسی است. این اجزا در این فصل و در صورت اقتضا، در فصل‌های بعدی مربوط به طبقات عملکردی ویژه راه، مورد بحث قرار می‌گیرند.

فاصله دید

نکات کلی

توانایی راننده در دیدن پیش روی خود، بیشترین اهمیت را در عملکرد ایمن و کارای خودرو در راه دارد. به عنوان مثال، در راه‌آهن، قطارها محدود به مسیری ثابت شده‌اند ولی با این حال به یک سیستم علامت دهی و اپراتورهای آموزش دیده برای عملیات ایمن نیاز دارند. به عکس، مسیر و سرعت وسایل نقلیه در راه‌ها و خیابان‌ها تحت کنترل رانندگانی است که قابلیت‌ها، تجربه‌ها و آموزش‌های کاملاً متفاوتی دارند. به منظور تأمین ایمنی در راه‌ها، طراح باید فاصله دیدی با طول آنچنان کافی فراهم سازد که رانندگان بتوانند وسیله نقلیه خود را کنترل کرده و از برخورد با اجسام غیرمنتظره در مسیر حرکت جلوگیری کنند. به علاوه در راه‌های دو خطه، باید فاصله دید کافی برای امکان اشغال خط عبور مقابل توسط رانندگان، بمنظور سبقت از وسایل نقلیه دیگر، بدون خطر برخورد تأمین گردد. در راه‌های برون شهری دو خطه، باید فاصله دید سبقت در فواصل مکرر و برای بخش‌های عمده‌ای از طول آن فراهم شود. از سوی دیگر تأمین فاصله دید سبقت برای خیابان‌ها و شریانی‌های شهری دو خطه، عموماً ارزش عملی چندانی ندارد. نسبتی از طول راه که دارای فاصله دید کافی برای سبقت باشد و نیز فاصله بین محل‌های مجاز سبقت بایستی با معیارهای طراحی ذکر شده در فصول بعد در ارتباط با طبقه‌بندی عملکردی خیابان یا راه مورد نظر، مطابقت نماید.

چهار جنبه فاصله دید که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرند، عبارتند از:

(۱) فاصله دید توقف، که قابل کاربرد در کلیه راه‌ها است،

(۲) فاصله دید سبقت، فقط برای راه‌های دو خطه،

(۳) فاصله دید انتخاب برای موقعیت‌های پیچیده،

(۴) معیارهای اندازه‌گیری این فاصله‌های دید برای استفاده در طراحی.

طراحی مسیر افقی و نیم‌رخ طولی برای تأمین فاصله دید و معیارهای طراحی قابل کاربرد، در ادامه این فصل بیان خواهد شد. شرایط خاص مربوط به فاصله دید در تقاطع‌ها، در فصل ۹ مورد بحث قرار می‌گیرد.

فاصله دید توقف

فاصله دید، طول قابل رؤیت برای راننده، در امتداد مسیر است. فاصله دید موجود در راه باید به اندازه‌ای باشد که وسیله نقلیه‌ای که با سرعت طرح یا نزدیک به آن حرکت می‌کند بتواند قبل از رسیدن به مانع ساکن در مسیر خود، متوقف شود. با وجودیکه طول‌های دید بزرگ‌تر مطلوب‌تر است، فاصله دید در هر نقطه از راه باید برابر حداقل اندازه مورد نیاز برای توقف راننده زیر متوسط و یا وسیله نقلیه زیر متوسط باشد. فاصله دید توقف، حاصل جمع دو فاصله است: (1) فاصله طی شده توسط وسیله نقلیه از لحظه‌ای که راننده یک شیء مستلزم توقف را می‌بیند تا لحظه‌ای که ترمزها به کار گرفته می‌شود و (2) فاصله لازم جهت توقف وسیله نقلیه از لحظه‌ای که ترمز شروع به کار می‌کند. این دو فاصله، به ترتیب فاصله عکس‌العمل ترمز و فاصله ترمزگیری نامیده می‌شوند.

زمان عکس‌العمل ترمز

فاصله زمانی بین لحظه‌ای که راننده، وجود مانع مستلزم توقف در مسیر پیش‌رو را تشخیص می‌دهد و لحظه‌ای که راننده، ترمزها را به کار می‌گیرد، زمان عکس‌العمل نامیده می‌شود. در شرایط خاص، مانند موقعیت‌های اضطراری اعلام شده بوسیله نورافکن‌ها یا چراغ‌های چشمک‌زن، رانندگان تقریباً فوری، این کارها را انجام می‌دهند. در اغلب شرایط دیگر، راننده نه تنها باید شیء را ببیند بلکه باید آنرا به عنوان جسم ساکن یا کندرو در برابر زمینه راه و سایر اشیاء مانند دیوارها، توری، درختان، تیرها یا پل‌ها تشخیص دهد. این تشخیص‌ها زمانبر است و زمان مورد نیاز، به میزان قابل ملاحظه‌ای با فاصله از شیء، دقت بینایی راننده، سرعت طبیعی عکس‌العمل راننده، دید جوی، نوع و شرایط جاده و طبیعت مانع، متغیر است. سرعت وسیله نقلیه و محیط راه نیز زمان عکس‌العمل را احتمالاً تحت تأثیر قرار می‌دهند. معمولاً، راننده‌ای که با سرعت طرح ————— نزدیک ————— به آن حرکت می‌کند، هشیارتر از راننده‌ای است که با سرعت کمتر حرکت می‌کند. همچنین راننده‌ای که در خیابان، با موارد بی‌شمار از ماشین‌های پارک شده، انشعاب‌ها و معابر متقاطع، مواجه می‌شود، احتمالاً هشیارتر از همان راننده در معابر با دسترسی محدود و تقریباً فاقد موارد مذکور است.

مطالعه زمان عکس‌العمل، بوسیله جوهانسون و رومار [1] که در فصل 2 به آن اشاره شد، بر اساس اطلاعات بدست آمده از 321 راننده‌ای است که انتظار می‌رفت ترمز بگیرند. متوسط زمان عکس‌العمل برای این رانندگان 0/66 ثانیه و برای 10% آنان، 1/5 ثانیه یا بیشتر بود. این یافته‌ها با مطالعات اخیر که در آن رانندگان هشیار نیز ارزیابی شده‌اند، همبستگی دارد. مطالعه دیگر [2] مقدار 0/64 ثانیه را به عنوان متوسط زمان عکس‌العمل، یافته است که در آن 5% رانندگان، به زمانی بیشتر از 1 ثانیه نیاز دارند. در سومین مطالعه [3] مقدار زمان عکس‌العمل ترمز در محدوده 0/4 تا 1/7 ثانیه قرار گرفت. مطالعه، جوهانسون و رومار [1]، نشان داد که اگر واقعه مستلزم ترمزگیری، غیر منتظره باشد، زمان‌های واکنش راننده، تقریباً 1 ثانیه یا بیشتر افزایش می‌یابد و برخی از این زمان‌ها به بیش از 1/5 ثانیه می‌رسد. این افزایش، در آزمایش‌های انجام شده قبلی در آزمایشگاه و روی راه (که براساس نتایج آن، راننده‌ای که در شرایط هوشیاری و آمادگی، به زمان عکس‌العمل 0/2 تا 0/3 ثانیه نیاز دارد، در شرایط عادی به زمان عکس‌العمل 1/5 ثانیه نیازمند است)، اثبات شده بود.



بنابراین حداقل زمان عکس‌العمل ترمزگیری می‌تواند، برای رانندگان معمولی 1/64 ثانیه و برای رانندگان هشیار 0/64 ثانیه و برای حوادث پیش‌بینی نشده 1 ثانیه باشد. چون مطالعات مورد بحث فوق از علایم و نشانه‌های از پیش تنظیم شده استفاده می‌کند، حداقل پیچیدگی را در شرایط راه ایجاد می‌کند. حتی تحت چنین شرایط ساده‌ای هم، معلوم شده است که زمان پاسخ‌گویی برخی رانندگان، بیش از 3/5 ثانیه بوده است. چون شرایط واقعی جاده‌ها عموماً پیچیده‌تر از شرایط مفروض مطالعات است و زمان‌های عکس‌العمل رانندگان، تغییرات زیادی دارد، مسلماً معیار پذیرفته شده برای استفاده باید بیش از 1/64 ثانیه باشد. زمان عکس‌العمل ترمز مورد استفاده در طراحی باید به قدر کافی بزرگ باشد تا زمان‌های عکس‌العمل لازم برای تقریباً همه رانندگان را در اغلب شرایط راه، جوابگو باشد. تحقیق اخیر [4] و تحقیقات ذکر شده قبلی [3 و 2] نشان می‌دهد که زمان عکس‌العمل ترمز 2/5 ثانیه برای شرایط دید توقف، قابلیت‌های اکثر رانندگان، حتی رانندگان مسن، را در بر می‌گیرد. معیار طراحی پیشنهاد شده 2/5 ثانیه برای زمان عکس‌العمل ترمز، از 90 درصد توزیعی زمان‌های واکنش همه رانندگان تجاوز می‌کند و در تهیه جدول 3-1 از آن استفاده شده است.

زمان عکس‌العمل ترمز 2/5 ثانیه برای شرایطی پیچیده‌تر از شرایط ساده مورد استفاده آزمایشگاه و تست‌های جاده‌ای کافی است، اما برای بیشتر شرایط بسیار پیچیده رانندگی واقعی کافی نیست. نیاز به زمان عکس‌العمل بیشتر در اغلب شرایط راه مانند آنچه در تقاطع‌های هم سطح چند مرحله‌ای و یا در پایانه رابط‌ها مشاهده می‌شود، بعداً در همین فصل و در بخش فاصله دید انتخاب، مورد بحث قرار خواهد گرفت.

فاصله ترمزگیری

مقدار تقریبی فاصله ترمزگیری وسیله نقلیه‌ای که در یک راه هموار، با سرعت طرح حرکت می‌کند را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$d = \frac{V^2}{a} (1 - 3) 0/039$
در آن: d = فاصله ترمزگیری (متر) V = سرعت طرح (کیلومتر در ساعت) a = شتاب کاهنده (متر بر مجذور ثانیه)

مطالعات صورت گرفته [4] نشان می‌دهد که اغلب رانندگان، هنگام رویارویی با وضعیت نیاز به توقف برای شیئی غیرمنتظره در راه، سرعت خود را با شتاب بیش از 4/5 (متر بر مجذور ثانیه) کاهش می‌دهند. تقریباً 90 درصد از رانندگان سرعت خود را با شتاب بیشتر از 3/4 (متر بر مجذور ثانیه) کاهش می‌دهند. چنین کاهش‌هایی در محدوده توانایی‌های راننده، برای باقی ماندن در خط عبور خود و کنترل حرکت وسیله نقلیه، به هنگام ترمزگیری در سطح خیس راه، قرار دارد. بنابراین 4/4 (متر بر مجذور ثانیه) 3، (کاهش سرعت راحت برای اغلب رانندگان) به عنوان مرز شتاب کاهنده برای تعیین فاصله دید توقف پیشنهاد می‌شود. علت انتخاب این مرز شتاب کاهنده آن است که طبق بررسی، اغلب سیستم‌های ترمز وسایل نقلیه و مقدار اصطکاک چرخ



و سطح رویه بیشتر جاده‌ها، قادر به تأمین شتاب کاهنده حداقل 3/4 (متر بر مجذور ثانیه) می‌باشند. اصطکاک موجود روی اغلب رویه‌های مرطوب و قابلیت‌های بیشتر سیستم‌های ترمزگیری وسایل نقلیه قادر به تأمین اصطکاک ترمزگیری بیشتری از مقادیر نظیر شتاب کاهنده مذکور هستند.

سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)	فاصله عکس‌العمل ترمز (متر)	فاصله ترمزگیری در سطح افقی (متر)	فاصله دید توقف	
			محاسبه شده (متر)	برای طرح (متر)
20	13/9	4/6	18/5	20
30	20/9	10/3	31/2	35
40	27/8	18/4	46/2	50
50	34/8	28/7	63/5	65
60	41/7	41/3	83/0	85
70	48/7	56/2	104/9	105
80	55/6	73/4	129/0	130
90	62/6	92/9	155/5	160
100	69/5	114/7	184/2	185
110	76/5	138/8	215/3	220
120	83/4	165/2	248/6	250
130	90/4	193/8	284/2	285

تبصره:
 (1) برای تعیین فاصله دید توقف محاسبه شده، فاصله عکس‌العمل ترمز مبتنی بر زمان 2/5 ثانیه و شتاب کاهنده 3/4 متر بر مجذور ثانیه مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول 3-1: فاصله دید توقف

مقادیر طرح

مجموع فاصله طی شده در طول زمان عکس‌العمل ترمز و فاصله ترمزگیری وسیله نقلیه برای توقف، فاصله دید توقف نامیده می‌شود. فاصله‌های محاسبه شده برای سرعت‌های مختلف در شرایط مفروض که در جدول 3-1 نشان داده شده از معادله زیر بدست آمده است:

$$\frac{v^2}{a} d = 0.278vt + 0.039 \quad (2-3)$$

که در آن:

t = زمان عکس‌العمل ترمز، 2/5 ثانیه
 v = سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)
 a = شتاب کاهنده (متر بر مجذور ثانیه)

فواصل دید توقف افزون بر مقادیر جدول 3-1 به عنوان مبنای طراحی، در صورت امکان، باید مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از فاصله دید توقف بزرگتر، حاشیه ایمنی را برای همه رانندگان بالاخص برای آن‌هایی که با سرعت طرح یا نزدیک به آن رانندگی می‌کنند، افزایش می‌دهد. به منظور اطمینان از اینکه رویه‌های جدید، دارای ضرایب اصطکاک متناسب با مقادیر شتاب کاهنده مذکور در جدول 3-1 باشد و آنرا حفظ

کند، طرح‌های روسازی باید مطابق معیارهای مندرج در نشریه آشتو با عنوان «راهنمای طرح‌های روسازی مقاوم در برابر لغزش» [5] باشد.

در محاسبه و اندازه‌گیری فاصله دید توقف، ارتفاع چشم راننده 1080 میلی‌متر تخمین زده می‌شود و ارتفاع شیئی که باید توسط راننده دیده شود، 600 میلی‌متر است که برابر با ارتفاع چراغ عقب وسیله نقلیه سبک است. کاربرد معیارهای ارتفاع چشم و ارتفاع شیئی، به صورت مفصل‌تر، در بخشی با عنوان «نیمرخ طولی» در همین فصل، مورد بحث قرار خواهد گرفت.

تأثیر شیب بر توقف

وقتی که راه، شیب‌دار است معادله مربوط به فاصله ترمز باید به صورت زیر اصلاح شود:

$$d = \frac{V^2}{254 \left(\left(\frac{a}{9/81} \right) \pm G \right)} \quad (3-3)$$

در این معادله، G ، مقدار درصد شیب تقسیم بر 100 است و سایر علائم اختصاری قبلاً توصیف شده است. فاصله دید توقف لازم در سربالایی‌ها کمتر از قسمت‌های مسطح و سرازیری‌ها است. فاصله دید توقف برای شیب‌های مختلف در جدول 2-3 آمده است. این فواصل دید تعدیل شده، بر اساس شرایط رویه خیس با استفاده از همان سرعت‌های طرح و زمان‌های عکس‌العمل ترمز مورد استفاده در جدول 1-3 برای راه‌های هموار محاسبه شده است.

تقریباً در همه راه‌ها و خیابان‌ها، ترافیک، از شیب‌ها در هر دو جهت عبور می‌کند، اما فاصله دید در هر نقطه، به خصوص در جاده‌های مستقیم ناحیه‌های تپه ماهوری برای هر جهت عبور متفاوت است. به عنوان یک اصل کلی، فاصله دید موجود در سرازیری‌ها بیشتر از سربالایی‌ها است که به طور خودکار اصلاحات مقتضی برای شیب را کم و بیش تأمین می‌کند. این ممکن است نشان می‌دهد که چرا طراحان، فاصله دید را به خاطر شیب، تعدیل نمی‌کنند. جاده‌ها و خیابان‌های یک طرفه و نیز راه‌های مجزا با پروفیل‌های مستقل برای هر جهت عبور از این امر مستثنی هستند. برای چنین راه‌های جداگانه‌ای، ممکن است تعدیل‌هایی در شیب‌ها لازم شود.

تغییرات مربوط به وسایل نقلیه سنگین

فاصله دید توقف پیشنهادی بر اساس عملکرد وسایل نقلیه سبک است و برای عملکرد گروه کامیون‌ها به صورت روشن طرحی ارائه نشده است. بطور کلی کامیون‌ها و بویژه واحدهای سنگین تر و بزرگتر، برای هر سرعت، نیازمند فاصله توقف طولانی‌تری نسبت به وسایل نقلیه سبک هستند. با این حال یک عامل، در جهت تعدیل فواصل ترمز اضافی وسایل نقلیه سنگین نسبت به وسایل نقلیه سبک است. به علت موقعیت بالاتر صندلی راننده در وسیله نقلیه سنگین، راننده می‌تواند مسافت بسیار دورتری در آنطرف موانع عمودی را ببیند. بنابراین در طراحی راه، عموماً از فاصله دید توقف جداگانه برای وسایل نقلیه سبک و سنگین، استفاده نمی‌شود.

در یک حالت، باید نهایت تلاش، به منظور تأمین فاصله دید توقف بزرگتر از مقادیر جدول 1-3 به عمل آید. وقتی که در سرازیری‌ها محدودیت دید افقی به وجود می‌آید، بخصوص در انتهای سراسیمه‌های طولانی



که سرعت کامیون‌ها به سرعتی نزدیک به سرعت وسایل نقلیه سبک یا برابر آن می‌رسد، ارتفاع زیاد چشم‌راننده وسیله نقلیه سنگین حتی در حالتی که مانع دید افقی، شیروانی خاکبرداری باشد، مهم نیست. اگرچه به طور متوسط راننده وسیله نقلیه سنگین نسبت به راننده وسیله نقلیه سبک با تجربه‌تر و در تشخیص خطرهای بالقوه سریع‌تر است، با این حال در چنان شرایطی تأمین فاصله دید توقف بیش از مقادیر مندرج در جدول 3-1 یا 2-3 مطلوب خواهد بود.

فاصله دید توقف (متر)						سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)
سرپایینی			سربالایی			
3%	6%	9%	3%	6%	9%	
20	20	20	19	18	18	20
32	35	35	31	30	29	30
50	50	53	45	44	43	40
66	70	74	61	59	58	50
87	92	97	80	77	75	60
110	116	124	100	97	93	70
136	144	154	123	118	114	80
164	174	187	148	141	136	90
194	207	223	174	167	160	100
227	243	262	203	194	186	110
263	281	304	234	223	214	120
302	323	350	267	254	243	130

جدول 3-2: فاصله دید توقف در شیب‌ها

فاصله دید انتخاب

فواصل دید توقف، معمولاً برای آنکه راننده ماهر و هشیار، در شرایط عادی، وسیله نقلیه را فوراً متوقف کند، کافی است. با این حال این فواصل، در حالتی که رانندگان باید تصمیمات لحظه‌ای یا پیچیده بگیرند، وقتی که درک اطلاعات دشوار است و یا هنگامی که مانورهای غیرعادی یا غیرمنتظره مورد نیاز است، اغلب کفایت نمی‌کند. محدود کردن فواصل دید به مقادیر لازم برای توقف، ممکن است رانندگان را از حرکات فرار

و گریز که اغلب با کاهش خطر همراه است و بنابراین برای توقف مناسب‌تر است باز دارد. حتی با تکمیل مناسب ادوات کنترل ترافیک، بر اساس کتاب «ادوات یکنواخت کنترل ترافیک» [6] فاصله دید توقف، ممکن است فواصل دید کافی برای رانندگان را، بمنظور تقویت پیش آگاهی و انجام مانورهای مناسب، تأمین نکند. واضح است که نقاط بسیاری وجود دارد که تأمین فواصل دید طولانی‌تر، در آنها معقول است. در این‌گونه شرایط، فاصله دید انتخاب، فاصله دید بیشتری را که مورد نیاز رانندگان است، تأمین می‌کند. فاصله دید انتخاب، فاصله‌ای است که راننده نیاز دارد تا: (1) منبع اطلاعی را که غیر منتظره است یا مشاهده آن مشکل است و یا شرایطی از محیط راه را که دچار شلوغی است تشخیص دهد (2) شرایط یا خطر بالقوه آن را بشناسد، (3) مسیر و سرعت مناسبی را انتخاب کند، (4) حرکت لازم را به نحو ایمن و مؤثر آغاز کند و به انجام رساند [7]. چون فاصله دید انتخاب، حاشیه امن بیشتری برای خطا، در اختیار رانندگان می‌گذارد و طول کافی برای مانور وسیله نقلیه‌اشان (در همان سرعت یا در سرعت کاهش یافته) به میزانی بیش از آنچه که فقط برای توقف لازم است ترتیب می‌دهد، مقادیر آن به میزان معتناهی بزرگتر از فاصله دید توقف است.

رانندگان، هر زمان که احتمال وقوع خطا در دریافت اطلاعات، فرآیند تصمیم‌گیری، یا عملیات کنترل داشته باشند نیازمند فاصله دید انتخاب هستند [8]. نمونه‌هایی از موقعیت‌های بحرانی که احتمال وقوع اینگونه خطاها در آنها وجود دارد و تأمین فاصله دید تصمیم‌گیری در آنها مطلوب است عبارتند از: تبادل‌ها و تقاطع‌هایی که نیازمند مانورهای غیرمنتظره یا غیر عادی است و نیز در محل تغییرات نیمرخ عرضی مثلاً در محل‌های اخذ عوارض یا محل‌های کاهش خطوط عبور و یا نواحی تمرکز تقاضا که مستعد «اختلال دید» ناشی از منابع اطلاع رسانی متناقض از قبیل، اجزاء راه، ترافیک، وسایل کنترل ترافیک و تابلوهای تبلیغاتی است. فواصل دید تصمیم‌گیری مندرج در جدول 3-3، (1) مقادیری برای فاصله‌های دید که ممکن است در موقعیت‌های بحرانی مناسب باشد ارائه می‌دهد و (2) به عنوان معیاری برای ارزیابی مناسب بودن فاصله‌های دید موجود در آن موقعیت‌ها به کار می‌آید. به منظور فراهم کردن ایمنی و فضای مانور بیشتر، پیشنهاد می‌شود که فاصله دید انتخاب در نقاط بحرانی تأمین گردد و یا نقاط تصمیم‌گیری بحرانی به محل‌هایی که فاصله دید انتخاب کافی وجود دارد، منتقل شوند. اگر تأمین فاصله دید انتخاب به خاطر قوس افقی یا قائم عملی نباشد و یا تغییر محل نقاط تصمیم‌گیری امکان‌پذیر نباشد، باید از وسایل کنترل ترافیک مناسب به منظور هشدار در مورد شرایطی که احتمالاً پیش‌رو خواهد بود، استفاده کرد.

فاصله دید انتخاب (متر)					سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)
نوع مانور پرهیز					
E	D	C	B	A	
195	170	145	155	70	50
235	205	170	195	95	60
275	235	200	235	115	70
315	270	230	280	140	80
360	315	270	325	170	90
400	355	315	370	200	100
430	380	330	420	235	110
470	415	360	470	265	120
510	450	390	525	305	130

مانور پرهیز A: ایست در راه برون شهری - ثانیه $t = 3$

مانور پرهیز B: ایست در راه شهری - ثانیه $t = 9/1$

مانور پرهیز C: تغییر در سرعت / مسیر / جهت در راه برون شهری - t بین $10/2$ و $11/2$ ثانیه تغییر می کند.

مانور پرهیز D: تغییر در سرعت / مسیر / جهت در راه های حومه شهری - t بین $12/1$ و $12/9$ ثانیه تغییر می کند.

مانور پرهیز E: تغییر در سرعت / مسیر / جهت در راه های شهری - t بین 14 و $14/5$ ثانیه تغییر می کند.

جدول 3-3: فاصله دید تصمیم گیری (انتخاب)

معیار فاصله دید انتخاب که برای اغلب موقعیت ها قابل استفاده است، از داده های تجربی بدست آمده است. فاصله دید انتخاب، با توجه به محل مورد نظر، که راه شهری باشد یا برون شهری و نیز نوع مانور مورد نیاز برای عبور ایمن از محل، تغییر می کند. جدول 3-3 مقادیر فاصله دید انتخاب برای موقعیت های مختلف را که برای طراحی گرد شده، ارائه می کند. همانگونه که در جدول دیده می شود، بطور کلی برای جاده های برون شهری و بزرگراه های محلی که توقف هایی که توقفت، مانور مناسبی می باشد، فواصل کوتاه تری مورد نیاز است.

برای مانورهای پرهیز ارایه شده در جدول 3-3، زمان پیش مانور، به زمان عکس العمل ترمز برای فاصله دید توقف اضافه شده است، تا زمان بیشتری را جهت کشف و شناسایی موقعیت ترافیکی یا جاده ای، تشخیص مانورهای جایگزین و شروع عکس العمل در محل های بحرانی راه در اختیار راننده قرار دهد [9]. بخش پیش مانور فاصله دید تصمیم گیری، زمانی بین 3 و $9/1$ ثانیه را به کار می برد.

مسافت ترمزگیری نظیر سرعت طرح، برای مانورهای پرهیز A و B (چنانکه در معادله 3-4 نشان داده شده) به بخش پیش مانور اضافه می شود. در مانورهای پرهیز C، D و E به جای بخش مسافت ترمزگیری، فاصله مانور مبتنی بر زمان های مانور بین $3/5$ تا $4/5$ ثانیه، مطابق معادله 3-5، مورد استفاده قرار می گیرد (زمان مذکور، با افزایش سرعت کاهش می یابد).

فاصله های دید انتخاب برای مانورهای پرهیز A و B از معادله زیر تعیین می شود:

$d = 0/278vt + \frac{(4-3)v^2}{a}$
در آن:
t = زمان پیش مانور (ثانیه)، (به توضیحات ذیل جدول 3-3 مراجعه شود)
V = سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)
a = شتاب کاهنده راننده (متر بر مجذور ثانیه)

فاصله های دید انتخاب برای مانورهای پرهیز C و D و E از معادله زیر تعیین می شود:

$d = 0/278vt \quad (5-3)$
در آن:
t = زمان پیش مانور و مانور (ثانیه)، (به توضیحات ذیل جدول 3-3 مراجعه شود)
V = سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)

در محاسبه و اندازه‌گیری فاصله دید انتخاب همانند فاصله دید توقف، ارتفاع چشم راننده 1080 میلی‌متر و ارتفاع شیء 600 میلی‌متر در نظر گرفته شده است. اگرچه رانندگان ممکن است بتوانند وضعیت کامل راه و از جمله سطح آن را ببینند، مقدار منطقی 600 میلی‌متر برای ارتفاع شیء، به همان شکل که در فاصله دید توقف به کار می‌رود برای فاصله دید انتخاب نیز کاربرد دارد.

فاصله دید سبقت برای راه‌های دوخطه

معیار طراحی

اغلب راه‌ها و بسیاری از خیابان‌ها، معابر دو خطه دو طرفه است که در آنها وسایل نقلیه به صورت مکرر از وسایل نقلیه کندرو سبقت می‌گیرند. مانورهای سبقت باید در خط عبوری که معمولاً مورد استفاده ترافیک مقابل است، انجام شود. برای انجام سبقت ایمن، راننده سبقت‌گیرنده باید قادر به دیدن فاصله کافی عاری از ترافیک در پیش رو باشد تا عملیات سبقت را، بدون ایجاد اختلال در مسیر حرکت وسیله نقلیه مورد سبقت و برخورد با وسیله نقلیه مقابل که در حین سبقت پدیدار می‌گردد، به انجام رساند. اگر راننده، پس از شروع سبقت مشاهده کند که ترافیک مقابل در فاصله کمی قرار دارد، می‌تواند سبقت را نیمه کاره رها کند و به خط سمت راست باز گردد. بسیاری از سبقت‌ها بدون آنکه راننده قادر به دیدن هیچ‌گونه وسیله نقلیه‌ای که احتمال برخورد دارد شروع می‌شود، اما طرح نباید بر چنین مواردی بنا گردد. چون بسیاری از رانندگان محتاط، سعی در سبقت گرفتن تحت چنین شرایطی را ندارند، طرحی که مبتنی بر شرایط مذکور باشد، سودمندی راه را کاهش خواهد داد. شیوه جایگزین تأمین فاصله دید سبقت، تحت عنوان «خطوط سبقت» در همین فصل، ارائه خواهد شد.

فاصله دید سبقت مورد استفاده در طراحی باید بر اساس طول لازم جهت تکمیل مانور سبقت عادی تعیین شود که در آن، راننده سبقت‌گیرنده، قبل از شروع مانور، قادر به تعیین این باشد که هیچ‌گونه وسیله نقلیه‌ای که احتمال برخورد دارد در پیش رو وجود ندارد. با آنکه می‌توان سبقت مرکبی را در نظر گرفت که در آن، دو یا چند خودرو، با هم سبقت می‌گیرند یا از آن‌ها سبقت گرفته می‌شود، ملاک قرار دادن اینگونه شرایط برای تعیین معیار حداقل طرح، عملی نیست و به جای آن باید فاصله دید را برای سبقت یک وسیله نقلیه از وسیله نقلیه دیگر تعیین نمود. در مجموعه طرح، فاصله‌های دید طولانی‌تری یافت می‌شود که محل‌های مربوط به آن می‌تواند انجام چنین سبقت‌های مرکبی را امکان‌پذیر کند.

حداقل فاصله دید سبقت، برای طرح راه‌های دو خطه شامل فرض‌های معینی در مورد رفتار رانندگان است. رفتار واقعی رانندگان در مانورهای سبقت، بسیار متفاوت است. بمنظور سازگاری با این تفاوت‌های رفتاری، معیار طراحی فاصله دید سبقت، باید به جای رفتار راننده میانگین، با رفتار درصد زیادی از رانندگان سازگاری داشته باشد، برای رفتار رانندگان در مانورهای سبقت، موارد زیر فرض می‌شود:

- (1) وسیله نقلیه مورد سبقت با سرعت یکنواخت حرکت می‌کند.
- (2) وسیله نقلیه سبقت‌گیرنده، به هنگام ورود در منطقه سبقت، کاهش یافته و این وسیله نقلیه، خودرو مورد سبقت را تعقیب می‌کند.
- (3) راننده سبقت‌گیرنده به هنگام رسیدن به منطقه سبقت، به فاصله زمانی کوتاهی برای مشاهده منطقه بدون مانع برای سبقت و واکنش شروع مانور خود نیاز دارد.

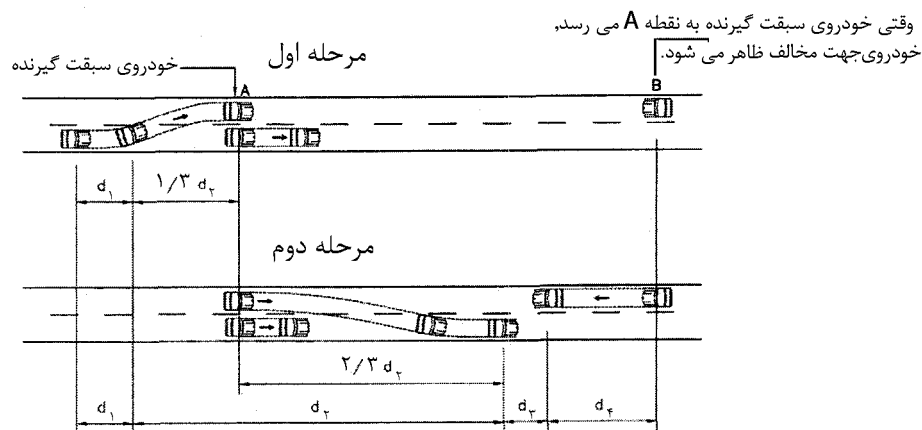
4) سبقت در وضعیتی انجام می‌گیرد که اصطلاحاً با کندی شروع می‌شود و برگشت آن در برابر ترافیک شتاب‌زده است. وسیله نقلیه سبقت گیرنده، در طول مانور شتاب می‌گیرد و سرعت متوسط آن در طول اشغال خط سمت چپ، 15 کیلومتر در ساعت بیشتر از وسیله مورد سبقت است.

5) وقتی وسیله سبقت گیرنده به خط خود بر می‌گردد، فاصله مناسبی بین آن و وسیله نقلیه مقابل در خط دیگر وجود دارد.

برخی رانندگان در شروع مانور سبقت تا رسیدن به سرعت بسیار بالاتر شتاب می‌گیرند و سپس تا کامل شدن مانور سبقت با سرعتی یکنواخت به حرکت خود ادامه می‌دهند. بسیاری از رانندگان تا رسیدن به سرعت مناسبی تا آن سوی وسیله نقلیه مورد سبقت شتاب می‌گیرند و سپس مانور را بدون شتاب بیشتر یا با سرعتی کمتر کامل می‌کنند. برای سادگی، چنین مانورهای غیر عادی نادیده گرفته می‌شود و فاصله‌های سبقت با استفاده از سرعت‌های مشاهده شده و زمان‌هایی که عملاً درصد بالایی از رانندگان را پوشش دهد ارائه می‌شود.

حداقل فاصله دید سبقت برای راه‌های دو خطه، از مجموع چهار فاصله زیر (مطابق شکل 3-4) به دست می‌آید:

- d_1 : فاصله طی شده در طول زمان مشاهده و عکس‌العمل و شتاب‌گیری اولیه تا رسیدن به نقطه‌ی ورود به خط سمت چپ،
- d_2 : فاصله طی شده در مدت زمانی که وسیله نقلیه سبقت گیرنده، خط سمت چپ را اشغال می‌کند،
- d_3 : فاصله بین وسیله نقلیه سبقت گیرنده و وسیله نقلیه مقابل در پایان مانور،
- d_4 : مسافت طی شده توسط وسیله نقلیه روبرو در دو سوم مدت زمانی که وسیله نقلیه سبقت گیرنده خط سمت چپ را اشغال می‌کند.



شکل 3-4: اجزای فاصله دید سبقت برای بزرگراه‌های دوخطه

فواصل مختلف مؤلفه‌های مانور سبقت، براساس مشاهدات میدانی گسترده رفتار رانندگان [11] و برای چهار گروه مختلف سرعت، در جدول 3-5 ارائه شده است. مقادیر زمان و فاصله، براساس سرعت متوسط وسیله نقلیه سبقت گیرنده تعیین شده است. سرعت وسایل نقلیه مورد سبقت حدود 15 کیلومتر در ساعت کمتر از سرعت وسایل نقلیه سبقت گیرنده است.

محدوده سرعت (کیلومتر در ساعت)				اجزای عملیات سبقت
50-65	66-80	81-95	96-110	
سرعت سبقت متوسط (کیلومتر در ساعت)				
56/2	70/0	84/5	99/8	
2/25 3/6 45	2/30 4/0 66	2/37 4/3 89	2/41 4/5 113	مانور اولیه : a = ¹ شتاب متوسط t_1 = ¹ زمان (ثانیه) d_1 = مسافت طی شده
9/3 145	10/0 195	10/7 251	11/3 314	اشغال خط چپ : t_2 = ¹ زمان (ثانیه) d_2 = مسافت طی شده
30	55	75	90	فاصله آزاد: d_3 ¹ = مسافت طی شده
97 317	130 446	168 583	209 726	خودرو روبه رو : d_4 = مسافت طی شده مجموع مسافتها= $d_3+d_2+d_1+d_4$
¹ برای روابط سرعت ثابت، مقادیر مشاهده شده مختصری تعدیل شده است. نکته : واحد شتاب کیلومتر بر ساعت بر ثانیه و واحد فاصله متر است.				

جدول 3-5: عناصر فاصله دید سبقت ایمن برای طرح راه‌های دو خطه

در مطالعه مجدد سه بخش اصلی سبقت، با وجود افزایش قابلیت‌های کارایی وسایل نقلیه، تغییرات بسیار کوچکی در عملیات سبقت‌گیری رانندگان، ملاحظه شد. در مطالعه بعدی [12] روی عملکرد سبقت وسایل نقلیه در راه‌های دو خطه، مجموعه متفاوتی از مقادیر فاصله دید سبقت حاصل شده است. سپس این مقادیر به منظور ارزیابی حداقل فاصله‌های دید سبقت مورد تجدید نظر قرار گرفته است [13] بر اساس این ارزیابی، مجموعه فاصله‌های دید سبقت نشان داده شده در جدول 3-5 بزرگتر از مقادیر تعیین شده در مطالعات دیگر برای تمام سرعت‌ها به جز سرعت 110 کیلومتر در ساعت است. بنابراین، حداقل فاصله‌های دید سبقت ارائه شده در جدول 3-7 بطور کلی برای وسایل نقلیه جدید، محافظه کارانه است و در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت.

فاصله مانور اولیه (d_1)

دوره مانور اولیه شامل دو بخش است، یک زمان مشاهده و عکس‌العمل و یک دوره زمانی که در طول آن راننده وسیله نقلیه را با سرعت دنبال روی به نقطه ورود به خط سمت چپ می‌آورد. این دو دوره زمانی تا اندازه زیادی هم پوشانی دارند. زمانی که منطقه سبقت در دید راننده‌ای که می‌خواهد سبقت بگیرد واقع می‌شود، راننده ممکن است شروع به افزایش سرعت کند و وسیله نقلیه‌اش را حین تصمیم‌گیری در مورد سبقت گرفتن یا نگرفتن به سمت محور جاده بیاورد. مطالعات نشان می‌دهد که متوسط وسایل نقلیه سبقت‌گیرنده، کمتر از حداکثری که می‌توانند، شتاب می‌گیرند و این نشان می‌دهد که مدت مانور اولیه شامل عنصر زمان مشاهده و عکس‌العمل است. به هر حال، برخی رانندگان ممکن است حین تصمیم به سبقت در وضعیت خط عبور عادی باقی بمانند. محل دقیق وسیله نقلیه در حین مانور اولیه مهم نیست زیرا تفاوت‌های حاصل از آن در فاصله دید سبقت جزئی است.



نتایج مطالعات انجام شده بر روی سه گروه اول سرعت نشان می‌دهد که شتاب وسیله نقلیه در طول مانور اولیه از 2/25 تا 2/37 کیلومتر در ساعت در ثانیه، زمان متوسط از 3/7 تا 4/3 ثانیه و سرعت‌های سبقت متوسط 56،70/2 و 84/5 کیلومتر در ساعت است. برای گروه 96 تا 110 کیلومتر در ساعت براساس اطلاعات برون-یابی شده، شتاب متوسط 2/41 کیلومتر در ساعت در ثانیه، زمان مانور 4/5 ثانیه و سرعت متوسط 99/8 کیلومتر در ساعت فرض شده است.

فاصله طی شده در طول مدت مانور اولیه d_1 بر اساس معادله زیر محاسبه می‌شود:

$D_1 = 0.278 t_i \left(v - m + \frac{at_i}{2} \right) \quad (6-3)$
که در آن: t_i = زمان مانور اولیه (ثانیه) a = شتاب متوسط (کیلومتر در ساعت در ثانیه) v = سرعت متوسط خودرو سبقت گیرنده (کیلومتر در ساعت) m = اختلاف سرعت خودروی سبقت گیرنده و خودرو مورد سبقت (کیلومتر در ساعت)

شتاب، زمان و مسافت طی شده در طول مدت مانور اولیه سبقت در جدول 3-5 آمده است. خط d_1 در نمودار 3-6 نشان دهنده مسافت، برحسب سرعت متوسط وسیله نقلیه سبقت گیرنده است.

مسافت طی شده حین اشغال خط سمت چپ توسط وسیله نقلیه سبقت گیرنده (d_2):
برحسب یافته‌های مطالعات، وسایل نقلیه سبقت گیرنده خط سمت چپ را 9/3 تا 10/4 ثانیه اشغال می‌کنند. مسافت طی شده در خط سمت چپ توسط وسیله نقلیه سبقت گیرنده d_2 بر اساس معادله زیر به دست می‌آید:

$d_2 = 0.278 V t_2 \quad (7-3)$
t_2 = زمانی که وسیله نقلیه سبقت گیرنده خط سمت چپ را اشغال می‌کند (ثانیه) V = سرعت متوسط خودرو سبقت گیرنده (کیلومتر در ساعت)

زمان و مسافت طی شده، حین اشغال خط سمت چپ توسط خودرو سبقت گیرنده در جدول 3-5 آمده است. مسافت‌ها برحسب سرعت سبقت متوسط، به صورت منحنی d_2 در نمودار 3-6 ترسیم شده است.

فاصله آزاد (d_3)

مطالعات انجام شده نشان داده است که فاصله آزاد بین وسیله نقلیه سبقت گیرنده و وسیله نقلیه مقابل در پایان مانور سبقت از 30 تا 75 متر تغییر می کند. این طول، به منظور هماهنگی با شرایط تا اندازه ای تعدیل شده و به عنوان فاصله آزاد d_3 در جدول 3-5 و نمودار 3-6 نشان داده شده است.

فاصله طی شده بوسیله خودرو مقابل (d_4)

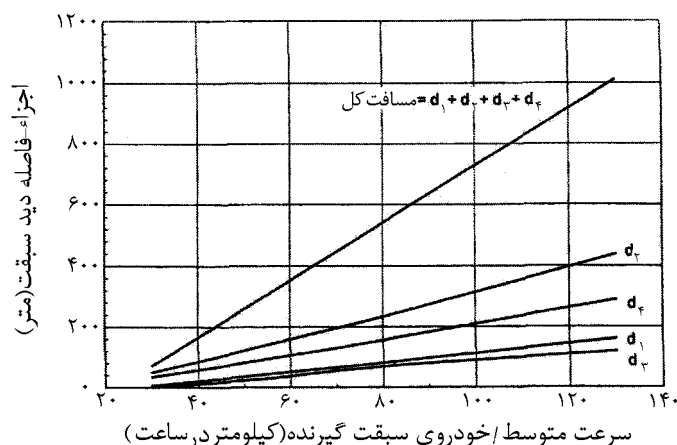
فاصله دید سبقت، شامل فاصله طی شده توسط وسیله نقلیه مقابل در طول مانور سبقت نیز می باشد تا احتمال برخورد وسیله نقلیه سبقت گیرنده، در زمانی که روی خط سمت چپ قرار دارد، با وسیله نقلیه مقابل، به حداقل کاهش یابد. به صورت محافظه کارانه، این فاصله باید برابر فاصله طی شده توسط وسیله نقلیه مقابل در طول کل زمان سبقت یا در طول زمانی که وسیله نقلیه سبقت گیرنده در خط سمت چپ است، باشد. اما این مقدار به نحو سؤال انگیزی طولانی است. در طول مرحله اول مانور سبقت، وسیله نقلیه سبقت گیرنده هنوز در کنار وسیله نقلیه مورد سبقت قرار نگرفته و حتی اگر وسیله نقلیه سبقت گیرنده خط سمت چپ را اشغال کند راننده آن در صورت مشاهده وسیله نقلیه مقابل می تواند به خط راست باز گردد. ضرورتی ندارد که بازه زمانی دنبال روی در محاسبه مسافت طی شده بوسیله وسیله نقلیه مقابل لحاظ گردد. این بازه (فاصله) زمانی که از موقعیت های نسبی وسیله نقلیه سبقت گیرنده و مورد سبقت محاسبه می شود حدود یک سوم زمان اشغال خط سمت چپ توسط وسیله نقلیه سبقت گیرنده است. بنابراین بخش فاصله دید سبقت مربوط به وسیله نقلیه مقابل، فاصله ای است که خودرو مقابل در دو سوم زمان اشغال خط سمت چپ توسط وسیله نقلیه سبقت گیرنده طی می کند. در این حالت فرض می شود که وسیله نقلیه مقابل با سرعتی برابر با وسیله نقلیه سبقت گیرنده حرکت می کند و بنابراین $d_4 d_3 = 2$. مسافت d_4 در جدول 3-5 و نمودار 3-6 آمده است.

مقادیر طرح

منحنی «مسافت کل» در شکل 3-6، حاصل جمع اجزاء d_1 تا d_4 است. برای هر سرعت سبقت، این منحنی حداقل فاصله دید سبقت برای وسیله نقلیه سبقت گیرنده از وسیله نقلیه دیگر که 15 کیلومتر در ساعت کندتر حرکت می کند در حالی که در جهت مقابل، وسیله نقلیه ای با سرعتی برابر با وسیله نقلیه سبقت گیرنده در حرکت است را نشان می دهد. با تعیین رابطه محتمل و منطقی بین سرعت متوسط سبقت و سرعت طرح راه، این مسافت ها می تواند برای بیان حداقل فاصله دید سبقت مورد نیاز برای کارهای طراحی به کار رود.

محدوده سرعت های وسایل نقلیه سبقت گیرنده و مورد سبقت متأثر از حجم ترافیک است. زمانی که حجم ترافیک پایین باشد (سطح سرویس «A»)، نیاز به سبقت کم است ولی وقتی حجم ترافیک افزایش می یابد (سطح سرویس «D» یا پایین تر) امکان سبقت، اگر وجود داشته باشد، کم است. فرض می شود که سرعت وسیله نقلیه مورد سبقت، برابر سرعت حرکت متوسط در حجم جریان ترافیکی نزدیک به ظرفیت و سرعت وسیله نقلیه سبقت گیرنده، حدود 15 کیلومتر در ساعت بیشتر از آن باشد. سرعت های فرض شده برای وسیله نقلیه سبقت گیرنده در جدول 3-7 نشان دهنده سرعت های سبقت محتمل، در راه های دو خطه است. فواصل دید سبقت برای سرعت های سبقت مذکور، بخش اعظم مانورهای سبقت مطلوب را پوشش می دهد و با منحنی مسافت کل در نمودار 3-6، مطابقت دارد. مقادیر ستون انتهایی جدول 3-7، مقادیر طرح برای حداقل

فاصله دید سبقت است. در طراحی راه‌ها، این فاصله‌ها باید حتی‌الامکان بیشتر انتخاب گردد و مناطق سبقت با هزینه‌های منطقی تا حد امکان جهت تأمین فرصت‌های سبقت‌گیری فراهم شوند. حداقل فاصله دید سبقت طرح نباید با دیگر فاصله‌های مشخص شده با خط‌کشی‌های رویه در مناطق سبقت ممنوع اشتباه شود. این مقادیر، به ترتیبی که در کتاب «ادوات یکنواخت کنترل ترافیک» [6] نشان داده شده، بسیار کمتر از فاصله‌های طراحی است و برای نیازهای کنترل جریان ترافیکی به وجود آمده و بر اساس فرضیاتی متفاوت با فرضیات مربوط به طرح راه است.



شکل ۳-۶: فاصله کل دید سبقت و اجزای آن -

سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)	سرعت‌های فرض شده (کیلومتر در ساعت)		فاصله دید سبقت (متر)	
	خودرو مورد سبقت	خودرو سبقت گیرنده	از نمودار 3-6	مقادیر گرد شده برای طراحی
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

جدول 3-7: فاصله دید سبقت برای طراحی راه‌های دو خطه

تاثیر شیب بر فاصله دید سبقت

شیب‌های قابل ملاحظه، فاصله دید لازم برای سبقت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. سبقت برای وسیله نقلیه، در سرازیری آسان است زیرا وسیله نقلیه سبقت گیرنده می‌تواند سریع‌تر از قسمت هموار، شتاب بگیرد و در

نتیجه زمان سبقت را کاهش دهد. هر چند وسیله نقلیه مورد سبقت نیز می تواند به آسانی سرعت بگیرد که در نتیجه ممکن است وضعیتی شبیه به مسابقه ایجاد گردد.

فاصله های دید لازم برای سبقت ایمن رانندگان در سربالایی ها بیشتر از مقدار آن در جاده های هموار است. این امر به دو علت است، یکی شتاب کمتر وسیله نقلیه سبقت گیرنده (که زمان سبقت را افزایش می دهد) و دیگری احتمال سرعت گیری ترافیک مخالف (که مسافت طی شده بوسیله وسیله نقلیه روبرو در طول مانور سبقت را افزایش می دهد). عواملی که تا اندازه ای موجب تعدیل این ازدیاد فاصله می گردد یکی آن است که در سربالایی ها وسایل نقلیه مورد سبقت اغلب، کامیون ها هستند که سرعتشان معمولاً در سربالایی کم می شود و دیگر اینکه رانندگان خودشان به این حقیقت واقفند که برای سبقت گرفتن در سربالایی به مسافت بیشتری (نسبت به قسمت هموار) نیاز دارند.

اگر مانورهای سبقت در سربالایی ها طبق فرضیات یاد شده قبلی درباره رفتار وسایل نقلیه سبقت گیرنده و مورد سبقت انجام شود، مسافت دید سبقت باید بیشتر از مقادیر طرح استخراج شده باشد. تعدیلهای خاصی برای طرح در دست نیست اما طراح باید خود به مطلوب بودن مقادیر بزرگتر از مندرجات جدول 3-7 آگاه باشد.

فراوانی و طول مناطق سبقت گیری

فاصله دید کافی برای سبقت باید به صورت مکرر در طول راه های دو خطه، در نظر گرفته شود. طول هر منطقه سبقت گیری باید حتی الامکان بزرگ و دارای فاصله دید پیش روی برابر یا بزرگتر از حداقل فاصله دید سبقت باشد. فراوانی و طول مناطق سبقت گیری برای راه ها، اساساً بستگی به وضع پستی و بلندی، سرعت طرح و هزینه دارد. برای خیابان ها، فاصله ی بین تقاطع ها مسأله اصلی است.

تعیین ابتدا به ساکن فراوانی مناطق سبقت گیری در راه های دو خطه به علت محدودیت های فیزیکی و اقتصادی، عملی نیست. حین طراحی متعارف، مناطق سبقت گیری تقریباً در همه راه ها و خیابان های منتخب تأمین می شود، اما درک اهمیت آنها توسط طراح و بررسی در مورد ایجاد آنها می تواند، منجر به حذف هزینه های اضافی گردد. در مناطق کوهستانی با شیب تند، ایجاد قسمت های چهار خطه به صورت متناوب یا خطوط سبقت (خطوط سربالایی) که فاصله دید توقف در آن رعایت شده باشد، ممکن است. در بعضی موارد، نسبت به راه دو خطه با رعایت فاصله دید سبقت، اقتصادی تر باشد. گزینه های مختلف در همین فصل و در بخش خطوط سبقت مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

فاصله های دید سبقت مذکور در جدول 3-7 فقط برای سبقت یک وسیله نقلیه از وسیله نقلیه دیگر یا سبقت منفرد کافی است. طرح های با مناطق سبقت گیری محدود نمی تواند تضمین کننده وجود فرصت های سبقت باشد. حتی در راه های با حجم ترافیک کم، راننده ای که قصد سبقت گرفتن دارد ممکن است زمانیکه به منطقه سبقت گیری می رسد وسیله های نقلیه ای را در خط مقابل خود ببیند و بنابراین نتواند از منطقه سبقت گیری استفاده کند یا دست کم ممکن است نتواند سبقت را فوراً شروع کند.

اهمیت مناطق سبقت گیری متعدد با تأثیر آنها بر سطح سرویس راه های دوخطه دوطرفه نمودار شده است. در روش های کتاب «راهنمای ظرفیت راه ها» [14] برای تجزیه و تحلیل راه های دوخطه دوطرفه، معیار سطح سرویس، مبتنی بر دو معیار کارایی یعنی درصد زمان صرف شده برای دنبال روی و سرعت متوسط سفر

است. هر دو این معیارها تحت تأثیر کمبود فرصت‌های سبقت قرار دارند. برای مثال، روش‌های HCM نشان می‌دهد که وقتی توزیع جهتی ترافیک 50/50 و درصد نواحی سبقت ممنوع 40 درصد طول مسیر مورد تجزیه و تحلیل باشد، زمان دنبال روی در مقایسه با مسیری با ترافیک مشابه و بدون محدودیت دید، 19 درصد افزایش می‌یابد. تأثیر محدودیت فاصله دید سبقت برای جریان نامتعادل و نیز در جایی که ناحیه‌های سبقت ممنوع بیش از 40 درصد طول مسیر را تشکیل می‌دهد، حتی شدیدتر است.

تأثیر مشابهی نیز در سرعت متوسط سفر دیده می‌شود. زمانی که درصد ناحیه سبقت ممنوع افزایش پیدا می‌کند، کاهش بیشتری در سرعت متوسط سفر، برای همان تقاضای شدت جریان وجود دارد. مثلاً تقاضای شدت جریان 800 وسیله نقلیه در ساعت در حالتی که 40 درصد از طول مورد تجزیه و تحلیل، ناحیه سبقت ممنوع باشد کاهش سرعت 3/1 کیلومتر در ساعت را تحمیل می‌کند. این کاهش سرعت، در یک مسیر بدون محدودیت سبقت وجود ندارد.

روش‌های HCM معیار عملی دیگری را برای طرح فاصله دید سبقت در راه‌های دو خطه تعیین می‌کند که طولی به اندازه چندین کیلومتر یا بیشتر دارد. فاصله‌های دید سبقت موجود در امتداد این طول می‌تواند برای نشان دادن درصد طول دارای فاصله دید سبقت بیشتر از مقدار حداقل آن، خلاصه شود. تجزیه و تحلیل ظرفیت وابسته به این درصد نشان می‌دهد که آیا برای تأمین حجم ساعتی طرح، نیاز به اصلاح مسیر افقی و نیمرخ طولی می‌باشد یا نه. وقتی فاصله‌های دید راه روی تمام محدوده طول‌هایی که مانورهای سبقت انجام می‌شود، تجزیه تحلیل شود، ممکن است معیار طراحی جدیدی ارزیابی شود. در حالتی که برای راه، حجم ترافیک بالا و سطح سرویس بالا مورد نظر باشد، فواصل دید سبقت متعدد یا تقریباً پیوسته باید تأمین گردد.

فاصله دید راه‌های چند خطه

در نظر گرفتن فاصله دید سبقت برای راه‌ها و خیابان‌هایی که دارای دو یا چند خط عبور در هر جهت هستند، ضروری نیست. مانورهای سبقت در راه‌های چند خطه، در محدوده‌های سواره رو هر جهت حرکت پیش‌بینی می‌شود. بنابراین مانورهای سبقتی که مستلزم عبور از محور راه‌های چهار خطه جدا نشده یا عبور از میانه بزرگراه‌های چهار خطه است باید ممنوع شود.

راه‌های چند خطه باید دارای فواصل دید توقف کافی پیوسته و ترجیحاً بزرگتر از مقادیر طرح باشند. معیار طراحی برای فاصله دید توقف با توجه به سرعت وسیله نقلیه تغییر می‌کند که به صورت مفصل در آغاز همین فصل، ذکر شد.

معیارهای اندازه‌گیری فاصله دید

فاصله دید، مسافتی در طول جاده است که در سرتاسر آن، شیئی با ارتفاع مشخص، همواره برای راننده قابل دیدن باشد. این فاصله بستگی به ارتفاع چشم راننده از سطح جاده، ارتفاع شیئی معین از سطح جاده و ارتفاع و موقعیت جانبی موانع واقع در خط دید راننده دارد.

ارتفاع چشم راننده

در محاسبات فاصله دید برای وسایل نقلیه سبک، ارتفاع چشم راننده 1080 میلی متر بالاتر از سطح جاده در نظر گرفته می‌شود. این مقدار بر اساس مطالعه‌ای [4] است که با توجه به آن

ارتفاع‌های متوسط وسایل نقلیه به 1300 میلی‌متر و به تبع آن ارتفاع متوسط چشم راننده به 1080 میلی‌متر کاهش یافته است. به دلیل عوامل مختلفی که محدودیت‌های عملی در کاهش‌های بیشتر ارتفاع وسیله نقلیه سبک ایجاد می‌کند و نیز افزایش نسبتاً کوچک طول قوس‌های قائم در اثر تغییرات بیشتری که رخ می‌دهد، ارتفاع وسیله نقلیه سبک 1080 میلی‌متر بعنوان ارتفاع چشم راننده، هم برای فاصله دید توقف و هم برای فاصله دید سبقت در نظر گرفته می‌شود. برای کامیون‌های بزرگ، ارتفاع چشم راننده از میلی‌متر 1800 تا 2400 میلی‌متر تغییر می‌کند. مقدار پیشنهادی برای ارتفاع چشم راننده کامیون برای طراحی، 2330 میلی‌متر بالاتر از سطح جاده است.

ارتفاع شیئی

در محاسبات فاصله دید توقف، ارتفاع شیئی 600 میلی‌متر بالای سطح راه و در محاسبات فاصله دید سبقت، ارتفاع شیئی 1080 میلی‌متر بالای سطح راه در نظر گرفته می‌شود.

شیئی مربوط به فاصله دید توقف

اساس انتخاب ارتفاع شیئی 600 میلی‌متر تا حد زیادی، توجیه منطقی اندازه شیئی است که احتمال برخورد با آن در راه وجود دارد و نیز توان راننده برای مشاهده و واکنش به چنین وضعیت‌هایی است. بر اساس بررسی‌ها شیئی به ارتفاع 600 میلیمتر نماینده شیئی است که برای رانندگان خطر دارد و راننده می‌تواند بموقع آن را تشخیص دهد و قبل از رسیدن به آن توقف کند. استفاده از ارتفاع شیئی کمتر از 600 میلی‌متر در محاسبات فاصله دید توقف، بدون آنکه مزایای ایمنی مستندی داشته باشد طول قوس‌های قائم محدب را افزایش می‌دهد [4]. انتخاب ارتفاع شیئی کمتر از 600 میلیمتر می‌تواند هزینه‌های اجرایی را بدلیل حفاری‌های اضافی لازم برای تأمین قوس‌های قائم محدب طولانی‌تر، به مقدار معتناهی افزایش دهد و نیز افزایش توان مشاهده راننده در وضعیت‌های برخورد مخاطره‌آمیز، مورد تردید است زیرا فواصل دید توقف پیشنهاد شده برای طرح با سرعت زیاد بیش از توان اغلب رانندگان در تشخیص اشیاء کوچک است.

شیئی مربوط به فاصله دید سبقت

ارتفاع شیئی 1080 میلی‌متر برای فاصله دید سبقت پذیرفته شده است. این ارتفاع شیئی براساس ارتفاع وسیله نقلیه 1330 میلی‌متر است، که پانزدهمین درصد توزیعی ارتفاع‌های وسیله نقلیه در مجموعه وسایل نقلیه سبک فعلی منه‌ای 250 میلی‌متر است. این مقدار بیانگر مقدار نزدیک به حداکثر برای قسمتی از ارتفاع وسیله نقلیه است که ضرورت دارد، بوسیله راننده دیگر، جهت تشخیص چنین وسیله نقلیه‌ای قابل رؤیت باشد [15].

فاصله‌های دید سبقت محاسبه شده بر این اساس برای شب نیز کافی است زیرا پرتو چراغ‌های جلوی خودروی مقابل عموماً از فاصله دورتری نسبت به فاصله دیده شدن خودرو در روشنی روز، قابل رؤیت است. انتخاب ارتفاع شیئی برابر با ارتفاع چشم راننده، فاصله دید سبقت طرح را دو طرفه می‌سازد (یعنی زمانیکه راننده سبقت‌گیرنده می‌تواند خودروی مقابل را ببیند، راننده خودروی مقابل نیز می‌تواند خودرو سبقت‌گیرنده را ببیند).

موانع دید

در معبر مستقیم، مانعی که فاصله دید راننده را محدود می‌کند، برخی نقاط سطح جاده در قوس قائم محدب است. در قوس‌های افقی (پیچ‌ها)، مانعی که فاصله دید راننده را محدود می‌کند، ممکن است در برخی نقاط سطح جاده روی قوس قائم محدب یا برخی موانع فیزیکی خارج از سواره رو مانند حفاظ طولی، خاکریز نزدیک پل، درخت، شاخ و برگ درختان یا شیب شیروانی خاکبرداری باشد. بنابراین مسیر افقی و نیمرخ طولی تمام طرح‌های اجرایی راه باید به لحاظ موانع فاصله دید، کنترل شوند.

اندازه‌گیری و ثبت فاصله دید روی مسیر افقی

طرح مسیر افقی و نیمرخ طولی با استفاده از فاصله دید و دیگر معیارها که شامل جزئیات طرح قوس‌های قائم و افقی است در قسمت‌های بعدی همین فصل آمده است. فاصله دید در مراحل اولیه طرح، که مسیر افقی و نیمرخ طولی، هنوز در معرض تعدیل و اصلاح است، باید مد نظر باشد. با تعیین فواصل دید موجود به صورت ترسیمی روی مسیر افقی و ثبت آنها در بازه‌های متناوب، طراح قادر به ارزیابی سراسر طرح و تهیه طرحی متعادل‌تر به کمک تعدیل‌های جزئی در مسیر افقی یا پروفیل طولی خواهد بود. روش‌های درجه‌بندی فاصله‌های دید روی مسیرهای افقی در شکل 8-3 نشان داده شده است که در آن نمونه ثبت فاصله دید روی مسیر افقی نهایی نیز ملاحظه می‌شود.

به دلیل آنکه منظره پیش رو در یک راه ممکن است به سرعت و در یک مسافت کوتاه تغییر کند، مطلوب آن است که اندازه‌گیری و ثبت فاصله دید برای هر دو جهت حرکت در هر ایستگاه انجام شود. هر دو فاصله دید افقی و قائم باید اندازه‌گیری شده و فاصله کوتاه‌تر ثبت شود. در مورد راه‌های دو خطه علاوه بر فاصله دید توقف، فاصله دید سبقت نیز باید اندازه‌گیری و ثبت گردد.

اطلاعات مربوط به فاصله دید، مانند آنچه که در شکل 3-70 و جدول 3-73 دیده می‌شود می‌تواند برای تعیین حداقل طول قوس‌های قائم مورد استفاده قرار گیرد. نمودارهای مشابه شکل 3-53 برای تعیین شعاع قوس افقی یا میزان عقب‌نشینی مورد نیاز از سواره رو، برای تأمین فاصله دید طرح، مفید است. همین که مسیر افقی و نیمرخ طولی به صورت آزمایشی تعیین شد عملی‌ترین روش کنترل فاصله دید در طول راه مورد نظر، اندازه‌گذاری مستقیم روی نقشه‌ها است.

فاصله دید افقی در داخل پیچ بوسیله موانعی همچون ساختمان‌ها، حصارها، نواحی جنگلی، زمین مرتفع یا سایر عوارض طبیعی محدود می‌شود. این موانع معمولاً روی نقشه‌های مسیر افقی رسم می‌شوند. فاصله دید افقی، به صورت نشان داده شده در سمت چپ بخش بالایی شکل 3-8 بوسیله خط‌کش اندازه‌گیری می‌شود. مانع شیروانی خاکبرداری روی نقشه‌ها به وسیله یک خط نشان داده می‌شود، که نشان‌دهنده نقطه‌ای از شیروانی خاک‌برداری به ارتفاع 840 میلی‌متر (یعنی متوسط 1080 میلی‌متر و 600 میلی‌متر) بالاتر از سطح راه برای فاصله دید توقف و نقطه‌ای به ارتفاع حدود 1080 میلی‌متر بالاتر از سطح راه برای فاصله دید سبقت است. موقعیت این خط نسبت به محور راه به کمک نیمرخ‌های عرضی، قابل ترسیم است. ترجیحاً فاصله دید

می‌توان با تقریب 10 متر و فاصله‌های بزرگتر از 500 متر را با تقریب 50 متر اندازه‌گیری کرد. فاصله‌های دید موجود روی یک راه مشخص را می‌توان با استفاده از روش‌های دیگر نیز نشان داد. بعضی از ایالت‌ها از منحنی فاصله دیدی که همراه با نقشه مسیر افقی و قائم ترسیم می‌شود به عنوان وسیله‌ای برای نشان دادن فواصل دید، استفاده می‌کنند. همچنین می‌توان فاصله‌های دید را، در صورتی که برای ترسیم مسیر افقی و نیم‌رخ طولی از نرم‌افزارهای طراحی کامپیوتری مانند کد (CADD) استفاده شده باشد، به آسانی تعیین کرد. مقادیر ثبت شده فاصله دید برای راه‌های دو خطه می‌تواند، به نحو مؤثر، جهت تعیین آزمایشی حدود نواحی سبقت ممنوع طبق معیارهای ارائه شده در MUTCD [6] مورد استفاده قرار گیرد. مشخص کردن این نواحی بیش از آنچه مسئله طراحی باشد مسأله بهره‌برداری و اجرایی است. نواحی سبقت ممنوعی که به این نحو تعیین می‌شوند به عنوان یک راهنما برای خط‌کشی راه تکمیل راه به کار می‌رود. ناحیه‌هایی که به این ترتیب مشخص شده باید قبلاً از اجزای خط‌کشی‌های واقعی به وسیله اندازه‌گیری‌های میدانی، کنترل و تعدیل گردند.

همچنین مقادیر ثبت شده فاصله دید، در راه‌های دو خطه برای تعیین درصد طولی از راه که در آن فاصله دید دارای مقداری کمتر از حداقل فاصله دید سبقت است و در ارزیابی ظرفیت، مؤثر می‌باشد، مفید است. ثبت مقادیر فاصله دید مانند آنچه در بخش پایانی شکل 3-8 ملاحظه می‌شود، روشی متداول برای تعیین درصد طول راه مورد نظر با فاصله دید مفروض یا بزرگتر از آن است.

مسیر افقی

نکات نظری

بمنظور ایجاد تعادل در طرح راه، تمامی اجزاء هندسی باید تا آنجا که از نظر اقتصادی ممکن است، به نحوی طراحی شوند که جریان پیوسته و ایمن را، در سرعتی که اکثریت رانندگان احتمالاً در شرایط عادی با آن حرکت می‌کنند تأمین نمایند. دستیابی به این هدف، برای اکثر اجزاء راه، با استفاده از سرعت طرح به عنوان ضابطه کلی طرح میسر است. طرح قوس‌های راه باید مبتنی بر رابطه مناسب بین سرعت طرح و انحنا و روابط مشترک آنها با یک‌بری و ضریب اصطکاک جانبی باشد. با وجود این که این روابط از قوانین مکانیک بدست آمده‌اند، مقادیر واقعی مورد استفاده در طرح بستگی به محدودیت‌های عملی و عواملی دارد که کم و بیش بطور تجربی تعیین می‌شوند. این محدودیت‌ها و عوامل در بحث زیر تشریح شده‌اند.

وقتی وسیله نقلیه‌ای در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند، در معرض شتاب جانب مرکز قرار می‌گیرد که به سمت مرکز قوس عمل می‌کند، این شتاب بوسیله مؤلفه‌ای از وزن وسیله نقلیه (مرتبط با یک‌بری)، بوسیله اصطکاک جانبی ایجاد شده بین لاستیک‌های وسیله نقلیه و سطح رویه و یا بوسیله ترکیبی از هر دو تحمل می‌شود. شتاب جانب مرکز گاهی با نیروی گریز از مرکز، یکسان فرض می‌شود. هرچند این نیرو، نیرویی است خیالی که رانندگان تصور می‌کنند موقع گردش، آنها را به سمت بیرون می‌راند، ولی در واقع آنها احساس می‌کنند که وسیله نقلیه به سمت داخل شتاب گرفته است. به جای اصطلاح «شتاب جانب مرکز» و معادل آن در طراحی قوس‌های افقی، در این رساله، «شتاب جانبی» مورد استفاده قرار می‌گیرد، چون اصولاً این صحیح است.

بر اساس قوانین مکانیک، فرمول اساسی حاکم بر عملکرد وسیله نقلیه در قوس، عبارت است از:

$$\frac{0/01e + f}{1 - 0/01ef} = \frac{v^2}{gR} = \frac{0.0079V^2}{R} = \frac{V^2}{127R} \quad (8-3)$$

که در آن:

e = مقدار یک‌بری (درصد)

f = ضریب (تقاضای) اصطکاک جانبی

v = سرعت وسیله نقلیه (متر در ثانیه)

g = شتاب ثقل، 9/81 (متر بر مجذور ثانیه)

V = سرعت وسیله نقلیه (کیلومتر در ساعت)

R = شعاع قوس اندازه‌گیری شده تا مرکز ثقل وسیله نقلیه (متر)

معادله 8-3 که وسیله نقلیه متحرک را به عنوان جرم نقطه‌ای مدل کرده، اغلب به عنوان فرمول پایه قوس‌ها مورد اشاره قرار می‌گیرد.

زمانی که وسیله نقلیه‌ای با سرعت ثابت روی قوس دارای یک‌بری حرکت کند و مقدار f صفر باشد، شتاب جانبی بوسیله مؤلفه‌ای از وزن وسیله نقلیه تحمل می‌شود و بطور نظری، هیچ نیروی هدایت‌کننده‌ای مورد نیاز نیست. وسیله‌ای که کندتر یا تندتر از سرعت تعادل حرکت می‌کند بر اثر اعمال نیروی هدایت‌کننده، موجب پیدایش اصطکاک چرخ (لاستیک) می‌گردد تا از حرکت به داخل یا خارج قوس جلوگیری کند. در قوس‌های بدون یک‌بری حرکت در سرعت‌های مختلف نیز با استفاده از مقادیر اصطکاک جانبی مناسب برای تحمل شتاب جانبی متغیر، امکان‌پذیر است.

نکات کلی

با جمع‌بندی تحقیقات و تجربیات، مقادیر حداکثر میزان یک‌بری (e_{max}) و تقاضای اصطکاک جانبی (f_{max}) برای طرح قوس تعیین شده است. با استفاده از این مقادیر حدی در فرمول اصلی قوس، امکان تعیین شعاع حداقل برای سرعت‌های طرح مختلف فراهم می‌شود. به کاربردن قوس‌های با شعاع بزرگتر از این مقدار حداقل، موجب می‌شود که یک‌بری اصطکاک یا هر دو، مقادیری کمتر از مقادیر حدی مربوطه داشته باشند. میزان کاهش مقدار هر یک از دو عامل نسبت به مقادیر حدی خود، چنان انتخاب می‌شود که شرکت متعادل هر یک از آن دو، در تحمل شتاب جانبی حاصل شده، فراهم شود. روش‌های مورد استفاده برای رسیدن به وضعیتی مناسب در موقعیت‌های طراحی مختلف در ادامه، مورد بحث قرار می‌گیرد.

یک‌بری

دور قوس‌های افقی در عمل، دارای مقادیر حداکثری است که مرتبط با عواملی همچون آب و هوا، قابلیت اجرا، کاربری اراضی مجاور و تعداد وسایل نقلیه کندرو می‌باشد. در جاهایی که که برف و یخ، عامل تأثیرگذار است، مقدار یک‌بری نباید بیشتر از آن باشد که در صورت یخ‌زدگی سطح رویه، وسایل نقلیه متوقف یا کندرو به سمت مرکز قوس بلغزند. در سرعت‌های بالاتر، در قوس‌های دارای تخلیه آب ضعیف ممکن است پدیده لغزش روی لایه آب مشاهده شود که ناشی از تجمع آب در سطح رویه است. لغزش عموماً در چرخ‌های عقب و زمانی اتفاق می‌افتد که اثر لغزندگی لایه آب، میزان اصطکاک جانبی موجود را به کمتر از اصطکاک لازم

برای حرکت در پیچ‌ها برساند. به هنگام حرکت آرام در طول قوس دارای یک‌بری بالا، نیروهای جانبی منفی ظاهر می‌شود و وسیله نقلیه فقط در صورتی مسیر صحیح را طی خواهد کرد که راننده، آن را به سمت عکس شیب عرضی یا در خلاف جهت قوس افقی هدایت کند. هدایت در این جهت برای راننده به نظر غیرطبیعی می‌آید و می‌تواند مشکل بودن رانندگی را در جاده‌هایی که یک‌بری بیش از مقدار لازم برای حرکت در سرعت‌های عادی دارد توجیه کند. چنین مقادیر بالای یک‌بری روی جاده‌های پرتراфик مانند خیابان‌های شهری و نواحی حومه شهر که در مواقع متعدد، سرعت وسیله نقلیه ممکن است به دلیل حجم ترافیک یا سایر شرایط کاهش یابد، نامطلوب است.

مرکز ثقل، در برخی وسایل نقلیه بلند است و برخی وسایل نقلیه سبک، روی محورهایشان به سستی سوارند. وقتی که چنین وسایل نقلیه‌ای به آهستگی روی شیب عرضی تند حرکت می‌کنند درصد بالایی از وزن آنها بوسیله چرخ‌های داخلی تحمل می‌شود. در وضعیت بحرانی، ممکن است وسیله نقلیه چپ شود. بحث روی این نکات و منطق مورد استفاده برای تثبیت میزان حداکثر یک‌بری مناسب برای طرح قوس‌های افقی، در بخش بعدی تحت عنوان «مقادیر یک‌بری حداکثر» ارائه خواهد شد.

ضریب اصطکاک جانبی

ضریب اصطکاک جانبی، نیاز وسیله نقلیه به اصطکاک جانبی که «نیاز اصطکاک جانبی» نیز خوانده می‌شود را نشان می‌دهد. این ضریب، همچنین نشان دهنده شتاب جانبی a_f است که روی وسیله نقلیه اعمال می‌شود. این شتاب را می‌توان از حاصلضرب ضریب نیاز اصطکاک جانبی (f) و ثابت گرانشی (g) به دست آورد (یعنی $a_f = fg$). باید توجه داشت که شتاب جانبی که در واقع، به سرنشینان خودرو تحمیل می‌شود به علت زاویه غلت بدنه خودرو، روند افزایشی مختصری نسبت به پیش‌بینی ناشی از حاصلضرب fg دارد. با تغییر زیاد سرعت وسیله نقلیه در پیچ‌ها، معمولاً نیروی نامتعادلی وجود دارد که مستقل از اعمال دور در پیچ است این نیرو منجر به رانش جانبی چرخ می‌شود که بوسیله اصطکاک بین چرخ‌ها و سطح رویه خنثی می‌گردد. این نیروی اصطکاکی مقابله کننده در اثر ناهمواری سطح تماس چرخ، پدیدار می‌گردد. ضریب اصطکاک f ، برابر با نسبت نیروی اصطکاک به مؤلفه‌ای از وزن می‌باشد که عمود بر سطح رویه است و با ساده کردن فرمول پایه قوس طبق معادله (3-8) بیان می‌شود. مقدار حاصل ضرب ef در این فرمول همیشه کوچک است. در نتیجه عبارت $(1 - 0.10 ef)$ تقریباً برابر 1 است و معمولاً در طرح راه از آن صرف‌نظر می‌شود. با حذف این جمله، معادله پایه اصطکاک جانبی به صورت زیر در می‌آید:

$$f = \frac{V^2}{127R} - 0.01e \quad (9-3)$$

این معادله در واقع فرمول ساده شده پیچ است و منجر به تخمین‌های کمی بزرگتر (و محافظه کارانه تر) از تقاضای اصطکاک بدست آمده از فرمول پایه قوس می‌شود.

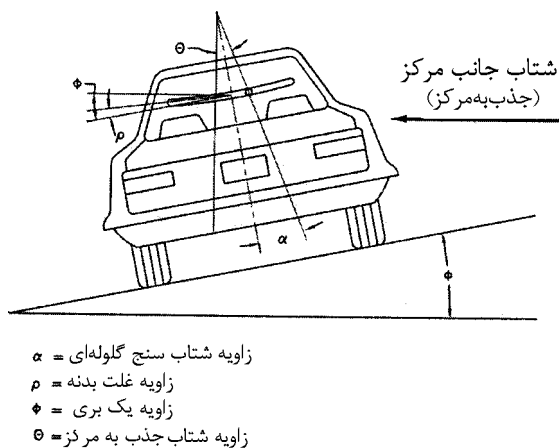
ضریب f بنام‌های نسبت جانبی، نسبت گردش، نسبت گریز از مرکز نامتعادل، ضریب اصطکاک و ضریب اصطکاک جانبی خوانده شده است. با توجه به وسعت کاربرد در این جا از اصطلاح «ضریب اصطکاک جانبی» استفاده می‌شود. حد بالایی ضریب اصطکاک جانبی نقطه‌ای است که در آن چرخ شروع به لغزش می‌کند که به نام نقطه آستانه لغزش موسوم است. چون قوس افقی راه، برای پرهیز از شرایط لغزش با یک حاشیه

ایمنی طراحی می‌شود مقادیر f مورد استفاده در طراحی باید به مقدار قابل ملاحظه‌ای کمتر از ضریب اصطکاک در آستانه لغزش باشد.

ضریب اصطکاک جانبی در آستانه لغزش، وابسته به شماری از سایر عواملی است که از جمله مهمترین آنها سرعت وسیله نقلیه، نوع و شرایط رویه جاده و نوع و شرایط لاستیک‌های وسیله نقلیه است. برای حداکثر ضرایب اصطکاک جانبی، مقادیر متفاوتی در سرعت‌های یکسان و روسازی‌های مشابه ثبت شده که این تفاوتها طبعاً بخاطر تغییرات ذاتی بافت روسازی، شرایط آب و هوایی و شرایط لاستیک است. بطور کلی، مطالعات نشان می‌دهد که حداکثر ضرایب اصطکاک جانبی ایجاد شده بین لاستیک نو و روسازی بتنی خیس از حدود 0/5 در سرعت 30 کیلومتر در ساعت تا تقریباً 0/35 در سرعت 100 کیلومتر در ساعت تغییر می‌کند. برای رویه‌های بتنی معمولی خیس و لاستیک‌های صاف، حداکثر ضریب اصطکاک جانبی در آستانه لغزش حدود 0/35 در سرعت 70 کیلومتر در ساعت می‌باشد. تمام مطالعات نشان داده‌اند که با افزایش سرعت، مقادیر اصطکاک کاهش می‌یابد [16، 17، 18].

قوس‌های افقی نباید مستقیماً براساس حداکثر ضرایب اصطکاک جانبی موجود طرح شوند، بلکه حداکثر ضریب اصطکاک جانبی مورد استفاده در طراحی باید بخشی از ضریب اصطکاک جانبی موجود حداکثر باشد که می‌تواند آسایش و ایمنی را برای شمار وسیعی از رانندگان فراهم آورد. حالاتی از اصطکاک جانبی که معلول روسازی‌های قیرزده یا بسیار صاف و یا سایر موارد کمبود مقاومت در برابر لغزش است نباید مبنای کنترل طراحی قرار گیرد زیرا چنین شرایطی قابل اجتناب است و طرح هندسی باید بر شرایط قابل قبول رویه که با هزینه منطقی قابل حصول است، مبتنی باشد.

نکته مهم در انتخاب ضرایب اصطکاک جانبی حداکثر برای استفاده در طراحی، سطحی از شتاب جانبی یا مرکز است که برای فراهم آمدن موجبات پیدایش احساس ناراحتی در رانندگان و عکس‌العمل واضح آنان به پرهیز از سرعت بیشتر، کافی باشد. در یک پیچ، سرعتی که ناراحتی ناشی از شتاب جانبی برای رانندگان آشکار می‌شود، به عنوان ضابطه طرح برای حداکثر ضریب اصطکاک جانبی راه‌ها و خیابان‌های پر سرعت، پذیرفته شده است. در سرعت‌های کم، رانندگان نسبت به احساس ناراحتی، اغماض بیشتری دارند، بنابراین می‌توان از ضریب اصطکاک جانبی بیشتری در طراحی قوس‌های افقی استفاده کرد. شتاب‌سنج گلوله‌ای، به صورت گسترده بوسیله گروه‌های تحقیقاتی، مؤسسات محلی و ادارات راه به عنوان معیار اندازه‌گیری یکنواخت شتاب جانبی، برای تعیین سرعت‌هایی که موجب ناراحتی راننده در پیچ‌ها نگردد، مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل 3-9: وضع هندسی شتاب‌سنج گلوله‌ای

این وسیله شامل یک گلوله فولادی در لوله شیشه‌ای سر بسته است، صرف نظر از تأثیر رطوبت مایع داخل لوله، گلوله در غلتیدن آزاد است. سادگی ساخت و عملکرد دستگاه منجر به پذیرش گسترده آن به عنوان راهنمایی برای تعیین سرعت‌های مناسب در قوس شده است. به کمک چنین وسیله‌ای که روی خودرو در حال حرکت نصب شده، قرائت شتاب‌سنج در هر زمان، نشان‌دهنده تأثیر مشترک چرخش بدنه، زاویه شتاب جانبی و یک‌بری مطابق شکل 3-9 است.

شتاب جانبی حاصل از حرکت وسیله نقلیه با سرعت یکنواخت در پیچ، موجب می‌شود که گلوله به سمت بیرون تا وضعیتی با زاویه معین مطابق شکل 3-9 بغلتد. برای آن قسمت از نیروی جذب شده در زاویه کوچک غلت بدنه، باید تصحیحی را اعمال نمود. بنابراین حدود نیروی جانبی درک شده توسط سرنشینان وسیله نقلیه از رابطه $tg(a - r) \gg F$ محاسبه می‌شود.

در یک سری آزمایش‌های قطعی [18]، چنین نتیجه شد که سرعت‌هایی که در پیچ‌ها مانع ناراحتی راننده می‌شود معادل قرائت درجه 14 شتاب‌سنج برای سرعت‌های 30 کیلومتر در ساعت یا کمتر، درجه 12 برای سرعت‌های 40 و 50 کیلومتر در ساعت و درجه 10 برای سرعت‌های 55 تا 80 کیلومتر در ساعت است. این قرائت‌های شتاب‌سنج، به ترتیب نظیر ضرایب اصطکاک جانبی 0/21، 0/18 و 0/15 برای زاویه‌های مختلف چرخش بدنه است و حاشیه ایمنی کافی در مقابل لغزش را تأمین می‌کند.

در آزمایش‌های دیگر [19]، حداکثر ضریب اصطکاک جانبی 0/16 برای سرعت‌های تا 100 کیلومتر در ساعت پیشنهاد شده است. برای سرعت‌های بالاتر، کاهش فزاینده‌ای در این ضریب در نظر گرفته شده است. مطالعات سرعت روی آزادراه پنسیلوانیا [17] منجر به این نتیجه شده است که ضریب اصطکاک جانبی نباید از 0/1 برای سرعت‌های طرح 110 کیلومتر در ساعت و بالاتر تجاوز کند. یک تحقیق تازه [20]، یافته‌های منتشر شده قبلی را دوباره کنترل و اطلاعات جدید جمع شده از قوس‌های افقی متعددی را تجزیه و تحلیل کرده است. تقاضای ضرایب اصطکاک جانبی بدست آمده در این تحقیق، عموماً با ضرایب اصطکاک جانبی فوق‌الذکر، سازگار است.

شتاب‌سنج الکترونیکی جایگزین مناسب برای شتاب‌سنج گلوله‌ای برای استفاده در تعیین سرعت‌های پیشنهادی برای قوس‌های افقی و رابط‌ها محسوب می‌شود. شتاب‌سنج مذکور وسیله الکترونیکی حساس در مقابل وزن است که قادر به اندازه‌گیری نیروی جانبی و شتاب‌هایی است که رانندگان موقع عبور از پیچ راه، تحمل می‌کنند [65].

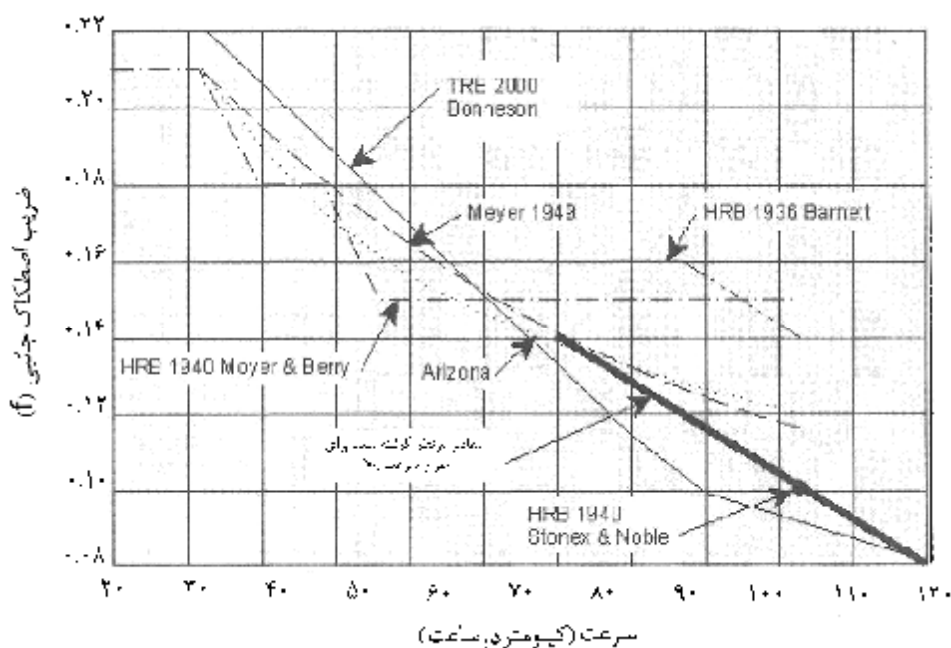
باید دانست که عوامل دیگری بر انتخاب سرعت توسط راننده، تحت شرایط تقاضای اصطکاک بالا، مؤثر است. در این شرایط انحراف مشهود می‌شود، زاویه اعوجاج افزایش می‌یابد و برای اجتناب از خروج غیرعمدی از خط‌کش، تلاش فزاینده‌ای برای هدایت و کنترل لازم خواهد بود. در چنین شرایطی، مخروط دید راننده باریک می‌شود و همراه با احساس فزاینده تمرکز و هیجان غیرمطلوب برای اکثر رانندگان خواهد بود. این عوامل در قسمت‌های عادی راه، برای راننده بیشتر پدیدار می‌شود.

در صورت امکان، حداکثر ضرایب اصطکاک جانبی مورد استفاده در طرح، باید برای رویه‌های خشک محافظه کارانه بوده و حاشیه ایمنی کافی در مقابل لغزش بر روی سطوح خیس یا پوشیده از یخ و برف را تأمین کند. در مورد نیاز به ایجاد رویه مقاوم در مقابل لغزش برای شرایط یاد شده نمی‌توان بیش از

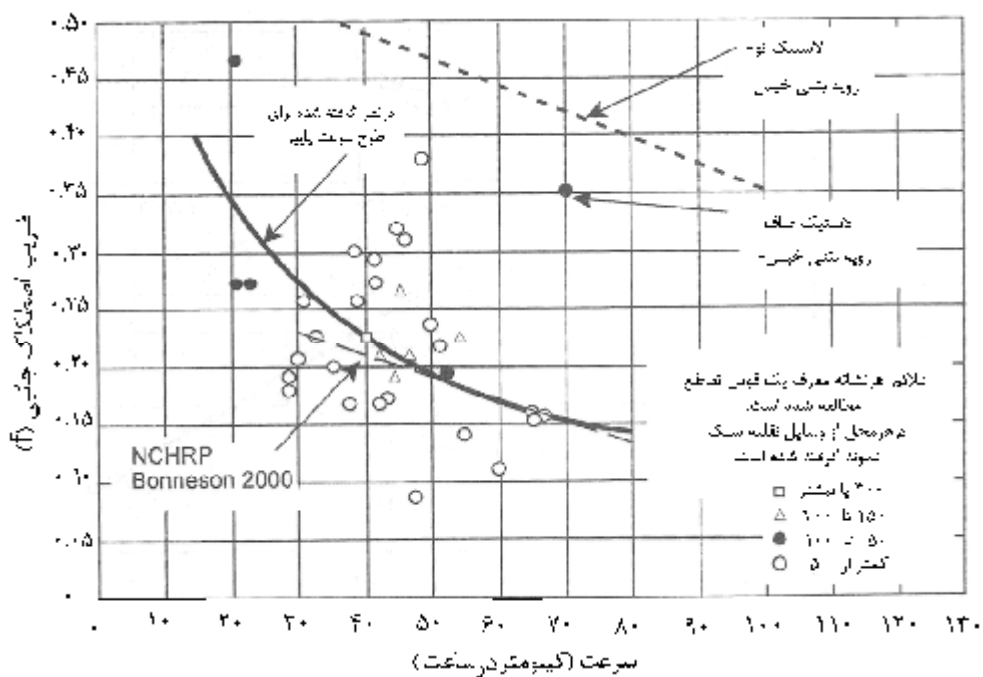
حد تأکید نمود زیرا بالاتر از نیازهای اصطکاکی ناشی از وضع هندسی راه، نیازهای اصطکاکی مربوط به مانورهای راننده است مانند ترمزگیری، تغییر ناگهانی خط عبور و تغییرات کوچک جهت در یک خط عبور است. در چنین مانورهای کوتاهی نیاز اصطکاکی بالایی می‌تواند وجود داشته باشد ولی ممکن است راننده، آستانه ناراحتی جهت انجام حرکت اصلاحی را درک نکند.

نمودار 3-10 خلاصه یافته‌های آزمایش‌های ذکر شده مربوط به ضرایب اصطکاک جانبی پیشنهادی برای طرح قوس افقی را ارائه می‌کند. گرچه بعضی تغییرات در نتایج آزمایش‌ها ملاحظه می‌شود، اما این اتفاق نتیجه وجود دارد که مقدار ضریب اصطکاک جانبی برای طرح با سرعت بالا باید کمتر از مقدار آن برای طرح با سرعت پایین باشد. یک تحقیق تازه [20] مناسب بودن این ضرایب اصطکاک جانبی را مجدداً تأیید کرده است.

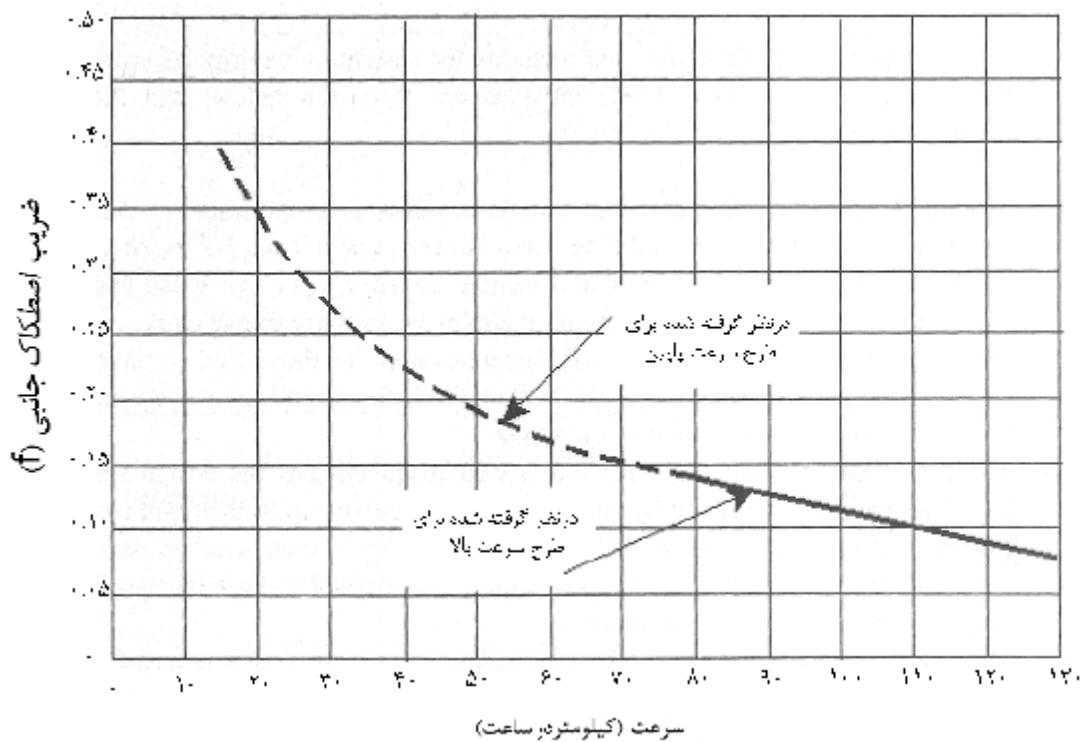
حداکثر ضرایب اصطکاک جانبی مجاز برای خیابان‌ها و راه‌های کم سرعت، در نمودار 3-11 نشان داده شده است. برای حرکت در پیچ‌های تندتر، یک‌بری مورد نیاز است. پیچ‌ها مبتنی بر مطالعات مختلفی هستند [26، 27، 28] که بمنظور تعیین ضریب اصطکاک مربوط به قوس‌های کم سرعت تقاطع انجام شده است. نود و پنجمین درصد توزیعی سرعت در پیچ، مورد استفاده قرار گرفت زیرا دقیقاً معرف هشتادوپنجمین درصد توزیعی سرعت قسمت مستقیم است و حاشیه معقول ایمنی در برابر لغزش را تأمین می‌کند [20] این قوس‌ها به مقادیر فرض شده برای طراحی شهری کم سرعت مبتنی بر آسایش راننده نیز نزدیک است و حاشیه ایمنی مناسب در برابر لغزش و حد کارایی اقتصادی را تأمین می‌کند. ضرایب اصطکاک جانبی برحسب سرعت طرح، از 0/4 برای 15 کیلومتر در ساعت تا تقریباً 0/15 برای 70 کیلومتر در ساعت تغییر می‌کند که 70 کیلومتر در ساعت، حد بالایی سرعت کم است که در بحث مربوط به سرعت طرح در فصل دوم، معین شد. برای مقادیر ضریب اصطکاک جانبی پیشنهادی مورد استفاده در طرح قوس‌های افقی باید به نمودار 3-12 رجوع کرد.



شکل 3-10: ضریب اصطکاک جانبی برای راه‌ها و خیابان‌های با سرعت زیاد



شکل 3-11: ضریب اصطکاک جانبی برای راه‌ها و خیابان‌های با سرعت کم

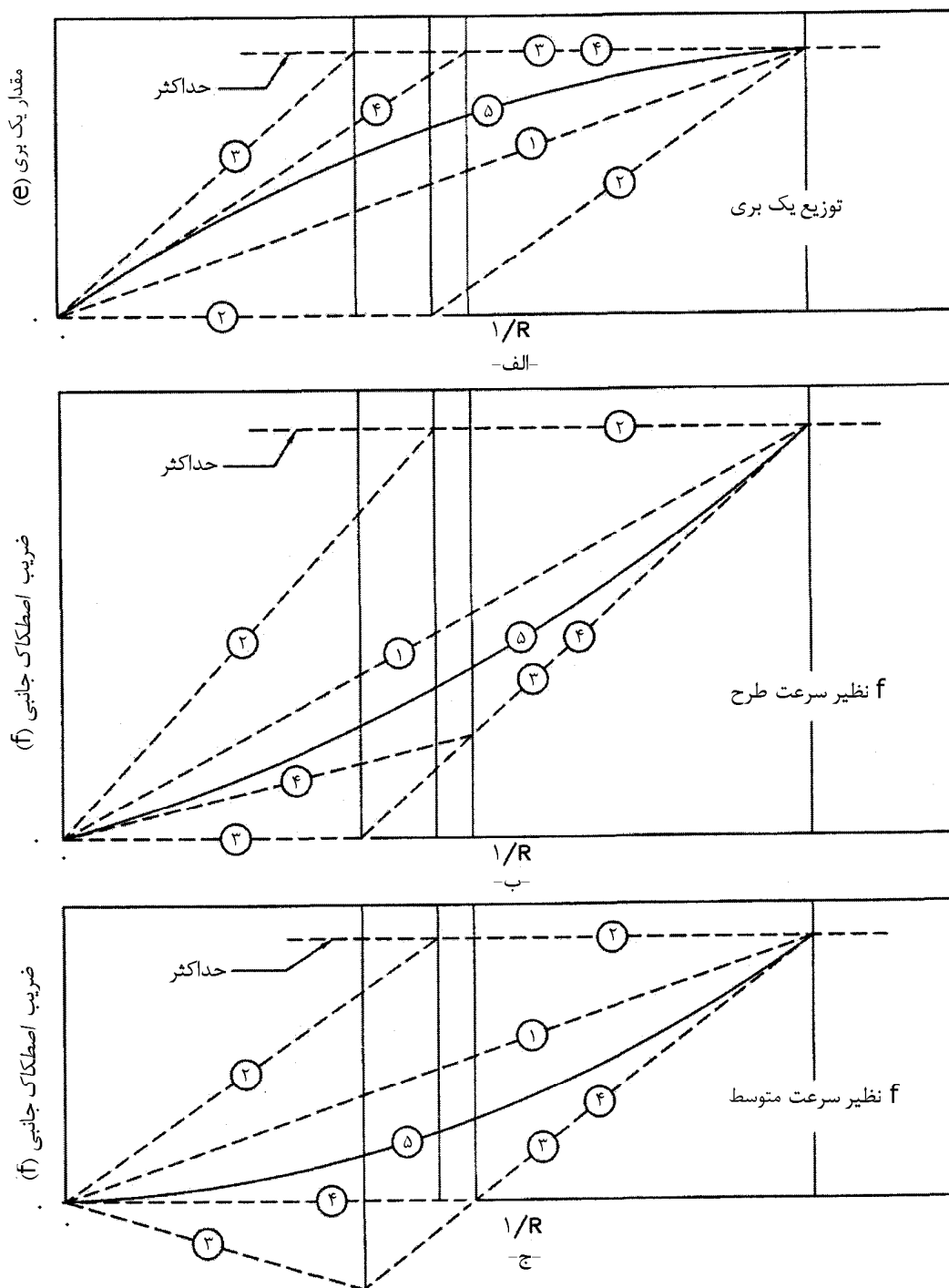


شکل 3-12: ضریب اصطکاک جانبی برای طراحی

توزیع e و f در محدوده قوس

برای سرعت طرح معین، پنج روش برای تحمل شتاب جانب مرکز روی قوس‌ها با استفاده از e یا f یا هر دو وجود دارد. این روش‌ها در زیر مورد بحث قرار گرفته و روابط بدست آمده، در شکل 13-3 نشان داده شده است.

- روش (1) یک‌بری و اصطکاک جانبی با عکس شعاع نسبت مستقیم دارد (یعنی رابطه این دو با عکس شعاع از $\frac{1}{R} = 0$ تا $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{\min}}$ یک رابطه خطی است).
 - روش (2) اصطکاک جانبی بگونه‌ای است که وسیله نقلیه در حال حرکت با سرعت طرح، تمام شتاب جانبی را بوسیله اصطکاک جانبی روی قوس‌ها تحمل می‌کند تا به شتاب جانبی نظیر f_{\max} برسد. برای قوس‌های تندتر، f برابر f_{\max} باقی می‌ماند و از آن پس برای تحمل شتاب جانبی از یک‌بری استفاده می‌شود تا به حداکثر یک‌بری، e_{\max} برسد. در این روش، نخست f و سپس e به نسبت عکس شعاع انحنا افزایش می‌یابند.
 - روش (3) یک‌بری به گونه‌ای است که وسیله نقلیه در حال حرکت با سرعت طرح، تمام شتاب جانبی را بوسیله یک‌بری روی قوس‌ها تحمل می‌کند تا مقدار یک‌بری مورد نیاز به e_{\max} برسد. برای قوس‌های تندتر، e برابر e_{\max} باقی مانده و از آن پس برای تحمل شتاب جانبی از اصطکاک جانبی استفاده می‌شود تا f به f_{\max} برسد. در این روش نخست e و سپس f به نسبت عکس شعاع انحنا افزایش می‌یابند.
 - روش (4) این روش مشابه روش (3) است، با این تفاوت که به جای سرعت طرح، مبتنی بر سرعت متوسط حرکت است.
 - روش (5) یک‌بری و اصطکاک جانبی دارای رابطه‌ای منحنی الخط با معکوس شعاع قوس‌اند است و دارای مقادیری بین مقادیر روش‌های 1 و 3 هستند.
- نمودار 13-3-الف ارتباط بین یک‌بری و معکوس شعاع قوس را برای این 5 روش مقایسه می‌کند. نمودار 13-3-ب مقدار نظیر اصطکاک جانبی را برای وسیله نقلیه با سرعت طرح و نمودار 13-3-ج همان مقدار را برای حرکت وسیله نقلیه در حال حرکت با سرعت حرکت متوسط نظیر نشان می‌دهد.



تبصره: اعداد داخل دایره، شماره روش های توزیع e و f است. برای توضیح به متن مراجعه شود.

شکل 3-13: روش های توزیع یک بری و اصطکاک جانبی

رابطه خطی بین یک بری و معکوس شعاع قوس در روش 1 منجر به ایجاد رابطه مشابهی بین اصطکاک جانبی و شعاع برای وسایل نقلیه در حال حرکت، با سرعت طرح یا با سرعت حرکت متوسط می شود. این روش علاوه بر سادگی، دارای منطق و مزیت قابل ملاحظه ای است. در هر راه، مسیر افقی شامل قسمت های مستقیم و قوس های با شعاع متفاوت بزرگتر یا برابر با شعاع حداقل مناسب برای سرعت طرح (R_{min}) است.

کاربرد مقادیری از یک‌بری که با معکوس شعاع قوس نسبت مستقیم دارد برای وسایل نقلیه‌ای که با سرعت یکنواخت حرکت می‌کنند، منجر به تغییر رابطه خطی ضریب اصطکاک جانبی از مقدار صفر در بخش‌های مستقیم (با نادیده گرفتن شیب عرضی) تا مقدار اصطکاک جانبی حداکثر در شعاع حداقل می‌گردد. این روش ممکن است به عنوان یک روش مطلوب توزیع ضریب اصطکاک جانبی به نظر آید. اما مناسب بودن آن وابسته به حرکت هر وسیله نقلیه با سرعت ثابت در جریان ترافیک است، صرف‌نظر از اینکه حرکت روی بخش مستقیم یا روی یک قوس متوسط و یا یک قوس با شعاع حداقل مربوط به سرعت طرح باشد. در حالی که سرعت یکنواخت هدف اغلب رانندگان است و در راه‌های با طراحی خوب، در وضعیت ترافیکی غیرسنگین، قابل حصول است، برخی رانندگان تمایل دارند روی قسمتهای مستقیم و قوس‌های بازتر، سریع‌تر از قوس‌های تندتر حرکت کنند، مخصوصاً بعد از اینکه به علت عدم امکان سبقت از وسایل نقلیه کندرو دچار تأخیر شوند. این گرایش، بر مطلوب بودن تأمین یک‌بری، برای قوس‌های متوسط، به مقدار بیش از آنچه از روش 1 بدست می‌آید، دلالت دارد.

روش 2 برای تحمل کل شتاب جانبی، از اصطکاک جانبی تا رسیدن به انحنای نظیر حداکثر ضریب اصطکاک جانبی استفاده می‌کند و این حداکثر ضریب اصطکاک جانبی روی همه قوس‌های تندتر وجود دارد. در این روش، یک‌بری فقط بعد از استفاده از حداکثر اصطکاک جانبی اعمال می‌شود. بنابراین، برای قوس‌های بازتری که نیازمند اصطکاک جانبی کمتر از مقدار حداکثر برای وسایل نقلیه در حال حرکت با سرعت طرح است، یک‌بری لازم نیست (به منحنی 2 در شکل 3-13-الف رجوع شود). وقتی که یک‌بری لازم شود با تندتر شدن قوس‌های با ضریب اصطکاک جانبی حداکثر، مقدار یک‌بری به سرعت افزایش می‌یابد. چون این روش، کاملاً وابسته به اصطکاک جانبی موجود است. کاربرد آن عموماً محدود به خیابان‌ها و راه‌های کم سرعت است. این روش بویژه برای خیابان‌های شهری با سرعت پایین که به علت محدودیت‌های مختلف، در بسیاری از موارد، نمی‌توان یک‌بری را تأمین نمود، برتری دارد.

در روش 3 که سالیان پیش تجربه شده یک‌بری لازم برای تحمل تمام شتاب جانبی وارد بر وسیله نقلیه در حال حرکت با سرعت طرح، در تمام قوس‌ها اعمال می‌گردد تا حدی که به شتاب جانبی نیازمند حداکثر عملی دور برسد و این یک‌بری حداکثر برای تمام قوس‌های تندتر تأمین می‌شود. در این روش، هیچ اصطکاک جانبی‌ای روی قوس‌های بازی که یک‌بری آنها کمتر از بری حداکثر است برای وسایلی که با سرعت طرح حرکت می‌کنند، منظور نمی‌شود (طبق منحنی 3 در شکل 3-13-ب) و اصطکاک جانبی مناسب، با کاهش شعاع قوس‌های با یک‌بری حداکثر، به سرعت افزایش می‌یابد. بعلاوه همانطور که در منحنی 3 شکل 3-13-ج نشان داده شده، برای وسایل نقلیه‌ای که با سرعت متوسط حرکت، سفر می‌کنند این روش تأمین یک‌بری منجر به اصطکاک منفی در قوس‌های با شعاع خیلی زیاد تا شعاع متوسط می‌شود. بعد از این حالت هر چه قوس‌ها تندتر شوند، اصطکاک جانبی به سرعت تا مقدار حداکثر نظیر حداقل شعاع انحناء افزایش پیدا می‌کند. این تغییر در اصطکاک جانبی برای شعاع‌های مختلف منطقی نیست و ممکن است به ایجاد نوعی آشفتگی در رانندگی با سرعت طرح یا سرعت حرکت متوسط، منجر گردد.

مقصود از روش 4 برطرف کردن ناکارآمدی‌های روش 3 با استفاده از یک‌بری در سرعت‌های پایین‌تر از سرعت طرح است. این روش که مبتنی بر سرعت متوسط (به عوض سرعت طرح) است بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش تمامی شتاب جانبی، در قوس‌های بازتر از قوسی که نیاز به حداکثر یک‌بری

دارد ، بوسیله یک‌بری تحمل می‌شود. این سرعت حرکت متوسط، دارای حدودی است که مطابق جدول 3-14، از 78 تا 100 درصد سرعت طرح تغییر می‌کند. منحنی 4 در شکل 3-13-الف نشان می‌دهد که در این روش، حداکثر یک‌بری، در نزدیکی وسط محدوده انحنا حاصل می‌شود. شکل 3-13-ج نشان می‌دهد در سرعت حرکت متوسط، تا این انحنا هیچ اصطکاک جانبی‌ای لازم نیست و اصطکاک جانبی به سرعت و با نسبت مستقیم برای قوس‌های تندتر افزایش پیدا می‌کند. این روش همان معایب روش 3 را با شدت کمتر، دارد.

برای سازگاری با افزایش سرعتی که احتمالاً در قوس‌های باز تا متوسط ایجاد می‌شود، مطلوب آن است که یک‌بری تقریباً با استفاده از روش 4 به دست آید. با افزایش سرعت در چنین قوس‌هایی، خطر از دست دادن کنترل وسیله نقلیه توسط راننده بسیار کم است زیرا در این قوس‌ها تقریباً تمام شتاب جانبی در سرعت حرکت متوسط توسط یک‌بری تحمل می‌شود و برای سرعت‌های بالاتر اصطکاک جانبی قابل ملاحظه‌ای وجود دارد، از طرف دیگر روش 1، که از بکارگیری یک‌بری حداکثر برای بخش قابل توجهی از محدوده شعاع قوس اجتناب می‌کند، نیز مطلوب است. در روش 5، یک منحنی (منحنی 5 که در محدوده مثلث شکل بین منحنی‌های 1 و 4 در شکل 3-13-الف قرار گرفته) معرف توزیع یک‌بری و اصطکاک جانبی است که بطور منطقی، مزایای هر دو روش 1 و 4 را در بر دارد. منحنی 5 دارای فرم سهمی نامتقارنی است که توزیع عملی یک‌بری، در محدوده انحنا را ارائه می‌کند.

سرعت متوسط حرکت (کیلومتر در ساعت)	سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)
20	20
30	30
40	40
50	47
60	55
70	63
80	70
90	77
100	85
110	91
120	98
130	102

جدول 3-14: سرعت‌های متوسط حرکت

نکات طراحی

مقادیر یک‌بری قابل اعمال در محدوده انحنا برای هر سرعت طرح به منظور استفاده در طراحی راه‌ها تعیین شده است. یک کران این محدوده، حداکثر یک‌بری است که با توجه به نکات تجربی وضع شده و برای تعیین حداکثر انحنا برای هر سرعت طرح بکار می‌رود. حداکثر یک‌بری ممکن است برای راه‌های با شرایط مختلف، متفاوت باشد. در کران دیگر این محدوده، هیچ مقدار یک‌بری برای قسمت‌های مستقیم راه یا قوس‌های دارای شعاع بسیار بزرگ لازم نیست. برای انحنای بین این دو حد و برای سرعت طرح معین، یک‌بری

باید به نحوی انتخاب شود که ارتباطی منطقی بین ضریب اصطکاک جانبی و مقدار یک‌بری اعمال شده وجود داشته باشد.

شیب عرضی عادی

حداقل مقدار شیب عرضی قابل اعمال در سواره رو با توجه به نیازهای تخلیه آب تعیین می‌شود. با توجه به نوع راه، مقدار بارش باران و برف و میزان یخبندان، مقادیر حداقل معمول پذیرفته شده برای شیب عرضی از $1/5$ درصد تا حدود $2/5$ درصد است (برای اطلاعات بیشتر به بخش شیب عرضی از فصل 4 مراجعه شود). برای بحث و بررسی از عدد 2 درصد به عنوان تنها مقدار معرف شیب عرضی برای رویه‌های ممتاز فاقد جدول استفاده می‌شود. بطور کلی در حالتی که از جدول استفاده می‌شود، برای کمینه کردن جمع‌شدگی آب در خط خارجی عبور، شیب‌های عرضی تندتری به کار می‌رود.

شکل و فرم استقرار شیب عرضی عادی متغیر است. برخی ایالات و بسیاری از شهرداری‌های آمریکا از مقاطع عرضی با سطح سواره‌رو منحنی (معمولاً سهمی) در راه‌های دوخطه استفاده می‌کنند. ایالات دیگر، خط عبور با مقطع عرضی مستقیم را به کار می‌برند.

تندترین قوس بدون یک‌بری

قوس‌های افقی خیلی باز به یک‌بری نیاز ندارند. برای ترافیک ورودی به قوس راست گرد بخشی از یک‌بری توسط شیب عرضی عادی تأمین شده است. ترافیک ورودی به قوس چپ‌گرد دارای یک‌بری منفی یا معکوس ناشی از شیب عرضی عادی است، اما در قوس‌های باز، اصطکاک جانبی مورد نیاز برای تحمل شتاب جانبی و خنثی کردن یک‌بری منفی مقدار کوچکی است. با این حال، استقرار قوس‌های تندتر با همان سرعت، بالاخره به جایی می‌رسد که در آن ترکیب شتاب جانبی و یک‌بری منفی بر میزان اصطکاک جانبی مجاز غلبه پیدا می‌کند و در نظر گرفتن شیب مثبت عرضی در سراسر راه برای کمک به تحمل شتاب جانبی الزامی می‌گردد. بنابراین بخش مهمی از روش طرح یک‌بری، ارائه معیاری برای حداکثر شعاعی است که به یک‌بری نیاز دارد و یا برعکس، برای حداقل شعاع متناسب با نیمرخ عرضی عادی است.

مقادیر حداکثر یک‌بری برای راه‌ها و خیابان‌ها

مقادیر حداکثر یک‌بری مورد استفاده در راه‌ها بوسیله چهار عامل کنترل می‌شود.

- (1) شرایط آب و هوایی (یعنی کثرت بارش و مقدار برف و یخ)
 - (2) وضع پستی و بلندی (یعنی دشتی، تپه ماهوری، کوهستانی)
 - (3) نوع منطقه (یعنی برون شهری یا شهری)
 - (4) کثرت وسایل نقلیه بسیار کندرو که حرکت آنها ممکن است تحت تأثیر مقادیر بالای یک‌بری قرار گیرد.
- از ملاحظه مجموعه این عوامل چنین نتیجه می‌شود که هیچ مقدار واحد حداکثری برای یک‌بری قابل اعمال نیست. به هر حال استفاده از تنها یک مقدار یک‌بری حداکثر در منطقه‌ای با شرایط آب و هوایی و کاربری ارضی مشابه، بدلیل آنکه سبب افزایش انسجام طرح می‌گردد، مطلوب است.
- انسجام طرح به یکنواختی مسیر و ابعاد و عناصر طرح بستگی دارد. این یکنواختی به رانندگان اجازه می‌دهد مهارت‌های مشاهده و عکس‌العمل خویش را با انتظارات فزاینده بهبود بخشند. اجزاء طراحی غیریکنواخت

برای انواع مشابه راه ممکن است مغایر با توقعات رانندگان باشد و موجب افزایش بار کاری رانندگان شود. منطقاً بین انسجام طرح، بار کاری و ایمنی راننده ارتباط منسجمی وجود دارد و طرح‌های یکپارچه، همراه با بارکاری کم‌تر و راه‌های ایمن‌تر است.

بزرگترین مقدار یک‌بری کاربردی برای راه‌ها در حالت معمولی 10 درصد است اگرچه 12 درصد نیز در برخی موارد به کار رفته است. یک‌بری‌های بالای 8 درصد فقط در نواحی بدون برف و یخ مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگرچه یک‌بری‌های بالاتر مزایایی برای رانندگان تندرو فراهم می‌کند، روند جاری نشان می‌دهد که یک‌بری‌های بالای 12 درصد عملی نیست. این تجربه، آثار ترکیبی فرایندهای ساخت، مشکلات تعمیر و نگهداری و حرکت وسایل نقلیه در سرعت‌های پایین را مورد توجه قرار می‌دهد.

بنابراین، به نظر می‌رسد که مقدار 12 درصد، معرف بزرگترین مقدار عملی یک‌بری برای مناطق بدون برف و یخ است. یک‌بری 12 درصد ممکن است روی جاده‌های شنی با حجم ترافیک کم به منظور آسان کردن تخلیه عرضی آب بکار رود، اما این مقدار یک‌بری می‌تواند موجب سرعت‌های عبور بالاتر شود که خود عاملی برای ایجاد شیار در سطح راه و جابجائی‌شن‌ها است. بطور کلی مقدار 8 درصد به عنوان مقدار حداکثر منطقی یک‌بری شناخته شده است.

در جایی که برف و یخ عوامل تعیین کننده است، آزمایش‌ها و تجربه نشان می‌دهد که یک‌بری حدود 8 درصد، یک مقدار حداکثر معقول برای کمینه کردن لغزش وسایل نقلیه متوقف شده در عرض راه یا وسایل نقلیه‌ای که سعی در شروع حرکتی آهسته از حالت توقف دارند، است. یک سری از آزمایش‌ها [16] ضرایب اصطکاک یخ را، بسته به شرایط آن (یعنی مرطوب، خشک، تمیز، صاف یا ناهموار)، در محدوده 0/050 تا 0/200 بدست آورده‌اند. آزمایش‌های روی برف‌های نرم یا سفت شده نشان‌دهنده ضرایب اصطکاک حدود 0/200 تا 0/400 است. آزمایش‌های دیگر [21] این نتایج را تایید می‌کند. مرز پایینی این محدوده از ضرایب اصطکاک احتمالاً فقط در حالت لایه نازک زود یخ بسته در دمای 1- درجه سانتیگراد روی سطح خیس رویه به وجود می‌آید. مقادیر مشابه اصطکاک کم، ممکن است با لایه‌های نازک گل روی سطح روسازی، یا لکه‌های روغن یا مایعات و یا حرکت با سرعت‌های زیاد با وجود لایه‌ای از آب به ضخامت کافی روی راه که موجب حرکت چرخ بر روی آب شود، رخ دهد. برای همین برخی نهادهای راه، مقدار یک‌بری ماکزیمم 8 درصد را پذیرفته‌اند. این نهادها معتقدند که صرف‌نظر از شرایط برف و یخ، مقدار 8 درصد، نشان‌دهنده حداکثر منطقه

یک‌بری است. با انتخاب چنین حدی احتمال اینکه رانندگان کندرو دچار اصطکاک جانبی منفی بشوند، کاهش می‌یابد. این اصطکاک موجب تلاش اضافی در رانندگی و حرکات نامتعادل و آشفته می‌شود.

جایی که تراکم ترافیکی یا توسعه حاشیه‌ای وسیع، سرعت‌های بالا را محدود می‌کند روش معمول، استفاده از حداکثر یک‌بری کم یعنی 4 تا 6 درصد است. همچنین در محدوده‌های تقاطعی مهم یا جاهایی که به دلیل گردش و حرکت‌های تقاطعی، وسایل هشداردهنده و چراغ راهنمایی، گرایش به آهسته راندن وجود دارد باید از میزان پایین حداکثر یک‌بری استفاده کرد و یا یک‌بری را حذف کرد. در چنین مناطقی، دوران رویه‌های متقاطع برای تخلیه آب، بدون فراهم کردن یک‌بری منفی برای برخی حرکت‌های گردش، مشکل است.

بطور خلاصه، پیشنهاد می‌شود که:

- (1) در برقراری ضوابط طرح برای قوس‌های افقی راه چندین مقدار یک‌بری بجای یک مقدار برای یک‌بری حداکثر مشخص شود.
 - (2) میزان یک‌بری هیچگاه بیشتر از 12 درصد نشود.
 - (3) میزان 4 تا 6 درصد برای طرح‌های شهری در نواحی با محدودیت کم یا بدون محدودیت قابل استفاده است.
 - (4) در خیابان‌های شهری با سرعت کم در جایی که محدودیت‌های شدید وجود دارد، یک‌بری حذف شود.
- با به حساب آوردن محدوده عمل وسیع نهاده‌ها، در این فصل، پنج مقدار برای حداکثر یک‌بری، (4، 6، 8، 10 و 12 درصد) ارائه شده است.

حداکثر یک‌بری برای راه‌های گردشی

راه‌های گردشی، شامل رابط‌های تبادلی و پیچ‌های گردش به راست تقاطع است. در رابط‌ها برای مقابله با لغزش و چپ شدن باید در حد امکان از یک‌بری بزرگتر، تا مقدار حداکثر استفاده کرد. در انتهای راه گردشی جائیکه همه ترافیک به حال توقف در می‌آید (مانند حالتی که علامت ایست ایجاد می‌کند) معمولاً یک‌بری کم‌تری مورد نیاز است. همچنین در حالتی که شمار قابل وجهی کامیون و تریلی از راه گردشی تقاطع استفاده کند، باید قوس‌های بازتری که یک‌بری کم‌تری نیاز دارد بکار برد زیرا اینگونه وسایل، در عبور از قوس‌های تقاطع که دارای یک‌بری هستند احتمالاً دچار مشکل می‌شوند. این حالت بویژه وقتی خودروهای سنگین از راه یا رابطی که در یک جهت شیب دارد به سمت مسیر دیگری که شیبی در جهت عکس دارد، عبور می‌کند، صادق است. در فصل نهم تحت عنوان «یک‌بری در قوس‌های تقاطع‌ها» در این باره بیشتر بحث خواهد شد.

شعاع حداقل

شعاع حداقل، حد انحنای برای سرعت طرح معین است و با توجه به حداکثر میزان یک‌بری و حداکثر ضریب اصطکاک جانبی انتخاب شده برای طرح (مقدار حدی f) تعیین می‌شود. استفاده از انحنای تندتر برای سرعت طرح معین، مستلزم استفاده از یک‌بری بیش از حد امکان یا حرکت با اصطکاک چرخ و شتاب جانبی متجاوز از حد آسایش بسیاری از رانندگان و یا مستلزم هر دو مورد است. حداقل شعاع انحناء گرچه قبل از آن که مبتنی بر ایمنی باشد، بر آستانه راحتی راننده استوار است، در طرح مسیر، مقدار مهمی به شمار می‌رود. همچنین حداقل شعاع انحنای ضابطه مهمی در تعیین میزان یک‌بری قوس‌های بازتر است.

حداقل شعاع قوس R_{\min} را می‌توان مستقیماً از فرمول ساده شده شعاع قوس که در بخش «ضریب اصطکاک جانبی» ارائه شد محاسبه کرد. این فرمول برای تعیین حداقل شعاع قوس به صورت زیر در می‌آید.

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(0.01e_{\max} + f_{\max})} \quad (10-3)$$

برای طرح قوس، شعاع یک خط کنترل افقی که اغلب در راستای خط محور مسیر است ملاک اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. به هر حال فرمول‌های قوس افقی از شعاع منحنی که در امتداد مرکز ثقل وسیله نقلیه و

تقریباً مرکز داخلی‌ترین خط عبور است استفاده می‌کند. فرمول محاسبه قوس، عرض راه یا محل خط کنترل را در نظر نمی‌گیرد. بمنظور هماهنگی با شعاع تعریف شده برای راه‌های گردشی و در نظر گرفتن راننده‌ای که در داخلی‌ترین خط عبور حرکت می‌کند، شعاع مورد استفاده در طرح قوس‌های افقی آن، بویژه در مورد مسیر پهنی که انحنای افقی تند دارد، باید در امتداد لبه تویی داخلی‌ترین خط عبور اندازه‌گیری شود. در راه‌های دو خطه، تفاوت بین محور راه و امتداد مرکز ثقل منظور شده در معادله قوس افقی، ناچیز است. بنابراین شعاع قوس برای راه دو خطه را می‌توان همان شعاع محور راه منظور نمود.

تأثیر شیب‌ها

در شیب‌های ملایم، رانندگان تمایل دارند که در سر پایی تندتر از سربالایی برانند. بعلاوه تحقیقات [20] نشان داده است که تقاضای اصطکاک جانبی، هم در سرازیری‌ها (به علت نیروهای ترمز) و هم در سربالایی‌های تند (به علت نیروهای کشندگی) بیشتر است. برای شیب‌های بیش از 5 درصد باید تعدیلی برای مقادیر یک‌بری منظور نمود. این تعدیل‌ها بویژه در راه‌هایی که دارای حجم زیاد وسایل نقلیه سنگین هستند و راه‌های کم سرعت با قوس‌های متوسطی که از سطح بالای تقاضای اصطکاک جانبی استفاده می‌کنند اهمیت دارد.

در مورد راه مجزا که هر یک از مسیرهای رفت و برگشت دارای یک‌بری مستقل است یا در رابط یکطرفه، منظور نمودن چنین تعدیلی آسان است. در بهترین شکل عملی مقادیر حاصل از جداول 3-25 تا 3-29 را می‌توان مستقیماً با فرض سرعت طرح اندکی بالاتر برای سرازیری، به کار برد. چون در سربالایی‌های تند، وسایل نقلیه گرایش به حرکت آهسته دارند، تعدیل یک‌بری می‌تواند بدون کاهش سرعت طرح، انجام شود. تغییر مناسب در سرعت طرح، بستگی به شرایط خاص، بویژه مقدار شیب و طول آن و اندازه شعاع قوس در مقایسه با سایر قوس‌های قسمت همجوار راه، دارد.

در راه‌های دوخطه و راه‌های چندخطه غیر مجزا، تعدیل مربوط به شیب را می‌توان با فرض سرعت طرح کمی بالاتر برای سرپایی‌ها انجام داد و آن را به سراسر سواره‌رو (هم طرف سربالایی و هم طرف سر پایی) اعمال نمود. یک‌بری اضافه شده برای سربالایی‌ها می‌تواند با کاهش ضریب اصطکاک جانبی موجود که ناشی از نیروهای کشندگی است، مقابله کند. در سربالایی‌های طولانی، یک‌بری اضافی، ممکن است برای وسایل نقلیه کندرو (مانند کامیون‌ها و تریلی‌ها) ضریب اصطکاک منفی ایجاد کند. این اثر، به کمک سرعت کم وسیله نقلیه (که زمان بیشتری برای هدایت آن ایجاد می‌کند) و افزایش تجربه و آموزش رانندگان وسایل نقلیه سنگین، کاهش می‌یابد.

سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)	حداکثر e (درصد)	حداکثر f	مجموع $(e/100+f)$	شعاع محاسبه شده (متر)	شعاع گرد شده (متر)
15	4/0	0/40	0/44	4/0	4
20	4/0	0/35	0/39	8/1	8
30	4/0	0/28	0/32	22/1	22
40	4/0	0/23	0/27	46/1	47
50	4/0	0/19	0/23	85/6	86
60	4/0	0/17	0/21	135/0	135
70	4/0	0/15	0/19	203/1	203
80	4/0	0/14	0/18	280/0	280
90	4/0	0/13	0/17	375/2	375
100	4/0	0/12	0/16	492/1	492
15	6/0	0/40	0/46	3/9	4
20	6/0	0/35	0/41	7/1	8
30	6/0	0/28	0/34	20/8	21
40	6/0	0/23	0/29	43/4	43
50	6/0	0/19	0/25	78/7	79
60	6/0	0/17	0/23	123/2	123
70	6/0	0/15	0/21	183/7	184
80	6/0	0/14	0/20	252/0	252
90	6/0	0/13	0/19	335/1	336
100	6/0	0/12	0/18	437/4	437
110	6/0	0/11	0/17	560/4	560
120	6/0	0/09	0/15	755/9	756
130	6/0	0/08	0/14	950/5	951
15	8/0	0/40	0/48	3/1	4
20	8/0	0/35	0/43	7/3	7
30	8/0	0/28	0/36	19/7	20
40	8/0	0/23	0/31	40/6	41
50	8/0	0/19	0/27	72/9	73
60	8/0	0/17	0/25	113/4	113
70	8/0	0/15	0/23	167/8	168
80	8/0	0/14	0/22	229/1	229
90	8/0	0/13	0/21	303/7	304
100	8/0	0/12	0/20	393/7	394
110	8/0	0/11	0/19	501/5	501
120	8/0	0/09	0/17	667/0	667
130	8/0	0/08	0/16	831/7	832
15	10/0	0/40	0/50	3/5	4
20	10/0	0/35	0/45	7/0	7
30	10/0	0/28	0/38	18/6	19
40	10/0	0/23	0/33	38/2	38
50	10/0	0/19	0/29	67/9	68
60	10/0	0/17	0/27	105/0	105
70	10/0	0/15	0/25	154/3	154
80	10/0	0/14	0/24	210/0	210
90	10/0	0/13	0/23	277/3	277
100	10/0	0/12	0/22	357/9	358
110	10/0	0/11	0/21	453/7	454
120	10/0	0/09	0/19	596/8	597
130	10/0	0/08	0/18	739/3	739

15	12/0	0/40	0/52	3/4	3
20	12/0	0/35	0/47	6/7	7
30	12/0	0/28	0/40	17/7	18
40	12/0	0/23	0/35	36/0	36
50	12/0	0/19	0/31	63/5	64
60	12/0	0/17	0/29	97/7	98
70	12/0	0/15	0/27	142/9	143
80	12/0	0/14	0/26	193/8	194
90	12/0	0/13	0/25	255/1	255
100	12/0	0/12	0/24	328/1	328
110	12/0	0/11	0/23	414/2	414
120	12/0	0/09	0/21	539/9	540
130	12/0	0/08	0/20	665/4	665

نکته: برای مراعات نکات ایمنی، استفاده از $e_{max} = 4\%$ باید به شرایط شهری محدود شود.

جدول 3-15: شعاع حداقل با استفاده از مقادیر حدی f و e

طراحی خیابان‌های شهری کم سرعت

در خیابان‌های شهری کم سرعت، که سرعت در آنها نسبتاً کم و متغیر است، استفاده از یک‌بری می‌تواند به حداقل کاهش یابد. وقتی تقاضای اصطکاک جانبی از ضریب اصطکاک جانبی فرض شده برای سرعت طرح تجاوز می‌کند، یک‌بری در محدوده بین شیب عرضی عادی تا حداکثر مقدار یک‌بری، تأمین می‌گردد.

ضرایب اصطکاک جانبی

در شکل 3-12 ضریب اصطکاک عرضی پیشنهادی برای راه‌ها و خیابان‌های کم سرعت به صورت خط چین نشان داده شده است. این ضرایب پیشنهادی، محدوده منطقی ایمنی را برای سرعت‌های کم فراهم می‌کند و منجر به یک‌بری‌های تا اندازه‌ای کم‌تر در مقایسه با ضرایب اصطکاک مربوط به سرعت زیاد می‌گردد. ضرایب اصطکاک جانبی، برحسب سرعت، از $0/4$ (در سرعت 15 کیلومتر در ساعت) تا $0/15$ (در سرعت 70 کیلومتر در ساعت)، تغییر می‌کند. براساس حداکثر مجاز ضرایب اصطکاک جانبی در شکل 3-12، حداقل شعاع برای هر یک از پنج مقدار حداکثر یک‌بری، از جدول 3-15 به دست می‌آید.

یک‌بری

اگر چه یک‌بری برای جریان ترافیک مزایایی دارد، ولی غالباً ترکیب عوامل گوناگون کاربرد آن را در موارد شهری کم سرعت، غیر عملی می‌کند. این عوامل عبارت است از:

- رویه‌های عریض
 - رعایت کف املاک مجاور
 - رعایت شرایط تخلیه آب‌ها
 - گرایش به جریان عبور آهسته
 - تعدد خیابان‌های، متقاطع کوچه‌ها و ورودی‌ها
- بنابراین قوس‌های افقی در خیابان‌های شهری کم سرعت، اغلب بدون یک‌بری طراحی می‌شوند، که به این ترتیب، نیروی جانبی فقط توسط اصطکاک جانبی تحمل می‌شود. برای ترافیک قوس چپ‌گرد شیب

عرضی عادی، یک‌بری منفی یا معکوس است، اما چنانچه قوس، باز باشد اصطکاک مورد نیاز برای تحمل نیروی جانبی حتی با وجود یک‌بری معکوس مقدار کوچکی است.

وقتی در خیابان‌های شهری کم سرعت از یک‌بری استفاده شود، روش 2 (شکل 3-13) برای طرح قوس‌های افقی پیشنهاد می‌شود زیرا در این شرایط رانندگان، حد راحتی کمتری را پذیرا هستند. با استفاده از این روش، تا زمانی که ضریب اصطکاک جانبی کمتر از حداکثر معین فرض شده برای شعاع قوس و سرعت طرح است، هیچ بخشی از نیروی جانبی بوسیله یک‌بری تحمل نمی‌شود. برای قوس‌های تندتر، مقدار f حداکثر باقی می‌ماند و e با نسبت مستقیم با افزایش انحنا تا مقدار e_{max} افزایش می‌یابد. مقادیر پیشنهادی f برای طراحی که در خیابان‌ها و راه‌های کم سرعت قابل استفاده است، در شکل 3-12 با خط چین نشان داده شده است. شعاع‌های نظیر محدوده کامل مقادیر سرعت، براساس روش 2 به کمک فرمول ساده شده قوس و با استفاده از مقادیر f از شکل 3-12، محاسبه شده و در جدول 3-16 و شکل 3-17 منظور شده است.

عواملی که اغلب، کاربرد یک‌بری را در وضعیت‌های شهری کم سرعت، غیرعملی می‌سازد، اصلاحات مربوط به یک‌بری را نیز به هنگام بهسازی خیابان‌های شهری، غیر عملی می‌کند. بنابراین یک‌بری خیابان‌های شهری کم سرعت که مطابق مقادیر مذکور در آشتو 1954 تا آشتو 2001 است و تقریباً 5 تا 10 درصد زیر مقادیر فعلی است، باید وضعیت خود را حفظ کند مگر آنکه قوس دارای سابقه تصادفات غیر قابل قبول باشد. در چنین مواردی تعبیه یک‌بری باید بر اساس جدول 3-16 یا در صورت امکان جداول 3-25 تا 3-29 مورد توجه قرار گیرد.

تندترین پیچ بدون یک‌بری

در جدول 3-16، ردیف مربوط به شیب عرضی 2- درصد، حداقل شعاعی را که برای آن نیمرخ عرضی عادی (با شیب دو طرفه 2 درصد) باید حفظ شود، ارائه می‌کند. بهمین ترتیب، ردیف 1/5- درصد، مربوط به شعاع‌هایی با حفظ نیمرخ عرضی عادی با شیب دو طرفه 1/5 درصد است. قوس‌های تندتر نباید شیب عرضی معکوس داشته باشند، در این قوس‌ها باید مطابق با جدول 3-16، یک‌بری منظور شود.

برای قوس‌های افقی که شعاع آن‌ها طبق جدول 3-16، نیاز به یک‌بری بین 1/5 تا 2/5 درصد دارد، می‌توان از طریق حفظ شکل نیمرخ عرضی عادی سواره‌رو و چرخاندن آن حول لبه یا محور سواره‌رو، به نوعی تعدیل عملی یک‌بری دست یافت. با این تمهید، تغییر شابلون‌هایی که در روسازی بتنی به کار می‌رود ضرورت نخواهد داشت. این روش حذف یک‌بری معکوس، منجر به شیب عرضی تندتر، در سمت لبه پایینی سواره‌رو خواهد شد که ممکن است برای تخلیه آب‌ها مطلوب باشد. به هر حال ترافیک سمت بیرونی نیمرخ عرضی، با استفاده از این روش، به اندازه روش متعارفی که در آن نیمرخ عادی در تمام عرض سواره‌رو، به یک سطح مستوی تبدیل می‌شود، بهره‌مند نمی‌شود. در قوس‌های تندی که نیاز به یک‌بری بیش از 2/5 درصد دارد، باید از نیمرخ بدون شکستگی در سراسر عرض سواره‌رو استفاده کرد.

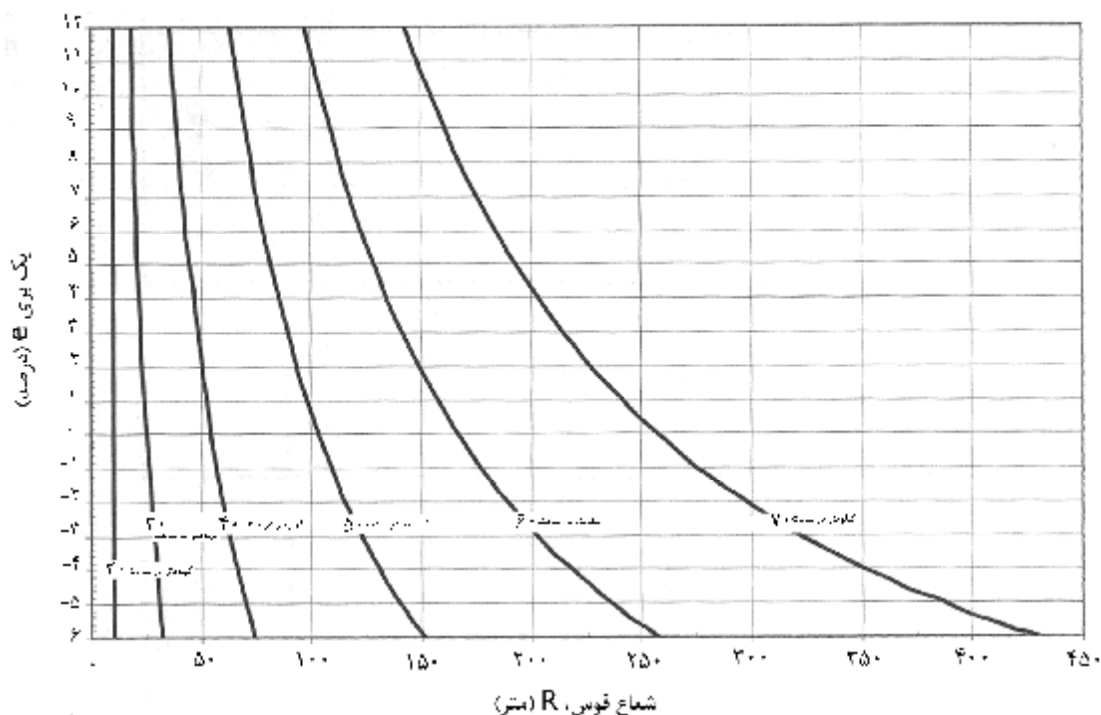


e (%)	کیلومتر در ساعت $v_d=20$ R(متر)	کیلومتر در ساعت $v_d=30$ R(متر)	کیلومتر در ساعت $v_d=40$ R(متر)	کیلومتر در ساعت $v_d=50$ R(متر)	کیلومتر در ساعت $v_d=60$ R(متر)	کیلومتر در ساعت $v_d=70$ R(متر)
-6.0	11	32	74	151	258	429
-5.0	10	31	70	141	236	386
-4.0	10	30	66	131	218	351
-3.0	10	28	63	123	202	322
-2.8	10	28	62	122	200	316
-2.6	10	28	62	120	197	311
-2.4	10	28	61	119	194	306
-2.2	10	27	61	117	192	301
-2.0	10	27	60	116	189	297
-1.5	9	25	59	113	183	286
0	9	24	55	104	167	257
1.5	9	24	51	96	153	234
2.0	9	23	50	94	149	227
2.2	8	23	50	93	148	224
2.4	8	23	50	92	146	222
2.6	8	23	49	91	145	219
2.8	8	23	49	90	143	217
3.0	8	23	48	89	140	214
3.2	8	23	48	89	139	212
3.4	8	22	48	88	138	210
3.6	8	22	47	87	136	207
3.8	8	22	47	86	135	205
4.0	8	22	47	86	134	203
4.2	8	22	46	85	132	201
4.4	8	22	46	84	131	199
4.6	8	22	46	83	130	197
4.8	8	21	45	83	129	195
5.0	8	21	45	82	128	193
5.2	8	21	45	81	127	191
5.4	8	21	44	81	125	189
5.6	8	21	44	80	124	187
5.8	8	21	44	79	123	185
6.0	8	21	43	79	122	184
6.2	8	21	43	78	121	182
6.4	8	20	43	78	120	180
6.6	8	20	43	77	119	179
6.8	8	20	42	76	118	177
7.0	7	20	42	76	117	175
7.2	7	20	42	75	116	174
7.4	7	20	41	75	115	172
7.6	7	20	41	74	114	171
7.8	7	20	41	73	113	169
8.0	7	20	41	73	112	168
8.2	7	19	40	72	112	166
8.4	7	19	40	72	111	165
8.6	7	19	40	71	110	163
8.8	7	19	40	71	109	162
9.0	7	19	39	70	108	161
9.2	7	19	39	70	107	159
9.4	7	19	39	69	107	158
9.6	7	19	38	69	106	157
9.8	7	19	38	68	105	156
10.0	7	19	38	67	104	154
10.4	7	19	38	67	103	153
10.6	7	18	37	67	103	152
10.8	7	18	37	66	102	151
11.0	7	18	37	66	101	150
11.2	7	18	37	65	101	148
11.4	7	18	37	65	100	147
11.6	7	18	36	64	99	146
11.8	7	18	36	64	98	145
12.0	7	18	36	64	98	144

تبصره :

- 1- درمحاسبات از روش دوم توزیع دور استفاده شده.
- 2- دور در خیابان‌های شهری با سرعت پائین اختیاری است.
- 3- مقادیر دور منفی بیش از 2% باید برای رویه‌های درجه 2 مانند شیء، سنگ شکسته و خاکی مناطق با بارندگی شدید، برای رویه‌های درجه یک، می‌توان از شیب‌های عرضی معمولی 2/5- استفاده کرد.

جدول 3-16: شعاع قوس کمینه و یک‌بری برای خیابان‌های شهری با سرعت پائین



شکل 3-17: یک‌بری، شعاع و سرعت طرح برای طرح خیابان‌های شهری کم سرعت

طراحی راه‌های برون شهری، آزادراه‌های شهری و خیابان‌های شهری سریع

در راه‌های برون شهری، آزادراه‌های شهری و خیابان‌های شهری که سرعت در آنها نسبتاً بالا و یکنواخت است، معمولاً برای قوس‌های افقی، یک‌بری منظور می‌شود و قوس‌های متوالی تعدیل می‌گردند تا تبدیل تدریجی رانندگی ملایم از پیچی به پیچ دیگر را تأمین نمایند. طرح متعادل برای مجموعه‌ای از قوس‌های با شعاع متفاوت بوسیله توزیع مناسب مقادیر e و f به شرحی که قبلاً ذکر شد تأمین می‌شود تا یک‌بری مناسب در محدوده بین شیب عرضی عادی و یک‌بری حداکثر انتخاب گردد.

ضرایب اصطکاک جانبی

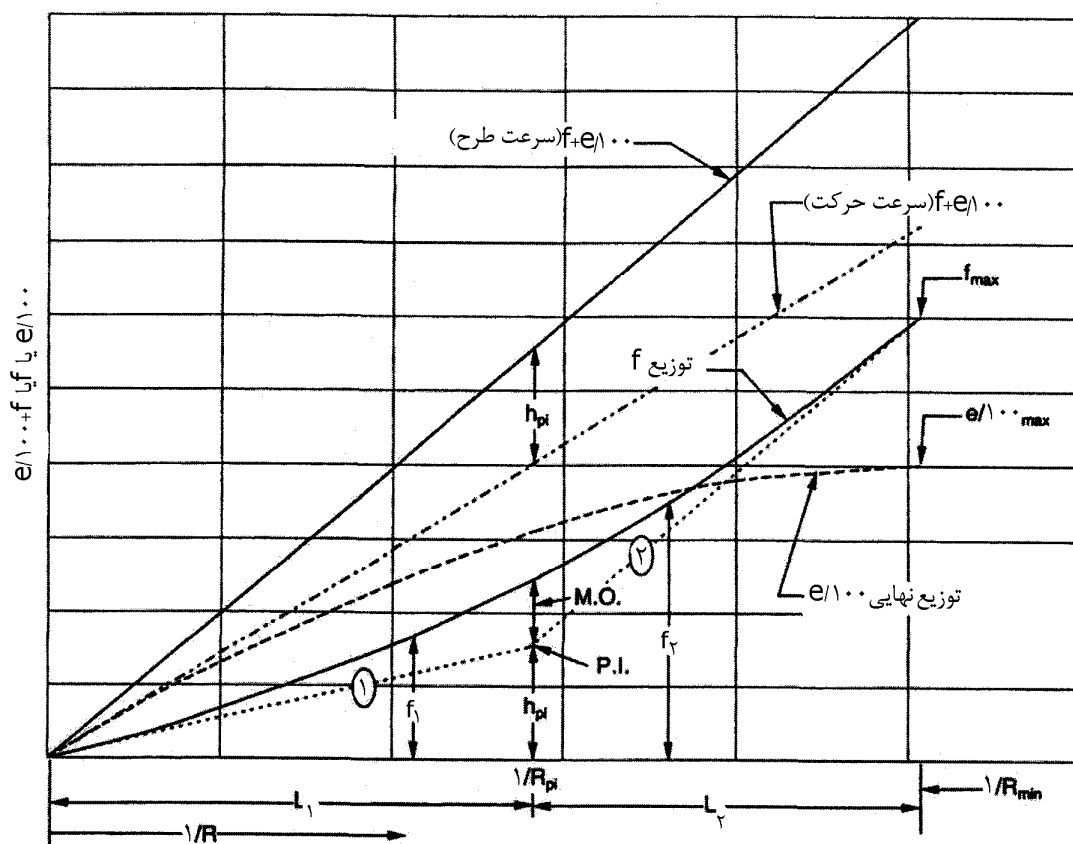
شکل 3-12 مقادیر پیشنهادی ضریب اصطکاک جانبی برای راه‌های برون شهری، آزادراه‌های شهری و خیابان‌های شهری سریع را نشان می‌دهد. ضرایب اصطکاک جانبی پیشنهادی حاشیه ایمنی منطقی‌ای را برای سرعت‌های مختلف، تأمین می‌کنند.

حداکثر ضرایب اصطکاک جانبی به نسبت مستقیم با سرعت طرح، تغییر می‌کنند و مقدار آن از 0/40 در سرعت 15 کیلومتر در ساعت تا 0/08 در سرعت 130 کیلومتر در ساعت است.

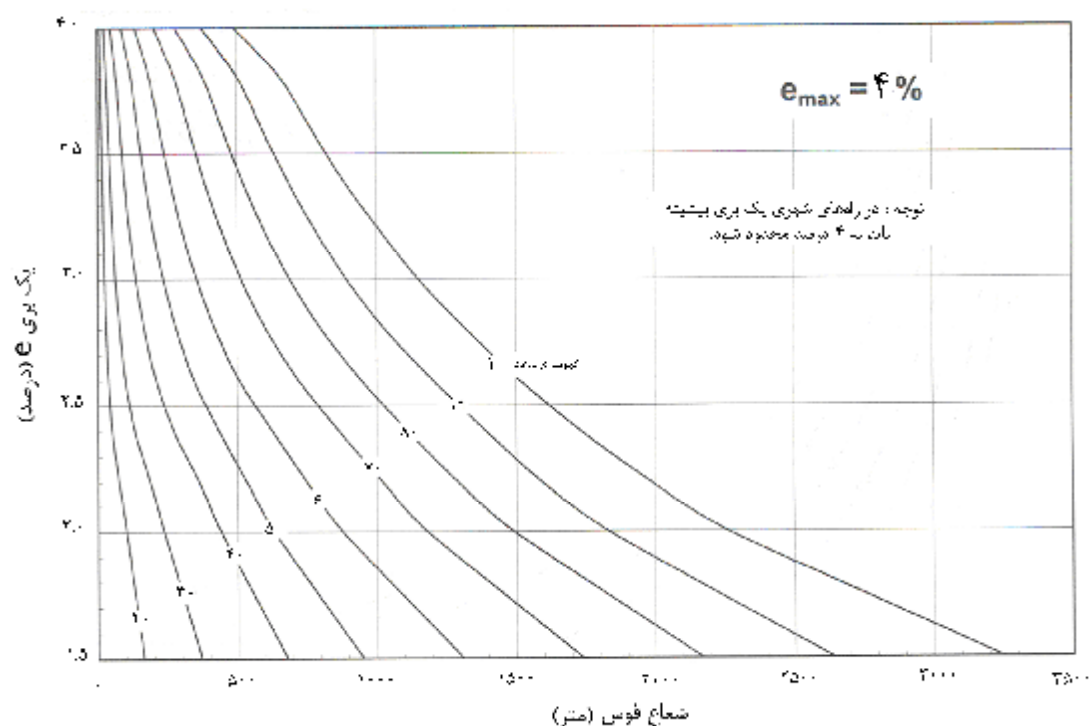
با استفاده از ضرایب اصطکاک جانبی مجاز حداکثر از نمودار 3-12، جدول 3-15 حداقل شعاع را برای هر یک از پنج مقدار یک‌بری حداکثر ارائه می‌کند.

یک‌بری

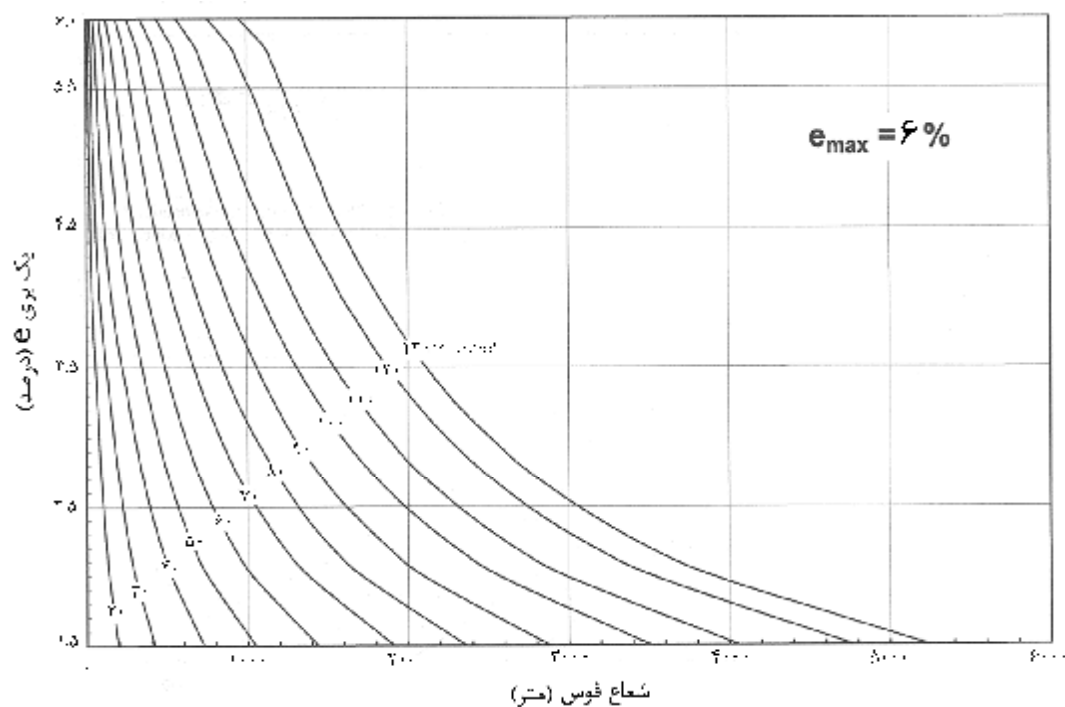
روش 5 که قبلاً تشریح شد، برای توزیع e و f در همه قوس‌های با شعاع بزرگتر از حداقل شعاع انحناء قوس در راه‌های برون‌شهری، آزادراه‌های شهری و خیابان‌های شهری پر سرعت پیشنهاد می‌شود. نحوه‌ی استفاده از روش 5، در متن و شکل‌ها و جداول بعدی مورد بحث قرار می‌گیرد.



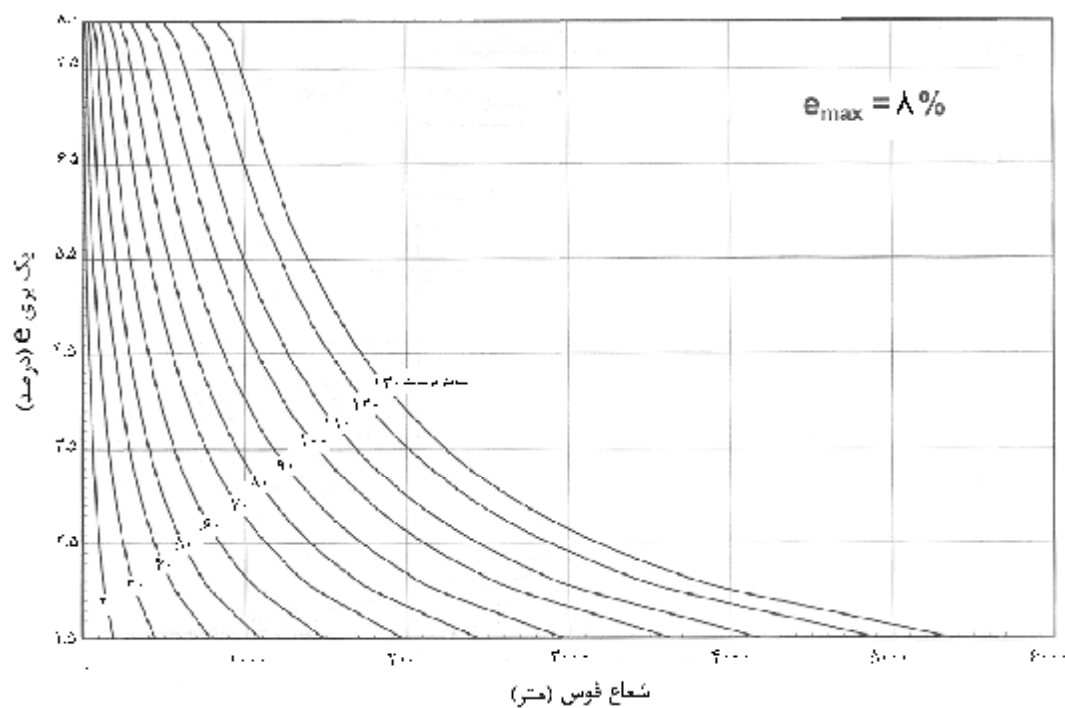
شکل 3-18: روش 5 برای توزیع یک‌بری



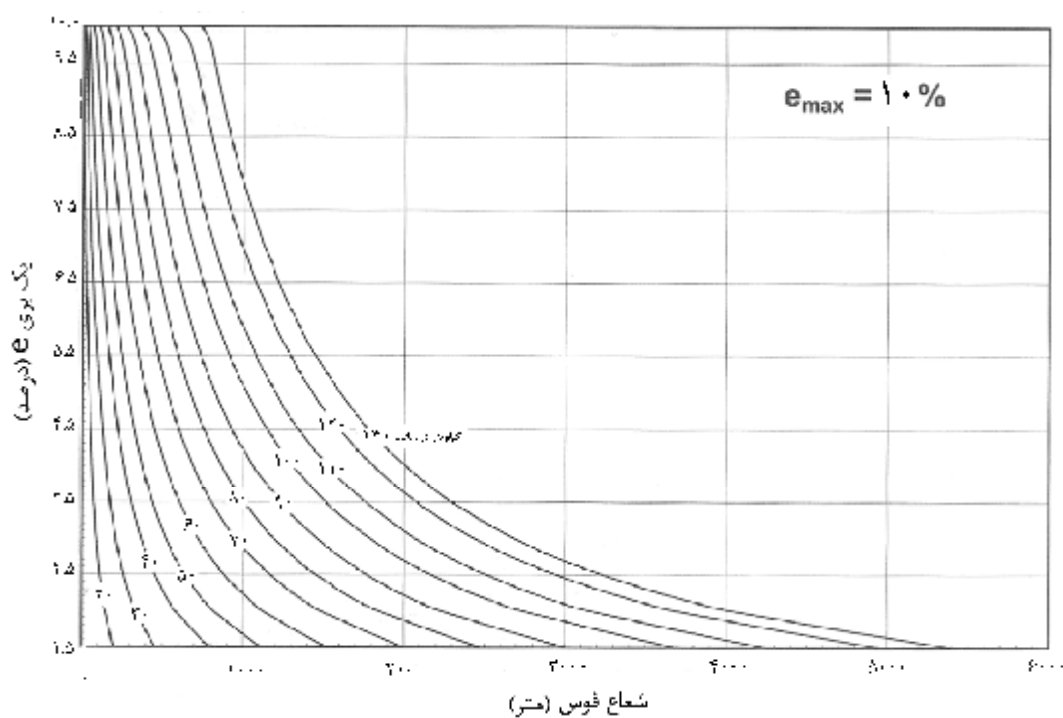
شکل 3-19: میزان یک‌بری طرح برای نرخ یک‌بری بیشینه 4%



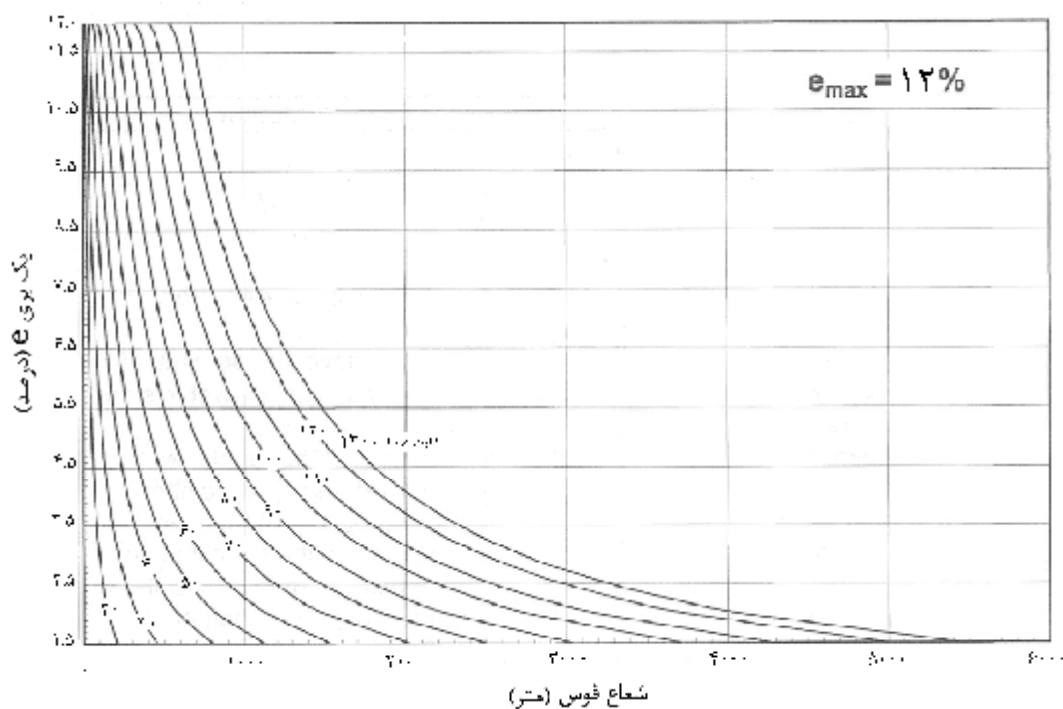
شکل 3-20: میزان یک‌بری طرح برای نرخ یک‌بری بیشینه 6%



شکل 3-21: میزان یک‌بری طرح برای نرخ یک‌بری بیشینه 8%



شکل 3-22: میزان یک‌بری طرح برای نرخ یک‌بری بیشینه 10%



شکل 3-23: میزان یک‌بری طرح برای نرخ یک‌بری بیشینه 12%

فرایند توزیع یک‌بری به روش 5

ضرایب اصطکاک جانبی مطابق خط پر رنگ نمودار 3-12 حداکثر مقدار f انتخاب شده برای طرح، در هر سرعتی را نشان می‌دهد. وقتی که این مقادیر به همراه روش پیشنهادی 5 مورد استفاده قرار گیرد،



منحنی‌های توزیع f برای سرعت‌های مختلف تعیین می‌شود. به این ترتیب با کم کردن مقدار f محاسبه شده از مقدار $f + 100e$ محاسبه شده در سرعت طرح، توزیع نهایی e به دست می‌آید (شکل 3-18). منحنی-های توزیع نهایی e حاصل از این شیوه و بر اساس روش 5 که بعداً مورد استفاده قرار می‌گیرد، در شکل‌های 3-19 تا 3-23 نشان داده شده است.

توزیع e و f برای روش 5 را می‌توان با استفاده از فرمول اساسی قوس و با صرفنظر کردن از عبارت (1-1) $0.01ef$ همان طوری که قبلاً در این فصل بحث شد، به کمک معادلات زیر، به دست آورد:

$$0.01e + f = \frac{V^2}{127R} \quad (11-3)$$

که در آن:

V_D = سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)

$e = e_{\max}$ = حداکثر یک‌بری (یک‌بری حداکثر)

$f = f_{\max}$ = حداکثر زیر اصطکاک جانبی مجاز

$R = R_{\min}$ = شعاع حداقل (متر)

R_{pl} = شعاع در نقطه تقاطع شاخه‌های قوس شبه سهمی، $R_{pl} = R(0.01e + f)$ شعاع در نقطه

تقاطع $0.01e_{\max}$ و $R(0.01e + f)$

V_R = سرعت حرکت (کیلومتر در ساعت)

بنابراین:

$$R_{\min} = \frac{V_D^2}{127(0.01e_{\max} + f_{\max})} \quad (12-3)$$

و

$$R_{pl} = \frac{V_R^2}{1.27e_{\max}} \quad (13-3)$$

با توجه به این که $h = (0.01e + f)_D - (0.01e + f)_R$ ، در نقطه به شعاع R_{pl} معادلات به صورت زیر خلاصه می‌شود.

$$h_{pl} = \left[\frac{(0.01e_{\max})V_D^2}{V_R^2} \right] - 0.01e_{\max} \quad (14-3)$$



که h_{pl} = فاصله pI از محور $\frac{1}{R}$

همچنین

$$S_1 = h_{pl}(R_{pl}) \quad (15-3)$$

که S_1 = شیب شاخه ۱
و

(۱۶-۳)

$$S_2 = \frac{f_{\max} - h_{pl}}{\frac{1}{R_{\min}} - \frac{1}{R_{pl}}}$$

که

S_2 شیب شاخه ۲ است.

معادله MO (خیز میانی) از یک قوس قائم
غیرمتفارن به صورت زیر است:

(۱۷-۳)

$$MO = \frac{L_1 L_2 (S_2 - S_1)}{2(L_1 + L_2)}$$

که $L_1 = 1R_{pl}$ و $L_2 = 1/R_{\min} - 1/R_{pl}$

بنابراین:

(۱۸-۳)

$$MO = \frac{1}{R_{pl}} \left(\frac{1}{R_{\min}} - \frac{1}{R_{pl}} \right) \left(\frac{S_2 - S_1}{2} \right) R_{\min}$$

که MO = خیز میانی قوس توزیع f است و

(۱۹-۳)

$$(0.01e + f)_D = \frac{(0.01e_{\max} + f_{\max})R_{\min}}{R}$$

که

R = شعاع در هر نقطه



با استفاده از معادله عمومی قوس قائم :

(۲۰-۳)

$$\frac{Y}{MO} = \left(\frac{x}{L} \right)^2$$

با توجه به اندازه‌گیری $1/R$ از محور قائم،
در حالتی که $1/R \leq 1/R_{PI}$:

(۲۱-۳)

$$f_1 = MO \left(\frac{R_{PI}}{R} \right)^2 + \frac{S_1}{R}$$

که f_1 مقدار f در هر نقطه‌ای که $1/R \leq 1/R_{PI}$
و :

(۲۲-۳)

$$0.01e_1 = (0.0e + f)_D - f_1$$

که :

$0.01e_1$ = مقدار $0.01e$ در هر نقطه‌ای که :

$$1/R \leq 1/R_{PI}$$

در حالتی که $1/R > 1/R_{PI}$

(۲۳-۳)

$$f_2 MO \left(\frac{\frac{1}{R_{\min}} - \frac{1}{R}}{\frac{1}{R_{\min}} - \frac{1}{R_{PI}}} \right)^2 + h_{PI} + S_2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{PI}} \right)$$

که مقدار در هر نقطه‌ای که
و :

(۲۴-۳)

$$0.01e_2 = (0.01e + f)_D - f_2$$

که :

$0.01e_2$ = مقدار $0.01e_1$ در هر نقطه‌ای که :

نمودار 3-18 طرح نمونه روش 5 برای تعیین توزیع نهایی e را نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد که چگونه مقدار f برای $\frac{1}{R}$ تعیین شده و سپس از مقدار $(0.01e + f)$ کم می‌شود تا مقدار $0.01e$ به دست آید.

مثالی از فرایند محاسبه e برای سرعت طرح 80 کیلومتر در ساعت و $e_{\max} = 8\%$ در زیر آمده است.

مثال	
تعیین کنید e را برای کیلومتر در ساعت	$V_d = 80$
	$e_{\max} = 8\%$
از جدول 3-14: کیلومتر در ساعت	$V_R = 70$
از جدول 3-15:	$f = 0/14$
(حداکثر ضریب اصطکاک جانبی مجاز)	
با استفاده از معادلات مربوط:	
$R_{\min} = 229/1$ ، $R_{PI} = 482/3$ و $h_{PI} = 0/02449$	
$S_1 = 11/81$ و $S_2 = 50/41$	
$L_1 = 0/002073$ ، $L_2 = 0/002292$	
خیز میانی، (MO) برابر است با: 0/02101	
مقدار توزیعی e برای هر شعاع با کم کردن مقادیر f_1 یا f_2 از مقدار $(0.01e + f)$ بدست می‌آید. (رجوع به شکل 3-18) بنابراین مقدار توزیعی e برای $R = R_{PI}$ خواهد شد:	
$(0.01e + f)_d = (V_d)^2 / 127R = 0/1045$ منهای، $f_1 = 0/0455$ یعنی	
0/05899	
این مقدار برای تبدیل به درصد در عدد 100 ضرب می‌شود، که با گرد کردن به نزدیک‌ترین 0/2 درصد، مقدار $e = 6\%$ به دست خواهد آمد. این مقدار e را می‌توان از برای سرعت طرح 80 کیلومتر در ساعت و شعاع قوس 482/3 متر به دست.	

راه‌های گردشی

راه‌های گردشی، شامل رابط‌های تبادل و قوس‌های راست گرد تقاطع‌ها است. شکل‌های حلقوی یا لوزوی مرکب از قطعات مستقیم و قوس است و معمولاً برای مسیرهای گردشی تقاطع‌ها و تبادل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تقاطع‌های همسطح، مسیرهای گردشی لوزوی شکل و متشکل از چند قوس (اغلب قوس‌های مرکب) هستند. حداقل شعاع مورد استفاده برای طرح، بهتر است به جای آنکه از وسط مسیر وسیله نقلیه یا محور سواره رو اندازه‌گیری شود، از لبه داخلی سواره رو به حساب آید. شعاع و یک‌بری نظیر آن، برای راه‌های گردشی، براساس سرعت طرح و مقادیر مندرج در جداول 3-25 تا 3-29 تعیین می‌شود. این جداول از روش توزیع یک‌بری شمار 5 که قبلاً بحث شد، استفاده می‌کنند و برای راه‌های گردشی که شعاعی بیش از شعاع کمینه نظیر سرعت طرح و حداکثر یک‌بری انتخاب شده دارند، یک‌بری اضافی تأمین می‌کنند. برای یادآوری، به بحث قبلی حداکثر یک‌بری در محدوده پیشنهادی، مراجعه شود.

در انتخاب حداقل شعاع به این نکته باید توجه شود که هر قدر قوس تندتر و طول آن کمتر باشد امکان منظور نمودن یک‌بری بالا کمتر است. این وضعیت بویژه در تقاطع‌هایی وجود دارد که راه‌های گردشی اغلب به خود تقاطع نزدیک است و یا بیشتر محدوده آن در مجاورت سواره رو اصلی قرار دارد و یا گردش کامل در زاویه کل 90 درجه صورت می‌گیرد.

طرح راه‌های گردشی در تقاطع‌هایی که راه‌های گردشی جداگانه ندارند، اعمال نمی‌شود. در مورد طرح تقاطع‌ها با استفاده از منحنی‌های مرکب برای جا دادن لبه داخلی مسیری که وسیله نقلیه طرح جاروب می‌کند، به فصل 9 مراجعه شود.

سرعت طرح

بطوری که در فصل 9 بحث خواهد شد، وسایل نقلیه‌ای که در تقاطع‌های طرح شده برای گردش در حداقل شعاع، حرکت گردشی انجام می‌دهند، الزاماً با حداقل سرعت، شاید کمتر از 15 کیلومتر در ساعت، حرکت می‌کنند. با آنکه طراحی برای گردش وسایل نقلیه‌ای که با سرعت‌های بیشتر حرکت می‌کنند، اغلب مطلوب و عملی است، از نظر جنبه‌های ایمنی و اقتصادی اغلب استفاده از سرعت‌های کمتر برای گردش، در بیشتر تقاطع‌ها، مناسب است. سرعت‌هایی که باید مبنای طرح قوس‌های این تقاطع‌ها قرار گیرد، به سرعت وسایل نقلیه در راه نزدیک تقاطع، نوع تقاطع و احجام ترافیک عبوری و گردشی بستگی دارد. بطور کلی سرعت گردشی مطلوب برای طرح، سرعت متوسط حرکت ترافیک در راه نزدیک به محل گردش است. طرح‌های مربوط به این سرعت‌ها، در برابر جریان آرام ترافیک، مانع کمی بوجود می‌آورند و می‌توانند برای بعضی از رابط‌های تبادل یا بعضی از حرکت‌های تقاطع‌ها که برخوردی با عابر پیاده یا ترافیک وسایل نقلیه ندارند یا برخورد ناچیزی دارند، توجیه‌پذیر باشد.

استفاده از قوس‌های مرکب

هنگامی که سرعت طرح در راه گردشی 70 کیلومتر در ساعت یا کمتر است، می‌توان از انحنای مرکب برای شکل دادن به تمامی مسیر آن استفاده کرد. اگر سرعت طرح از 70 کیلومتر در ساعت تجاوز کند استفاده از قوس مرکب اغلب عملی نیست، زیرا به تصرف حریم وسیعی نیاز دارد. بنابراین طراحی راه‌های گردشی با سرعت بالا، از خط‌مشی طراحی رابط‌های تبادل در فصل 10 پیروی می‌کند و شامل ترکیبی از مسیرهای

مستقیم و قوسی است. با این روش، طراح می‌تواند نسبت به آثار حریم راه و همچنین ایمنی و آسایش راننده، حساس‌تر باشد.

نکته مهم پرهیز از طرح قوس مرکبی است که راننده را، در تشخیص میزان تندی شعاع قوس، دچار سردرگمی کند. برای قوس‌های مرکب، بهتر است که نسبت شعاع بازتر به شعاع تندتر، از 2:1 تجاوز نکند. این نسبت، موجب کاهش حدود 10 کیلومتر در ساعت در سرعت‌های متوسط حرکت برای هر دو قوس خواهد شد.

قوس‌های مرکب نباید خیلی کوتاه باشند وگرنه تأثیر خود در فراهم کردن امکان تغییر سرعت از قسمت مستقیم مسیر یا قوس باز به قوس تند را از دست خواهند داد. در یک سری از قوس‌های پشت سر هم که به ترتیب شعاع کم می‌شود، هر قوس بایستی به میزان کافی طویل باشد که راننده بتواند سرعت خود را با آهنگ معقولی کاهش دهد. در تقاطع‌ها، ممکن است حداکثر کاهش سرعت به میزان 5 کیلومتر در ساعت مورد استفاده قرار گیرد (اگر چه اندازه مطلوب، 3 کیلومتر در ساعت است). این میزان مطلوب مستلزم ترمز ملایم است زیرا کم کردن سرعت تنها با استفاده از دنده، معمولاً منجر به کاهش سرعت به اندازه 1/5 تا 2/5 کیلومتر در ساعت می‌شود. حداقل طول قوس‌های مرکب بر پایه ضوابط بیان شده در جدول 3-24 ارائه شده است.

طول‌های قوس مرکب در جدول 3-24 با فرض حرکت در جهت انحنای تندتر ارائه شده است. در شرایط شتاب‌گیری، نسبت 2 به 1 (برای شعاع‌ها)، آنچنان بحرانی نیست و ممکن است از این مقدار هم تجاوز کند.

شعاع (متر)	حداقل طول قوس دایره‌ای (متر)	
	مطلوب	قابل قبول
30	20	12
50	20	15
60	30	20
75	35	25
100	45	30
125	55	35
150 یا بیشتر	60	45

جدول 3-24: طول قوس‌های دایروی برای شعاع قوس‌های مرکب مختلف

جداول یک‌بری طرح

جداول 3-25 تا 3-29، حداقل مقادیر R مربوط به ترکیب‌های مختلف یک‌بری و سرعت‌های طرح را، برای هر یک از پنج مقدار یک‌بری حداکثر (یعنی محدوده کامل شرایط عادی طرح) نشان می‌دهد. به هنگام استفاده از یکی از جداول برای شعاع معین، درون‌یابی لازم نیست زیرا یک‌بری باید براساس شعاعی مساوی با شعاع مندرج در جدول و یا اندکی کمتر از آن تعیین شود. حاصل کار مقداری برای یک‌بری است که به نزدیک‌ترین 0/2های درصد گرد شده است. مثلاً برای قوسی با سرعت طرح 80 کیلومتر در ساعت و حداکثر

یک‌بری 8 درصد و شعاع 570 متر باید از شعاع 549 متر استفاده کرد تا مقدار یک‌بری آن برابر 5/4 درصد به دست آید.

برای محاسبه شعاع مناسب در محدوده مقادیر یک‌بری برای سرعت‌های زیاد از روش 5 در توزیع f و e استفاده شده است. بمنظور حل معادله 3-11 تا 3-24 برای حداقل شعاع از یک برنامه کامپیوتری استفاده شده است که ترکیب‌های مختلف یک‌بری، ضریب اصطکاک، حداکثر یک‌بری، سرعت طرح و سرعت حرکت (معادله 3-14) را در نظر می‌گیرد. حداقل شعاع برای هر یک از 5 مقدار حداکثر یک‌بری را می‌توان (بطوری که در جدول 3-15 نشان داده شده) از روی فرمول ساده شده قوس، با استفاده از مقادیر f (منحنی 3-12)، نیز به دست آورد.

در سرعت‌های کم، برای محاسبه شعاع مناسب در محدوده مقادیر یک‌بری، روش 2 در توزیع f ، e به کار گرفته شده است. در مورد تعیین حداقل شعاع مربوط به معابر کم سرعت با استفاده از روش 2 به جدول 3-16 مراجعه شود.

در کلیه موارد، بجز شرایط دشوار جوی، وسایل نقلیه می‌توانند به نحو ایمن، با سرعت‌های بیش از سرعت طرح، در قوس‌های افقی که یک‌بری به اندازه تعیین شده در جداول دارند، حرکت کنند. این امر به علت بسط رابطه بین شعاع و یک‌بری است که در آن از ضرایب اصطکاکی استفاده می‌شود که معمولاً به میزان قابل توجهی کمتر از میزان قابل دستیابی هستند.

e (%)	$v_d=20$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$v_d=30$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$v_d=40$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$v_d=50$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$v_d=60$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$v_d=70$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$v_d=80$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$v_d=90$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$v_d=100$ کیلومتر در ساعت R (متر)
1/5	163	371	679	951	1310	1740	2170	2640	3250
2/0	102	237	441	632	877	1180	1490	1830	2260
2/2	75	187	363	534	749	1020	1290	1590	1980
2/4	51	132	273	435	626	865	1110	1390	1730
2/6	38	99	209	345	508	720	944	1200	1510
2/8	30	79	167	283	422	605	802	1030	1320
3/0	24	64	137	236	356	516	690	893	1150
3/2	20	54	114	199	303	443	597	779	1010
3/4	17	45	96	170	260	382	518	680	879
3/6	14	38	81	144	222	329	448	591	767
3/8	12	31	67	121	187	278	381	505	658
4/0	8	22	47	86	135	203	280	375	492

نکته: استفاده از $e_{max} = 4\%$ باید به شرایط شهری محدود گردد.

جدول 3-25: شعاع حداقل برای مقادیر یک‌بری طرح، سرعت‌های طرح و $e_{max} = 4\%$

e	$V_d=130$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=120$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=110$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=100$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=90$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=80$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=70$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=60$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=50$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=40$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=30$ کیلومتر در ساعت R (متر)	$V_d=20$ کیلومتر در ساعت R (متر)
%	R (متر)	R (متر)	R (متر)	R (متر)	R (متر)	R (متر)	R (متر)	R (متر)	R (متر)	R (متر)	R (متر)	R (متر)

5240	4770	4060	3510	2880	2360	1910	1440	1050	738	421	194	1/5
3880	3510	2970	2560	2090	1710	1380	1030	750	525	299	138	2/0
3500	3160	2670	2300	1880	1530	1230	919	668	465	265	122	2/2
3190	2870	2420	2080	1700	1380	1110	825	599	415	236	109	2/4
2930	2630	2210	1890	1540	1260	1000	746	540	372	212	97	2/6
2700	2420	2020	1730	1410	1150	910	676	488	334	190	87	2/8
2510	2240	1870	1590	1290	1050	831	615	443	300	170	78	3/0
2330	2080	1730	1470	1190	959	761	561	402	269	152	70	3/2
2180	1940	1600	1360	1100	882	697	511	364	239	133	61	3/4
2050	1810	1490	1260	1020	813	640	465	329	206	113	51	3/6
1930	1700	1390	1170	939	749	586	422	294	177	96	42	3/8
1820	1590	1300	1090	870	690	535	380	261	155	82	36	4/0
1720	1500	1220	1010	806	635	488	343	234	136	72	31	4/2
1630	1410	1140	938	746	584	446	311	210	121	63	27	4/4
1540	1330	1070	873	692	538	408	283	190	108	56	24	4/6
1470	1260	997	812	641	496	374	258	172	97	50	21	4/8
1400	1190	933	755	594	457	343	235	156	88	45	19	5/0
1330	1120	871	701	549	421	315	214	142	79	40	17	5/2
1260	1060	810	648	506	386	287	195	128	71	36	15	5/4
1190	980	747	594	463	351	260	176	115	63	32	13	5/6
1110	900	679	537	416	315	232	156	102	56	28	11	5/8
951	756	560	437	336	252	184	123	79	43	21	8	6/0

جدول 3-26: شعاع حداقل برای مقادیر یک‌بری طرح، سرعت‌های طرح و $e_{\max} = 6\%$

در شکل 3-12، ضرایب اصطکاک مورد استفاده در طرح انواع مختلف معابر و حداکثر ضرایب اصطکاک موجود در رویه‌های خشک و خیس بتنی را مقایسه می‌کند، نشان داده شده است.

تندترین قوس بدون یک‌بری

حداقل شعاع‌های نظیر مقدار متوسط شیب عرضی 1/5 درصد، برای هر یک از سرعت‌های طرح و میزان حداکثر یک‌بری در سطر بالای جداول 3-25 تا 3-29 درج شده است. این مقادیر حداقل، مستلزم یک‌بری مساوی با شیب عرضی معمولی است بنابراین حد انحنای همراه با شیب عرضی معمولی را تعیین می‌کند. قوس‌های تندتر نباید دارای شیب عرضی معکوس باشند و یک‌بری آنها را باید براساس جداول 3-25 تا 3-29 منظور نمود.

در مورد قوس‌های افقی دارای شعاع‌هایی که طبق جداول 3-25 تا 3-29، یک‌بری 1/5 و 2/5 درصد احتیاج دارند، می‌توان از طریق حفظ نیمرخ عرضی عادی سواره‌رو و چرخاندن آن حول محور یا لبه سواره‌رو، به تنظیم عملی یک‌بری، دست یافت. با این تمهید، تغییر شابلون روسازی ضرورت نمی‌یابد. حذف یک‌بری معکوس، منجر به شیب عرضی تندتر به سمت لبه پایینی سواره‌رو می‌گردد که می‌تواند برای تخلیه آب،



مطلوب باشد. اما استفاده از این روش برای جریان ترافیک سمت بالاتر سواره‌رو، به اندازه وضعیتی که در آن نیمرخ عرضی عادی در تمام عرض به سطح مستوی تبدیل می‌گردد، مطلوب نیست. قوس‌های تندی که به یک‌بری بیش از $2/5$ درصد نیاز دارند، باید از شیب یکنواخت در تمام عرض سواره‌رو استفاده کرد.



e	$V_d=20$ کیلومتر در ساعت	$V_d=30$ کیلومتر در ساعت	$V_d=40$ کیلومتر در ساعت	$V_d=50$ کیلومتر در ساعت	$V_d=60$ کیلومتر در ساعت	$V_d=70$ کیلومتر در ساعت	$V_d=80$ کیلومتر در ساعت	$V_d=90$ کیلومتر در ساعت	$V_d=100$ کیلومتر در ساعت	$V_d=110$ کیلومتر در ساعت	$V_d=120$ کیلومتر در ساعت	$V_d=130$ کیلومتر در ساعت
(%)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)
1.5	184	443	784	1090	1490	1970	2440	2970	3630	4180	4900	5360
2.0	133	322	571	791	1090	1450	1790	2190	2680	3090	3640	4000
2.2	119	288	512	711	976	1300	1620	1980	2420	2790	3290	3620
2.4	107	261	463	644	885	1190	1470	1800	2200	2550	3010	3310
2.6	97	237	421	587	808	1080	1350	1650	2020	2340	2760	3050
2.8	88	216	385	539	742	992	1240	1520	1860	2160	2550	2830
3.0	81	199	354	496	684	916	1150	1410	1730	2000	2370	2630
3.2	74	183	326	458	633	849	1060	1310	1610	1870	2220	2460
3.4	68	169	302	425	588	790	988	1220	1500	1740	2080	2310
3.6	62	156	279	395	548	738	924	1140	1410	1640	1950	2118
3.8	57	144	259	368	512	690	866	1070	1320	1540	1840	2060
4.0	52	134	241	344	479	648	813	1010	1240	1450	1740	1950
4.2	48	124	224	321	449	608	766	948	1180	1380	1650	1850
4.4	43	115	208	301	421	573	722	895	1110	1300	1570	1760
4.6	38	106	192	281	395	540	682	847	1050	1240	1490	1680
4.8	33	96	178	263	371	509	645	803	996	1180	1420	1610
5.0	30	87	163	246	349	480	611	762	947	1120	1360	1540
5.2	27	78	148	229	328	454	579	724	901	1070	1300	1480
5.4	24	71	136	213	307	429	549	689	859	1020	1260	1420
5.6	22	65	125	198	288	405	521	656	819	975	1200	1360
5.8	20	59	115	185	270	382	494	625	781	933	1150	1310
6.0	19	55	106	172	253	360	469	595	746	894	1100	1260
6.2	17	50	98	161	238	340	445	567	713	857	1060	1220
6.4	16	46	91	151	224	322	422	540	681	823	1020	1180
6.6	15	43	85	141	210	304	400	514	651	789	982	1140
6.8	14	40	79	132	198	287	379	489	620	757	948	1100
7.0	13	37	73	123	185	270	358	464	591	724	914	1070
7.2	12	34	68	115	174	254	338	440	561	691	879	1040
7.4	11	31	62	107	162	237	318	415	531	657	842	998
7.6	10	29	57	99	150	221	296	389	499	621	803	962
7.8	9	26	52	90	137	202	273	359	462	579	757	919
8.0	7	20	41	73	113	168	229	304	394	501	667	832

جدول 3-27: شعاع حداقل برای مقادیر یک‌بری طرح، سرعت‌های طرح و $e_{\max}=8\%$



e	$V_d=20$ کیلومتر در ساعت	$V_d=30$ کیلومتر در ساعت	$V_d=40$ کیلومتر در ساعت	$V_d=50$ کیلومتر در ساعت	$V_d=60$ کیلومتر در ساعت	$V_d=70$ کیلومتر در ساعت	$V_d=80$ کیلومتر در ساعت	$V_d=90$ کیلومتر در ساعت	$V_d=100$ کیلومتر در ساعت	$V_d=110$ کیلومتر در ساعت	$V_d=120$ کیلومتر در ساعت	$V_d=130$ کیلومتر در ساعت
(%)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)	R(متر)
1.5	197	454	790	1110	1520	2000	2480	3010	3690	4250	4960	5470
2.0	145	333	580	815	1120	1480	1840	2230	2740	3160	3700	4050
2.2	130	300	522	735	1020	1340	1660	2020	2480	2860	3360	3680
2.4	118	272	474	669	920	1220	1520	1840	2260	2620	3070	3370
2.6	108	249	434	612	844	1120	1390	1700	2080	2410	2830	3110
2.8	99	229	399	564	778	1030	1290	1570	1920	2230	2620	2880
3.0	91	211	368	522	720	952	1190	1460	1790	2070	2440	2690
3.2	85	196	342	485	670	887	1110	1360	1670	1940	2280	2520
3.4	79	182	318	453	626	829	1040	1270	1560	1820	2140	2370
3.6	73	170	297	424	586	777	974	1200	1470	1710	2020	2230
3.8	68	159	278	398	551	731	917	1130	1390	1610	1910	2120
4.0	64	149	261	374	519	690	866	1060	1310	1530	1810	2010
4.2	60	140	245	353	490	652	820	1010	1240	1450	1720	1910
4.4	56	132	231	333	464	617	777	953	1180	1380	1640	1820
4.6	53	124	218	315	439	586	738	907	1120	1310	1560	1740
4.8	50	117	206	299	417	557	703	864	1070	1250	1490	1670
5.0	47	111	194	283	396	530	670	824	1020	1200	1430	1600
5.2	44	104	184	269	377	505	640	788	975	1150	1370	1540
5.4	41	98	174	256	359	482	611	754	934	1100	1320	1480
5.6	39	93	164	243	343	461	585	723	896	1060	1270	1420
5.8	36	88	155	232	327	441	561	693	860	1020	1220	1370
6.0	33	82	146	221	312	422	538	666	827	976	1180	1330
6.2	31	77	138	210	298	404	516	640	795	941	1140	1280
6.4	28	72	130	200	285	387	496	616	766	907	1100	1240
6.6	26	67	121	191	273	372	476	593	738	876	1060	1200
6.8	24	62	114	181	261	357	458	571	712	846	1030	1170
7.0	22	58	107	172	249	342	441	551	688	819	993	1130
7.2	21	55	101	164	238	329	425	532	664	792	963	1100
7.4	20	51	95	156	228	315	409	513	642	767	934	1070
7.6	18	48	90	148	218	303	394	496	621	743	907	1040
7.8	17	45	85	141	208	291	380	479	601	721	882	1010
8.0	16	43	80	135	199	279	366	463	582	699	857	981
8.2	15	40	76	128	190	268	353	448	564	679	834	956
8.4	14	38	72	122	182	257	339	432	546	660	812	932
8.6	14	36	68	116	174	246	326	417	528	641	790	910
8.8	13	34	64	110	166	236	313	402	509	621	770	888
9.0	12	32	61	105	158	225	300	386	491	602	751	867
9.2	11	30	57	99	150	215	287	371	472	582	731	847
9.4	11	28	54	94	142	204	274	354	453	560	709	828
9.6	10	26	50	88	133	192	259	337	432	537	685	809
9.8	9	24	46	81	124	179	242	316	407	509	656	786
10.0	7	19	38	68	105	154	210	277	358	454	597	739

جدول 3-28: شعاع حداقل برای مقادیر یکبری طرح، سرعت‌های طرح و $e_{\max}=10\%$



e	$V_d=20$	$V_d=30$	$V_d=40$	$V_d=50$	$V_d=60$	$V_d=70$	$V_d=80$	$V_d=90$	$V_d=100$	$V_d=110$	$V_d=120$	$V_d=130$
(%)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)	کیلومتر در ساعت R(متر)
1/5	210	459	804	1130	1540	2030	2510	3040	3720	4280	4990	5440
2/0	155	338	594	835	1150	1510	1870	2270	2770	3190	3740	4080
2/2	139	306	536	755	1040	1360	1690	2050	2510	2900	3390	3710
2/4	127	278	488	688	942	1250	1550	1880	2300	2650	3110	3400
2/6	116	255	448	631	865	1140	1420	1730	2110	2440	2860	3140
2/8	107	235	413	583	799	1060	1320	1600	1960	2260	2660	2910
3/0	99	218	382	541	742	980	1220	1490	1820	2110	2480	2720
3/2	92	202	356	504	692	914	1140	1390	1700	1970	2320	2550
3/4	86	189	332	472	648	856	1070	1300	1600	1850	2180	2400
3/6	81	177	312	443	609	805	1010	1230	1510	1750	2060	2270
3/8	76	166	293	417	573	759	947	1160	1420	1650	1950	2150
4/0	71	157	276	393	542	718	896	1100	1350	1560	1850	2040
4/2	67	148	261	372	513	680	850	1040	1280	1490	1760	1940
4/4	64	140	247	353	487	646	808	988	1220	1420	1680	1850
4/6	60	132	234	335	463	615	770	941	1160	1350	1600	1770
4/8	57	126	223	319	441	586	734	899	1100	1290	1530	1700
5/0	54	119	211	304	421	560	703	860	1060	1240	1470	1630
5/2	52	114	201	290	402	535	672	824	1020	1190	1410	1570
5/4	49	108	192	277	384	513	644	790	973	1140	1360	1510
5/6	47	103	183	265	368	492	618	759	936	1100	1320	1460
5/8	45	98	175	254	353	472	594	730	900	1060	1260	1410
6/0	43	94	167	244	339	454	572	703	867	1020	1220	1360
6/2	41	90	159	234	326	436	551	678	837	981	1180	1310
6/4	39	86	153	225	313	420	531	654	808	948	1140	1270
6/6	37	82	146	216	302	405	512	632	781	917	1100	1230
6/8	35	78	140	208	290	391	494	611	755	888	1070	1200
7/0	34	75	134	200	280	377	478	591	731	860	1040	1160
7/2	32	71	128	192	270	364	462	572	708	834	1010	1130
7/4	30	68	122	185	260	352	447	554	686	810	974	1100
7/6	29	65	117	178	251	340	433	537	666	786	947	1070
7/8	27	61	112	172	243	329	420	521	646	764	921	1040
8/0	26	58	107	165	235	319	407	506	628	743	897	1020
8/2	24	55	102	159	227	309	395	491	610	723	874	999
8/4	23	52	97	154	219	299	383	477	593	704	852	965
8/6	22	50	93	148	212	290	372	464	577	686	831	942
8/8	20	47	88	142	205	281	361	451	562	668	811	921
9/0	19	45	85	137	198	273	351	439	547	652	792	900
9/2	18	43	81	132	191	264	341	428	533	636	774	880
9/4	18	41	77	127	185	256	332	416	520	621	756	861
9/6	17	39	74	123	179	249	323	406	507	606	739	843
9/8	16	37	71	118	173	241	314	395	494	597	723	826
10/0	15	36	68	114	167	234	305	385	482	579	708	809
10/2	14	34	65	110	161	226	296	375	471	566	693	793
10/4	14	33	62	105	155	219	288	365	459	553	679	778
10/6	13	31	59	101	150	212	279	355	448	541	665	763
10/8	12	30	57	97	144	204	270	345	436	529	652	749
11/0	12	28	54	93	139	197	261	335	423	516	639	735
11/2	11	27	51	89	133	189	252	324	411	503	626	721
11/4	11	25	49	85	127	182	242	312	397	488	613	709
11/6	10	24	46	80	120	173	232	300	382	472	598	697
11/8	9	22	43	75	113	163	219	285	364	453	579	685
12/0	7	18	36	64	98	143	194	255	328	414	540	665

جدول 3-29: شعاع حداقل برای مقادیر یکبرای طرح، سرعت‌های طرح و $e_{\max}=12\%$

ضوابط طرح اتصال تدریجی

نکات کلی

طرح قطعات اتصال تدریجی شامل منظور نمودن تبدیل تدریجی شیب عرضی سواره‌رو و در نظر گرفتن منحنی‌های اتصال تدریجی است که اولی تأمین تدریجی یک‌بری و دومی اتصال تدریجی مسیر افقی نامیده می‌شود. وقتی از هر دو جزء استفاده شود، یک‌بری و اتصال مسیر افقی، به قوس دایره، بصورت تدریجی در طول قطعه مشترکی از راه از نقطه شروع قوس اتصال تدریجی تا پایان آن تأمین می‌شود.

قطعه تأمین یک‌بری شامل بخش استقرار یک‌بری و بخش حذف شیب عرضی مخالف (در نیمرخ‌های عرضی عادی دو طرفه) است. بخش استقرار یک‌بری، شامل طولی از جاده است که برای تغییر شیب عرضی خط عبور خارجی از صفر (حالت افقی) به یک‌بری کامل و یا بالعکس لازم است. بخش حذف شیب عرضی مخالف، شامل طولی از جاده است که (در نیمرخ‌های عرضی دو طرفه) برای تغییر شیب عرضی خط عبور خارجی از شیب عرضی عادی به صفر (حالت افقی) یا بالعکس مورد نیاز است. به دلایل ایمنی و راحتی، چرخش رویه در قطعه تأمین یک‌بری باید در طول کافی انجام شود که برای رانندگان محسوس نباشد. به لحاظ زیبایی، لبه‌های روسازی نباید برای رانندگان بصورت خمیده و کج شده به نظر آید.

در قطعه اتصال تدریجی مسیر افقی، می‌توان از منحنی حلزونی یا منحنی دایره‌ای مرکب برای پیوند قوس دایره اصلی به طور طبیعی (یعنی به نحوی که با مسیر حرکت راننده سازگار باشد) استفاده کرد. این چنین انحنا تدریجی شامل یک یا چند قوس متوالی، برای تأمین تغییر تدریجی در شعاع مسیر است. در نتیجه مسیر اتصال تدریجی، شتاب جانبی مربوط به قوس را با آهنگی ملایم پدیدار می‌کند. با آنکه چنین تغییر تدریجی در مسیر حرکت و شتاب جانبی مطلوب به نظر می‌رسد ولی شواهد قطعی مبنی بر آنکه که قوس اتصال تدریجی برای حصول جریان عبور ایمن ضروری باشد وجود ندارد و در نتیجه بسیاری از نهادهای آن را به کار نمی‌برند.

وقتی از قوس اتصال استفاده نمی‌شود مسیر مستقیم بدون واسطه به قوس دایره‌ای اصلی متصل می‌گردد. این نوع طرح اتصال از این پس به عنوان اتصال «مستقیم به منحنی» نامیده خواهد شد.

برخی نهادهای قوس‌های حلزونی را به کار می‌برند و از طول آنها برای تأمین تدریجی یک‌بری استفاده می‌کنند. قوس حلزونی، به مسیر گردش طبیعی وسیله نقلیه نزدیک است. براساس دیدگاه یک نهاد طول قوس حلزونی باید مبتنی بر مدت زمان مانور حداقل 4 ثانیه‌ای در سرعت طرح راه باشد. نهادهای دیگر از قوس‌های حلزونی استفاده نمی‌کنند اما بطور تجربی نسبتی از طول مسیر مستقیم و قوس دایره را برای این منظور، به کار می‌گیرند، در هر دو حالت طولی از راه که برای استقرار تدریجی یک‌بری معین برای شعاع انحنا معین لازم است، باید یکسان باشد.

بررسی تجارت فعلی نشان می‌دهد که بخش استقرار یک‌بری تا اندازه زیادی تابع شکل ظاهری آن است. طول‌های این بخش که به نحو دیگر تعیین می‌گردد، اغلب کم‌تر از مقداری است که بر اساس شکل ظاهری به دست می‌آید، در حقیقت طول کوتاه‌تری که، برای حلزونی، به کمک روش نظری بدست می‌آید جایگزین طول بیشتر مبتنی بر تجربه می‌شود.

چندین نهاد یک یا چند ضابطه طول استقرار یک‌بری در محدوده 30 تا 200 متری تعیین کرده‌اند اما هیچ اساس تجربی پذیرفته شده جهانی که تمام عرض‌های محتمل سواره‌رو در آن لحاظ شده باشد، برای تعیین

طول استقرار یک‌بری وجود ندارد. در یک رابطه تجربی که کاربرد گسترده‌ای دارد، طول استقرار یک‌بری بصورت تابعی از شیب لبه خارجی سواره‌رو نسبت به نیمرخ محور راه، بیان می‌شود.

اتصال تدریجی مسیر مستقیم به منحنی

حداقل طول استقرار یک‌بری : برای زیبایی و راحتی، طول استقرار یک‌بری باید مبتنی بر حداکثر تفاوت قابل قبول بین شیب‌های طولی محور چرخش و لبه روسازی باشد. محور چرخش در راه‌های مجزا، عموماً محور راه است هر چند از محورهای دیگر رویه نیز می‌توان استفاده کرد. درباره این محورها، بعداً در همین فصل، تحت عنوان « روش‌های تأمین یک‌بری » بحث خواهد شد.

روال جاری، محدود نمودن اختلاف شیب (که شیب نسبی نامیده خواهد شد) به مقدار حداکثر 0/5 درصد یا شیب طولی 1:200 در سرعت 80 کیلومتر در ساعت است. در یک منبع [23]، شیب 1:200 برای سرعت طرح 80 کیلومتر در ساعت و بیشتر به کار رفته است. وقتی که سرعت طرح کمتر از 80 کیلومتر در ساعت باشد از شیب‌های نسبی بزرگتر استفاده می‌شود. برای منعکس کردن اهمیت سرعت طرح بالاتر و هماهنگ نمودن آن با اجزاء قوس افقی و قائم بازتر برون‌یابی شیب‌های نسبی برای سرعت‌های طرح بالاتر، منطقی به نظر می‌رسد.

حداکثر شیب نسبی برای طول‌های استقرار یک‌بری بیشتر در سرعت‌های بالاتر و طول‌های استقرار کوتاه‌تر در سرعت‌های پایین‌تر برحسب سرعت طرح تغییر می‌کند. تجربه نشان می‌دهد که شیب‌های نسبی 0/8 و 0/35 درصد، طول استقرار یک‌بری قابل قبولی را به ترتیب برای سرعت‌های طرح 20 و 130 (کیلومتر در ساعت)، فراهم می‌کند.

از درون‌یابی بین این مقادیر، شیب‌های نسبی حداکثر ذکر شده در جدول 3-30 به دست می‌آید. حداکثر شیب نسبی بین نیمرخ‌های لبه‌های سواره‌رو دو خطه باید دو برابر مقادیر داده شده در جدول باشد. طول استقرار یک‌بری بدست آمده بر این اساس، با یک‌بری کل که حاصل ضرب عرض خط و مقدار یک‌بری است نسبت مستقیم دارد.

ویرایش‌های قبلی این رساله پیشنهاد کرده است که طول استقرار باید حداقل برابر با مسافت طی شده در 2 ثانیه با سرعت طرح باشد. این معیار، گرایش به تعیین طول استقرار یک‌بری قوس‌های دارای یک‌بری کم، سرعت بالا و یا هر دوی آنها دارد. تجربه معیار 2 ثانیه نشان می‌دهد که اصلاح ظاهر منجر به افزایش مشکلات مرتبط با تخلیه آب رویه در قطعه اتصالی خواهد شد. در حقیقت باید توجه داشت که برخی نهادها از این ضابطه استفاده نمی‌کنند. با توجه به این دلایل نتیجه می‌شود که طول استقرار طرح مبتنی بر راحتی و زیبایی فقط با استفاده از معیار شیب نسبی قابل دستیابی است.

شیب نسبی حداکثر معادل	شیب نسبی حداکثر (%)	سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)
1:125	0/80	20
1:133	0/75	30
1:143	0/70	40
1:154	0/65	50
1:167	0/60	60

70	0/55	1:182
80	0/50	1:200
90	0/47	1:213
100	0/44	1:227
110	0/41	1:244
120	0/38	1:263
130	0/35	1:286

جدول 3-30: شیب نسبی حداکثر

براساس بحث قبلی حداقل طول استقرار بصورت زیر تعیین می‌شود:

$$L_2 = \frac{(wn_1)e_d}{\Delta} (b_w) \quad (3-25)$$

L_2 = حداقل طول استقرار یک‌بري (متر)
 Δ = شیب نسبی حداکثر (%)
 n_1 = تعداد خطوط دوران یافته
 b_w = ضریب اصلاح برای تعداد خطوط دوران یافته
 W = عرض یک خط عبور، متر
 (معمولاً ۳/۶ متر)
 e_d = میزان یک‌بري، طرح (%)

معادله 3-25 را می‌توان مستقیماً برای خیابان‌ها و بزرگراه‌های غیر مجزا به کار برد که در آن نیمرخ عرضی حول محور چرخانده می‌شود و n_1 برابر نصف تعداد خطوط نیمرخ عرضی است. در حالت کلی‌تر، معادله (3-25) برای دوران حول هر خط مبنای رویه صادق است به شرطی که عرض دوران یافته (wn_1) یک‌بري یکسانی داشته و مثل یک صفحه دوران داده شود.

با کاربرد دقیق معیار شیب نسبی حداکثر، طول‌های استقرار یک‌بري برای راه‌های غیر مجزای چهار خطه به میزان دو برابر راه‌های دو خطه و برای راه‌های غیر مجزای شش خطه، به میزان 3 برابر آن حاصل می‌شود. علیرغم آنکه طول‌هایی با این مقدار، ممکن است مطلوب به نظر برسد، اغلب تأمین چنین طول‌هایی در طرح، عملی نیست. بطور صرفاً تجربی پیشنهاد می‌شود که حداقل طول‌های استقرار یک‌بري، به منظور اجتناب از طول‌های خیلی زیاد برای راه‌های چندخطه، با ضرایب کاهش تعدیل شوند. نحوه دوران و ضرایب تعدیل پیشنهادی در جدول 3-31 ذکر شده و در شکل مربوط، نشان داده شده است.

ضرایب تعدیل فهرست شده در جدول 3-31 مستقیماً برای خیابان‌ها و راه‌های غیر مجزا قابل استفاده است. استقرار یک‌بري برای راه‌های مجزا با جزئیات بیشتر در بخش بعدی با عنوان «محور چرخش با یک میانه» مورد بحث قرار می‌گیرد. مسأله استقرار یک‌بري برای طرح راه‌های گردشی در تقاطع‌ها و تبادل‌ها به ترتیب در فصل‌های 9 و 10 آورده شده است.

حداقل طول متعارف استقرار یک‌بري در جدول 3-32 ارائه شده است. طول‌های ارائه شده بیانگر حالاتی است که یک یا دو خط عبور حول یک محور رویه چرخیده است. اولی مربوط به راه‌های دو خطه است که



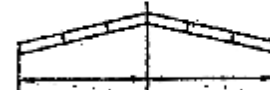
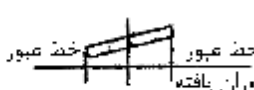

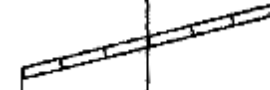
رویه حول محور دوران می‌یابد یا رابط‌های یک خطه تبادل‌ها که چرخش رویه حول لبه خط عبور است. حالت بعدی مربوط به راه چند خطه غیر مجزا است که در آن هر جهت جداگانه حول یک محور لبه چرخیده است. صرفنظر کردن از معیار زمان حرکت 2 ثانیه‌ای فوق‌الذکر منجر به طول‌های استقرار یک‌بری کوتاه‌تر برای میزان یک‌بری کوچک‌تر و سرعت‌های بالاتر می‌شود. هرچند حتی کوتاه‌ترین طول‌های استقرار یک‌بری (نظیر یک‌بری 2 درصد) با زمان حرکت 0/6 ثانیه تطبیق می‌کند که برای تأمین نیم‌رخ هموار لبه رویه (لبه سواره رو) کافی است.

برای مسیرهای درجه یک ممکن است طول‌های استقرار یک‌بری بالاتر از مقادیر نشان داده شده در جدول 3-32، مطلوب باشد. در این مورد ممکن است نیازهای تخلیه آب یا تمایل به همواری نیم‌رخ‌های لبه سواره رو افزایشی کوچک در طول استقرار یک‌بری را طلب کند.

طول‌های استقرار یک‌بری ارائه شده در جدول 3-32 براساس عرض خطوط 3/6 متر است. برای سایر عرض‌ها، طول مناسب استقرار یک‌بری بایستی به نسبت عرض واقعی خط به 3/6 متر تغییر کند. برای طرح‌های با عرض خطوط 3/0 و 3/3 متر می‌توان طول‌های کمتری بکار برد اما نکات مربوط به یکنواختی و قابلیت اجرا ایجاب می‌کند که در تمام موارد، از طول‌های استقرار یک‌بری مربوط به خطوط عبور 3/6 متر استفاده شود.

تعداد خطوط دوران یافته n_l	ضریب تعدیل $b_w^{(1)}$	افزایش طول نسبت به دوران یک خط $(=n_l b_w)$
1	1/00	1/0
1/5	0/83	1/25
2	0/75	1/5
2/5	0/70	1/75
3	0/67	2/0
3/5	0/64	2/25

$$b_w = [1 + 0.5(n_1 - 1)] / n_1 \quad \text{تبصره: (1)}$$

یک خط دوران یافته	دو خط دوران یافته	سه خط دوران یافته
		
نیمرخ عادی	نیمرخ عادی	نیمرخ عادی
		
دوران یافته	دوران یافته	دوران یافته
نیمرخ دوران یافته	نیمرخ دوران یافته	نیمرخ دوران یافته

جدول و شکل 3-31- ضریب تعدیل تعداد خطوط دوران یافته

حداقل طول حذف « شیب عرضی مخالف »: طول حذف شیب عرضی مخالف بوسیله مقدار آن شیب و آهنگ حذف، تعیین می‌شود. برای تأمین نیمرخ هموار لبه رویه، آهنگ حذف باید با شیب نسبی مورد استفاده برای مشخص کردن طول استقرار یک‌بری، برابر باشد. براساس این استدلال، معادله زیر باید برای محاسبه حداقل طول حذف شیب عرضی مخالف مورد استفاده قرار گیرد.

$$L_t = \frac{e_{NC}}{e_d} L_r \quad (26-3)$$

در آن:

- L_t = حداقل طول حذف شیب عرضی مخالف (متر)
- e_{NC} = مقدار شیب عرضی عادی (%)
- e_d = میزان یک‌بری طرح (%)
- L_r = حداقل طول استقرار یک‌بری (متر)

طول‌های حذف شیب عرضی مخالف تعیین شده از معادله 3-26 در ردیف مربوط به $e=2\%$ جدول 3-32 آمده است.

موقعیت نسبت به دو سر قوس دایره: در طرح اتصال مسیر مستقیم به قوس، موقعیت طول استقرار یک‌بری باید نسبت به نقطه شروع قوس تعیین گردد. عملکرد متداول، تقسیم طول استقرار یک‌بری بین قطعات مستقیم و قوس و اجتناب از قرار دادن همه طول استقرار یک‌بری، روی خط مستقیم یا قوس است. با رسیدن به کل یک‌بری، در نقطه شروع قوس، تأمین یک‌بری کلاً روی بخش مستقیم، که بطور نظری یک‌بری لازم ندارد، انجام می‌شود. در سوی دیگر، قراردادن طول استقرار یک‌بری بصورت کامل روی منحنی



دایره‌ای باعث می‌شود که در قسمت ابتدایی قوس مقدار یک‌بری کمتر از مقدار مطلوب باشد. هر دو حالت، شتاب جانبی بزرگی را ایجاد خواهد بود.



e(%)	کیلومتر در ساعت $v_d=20$		کیلومتر در ساعت $v_d=30$		کیلومتر در ساعت $v_d=40$		کیلومتر در ساعت $v_d=50$		کیلومتر در ساعت $v_d=60$		کیلومتر در ساعت $v_d=70$		کیلومتر در ساعت $v_d=80$		کیلومتر در ساعت $v_d=90$		کیلومتر در ساعت $v_d=100$		کیلومتر در ساعت $v_d=110$		کیلومتر در ساعت $v_d=120$		کیلومتر در ساعت $v_d=130$		
	تعداد خطوط در گردش توجه شود که یک خط در گردش نشانگر راه دو خطه است و دو خط گردش نشانگر راه چهار خطه است (به شکل 3-31 مراجعه شود)																								
	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)	L _r (متر)
1/5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2/0	9	14	10	14	10	15	11	17	12	18	13	20	14	22	16	24	17	25	18	26	19	28	21	31	23
2/2	10	15	11	16	11	17	12	18	13	20	14	22	16	24	17	26	18	28	20	29	21	31	23	34	25
2/4	11	16	12	17	12	19	13	20	14	22	16	24	17	26	18	28	20	29	21	32	23	34	25	37	27
2/6	12	18	12	19	13	20	14	22	16	23	17	26	19	28	20	30	21	32	23	34	25	37	27	40	29
2/8	13	19	13	20	14	22	16	23	17	25	18	27	20	30	21	32	23	34	25	37	27	40	29	43	31
3/0	14	20	14	22	15	23	17	25	18	27	20	29	22	32	23	34	25	37	26	40	28	43	31	46	33
3/2	14	22	15	23	16	25	18	27	19	29	21	31	23	35	25	37	26	39	28	42	30	45	33	49	35
3/4	15	23	16	24	17	26	19	28	20	31	22	33	24	37	26	39	28	42	30	45	32	48	35	52	37
3/6	16	24	17	26	19	28	20	30	22	32	24	35	26	39	28	41	29	44	31	47	33	54	37	56	39
3/8	17	26	18	27	20	29	21	32	23	34	25	37	27	41	29	44	31	47	33	50	36	54	39	59	41
4/0	18	27	19	29	21	31	22	33	24	36	26	39	29	43	31	46	33	49	35	53	38	57	41	62	43
4/2	19	28	20	30	22	32	23	35	25	38	27	41	30	45	32	48	34	52	37	55	40	60	43	65	45
4/4	20	30	21	32	23	34	24	37	26	40	29	43	32	48	34	51	36	54	39	58	42	63	45	68	47
4/6	21	31	22	33	24	35	25	38	28	41	30	45	33	50	35	53	38	56	40	61	44	65	47	71	49
4/8	22	32	23	35	25	37	27	40	29	43	31	47	35	52	37	55	39	59	42	63	45	68	49	74	51
5/	23	34	24	36	26	39	28	42	30	45	33	49	36	54	38	57	41	61	44	66	47	71	51	77	53
5/2	23	35	25	37	27	40	29	43	31	47	34	51	37	56	40	60	43	64	46	68	49	74	53	80	55
5/4	24	36	26	39	28	42	30	45	32	49	35	53	39	58	41	62	44	66	47	71	51	77	56	83	57
5/6	25	38	27	40	29	43	31	47	34	50	37	55	40	60	43	64	46	69	49	74	53	80	58	86	59
5/8	26	39	28	42	30	45	32	48	35	52	38	57	42	63	44	67	47	71	51	76	55	82	60	89	61
6/0	27	41	29	43	31	46	33	50	36	54	39	59	43	65	46	69	49	74	53	79	57	85	62	93	63
6/2	28	42	30	45	32	48	34	52	37	56	41	61	45	67	47	71	51	76	54	82	59	88	64	96	65
6/4	29	43	31	46	33	49	35	53	38	58	42	63	46	69	49	74	52	79	56	84	61	91	66	99	67
6/6	30	45	32	48	34	51	37	55	40	59	43	65	48	71	51	76	54	81	58	87	63	94	68	102	69
6/8	31	46	33	49	35	52	38	56	41	61	45	67	49	73	52	78	56	83	60	90	64	97	70	105	71
7/0	31	47	34	50	36	54	39	58	42	63	46	69	50	76	54	80	57	86	61	92	66	99	72	108	73
7/2	32	49	35	52	37	56	40	60	43	65	47	71	52	78	55	83	59	88	63	95	68	102	74	111	75
7/4	33	50	36	53	38	57	41	61	44	67	48	73	53	80	57	85	61	91	65	97	70	105	76	114	77
7/6	34	51	36	55	39	59	42	63	46	68	50	75	55	82	58	87	62	93	67	100	72	108	78	117	79
7/8	35	53	37	56	40	60	43	65	47	70	51	77	56	84	60	90	64	96	68	103	74	111	80	120	81
8/0	36	54	38	58	41	62	44	66	48	72	52	79	58	86	61	92	65	98	70	105	76	114	82	123	83
8/2	37	55	39	59	42	63	45	68	49	74	54	81	59	89	63	94	67	101	72	108	78	117	84	127	85
8/4	38	57	40	60	43	65	47	70	50	76	55	82	60	91	64	97	69	103	74	111	80	119	86	130	87
8/6	39	58	41	62	44	66	48	71	52	77	56	84	62	93	66	99	70	106	76	113	81	122	88	133	89
8/8	40	59	42	63	45	68	49	73	53	79	58	86	63	95	67	101	72	108	77	116	83	125	91	136	91
9/0	40	61	43	65	46	69	50	75	54	81	59	88	65	97	69	103	74	110	79	119	85	128	93	139	93
9/2	41	62	44	66	47	71	51	76	55	83	60	90	66	99	70	10	75	113	81	121	87	131	95	142	95
9/4	42	63	45	68	48	73	52	78	56	85	62	92	68	102	72	108	77	115	83	124	89	134	97	145	97
9/6	43	65	46	69	49	74	53	80	58	86	63	94	69	104	74	110	79	118	84	126	91	136	99	148	99
9/8	44	66	47	71	50	76	54	81	59	88	64	96	71	106	75	113	80	120	86	129	93	139	101	151	101
10/0	45	68	48	72	51	77	55	83	60	90	65	98	72	108	77	115	82	123	88	132	95	142	103	154	103
10/2	46	69	49	73	52	79	56	85	61	92	67	100	73	110	78	117	83	125	90	134	97	145	105	157	105
10/4	47	70	50	75	53	80	58	86	62	94	68	102	75	112	80	119	85	128	91	137	99	148	107	160	107
10/6	48	72	51	76	55	82	59	88	64	95	69	104	76	114	81	122	87	130	93	140	100	151	109	164	109
10/8	49	73	52	78	56	83	60	90	65	97	71	106	78	117	83	124	88	133	95	142	102	153	111	167	111
11/0	50	74	53	79	57	85	61	91	66	99	72	108	79	119	84	12	90	135	97	145	104	156	113	170	113
11/2	50	76	54	81	58	86	62	93	67	101	73	110	81	121	86	129	92	137	98	148	106	159	115	173	115
11/4	51	77	55	82	59	88	63	95	68	103	75	112	82	123	87	131	93	140	100	150	108	162	117	176	117
11/6	52	78	56	84	60	89	64	96	70	104	76	114	84	125	89	133	95	142	102	153	110	165	119	179	119
11/8	53	80	57	85	61	91	65	98	71	106	77	116	85	127	90	13	97	145	104	155	112	168	121	182	121
12/0	54	81	58	86	62	93	66	100	72	108	79	118	86	130	92	138	98	147	105	158	114	171	123	185	123

جدول 3-32: طول استقرار یک بری L_r (متر) برای فوس های افقی

تجربه نشان می‌دهد که قراردادن بخشی از طول استقرار یک‌بری روی قسمت مستقیم قبل از نقطه شروع قوس (PC) بهتر است، زیرا این امر منجر به حداقل شدن شتاب جانبی اوج و تقاضای اصطکاک جانبی حاصل از آن خواهد شد. میزان تقاضای اصطکاک جانبی که هنگام حرکت، در طول استقرار یک‌بری تحمل می‌شود، می‌تواند برحسب مسیر واقعی حرکت وسیله نقلیه تغییر کند. مشاهدات نشان می‌دهد که رفتار طبیعی حرکت راننده هنگام ورود به قوس یا خروج از آن منجر به حرکت در مسیر حلزونی می‌شود. این مسیر حلزونی طبیعی معمولاً از قسمت مستقیم آغاز می‌شود و بعد از نقطه شروع قوس دایروی پایان می‌یابد. اغلب شواهد نشان می‌دهد که طول این حلزونی طبیعی در محدوده زمان حرکت 2 تا 4 ثانیه است. هرچند که طول آن ممکن است تحت تأثیر عرض خط و حضور سایر وسایل نقلیه نیز قرار بگیرد.

بر اساس بحث قبلی قرار دادن بخشی از طول استقرار یک‌بری در قسمت مستقیم با مسیر حلزونی طبیعی که توسط راننده در موقع ورود به قوس پیموده می‌شود همخوانی دارد. به این ترتیب اعمال تدریجی یک‌بری، قبل از رسیدن به قوس دایره‌ای، افزایش تدریجی شتاب جانبی ناشی از مسیر حلزونی را جبران خواهد نمود. در نتیجه، شتاب جانبی اوج تحمل شده در نقطه شروع قوس بطور نظری برابر با 50 درصد شتاب جانبی مربوط به قوس دایره‌ای خواهد بود.

برای رسیدن به این تعادل در شتاب جانبی اغلب نهادها بخشی از طول استقرار یک‌بری را در قسمت مستقیم قبل از قوس قرار می‌دهند. نسبت طول استقرار یک‌بری در قسمت مستقیم از 0/6 تا 0/8 (60 تا 80 درصد) تغییر می‌کند، بطوریکه اغلب نهادها از مقدار 0/67 (67 درصد) استفاده می‌کنند. بیشتر نهادها از یک مقدار مشخص برای این نسبت بطور یکنواخت برای قوس‌های تمام راه‌ها و خیابان‌ها استفاده می‌کنند.

بررسی‌های نظری، مطلوبیت قرار دادن بخش زیادتری از طول استقرار یک‌بری را در قسمت مستقیم نسبت به قوس دایره‌ای تأیید می‌کنند. چنین بررسی‌هایی مبتنی بر تحلیل شتاب جانبی وسیله نقلیه است. این شتاب جانبی می‌تواند موجب سرعت جانبی و جا به جایی در خط عبور شود که ممکن است سبب مشکلات حرکتی گردد، بویژه آنکه سرعت جانبی به طرف خارج قوس، مستلزم آن است که راننده مانور تصحیحی به عمل آورد که این خود سبب ایجاد مسیری می‌شود که شعاع آن تندتر از شعاع پیچ راه است. این شعاع بحران‌زا، افزایش نامطلوبی در تقاضای اصطکاک جانبی اوج بوجود می‌آورد. بعلاوه شتاب جانبی کافی برای راندن وسیله نقلیه به خط مجاور، (بدون حرکت تصحیحی) بنا به دلایل ایمنی نامطلوب است.

تحلیل بررسی‌های نظری فوق‌الذکر منجر به این نتیجه شده است که تخصیص مناسب طول استقرار یک‌بری بین بخش مستقیم و قوس می‌تواند مشکلات حرکتی یاد شده را به حداقل برساند [24]. مقادیر بدست آمده از این تحلیل در جدول 3-33 ارائه شده است. در صورت استفاده در طراحی، مقادیر ارائه شده در جدول 3-33 بایستی شتاب جانبی و حرکت جانبی وسیله نقلیه را به حداقل برسانند. این مقادیر برای سرعت‌های بالاتر و پایین‌تر از حدود ارائه شده در جدول به ترتیب برابر با مقادیر ارائه شده برای بالاترین و پایین‌ترین حدود سرعت خواهند بود.

سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)	درصد تامین یک‌بری اجرا شده قبل از قوس			
	تعداد خطوط دوران یافته			
	1/0	1/5	2/0-2/5	3/0-3/5
20-70	0/80	0/85	0/90	0/90
80-130	0/70	0/75	0/80	0/85

33-3: نحوه استقرار یک‌بری با حرکت جانبی کمینه وسایل نقلیه



بررسی‌های نظری نشان می‌دهد که نسبت طول استقرار یک‌بری در خط مستقیم به میزان 0/7 تا 0/9 (70 تا 90 درصد) بهترین شرایط حرکتی را ارائه می‌کند. مقدار مشخص و معین در این محدوده، به سرعت طرح و عرض دوران یافته بستگی دارد. تجربه بدست آمده از موارد کاربردی موجود نشان می‌دهد که انحراف از مقادیر جدول 3-33 تا 10 درصد، منجر به مشکلات حرکتی قابل توجهی نخواهد شد. در این خصوص استفاده از یک مقدار واحد برای بخشی از طول استقرار یک‌بری در قسمت مستقیم، در محدوده 0/6 تا 0/9 (60 تا 90 درصد)، برای تمام سرعت‌ها و عرض‌های دوران یافته، قابل قبول تلقی می‌شود. با این وجود تصحیح این مقدار بر اساس روند نشان داده شده در جدول 3-33 وقتی که شرایط اجازه دهد، مطلوب است.

یک‌بری در طرح‌های دارای حلزونی: در طرح مسیر دارای قوس‌های حلزونی، استقرار یک‌بری از طول کل قوس اتصال تدریجی انجام می‌شود. طول استقرار یک‌بری در ابتدای قوس و انتهای آن باید برابر با طول حلزونی باشد. تغییر شیب عرضی، با حذف شیب عرضی مخالف از خط یا خطوط بیرونی قوس، بر روی طولی از مسیر مستقیم قبل از شروع حلزونی (TS) شروع می‌شود (شکل 3-40). بین شروع حلزونی (TS) و شروع قوس دایروی (SC) قوس حلزونی و محل استقرار یک‌بری برهم منطبق است و سواره‌رو برای رسیدن به یک‌بری کامل در شروع قوس دایروی (SC) دوران می‌یابد. ترتیب این کار در هنگام خروج از قوس، بر عکس می‌شود. در این طرح، کل قوس دایره‌ای دارای یک‌بری کامل است.

محدود کردن مقادیر یک‌بری: بررسی‌های نظری نشان می‌دهد که وقتی وسیله نقلیه‌ای روی منحنی اتصال تدریجی از قسمت مستقیم به قوس دایره حرکت می‌کند یک‌بری‌های بزرگ منجر به جابجایی‌های بزرگ در موقعیت جانبی وسیله نقلیه خواهد شد. در حالت کلی، چنین جا به جایی‌های عرضی را می‌توان به کمک انتخاب صحیح محل قطعه استقرار یک‌بری، به شرحی که در بالا ذکر شد، به حداقل رساند. البته این جابجایی‌های جانبی خیلی بزرگ، باید توسط راننده در حین عملیات رانندگی کنترل شود.

بمنظور تشخیص تأثیر سوء بالقوه احتمالی تغییر مکانهای جانبی بزرگ روی ایمنی، مقادیر حدی یک‌بری مربوط به جابه جایی عرضی 1 متر در جدول 3-34 مشخص شده است. این مقادیر حدی یک‌بری، برای سرعت‌های 80 کیلومتر در ساعت یا بیشتر وقتی که با میزان یک‌بری 12% یا کمتر باشد، اعمال نمی‌شود.

میزان یک‌بری حد (%)	سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)
8	20
8	30
10	40
11	50
11	60
12	70

شکل 3-34: میزان یک‌بری حد

طرح‌های شامل یک‌بری بیشتر از مقادیر حد، ممکن است با جابجایی‌های جانبی همراه باشند. بنابراین توصیه می‌شود که از چنین یک‌بری‌هایی اجتناب شود. با این وجود اگر از چنین مقادیری استفاده شود، باید تمهیداتی برای افزایش عرض سواره‌رو در طول قوس، به منظور کاهش امکان تجاوز وسیله نقلیه به خط مجاور در نظر گرفته شود.

قوس اتصال حلزونی

کلیات: هر وسیله نقلیه موتوری، هنگام ورود به قوس دایروی یا خروج از آن، یک مسیر اتصال تدریجی را می‌پیماید. تغییرات رانندگی و افزایش یا کاهش نیروی جانبی نمی‌تواند بطور آنی، اعمال شود. برای اغلب قوس‌ها، راننده متوسط می‌تواند مسیر اتصال تدریجی مناسبی را در محدوده عرض عادی خط دنبال کند. به هر حال ترکیب سرعت بالا و انحنای تند، منجر به مسیرهای اتصال تدریجی طولانی‌تری خواهد شد که می‌تواند جابجایی عرضی و گاهی تجاوز به خطوط مجاور را در پی داشته باشد. در چنین مواردی قرار دادن قوس‌های اتصال تدریجی بین بخش مستقیم و قوس دایره‌ای تند و همچنین بین قوس‌های دایره‌ای با شعاع-های بسیار متفاوت ممکن است مناسب باشد تا باقی ماندن وسیله نقلیه در خط خود توسط راننده را آسان کند. مزایای اصلی قوس‌های اتصال تدریجی در مسیر افقی عبارت است از:

- ۱- قوس اتصال تدریجی با طراحی خوب، تأمین‌کننده مسیری طبیعی و آسان رو برای رانندگان است به طوریکه نیروی جانبی با ورود وسیله نقلیه به قوس یا خروج از آن به تدریج افزایش یا کاهش خواهد یافت. قوس‌های اتصال تدریجی تجاوز به خطوط عبور مجاور را به حداقل می‌رسانند و گرایش به بالا بردن یکنواختی سرعت دارند. قوس اتصال حلزونی مانند مسیر گردش طبیعی وسیله نقلیه است.
- ۲- طول قوس اتصال تدریجی، محل مناسبی را برای استقرار یک‌بری فراهم می‌آورد. تغییر شیب عرضی عادی رویه در قسمت مستقیم به یک‌بری کامل در قسمت قوس، می‌تواند در طول قوس اتصال تدریجی به نحوی که دقیقاً مطابق با رابطه سرعت و شعاع برای وسایل نقلیه عبوری آن باشد انجام شود. وقتی که استقرار یک‌بری بدون قوس اتصال تدریجی، و معمولاً بخشی از آن روی قوس دایره و بخشی روی خط مستقیم، اعمال گردد، راننده‌ای که به قوس نزدیک می‌شود ممکن است در عبور از قسمت مستقیم دارای یک‌بُری، به‌دلیل نگرداشتن وسیله نقلیه در خط خود، مجبور شود که آن را در جهت خلاف قوس هدایت کند.
- ۳- قوس اتصال حلزونی، تعریض سواره‌رو در محل قوس دایره‌ای را نیز، تسهیل خواهد نمود. استفاده از اتصالات حلزونی، انعطاف‌پذیری در تعریض قوس‌های تند را فراهم می‌کند.
- ۴- با استفاده از قوس‌های اتصال حلزونی، زیبایی راه و خیابان افزایش می‌یابد. استفاده از قوس‌های اتصال حلزونی شکستگی‌های قابل توجه مسیر را که در شروع و انتهای قوس‌های دایره‌ای به نظر راننده می‌رسد از بین می‌برد. شکل 3-35 چنین شکستگی‌هایی را که بر اثر استقرار یک‌بری، چشمگیر به نظر می‌رسد، نشان می‌دهد.

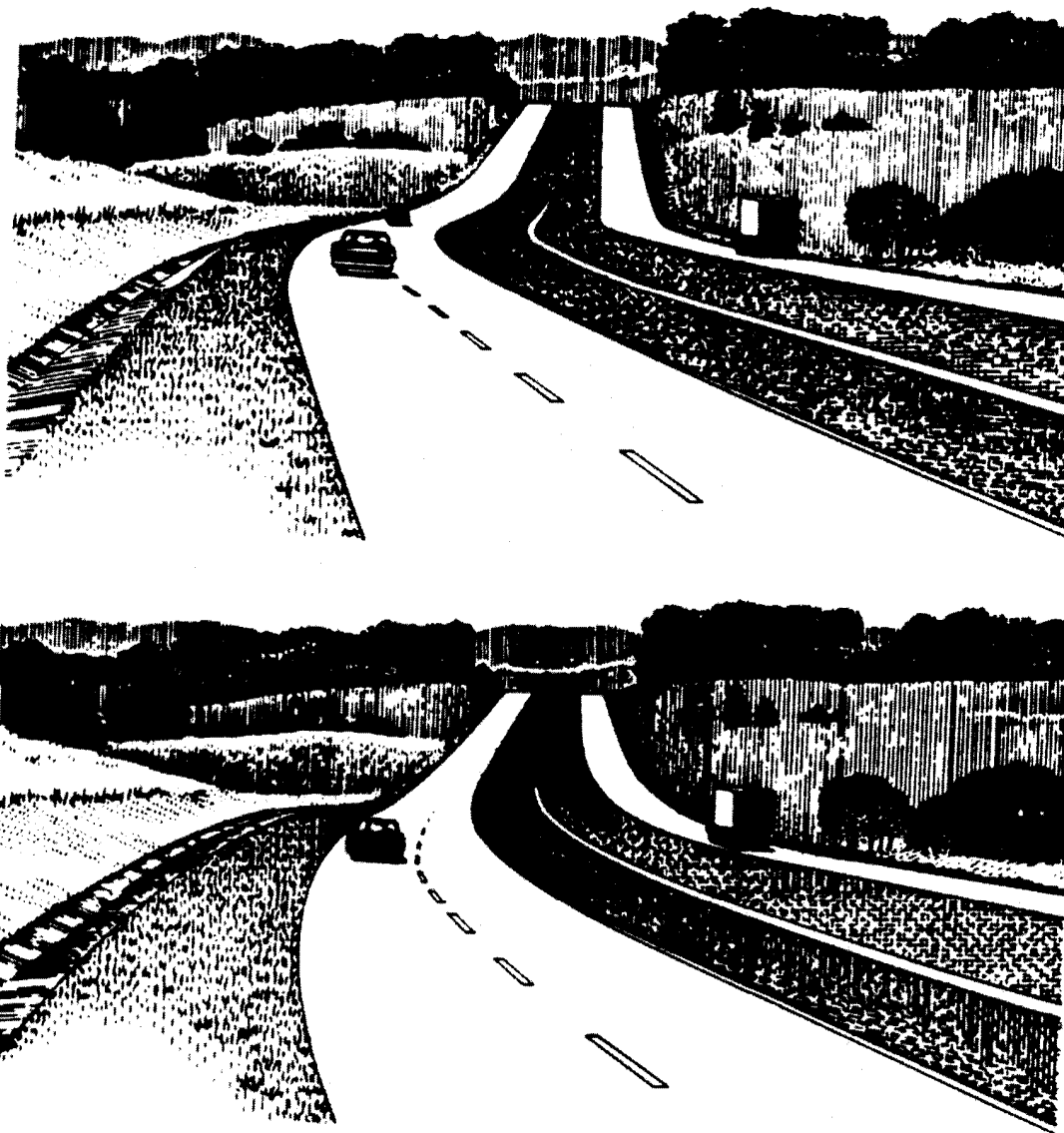
طول قوس اتصال حلزونی

معمولاً در طرح قوس اتصال حلزونی، از اسپیرال اولر (حلزونی اولر) که به کلوتوئید نیز موسوم است استفاده می‌شود. شعاع حلزونی از بینهایت (در محل اتصال به قسمت مستقیم)، تا اندازه شعاع قوس دایره (در محل اتصال به قوس دایره) تغییر می‌کند. برحسب تعریف، شعاع انحناء، هر نقطه از حلزونی اولر با فاصله آن نقطه از مبدأ، نسبت معکوس دارد. در مورد اتصال حلزونی که دو قوس دایره با شعاع‌های مختلف را بهم وصل می‌کند، نقطه مبدأ، به جای شعاع بی‌نهایت، دارای شعاع مبدأ خواهد بود. معادله زیر که در سال 1909 توسط شرت¹ [25]، برای حصول تدریجی شتاب جانبی روی قوس‌های راه‌آهن ارائه شده، رابطه اصلی مورد استفاده بعضی از نهادهای شاغل به امور راه در محاسبه حداقل طول قوس اتصال تدریجی حلزونی است.

$L = \frac{0.0214V^3}{RC} \quad (27-3)$
<p style="text-align: right;">که در آن:</p> <p style="text-align: center;"> L = حداقل طول حلزونی (متر) V = سرعت (کیلومتر در ساعت) R = شعاع قوس (متر) C = میزان افزایش شتاب جانبی (متر بر مکعب ثانیه) </p>

در این رابطه ضریب C یک مقدار تجربی نشان‌دهنده سطح راحتی و ایمنی تأمین شده بوسیله قوس حلزونی است. $C=0/3$ مقدار (متر بر مکعب ثانیه) معمولاً برای راه‌آهن پذیرفته شده است، اما برای راه‌ها، از مقادیری در محدوده $0/3$ تا $0/9$ متر بر مکعب ثانیه استفاده شده است. این معادله گاهی اوقات، برای منظور نمودن اثر یک‌بری، اصلاح می‌شود که منجر به طول‌های کوتاه‌تر قوس حلزونی می‌گردد.

¹ shortt



شکل 3-35: حلزونی‌های اتصال

در راه‌ها، محاسبه طول قوس اتصال نیازی به دقتی در حد این معادله یا شکل اصلاح شده آن ندارد. ضابطه عملی‌تر آن است که طول حلزونی باید برابر طول استقرار یک‌بری باشد.

حداکثر شعاع برای استفاده از حلزونی : بررسی رهنمودهای استفاده از قوس‌های حلزونی بطور کلی، حاکی از عدم هماهنگی بین نهادهای مرتبط با راه است. بطور کلی بسیاری از این رهنمودها پیشنهاد می‌کنند که از شعاع قوس بزرگ‌تر می‌توان استفاده کرد، بطوریکه فقط شعاع‌های کوچک‌تر از این مقدار، احتمالاً از مزیت بهبود عملکرد و ایمنی ناشی از استفاده از قوس‌های اتصال حلزونی برخوردار گردند. این شعاع حدی، بوسیله برخی نهادها براساس میزان شتاب جانبی حداقل تعیین شده است. شتاب جانبی حداقل بین $0/4$ تا $1/3$ متر بر مجذور ثانیه است. حد بالای این شتاب جانبی مربوط به حداکثر شعاع قوسی است که برای آن احتمال وقوع تصادف کاهش می‌یابد. به این دلیل پیشنهاد می‌شود که شعاع حداکثر برای استفاده از حلزونی



باید مبتنی بر شتاب جانبی حداقل $1/3$ متر بر مجذور ثابیه باشد. این شعاع‌ها در جدول 3-36 ذکر شده است. شعاع‌های ذکر شده در جدول برای استفاده نهادهایی است که مایل به کاربرد حلزونی اتصال تدریجی هستند. منظور از این جدول، تعیین شعاع‌های نیازمند استفاده از حلزونی نیست.

شعاع حداکثر (متر)	سرعت (کیلومتر در ساعت)
24	20
54	30
95	40
148	50
213	60
290	70
379	80
480	90
592	100
716	110
852	120
1000	130
نکته: مزایای ایمنی قوس اتصال برای شعاع‌های بزرگتر نادیده گرفته شده است.	

شکل 3-36: شعاع حداکثر برای استفاده از یک قوس اتصال

حداقل طول حلزونی: برخی نهادهای براساس رعایت راحتی راننده و تغییر مکان جانبی وسایل نقلیه، حداقلی برای طول حلزونی تعریف می‌کنند. معیارهای مبتنی بر راحتی راننده بمنظور تأمین طولی از حلزونی است که افزایش شتاب جانبی مطلوبی را در موقع ورود وسیله نقلیه به قوس فراهم کند. معیارهای مبتنی بر تغییر مکان جانبی، برای اطمینان یافتن از این است که طول منحنی حلزونی برای سازگاری میزان جابه جایی عرضی وسیله نقلیه در خط خود با مقدار حاصل از مسیر حلزونی طبیعی آن کافی است. پیشنهاد شده است که این دو معیار با هم، به منظور تعیین حداقل طول حلزونی مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین حداقل طول حلزونی به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

$L_{s,min}$ باید برابر یکی از دو مقدار زیر که بزرگتر است باشد:	
$L_{s,min} = \sqrt{24(p_{min})R}$	(28-3)
$L_{s,min} = 0.0214 \frac{V^3}{RC}$	(29-3)
در آن:	
$L_{s,min}$ = حداقل طول حلزون (متر)	

$$p_{\min} = \text{حداقل فاصله جانبی بین قسمت مستقیم و قوس دایره‌ای (0/2 متر)}$$

$$R = \text{شعاع قوس دایره‌ای (متر)}$$

$$V = \text{سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)}$$

$$C = \text{حداکثر تغییر در شتاب جانبی (1/2 متر بر مکعب ثانیه)}$$

مقدار 0/2 متر، برای p_{\min} پیشنهاد می‌شود. این مقدار، با حداقل جابجایی جانبی حاصل از رفتار طبیعی رانندگی اغلب رانندگان سازگاری دارد. مقدار حداقل پیشنهادی برای C ، 1/2 متر بر مکعب ثانیه است. استفاده از مقادیر کمتر، منجر به طول قوس‌های «راحت‌تر» خواهد شد هر چند چنین طول‌هایی، حداقل طول سازگاری با راحتی راننده را فراهم نخواهد کرد.

حداکثر طول حلزونی: تجربیات بین‌المللی نشان می‌دهد که محدود نمودن طول قوس‌های اتصال حلزونی ضرورت دارد. چنین معلوم شده است که در قوس‌های حلزونی طویل (نسبت به طول قوس دایروی) مشکلات ایمنی پدیدار می‌شود. این مشکلات وقتی به وجود می‌آید که قوس اتصال به قدری طولانی باشد که راننده را در مورد تندی قوس پیش رو دچار گمراهی کند. حداکثر طول محافظه کارانه قوس اتصال که باید احتمال بروز چنین مشکلاتی را به حداقل برساند از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$L_{s, \max} = \sqrt{24(p_{\max})R} \quad (30-3)$$

که در آن:

$$L_{s, \max} = \text{حداکثر طول حلزونی (متر)}$$

$$p_{\max} = \text{حداکثر فاصله جانبی بین قسمت مستقیم و قوس دایره‌ای (1/0 متر)}$$

$$R = \text{شعاع قوس دایره‌ای (متر)}$$

مقدار p_{\max} برابر 1 متر پیشنهاد شده است. این مقدار هماهنگ با حداکثر جابجایی‌ای است که در نتیجه رفتار رانندگی طبیعی اغلب رانندگان مشاهده می‌شود همچنین این مقدار، تعادلی منطقی بین طول حلزونی و شعاع قوس فراهم می‌کند.

طول مطلوب حلزونی: مطالعه اخیر در مورد تأثیرات عملکرد قوس‌های اتصال حلزونی [20]، به این نتیجه رسیده است که طول حلزونی، یک ضابطه مهم در طراحی است. مخصوصاً، مطلوب‌ترین شرایط حرکتی، زمانی است که طول قوس حلزونی تقریباً برابر با طول مسیر حلزونی طبیعی مورد قبول اغلب رانندگان باشد. اختلاف بین این دو طول، منجر به مشکلات عملکردی همراه با سرعت‌های جانبی یا جابجایی‌های عرضی زیاد در انتهای قوس اتصال تدریجی می‌گردد. خصوصاً، سرعت جانبی زیاد در جهت خارج قوس مستلزم آن است که راننده مانور تصحیحی که منجر به مسیری با شعاع تندتر از شعاع قوس دایره‌ای است انجام دهد. چنین شعاع بحرانی، افزایش نامطلوبی در تقاضای اصطکاک جانبی اوج ایجاد خواهد کرد. به علاوه، سرعت‌های جانبی آن اندازه بزرگ که موجب رانده شدن وسیله نقلیه به داخل خط مجاور (بدون مانور تصحیحی) گردد، بنا به دلایل ایمنی نامطلوب است.

براساس این نکات، طول مطلوب قوس‌های اتصال حلزونی در جدول 3-37 ذکر شده است. این طولها نظیر زمان حرکت 2 ثانیه با سرعت طرح راه است. این زمان حرکت معرف مسیر طبیعی حلزونی برای اغلب رانندگان تشخیص داده شده است [20].

طول حلزونی (متر)	سرعت (کیلومتر در ساعت)
11	20
17	30
22	40
28	50
33	60
39	70
44	80
50	90
56	100
61	110
67	120
72	130

شکل 3-37: طول مطلوب قوس اتصال

طول‌های قوس حلزونی فهرست شده در جدول 3-37 به عنوان مقادیر مطلوب برای طراحی خیابان و راه پیشنهاد شده‌اند. بررسی‌های نظری نشان می‌دهد که انحراف‌های قابل ملاحظه از این طولها منجر به افزایش جابجایی عرضی وسایل نقلیه در خط عبور می‌شود که ممکن است سبب تجاوز به خط مجاور یا شانه راه گردد. استفاده از طول‌های بزرگتر قوس حلزونی که کمتر از $L_{s,max}$ باشد قابل قبول است. به هر حال، وقتی از چنین طول‌های بزرگتری برای قوس حلزونی استفاده شود افزایش عرض سواره‌رو، در طول قوس با هدف به حداقل رساندن احتمال تجاوز به خطوط مجاور، باید مورد توجه قرار گیرد.

استفاده از منحنی حلزونی با طول‌های بزرگتر از آنچه که در جدول 3-37 آمده، ممکن است در پایانه راه‌های گردشی، به منظور گسترش کافی یک‌بری مطلوب، مورد نیاز باشد. خصوصاً، در چنین موقعیت‌هایی ممکن است قوس‌های اتصال با طول دو برابر آنچه در جدول 3-37 آمده لازم گردد. جابجایی عرضی حاصل از آن ممکن است از 1/0 متر تجاوز کند. به هر حال چنین جابجایی‌ای با انتظار راننده در پایانه راه گردشی سازگار است و می‌توان آن را از طریق اضافه عرض خط عبور که نوعاً در چنین راه‌های گردشی اعمال می‌شود، تأمین کرد.

در نهایت، اگر طول مطلوب قوس حلزونی ذکر شده در جدول 3-37 کمتر از حداقل طول قوس حلزونی بدست آمده از معادلات 3-28 و 3-29 باشد، حداقل طول قوس حلزونی، باید در طرح، مورد استفاده قرار گیرد.

طول استقرار یک‌بری: در طرح اتصال تدریجی با قوس حلزونی پیشنهاد شده است که طول استقرار یک‌بری، در طول حلزونی اعمال گردد. در بیشتر موارد، مقادیر محاسبه شده برای طول حلزونی و طول



استقرار یک‌بری اختلاف چندانی ندارد. هر چند به خاطر طبیعت تجربی هر دو، تعدیل یکی از آنها برای اجتناب از داشتن دو مجموعه جداگانه از معیارهای طراحی، مطلوب است. طول استقرار یک‌بری برای تمام قوس‌های دارای یک‌بری قابل کاربرد است و پیشنهاد شده است که از این مقدار، برای حداقل طول حلزونی استفاده شود. به این ترتیب طول حلزونی باید برابر با طول استقرار یک‌بری باشد. تغییر در شیب عرضی با منظور نمودن بخش حذف شیب عرضی مخالف، قبل از قوس اتصال، شروع می‌شود. رسیدن به یک‌بری کامل در طول حلزونی صورت خواهد گرفت. در چنین طرحی، کل قوس دایره دارای یک‌بری کامل خواهد بود.

محدود نمودن میزان یک‌بری : نتیجه تساوی طول استقرار یک‌بری با طول حلزونی این است که شیب نسبی لبه روسازی، ممکن است از مقادیر ذکر شده در جدول 3-30 تجاوز کند. به هر حال، افزایش‌های کوچک در شیب، تأثیر معکوسی روی راحتی و زیبایی نشان نداده است. در این خصوص ضرایب تعدیل مندرج در جدول 3-31، عملاً حدود 50 درصد افزایش در شیب نسبی حداکثر را در حالتی که سه خط چرخیده باشد مجاز می‌شمارد.

مقادیر یک‌بری مرتبط با شیب نسبی حداکثری که 50 درصد بزرگتر از مقادیر جدول 3-30 است، در جدول 3-38 آمده است. اگر میزان یک‌بری مورد استفاده در طراحی، از مقدار ارایه شده در جدول تجاوز کند، شیب نسبی حداکثر، دست کم 50 درصد بزرگتر از شیب نسبی حداکثر مجاز برای اتصال مسیر مستقیم به قوس خواهد بود. در چنین موقعیتی باید بررسی‌های خاصی در مورد شکل ظاهری اتصال تدریجی و شکستگی نامطلوب نیم‌رخ لبه روسازی به عمل آید.

سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)	تعداد خطوط دوران یافته		
	1	2	3
20	3/7	1/9	1/3
30	5/2	2/6	1/7
40	6/5	3/2	2/2
50	7/5	3/8	2/5
60	8/3	4/2	2/8
70	8/9	4/5	3/0
80	9/3	4/6	3/1
90	9/8	4/9	3/3
100	10/2	5/1	3/4
110	10/4	5/2	3/5
120	10/6	5/3	3/5
130	10/6	5/3	3/5

نکته : براساس طول مطلوب قوس اتصال از جدول 3-37

شکل 3-38: میزان یک‌بری مربوط به شیب‌های نسبی بزرگ

طول حذف شیب عرضی مخالف : طول حذف شیب عرضی مخالف، برای طراحی قوس اتصال تدریجی حلزونی مبتنی بر همان روش مورد استفاده در طراحی اتصال تدریجی مسیر مستقیم به قوس دایره است. بویژه، چنان نیمرخ ملایمی برای لبه روسازی، مورد نظر است که یک شیب متعارف برای لبه روسازی در سراسر بخش حذف شیب عرضی مخالف و بخش استقرار یک‌بری، تأمین شود. براساس این منطق، می‌توان از معادله زیر برای محاسبه طول حذف شیب عرضی مخالف، استفاده کرد:

$$L_t = \frac{e_{NC}}{e_d} L_s \quad (31-3)$$

در آن:

L_t = طول خدمات شیب عرضی مخالف (متر)
 L_s = طول حلزونی (متر)
 e_d = میزان یک‌بری طراحی (%)
 e_{NC} = میزان شیب عرضی عادی (%)

جدول 3-39 مقادیر طول حذف شیب عرضی مخالف را که از رابطه 3-31 به دست آمده، ارائه می‌کند. طول‌های مندرج در این جدول، معمولاً بیشتر از مقدار مطلوب، برای ترکیب یک‌بری‌های کوچک و سرعت‌های بالا است. این طول‌های زیاد ممکن است در جایی که شیب طولی راه برای تأمین مطلوب تخلیه آب-های سطحی کافی نباشد، موجب پدید آمدن مشکلات ایمنی گردد. با لحاظ کردن معیارهای شیب طولی (مندرج در بخش « حداقل شیب‌های اتصال تدریجی ») در اتصال تدریجی حلزونی می‌توان از بروز این مشکلات جلوگیری نمود.

سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)	طول حذف شیب عرضی مخالف (متر)				
	میزان یک‌بری				
	2	4	6	8	10
20	11	-	-	-	-
30	17	8	-	-	-
40	22	11	7	-	-
50	28	14	9	-	-
60	33	17	11	8	-
70	39	19	13	10	-
80	44	22	15	11	-
90	50	25	17	13	10
100	56	28	19	14	11
110	61	31	20	15	12
120	67	33	22	17	13
130	72	36	24	17	14

تبصره:

- 1- مقادیر بالا براساس شیب عرضی عادی 2 درصد است.
- 2- میزان یک‌بری بالای 10% و ستونهایی که با علامت " - " مشخص شده نظیر مقداری از شیب لبه سواره رو است که از حداکثر شیب نسبی مدرج در جدول 3-30 به مقدار 50% یا بیشتر تجاوز می‌کند. مقادیر این محدوده برای راههایی که یک خط عبور آنها دوران یافته است بکار می‌رود، وقتی خطهای بیشتری دوران یافته باشد از مقادیر پایین‌تری استفاده می‌شود (به جدول 3-31 مراجعه شود)

شکل 3-39: طول حذف شیب عرضی مخالف برای طرح اتصال تدریجی حلزونی

قوس اتصال تدریجی مرکب : بطور کلی قوس‌های اتصال تدریجی مرکب، بیشتر برای استفاده در راه‌های گردشی کم سرعت تقاطع‌ها، در نظر گرفته می‌شود. برعکس طرح‌های اتصال مستقیم به قوس یا قوس اتصال تدریجی حلزونی، اغلب در قوس‌های خیابان‌ها و راه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

رهنمودهای مربوط به طرح قوس اتصال تدریجی مرکب برای راه‌های گردشی در فصلهای 9 و 10 ارائه شده است. رهنمودهای فصل 9 برای استفاده در پایانه‌های راه گردشی کم سرعت تقاطع‌ها است در حالی که رهنمودهای فصل 10 برای پایانه‌های رابط تبادل‌ها به کار می‌رود.

روش‌های تأمین یک‌بری

برای تبدیل نیمرخ عادی به مقطع دارای یک‌بری، چهار روش مختلف به کار می‌رود که عبارتند از :

- 1) چرخاندن سواره‌رو با شیب عرضی معمولی (دو طرفه) حول نیمرخ محور راه
- 2) چرخاندن سواره‌رو با شیب عرضی معمولی حول نیمرخ لبه داخلی
- 3) چرخاندن سواره‌رو با شیب عرضی معمولی حول نیمرخ لبه خارجی
- 4) چرخاندن سواره‌رو با شیب عرضی یک طرفه حول نیمرخ لبه خارجی

شکل 3-40 این روش‌ها را نشان می‌دهد. برای نشان دادن روش‌های تغییر شیب عرضی در شکل از خطوط مستقیم استفاده شده است اما تاکید می‌شود که شکستگی‌های بین نیمرخ‌های خط مستقیم، در طرح نهایی (همانطور که در شکل 3-40 نشان داده شده) گرد شود.

محور دوران که در شکل 3-40، بطور نظری به صورت افقی نشان داده شده در واقع متشکل از خطوط مستقیم یا قوس‌های قائم یا هر دو است. در شکل 3-40 الف این محور بر نیمرخ محور راه منطبق است. در شکل‌های 3-40 ب و 3-40 ج محور دوران به عنوان نیمرخ محور نظری به ترتیب بر نیمرخ لبه داخلی و خارجی سواره‌رو انطباق دارد. در شکل 3-40 د محور چرخش بر نیمرخ لبه داخلی منطبق است.

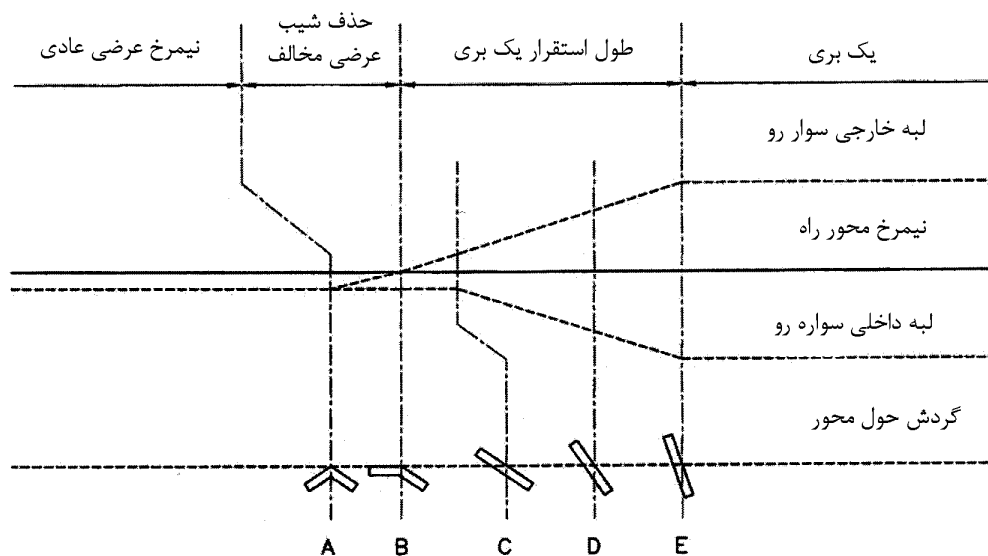
روش اول، (شکل 3-40 الف) سواره‌رو را حول نیمرخ محور راه می‌چرخاند. به علت کمتر بودن شیب تغییر تراز لبه سواره‌رو در این روش نسبت به سایر روش‌ها، کاربرد این روش از همه روش‌ها گسترده‌تر است در این روش نیمی از تغییر تراز، در هر لبه صورت می‌گیرد.

روش دوم، (شکل 3-40 ب) سواره‌رو را حول نیمرخ لبه داخلی می‌چرخاند. در این مورد نیمرخ لبه داخلی به عنوان خط موازی با خط مبنای نیمرخ تعیین می‌شود. نیمی از تغییر تراز بوسیله بالا بردن نیمرخ واقعی محور نسبت به نیمرخ لبه داخلی و نیمه دیگر از طریق بالا بردن نیمرخ لبه خارجی نسبت به نیمرخ واقعی محور صورت می‌گیرد.



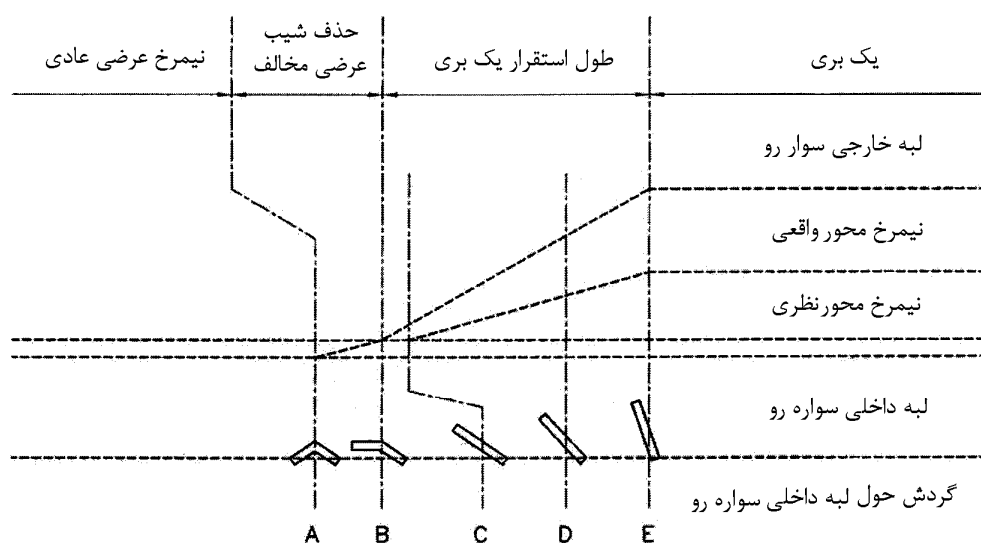
روش سوم، (شکل 3-40-ج) سواره رو را حول نیمرخ لبه خارجی می‌چرخاند. این روش مشابه روش نشان داده شده در شکل (3-40-ب) است با این تفاوت که تغییر تراز پروفیل به جای بالای نیمرخ لبه داخلی در زیر نیمرخ لبه خارجی انجام می‌شود.

روش چهارم، (شکل 3-40-د) سواره رو با شیب عرضی یک طرفه را حول لبه خارجی می‌چرخاند. این روش اغلب در راه‌های دو خطه یک طرفه در جایی که محور چرخش منطبق بر لبه سواره‌رو مجاور میانه راه است، بکار می‌رود.



سواره رو بانیمرخ عادی حول خط محور راه گردش می کند.

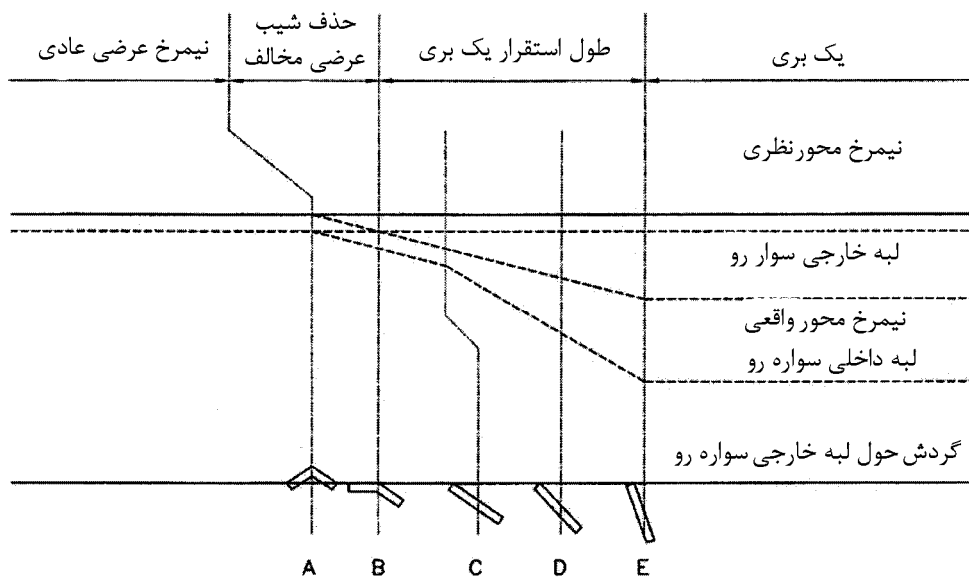
- الف -



سواره رو بانیمرخ عادی حول لبه داخلی گردش می کند.

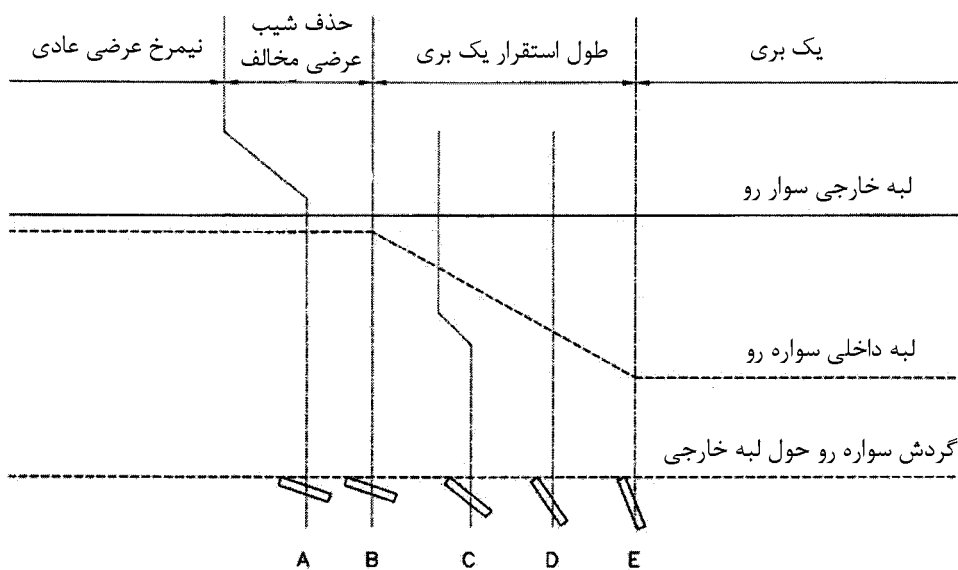
- ب -

شکل 3-40: روش های ایجاد یک بری



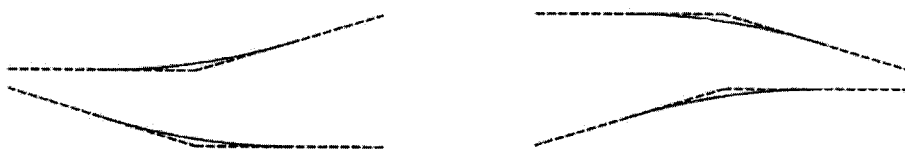
سواره رو با شیب عرضی دوطرفه طول لبه خارجی گردش می کند.

- ج -



سواره رو با شیب عرضی یکطرفه طول لبه خارجی گردش می کند.

- د -



شکل 3-40: روش های ایجاد یک بری



شیوه تأمین به یک‌بری در هر چهار روش مشابه یکدیگر است. نیمرخ A در یک طرف بخش حذف شیب عرضی مخالف نشان‌دهنده نیمرخ عادی و مقطع B در طرف دیگر آن، شروع طول استقرار یک‌بری است. در سه روش اول نیمرخ عرضی خط یا خطوط عبور خارجی قوس بصورت افقی در می‌آید و در روش چهارم تغییری در شیب عرضی داده نمی‌شود.

در مقطع C سواره‌رو مانند سطح صاف است که یک‌بری آن برابر با شیب عرضی عادی است. در سه روش اول بین مقاطع B و C خط یا خطوط خارجی از وضعیت (عرضی) افقی به صورت سطح دارای یک‌بری برابر با شیب عرضی عادی در می‌آید و شیب عرضی در خطوط داخلی حفظ می‌شود. در روش چهارم تغییری بین مقاطع B و C وجود ندارد. بین مقاطع C و E نیمرخ رویه به یک‌بری کامل می‌رسد. میزان شیب عرضی در یک نقطه میانی (مثلاً مقطع عرضی D) متناسب با فاصله ای است که از مقطع C دارد.

بطور کلی، روش نشان داده شده در شکل 3-40-الف (گردش حول محور راه) معمولاً مناسب‌ترین روش است. از طرف دیگر روش دوم (شکل 3-40-ب) در جایی به روش اول ترجیح داده می‌شود که نیمرخ لبه پایینی، کنترل مهمی مثلاً برای تخلیه آب سطح راه باشد. در وضعیت نیمرخ یکنواخت استفاده از این روش منجر به بیشترین اعوجاج در نیمرخ لبه بالایی سواره‌رو می‌گردد. در صورتی که حفظ زیبایی لبه بالایی سواره‌رو، مورد توجه و تأکید باشد، روش‌های سوم و چهارم (شکل‌های 3-40-ج و 3-40-د) که در آنها نیم رخ لبه بالایی (لبه‌ای که بیشتر مورد توجه رانندگان است) همواری نیم رخ کنترل را حفظ می‌کند، دارای مزیت است بنابراین شکل و جهت نیمرخ محور، می‌تواند روش برتر برای تأمین به یک‌بری را مشخص کند.

با توجه به این که ترتیب‌های بیشمار برای وضعیت نیمرخ‌ها امکان‌پذیر است و شناسایی مسائل خاصی مانند تخلیه آبهای سطحی، اجتناب از شیب‌های بحرانی، زیبایی و هماهنگی کردن راه با طبیعت همجوار، ضرورت دارد، هیچ توصیه خاصی برای پذیرش محور دوران معین نمی‌توان ارائه کرد. در عمل، هر خط مبنای رویه که برای پذیرش محور دوران بکار رود، ممکن است مناسب‌ترین راه حل مسأله مورد نظر باشد.

طرح نیمرخ‌های هموار برای لبه‌های سواره‌رو

در نیمرخ‌های نمایشی که در شکل 3-40 نشان داده شده، خطوط کنترل در مقاطع عرضی A, C, E شکستگی زاویه‌ای دارد. برای بهبود شکل ظاهری و فراهم کردن ایمنی، این شکستگی‌ها باید در طرح نهایی با ایجاد قوس‌های قائم به صورت گرد در آیند. حتی وقتی که برای مشخص کردن طول استقرار یک‌بری از شیب نسبی حداکثر استفاده می‌شود طول قوس قائم مورد نیاز برای هماهنگی با اختلاف شیب نسبی 0/65 درصد در سرعت طرح 50 کیلومتر در ساعت (جدول 3-30) و اختلاف شیب نسبی 0/38 درصد در سرعت طرح 120 کیلومتر در ساعت لازم نیست زیاد باشد. وقتی سواره‌رو حول یک لبه دوران داده می‌شود این اختلاف شیب‌ها دو برابر می‌گردد یعنی 1/3 درصد در سرعت طرح 50 کیلومتر در ساعت و 0/76 درصد در سرعت طرح 120 کیلومتر در ساعت می‌شود. مسلماً در چنین مواردی طول‌های بزرگتری از قوس قائم مورد نیاز است. معیارهای خاصی برای طول قوس قائم در محل شکستگی نیمرخ‌های نمایشی تدوین نشده است. هر چند به عنوان یک راهنمایی تقریبی می‌توان حداقل طول قوس قائم بر حسب متر را 0/2 برابر سرعت طرح بر حسب کیلومتر در ساعت اختیار کرد. چنانچه وضعیت عمومی نیمرخ اقتضا کند، در صورت امکان باید از طول‌های بزرگ‌تر استفاده کرد.

چندین روش، برای هموار کردن نیمرخ‌ها در محل استقرار یک‌بری وجود دارد. در یکی از روش‌ها نیمرخ را به صورت خط مستقیم فرض (شکل 3-40) و سپس در محل شکستگی یک قوس قائم

سهمی منظور می‌کنند. در چنین حالاتی، حداقل طول قوس قائم را اغلب، برابر با فاصله طی شده در مدت زمان 0/7 ثانیه با سرعت طرح، فرض می‌کنند. این روش، هنگامیکه قوس قائم لبه روی قوس قائم محور می‌افتد بسیار پرزحمت است. هر چند کنترل را برای طراح ضروری می‌کند ولی نتایج را یکنواخت می‌کند. روش دیگر، استفاده از طریقه ترسیمی برای مشخص کردن نیمرخ لبه است که مبتنی بر کاربرد پیستوله است. در این روش نیمرخ محور یا خط مبنای دیگری، که معمولاً محاسبه شده، در مقیاس قائم مناسب رسم می‌شود. نقاط کنترل یک‌بری، شکستگی‌های نشان داده شده در شکل 3-40 هستند. سپس بوسیله الگو، پیستوله یا شابلون دایره منحنی‌های ملایمی که به خطوط مستقیم کنترل لبه نزدیک و مماس بر آنها باشد ترسیم می‌شود. خمیدگی طبیعی الگو تقریباً همیشه، حداقل همواری مورد نیاز را تأمین می‌کند. وقتی نیمرخ‌های لبه در ارتباط صحیح با یکدیگر ترسیم شد می‌توان ارتفاعات را در فواصل مناسب (بر حسب نیاز عملیات اجرایی) قرائت کرد.

یک مزیت مهم روش ترسیمی یا استفاده از الگو این است که گزینه‌های مطالعاتی بیشماری را در اختیار طراح می‌گذارد که با صرف حداقل وقت می‌توان آنها را مشخص کرد. حاصل کار، طرحی است که با شرایط خاص مورد نظر به خوبی متناسب باشد. کمترین کار مهندسی در این روش مورد نیاز است. این چند مزیت، موجب برتری این روش بر روش‌های دیگر، برای تعیین جزئیات نیم رخ در قطعات استقرار یک‌بری است. طرح راه‌های مجزا نیازمند اصلاحات بیشتری نسبت به راه‌های دو خطه است، زیرا این راه‌ها ترافیک بیشتر و سنگین‌تری را خدمت‌رسانی می‌کنند. به علاوه، هزینه این اصلاحات در مقایسه با هزینه ساخت راه‌های مجزا ناچیز است. بنابراین باید تأمین همواری نیمرخ‌های لبه مورد توجه قرار بگیرد.

محور دوران در راه‌های مجزا (میانه دار)

در طراحی راه‌ها، خیابان‌ها و پارک‌وی‌های (باغراه‌های) مجزا، وجود میانه در مقطع عرضی، بر طرح تأمین یک‌بری تأثیر می‌گذارد. این تأثیر از وجود چندین محل ممکن برای محور دوران سرچشمه می‌گیرد، مناسب-ترین محل برای این محور بستگی به پهنای میانه و مقطع عرضی آن دارد. ترکیب‌های متعارف این عوامل و تشخیص محل مناسب محور در سه حالت زیر شرح داده شده است. طول استقرار یک‌بری در هر یک از حالت‌ها، با استفاده از معادله 3-25 تعیین خواهد شد.

حالت اول - تمامی سواره رو، به همراه میانه، مانند یک صفحه دوران کند. این حالت، الزاماً باید محدود به میانه‌های باریک و یک‌بری‌های ملایم شود تا از اختلاف تراز چشم‌گیر لبه‌های داخلی سواره‌روها که ناشی از کج شدن میانه است جلوگیری به عمل آید. این حالت باید فقط در مورد میانه‌های به عرض 4 متر یا کمتر اعمال شود. تأمین یک‌بری می‌تواند با روشی مشابه با آنچه در شکل (3-40 الف) نشان داده شده حاصل گردد، به استثنای دو لبه میانه که مانند نیمرخ‌هایی به فاصله اندک از محور، به نظر خواهد رسید. برای طرح-های مربوط به این حالت، طول استقرار باید مبتنی بر عرض کل دوران یافته (شامل میانه) باشد. هرچند، از آنجا که میانه‌های باریک، بر طول استقرار، تأثیری اندکی دارند، می‌توان به هنگام تعیین طول استقرار از پهنای میانه‌های تا 3 متر صرف‌نظر کرد.

حالت دوم - میانه به شکل افقی باقی می‌ماند و سواره‌روهای طرفین، بطور جداگانه، حول دو لبه میانه دوران می‌کنند. این حالت برای میانه‌های با هر پهنای قابل استفاده است اما بیشتر برای میانه با پهنای 4 تا 18 متر مناسب است. با حفظ تراز لبه‌ها، اختلاف ارتفاع بین لبه‌های بیرونی سواره‌روها به مقدار مورد نیاز برای اعمال یک‌بری، محدود می‌شود. یک‌بری با هر یک از روش‌های

3-40-ب، 3-40-ج و 3-40-د قابل اعمال است، با این توضیح که خط مبنای نیمرخ برای هر دو مسیر مشابه است. وقتی از این حالت، برای میانه باریک به پهنای 3 متر و کمتر استفاده شود، طول‌های استقرار را می‌توان همانند راه غیر مجزا در نظر گرفت.

حالت سوم - استقرار یک‌بری سواره‌روها، به طور مستقل انجام می‌گیرد که حاصل آن، اختلاف تراز متغیر برای لبه‌های میانه خواهد بود. این حالت برای میانه‌های پهن (یعنی به عرض 18 متر و بیشتر) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این حالت، تفاوت تراز دو لبه انتهایی (بیرونی) سواره‌رو، به کمک شیب تعدیل‌کننده در عرض میانه، به حداقل می‌رسد. با داشتن میانه عریض، طراحی نیمرخ‌ها و تأمین یک‌بری به طور جداگانه برای دو سواره‌رو امکان‌پذیر است. از این رو اعمال، یک‌بری با هر روش که مناسب به نظر رسد، امکان‌پذیر است (یعنی هر یک از روش‌های شکل 3-40، قابل استفاده است).

راه‌های مجزا، نیازمند اصلاحات بیشتری در طراحی و زیبایی نسبت به راه‌های دوخطه می‌باشند، زیرا این راه‌ها ترافیک بیشتر و سنگین‌تری را خدمت‌رسانی می‌کنند و نیز هزینه اصلاح طرح در مقایسه با هزینه ساخت ناچیز است. بنابراین مقادیر طول استقرار یک‌بری ارائه شده در بالا باید بعنوان حداقل تلقی شود و استفاده از مقادیر بزرگتر مد نظر قرار گیرد. همچنین باید تأمین همواری نیمرخ لبه سواره‌رو بوسیله روش‌های ترسیمی و با استفاده از روش‌های طرح به کمک الگو و شابلون، مورد تأکید قرار گیرد.

حداقل شیب در بخش تأمین یک‌بری

در بخش تأمین یک‌بری، دو مشکل بالقوه برای تخلیه آب‌های سطحی روسازی شایان تأمل است. مشکل اول، مربوط به احتمال کمبود شیب طولی کافی است. این مشکل بطور کلی در مواقعی مشاهده می‌شود که شیب محور چرخش برابر با شیب نسبی مؤثر لبه نسبت به محور و در جهت مخالف آن باشد که حاصل آن ایجاد لبه روسازی با شیب طولی ناچیز است که می‌تواند موجب کندی تخلیه آب‌های سطح روسازی بخصوص در مقاطع جدول‌دار، شود.

مشکل بالقوه دیگر مربوط به تخلیه عرضی ناکافی آب در اثر شیب عرضی ناچیز حاصل از دوران رویه است. این مشکل، در قسمتی به وجود می‌آید که شیب عرضی مخالف (شیب عرضی عادی) خط عبور خارجی به شیب عرضی یکسره‌ای با همان مقدار تبدیل می‌شود، طول این قسمت عبارت از مجموع طول حذف شیب عرضی مخالف و مقدار مساوی آن از طول استقرار یک‌بری است. در این طول، شیب عرضی رویه ممکن است برای زهکشی عرضی مطلوب کافی نباشد.

برای کاهش این دو مشکل بالقوه تخلیه آب‌ها از دو روش می‌توان استفاده کرد. یکی تأمین حداقل شیب طولی محور و دیگری تأمین حداقل شیب طولی لبه رویه در این بخش است. دو روش ذکر شده را می‌توان، در هنگام طراحی، با استفاده از معیارهای شیب طولی به شرح زیر، با یکدیگر جمع کرد:

1- حفظ شیب حداقل 0/5 درصد برای نیمرخ طولی محور، در این بخش (بخش تبدیل نیمرخ عادی به نیمرخ عرضی یک طرفه با شیب نیمرخ عادی).

2- حفظ شیب حداقل 0/2 درصد (و در خیابان‌های جدول دار، 0/5 درصد) برای لبه رویه، در این بخش.

دومین ضابطه شیب طولی، هم ارز با معادلات زیر است که برگرفته از حداکثر شیب طولی محور و شیب طولی نسبی مؤثر (لبه رویه نسبت به محور چرخش) است.

بدون جدول	دارای جدول
$G \leq -\Delta^* - 0.2$	$G \leq -\Delta^* - 0.5$
$G \geq -\Delta^* + 0.2$	$G \geq -\Delta^* + 0.5$
$G \leq \Delta^* - 0.2$	$G \leq \Delta^* - 0.5$
$G \geq \Delta^* + 0.2$	$G \geq \Delta^* + 0.5$

(32-3)

که در آن: $\Delta^* = \frac{(wn_l)ed}{L}$

G = شیب طولی محور (%)

Δ^* = حداکثر شیب طولی نسبی مؤثر (%)

L_r = طول استقرار یک‌بری (متر)

n_l = تعداد خطوط دوران یافته

w = عرض یک خط عبور، متر (معمولاً 3/6 متر)

e_d = میزان یک‌بری طرح (%)

مقدار 0/2، در معادله کنترل شیب، حداقل شیب طولی لبه رویه را برای راه‌های بدون جدول نشان می‌دهد (بر حسب درصد). اگر معادله برای راه‌های جدول‌دار استفاده شود مقدار 0/5 جایگزین مقدار 0/2 می‌گردد. برای نشان دادن کاربرد توأم دو ضابطه شیب، قوسی از راه بدون جدول را در نظر می‌گیریم که حداکثر شیب طولی نسبی مؤثر آن، در بخش تبدیل، 0/65 درصد باشد. طبق ضابطه (معیار) اول، شیب‌های بین 0/5- و 0/5+ درصد را نمی‌توان به کار گرفت. براساس ضابطه دوم، شیب‌های بین 0/85- و 0/45- (طبق دو معادله اول) و شیب‌های بین 0/45 و 0/85 (طبق دو معادله آخر) از شمول کاربرد خارج می‌شود، با در نظر گرفتن همپوشانی بین ضابطه‌های اول و دوم، نتیجه می‌شود که شیب طولی محور در بخش انتقال یک‌بری، باید بین 0/85+ و 0/85- باشد تا هر دو معیار تأمین و تخلیه آب‌های رویه در محل قوس میسر گردد.

قوس‌های اتصال تدریجی و قوس‌های مرکب در راه‌های گردش

رانندگان به طور طبیعی به هنگام پیچیدن در تقاطع‌ها و رابط‌های تبادل‌ها مسیر انتقالی مشابه با مسیر گردش در قسمت‌های معمولی راه و با سرعت‌های بالاتر را دنبال می‌کنند. اگر معابر، برای رانندگی به نحو طبیعی مهیا نباشد، بسیاری از رانندگان ممکن است از مسیر مورد نظر منحرف شده و مسیر طبیعی خودشان را برگزینند که این گزینش گاهی به حد تجاوز به خط عبور مجاور یا شانه راه می‌رسد. فراهم کردن مسیر حرکت طبیعی به بهترین شکل، می‌تواند با استفاده از قوس‌های اتصال تدریجی یا حلزونی که بین مسیر مستقیم و قوس دایره یا بین دو قوس دایره با شعاع مختلف قرار می‌گیرد، ایجاد شود. تجارب طراحی نشان می‌دهد که مسیر انتقال از مستقیم به قوس را می‌توان با استفاده از قوس‌های دایره‌ای مرکب، تأمین کرد. مزیت دیگر راه‌هایی که قوس‌های اتصال تدریجی دارند، فراهم کردن یک روش عملی برای تغییر نیمرخ عرضی از حالت معمولی به حالت یک‌بری است.

طول حلزونی برای راه‌های گردشی

طول حلزونی در تقاطع‌ها، مانند قسمت‌های معمولی راه تعیین می‌شود. در قوس‌های تقاطع، طول حلزونی ممکن است کوتاه‌تر از قسمت‌های معمولی راه باشد زیرا رانندگان، تغییر جهت تندتری را در شرایط تقاطع می‌پذیرند. به عبارت دیگر، C (میزان تغییر شتاب جانبی) ممکن است در قوس‌های تقاطع، بیشتر از قوس‌های بخش عادی راه (که معمولاً مقدار C در بازه $0/3$ تا 1 متر بر مکعب ثانیه قابل قبول است) باشد. میزان C در قوس‌های تقاطع از $0/75$ متر بر مکعب ثانیه برای سرعت گردش 80 کیلومتر در ساعت تا $1/2$ متر بر مکعب ثانیه برای سرعت 30 کیلومتر در ساعت تغییر می‌کند. با استفاده از این مقادیر در فرمول شرت¹ [25]، طول حلزونی برای قوس‌های تقاطع، در جدول 3-41 نشان داده شده است. حداقل طول‌های نشان داده شده، مربوط به شعاع حداقل قوس‌های نظیر سرعت طرح است. برای شعاع‌های بیش از حداقل، طول‌های حلزونی تا اندازه‌ای کمتر، مناسب است.

سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)	30	40	50	60	70
شعاع حداقل (متر)	25	50	80	125	160
مقدار C فرض شده (متر بر مجذور ثانیه)	$1/2$	$1/1$	$1/0$	$0/9$	$0/8$
طول حلزونی محاسبه شده (متر)	19	25	33	41	57
حداقل طول پیشنهادی برای حلزونی (متر)	20	25	35	45	60

جدول 3-41: طول‌های حداقل حلزونی برای قوس‌های تقاطع

ممکن است طرح حلزونی بین دو قوس دایره‌ای با اختلاف شعاع زیاد نیز مفید باشد. در این حالت، طول حلزونی را می‌توان از جدول 3-41، با استفاده از شعاعی که برابر با تفاضل شعاع‌های دو قوس است، بدست آورد. به عنوان مثال اگر اتصال دو قوس با شعاع‌های 250 و 80 مورد نظر باشد، اختلاف شعاع آنها 170 متر است که این مقدار به شعاع 160 متر در جدول 3-41 بسیار نزدیک است و بنابراین حداقل طول حدود 60 متر برای این منظور پیشنهاد می‌شود.

در قوس‌های مرکب تقاطع‌ها که شعاع قوس بزرگتر دو برابر شعاع قوس دیگر است، باید بین دو قوس، یک حلزونی و یا دایره‌ای به شعاع بینابین دو شعاع منظور کرد. اگر در اینگونه موارد طول حلزونی کمتر از 30 متر به دست آمد، پیشنهاد می‌شود که مقدار حداقل 30 متر در نظر گرفته شود.

قوس‌های دایره‌ای مرکب

قوس‌های دایره‌ای مرکب برای رسیدن به شکل مطلوب، در راه‌های گردشی تقاطع‌های همسطح و رابط-های تبادلی سودمند است. با این حال، در صورتی که، قوس‌های دایره‌ای با شعاع‌های بسیار متفاوت به یکدیگر متصل شود، مسیر راه شکل تند و تحمیلی پیدا می‌کند و پیمودن مسیر حرکت، برای وسایل نقلیه، نیازمند تلاش قابل ملاحظه‌ای است.

¹ Shortt



بطور کلی در قوس‌های مرکب قسمت‌های معمولی راه، بهتر است نسبت شعاع قوس بازتر به قوس تندتر از 1:1/5 تجاوز نکند. در تقاطع‌ها که رانندگان آمادگی پذیرش تغییر جهت تندتر و تغییر سرعت بالاتری را دارند این نسبت می‌تواند تا 2:1 افزایش یابد که حاصل آن در قوس‌های با شعاع کمتر تقاطع‌ها، همان اختلاف سرعت 10 کیلومتر در ساعت است. بررسی کلی رابط‌هایی که در آنها قوس‌های با نسبت شعاع 2:1 به کار رفته، حاکی از عملکرد و وضعیت ظاهری مطلوب است.

حتی‌الامکان باید از نسبت (اختلاف شعاع) کوچکتری استفاده نمود. حداکثر نسبت 1/75 به 1 حد مطلوبی است. هنگامی که این نسبت، بزرگتر از 2 به 1 است، باید از حلزونی یا قوس دایره‌ای با شعاع بینابین دو شعاع قبلی، بین دو قوس استفاده کرد. در این حالت باید قوس‌های مرکب چنان طراحی شود که با مسیر جاگیری وسیله نقلیه طرح (که برای آن، طبق مندرجات فصل 9، ممکن است نسبت‌های بزرگتری مورد نیاز باشد)، دقیقاً تطبیق نماید.

قوس‌هایی که به صورت مرکب در می‌آید نباید خیلی کوتاه باشند و گرنه ممکن است اثر آنها در تأمین اتصال تدریجی قسمت مستقیم یا قوس باز به قوس تند از بین برود. در یک سری قوس‌هایی که به ترتیب شعاع‌های آنها کم می‌شود، هر قوس باید طول کافی داشته باشد تا راننده بتواند با شتاب کاهنده منطقی، سرعت را کم کند. فرض می‌شود که در تقاطع‌ها این شتاب کاهنده بیش از 5 کیلومتر بر ساعت بر ثانیه نباشد، گرچه مقدار مطلوب آن 3 کیلومتر بر ساعت بر ثانیه است. حداقل طول‌های قوسی که با این معیارها (برای سرعت‌های حرکت مندرج در جدول 3-14) تطبیق می‌کند در جدول 3-42 درج شده است. این مقادیر بر اساس شتاب کاهنده 5 کیلومتر بر ساعت بر ثانیه و شتاب کاهنده 3 کیلومتر بر ساعت بر ثانیه محاسبه شده است. شتاب کاهنده 3 کیلومتر بر ساعت بر ثانیه حاکی از ترمز کردن بسیار آرام است، زیرا شتاب کاهنده‌ای که به _____ ویض دهنده حاصل می‌شود در حدود 1/5 تا 2 کیلومتر بر ساعت بر ثانیه است.

خطامشی طراحی ارائه شده برای قوس‌های مرکب بر حرکت به طرف قوس تندتر استوار است. برای حالت عکس (شرایط شتاب افزایشی و حرکت به طرف قوس بازتر) نسبت 1:2 چندان بحرانی نیست و ممکن است افزایش یابد.

شعاع (متر)	طول کمان دایره (متر)	
	مطلوب	حداقل
30	20	12
50	20	15
60	30	20
75	35	25
100	45	30
125	55	35
150 و بیشتر	60	45

جدول 3-42: طول کمان دایره در قوس مرکب تقاطع، در حالتی که شعاع آن دو برابر شعاع قوس بعدی یا نصف شعاع قوس قبلی باشد

خروج از مسیر

خروج از مسیر، ویژگی مشترک تمام وسایل نقلیه است، که در اثر آن چرخ‌های عقب، به هنگام گردش یا عبور از قوس افقی، دقیقاً مسیر چرخ‌های جلو را دنبال نمی‌کنند، البته این ویژگی در وسایل نقلیه بزرگ، نمایان‌تر است. هنگامی که وسیله نقلیه، یک قوس بدون یک‌بری را با سرعت پایین می‌پیماید مسیر چرخ‌های عقب داخل مسیر چرخ‌های جلو قرار می‌گیرد. وقتی وسیله نقلیه، از قوس دارای یک‌بری می‌گذرد، ممکن است خروج از مسیر چرخ‌های عقب بیشتر یا کمتر از حالت اول باشد. علت این امر، زاویه لغزش فرض شده بوسیله چرخ‌ها نسبت به جهت حرکت است، که از اصطکاک جانبی ایجاد شده بین چرخ‌های خودرو و رویه حاصل می‌شود. موقعیت نسبی مسیرهای چرخ به سرعت و مقدار اصطکاک ایجاد شده برای تحمل نیروی جانبی خنثی نشده بوسیله یک‌بری یا در سرعت‌های کم بوسیله اصطکاک ایجاد شده برای مقابله با اثر یک‌بری خنثی نشده بوسیله نیروی جانبی بستگی دارد. در سرعت‌های بالاتر، حتی ممکن است مسیر چرخ‌های عقب، بیرون از چرخ‌های جلو باشد.

استنتاج مقادیر طراحی برای تعریض قوس‌های افقی

در هر مورد، مقدار خروج از مسیر و در نتیجه مقدار تعریض لازم برای قوس‌های افقی، هم به طول و دیگر مشخصه‌های وسیله نقلیه طرح و هم به شعاع قوس پیموده شده بستگی دارد. انتخاب وسیله نقلیه طرح، براساس اندازه و کثرت انواع مختلف وسایل نقلیه در محل مورد نظر، انجام می‌شود. مقدار تعریض لازم، با اندازه وسیله نقلیه طرح (کامیون یا انواع تریلی) نسبت مستقیم و با شعاع قوس نسبت عکس دارد. برای تعیین تعریض مناسب در قوس‌ها عناصر عرضی مرتبط عبارتند از: عرض مسیر وسایل نقلیه طرح که از قوس عبور می‌کنند یا از کنار یکدیگر می‌گذرند، U ؛ فاصله آزاد جانبی برای هر وسیله نقلیه، C ؛ پهنای پیش آمدگی جلوی وسیله نقلیه که خط یا خطوط داخلی را اشغال می‌کند، F_A ؛ پهنای پیش آمدگی عقب وسیله نقلیه، F_B و عرض اضافی برای سختی رانندگی در قوس، Z .

عرض مسیر وسیله نقلیه (U) برای وسیله نقلیه عبوری از قوس یا در حال گردش، که با عنوان عرض مسیر جارو شده نیز نامیده می‌شود، برابر با حاصل جمع عرض مسیر وسیله نقلیه در قسمت مستقیم (u) (2/44) یا 2/59 متر با توجه به خودروی طرح و مقدار خروج از مسیر است. خروج از مسیر به شعاع قوس یا شعاع گردش، تعداد و محل مفصل‌ها و فاصله بین محورها بستگی دارد. عرض مسیر وسیله نقلیه در قوس (U) با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum L_i^2} \quad (33-3)$$

که در آن:

U = عرض مسیر وسیله نقلیه در قوس (متر)

u = عرض مسیر وسیله نقلیه در قسمت مستقیم (بیرون به بیرون چرخ‌ها) (متر)

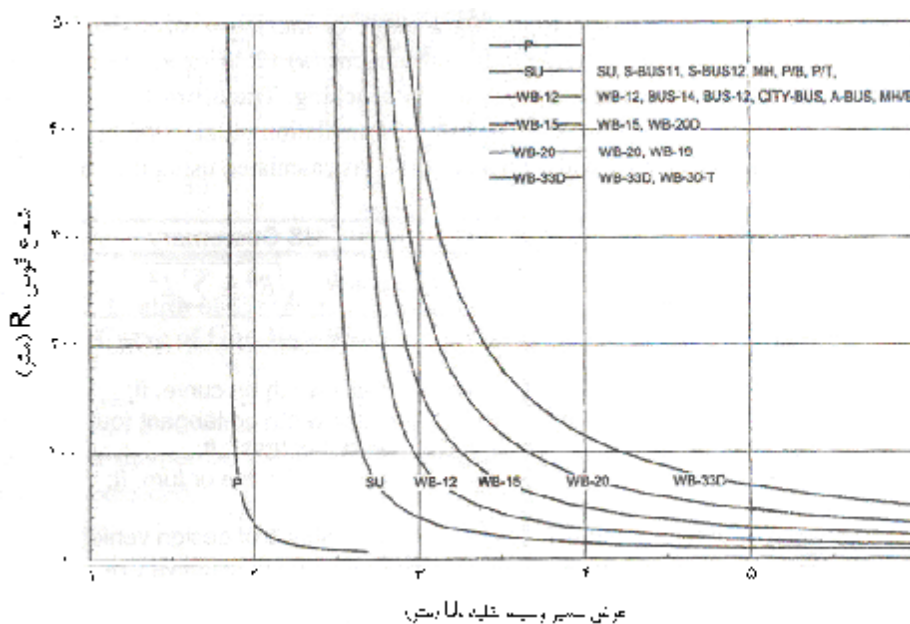
R = شعاع قوس یا شعاع گردش (متر)

L_i = فاصله محور جلو تا محور عقب وسیله نقلیه طرح بین محورها

متوالی (یا مجموعه محورها) مرکب و نقاط مفصل (متر)

این معادله را می‌توان برای هر ترکیب از شعاع و تعداد و فاصله محور بکار برد. شعاع در قوس‌های معمولی راه، مربوط به مسیر نقطه میانی محور جلو است، هرچند برای اکثر موارد طراحی راه‌های دو خطه، می‌توان برای سهولت محاسبات، شعاع محور راه را به کار برد. برای راه‌های گردشی، شعاع، مسیر چرخ خارجی جلو، در نظر گرفته می‌شود [31]. فاصله بین محورها، L_i برای استفاده در محاسبات شامل مسافت بین هر محور و نقطه مفصل وسیله نقلیه است. در مورد کامیون، فقط فاصله بین محور جلو و محور محرک، منظور می‌گردد. برای وسایل نقلیه دیگر، هر یک از نقاط مفصل برای منظور نمودن L_i و در نتیجه محاسبه U بکار می‌رود. بعنوان مثال، برای یک تریلی مرکب از یک کش و یک واحد، سه مقدار برای L_i در نظر گرفته می‌شود: 1) فاصله محور جلو تا محور (یا محورهای) محرک یک کش، 2) فاصله از محور (یا محورهای) محرک یک کش تا محور چرخ پنجم و 3) فاصله از محور چرخ پنجم تا محور (یا محورهای) عقب در حالت کلی، بعضی از فواصل یاد شده، ممکن است به جای مقدار مثبت، دارای مقدار منفی باشد یعنی در حالتی که نقطه مفصل به جای آنکه در عقب محور (یا محورهای) محرک قرار گیرد، در جلوی آن واقع شود [29] یا محور عقب، دارای پیش-آمدگی باشد (پیش آمدگی محور عقب، عبارت است از فاصله بین محور یا محورهای عقب تا محل مفصل یک). مقادیر مربوط به عرض مسیر وسیله نقلیه در قوس، برای وسایل نقلیه طرح در شکل 3-43 ارائه شده، که تفاوت بین عرض‌های مربوط به هر دسته از وسایل نقلیه طرح را نشان می‌دهد.

مقدار اضافی فاصله آزاد جانبی در قوس‌ها (C) فاصله آزاد بین لبه خط عبور و مسیر نزدیکترین چرخ و نیز فاصله آزاد بین دو وسیله نقلیه در حالت سبقت یا رد شدن از کنار یکدیگر را تأمین می‌کند. فاصله آزاد جانبی برای هر وسیله نقلیه، برای عرض‌های دو خط عبور به میزان $6/0$ ، $6/6$ ، $7/2$ متر در قسمت مستقیم به ترتیب $0/6$ ، $0/75$ ، $0/9$ متر در نظر گرفته می‌شود.



شکل 3-43: عرض مسیر نقلیه برای تعریض سواره رو در قوس

پهنای پیش آمدگی جلو (F_A)، فاصله شعاعی (در امتداد شعاع قوس) بین لبه بیرونی مسیر چرخ جلوی خارجی و مسیر لبه بیرونی جلوی بدنه وسیله نقلیه است. برای قوس ها و راه های گردشی، F_A به شعاع قوس، اندازه پیش آمدگی جلوی وسیله نقلیه، و فاصله بین محورهای خود وسیله نقلیه بستگی دارد. در مورد تریلی فقط فاصله بین محورهای واحد کشنده (اسب)، به کار برده می شود. شکل 3-44، مقدار مربوط به F_A را نشان می دهد که براساس معادله زیر، تعیین شده است.

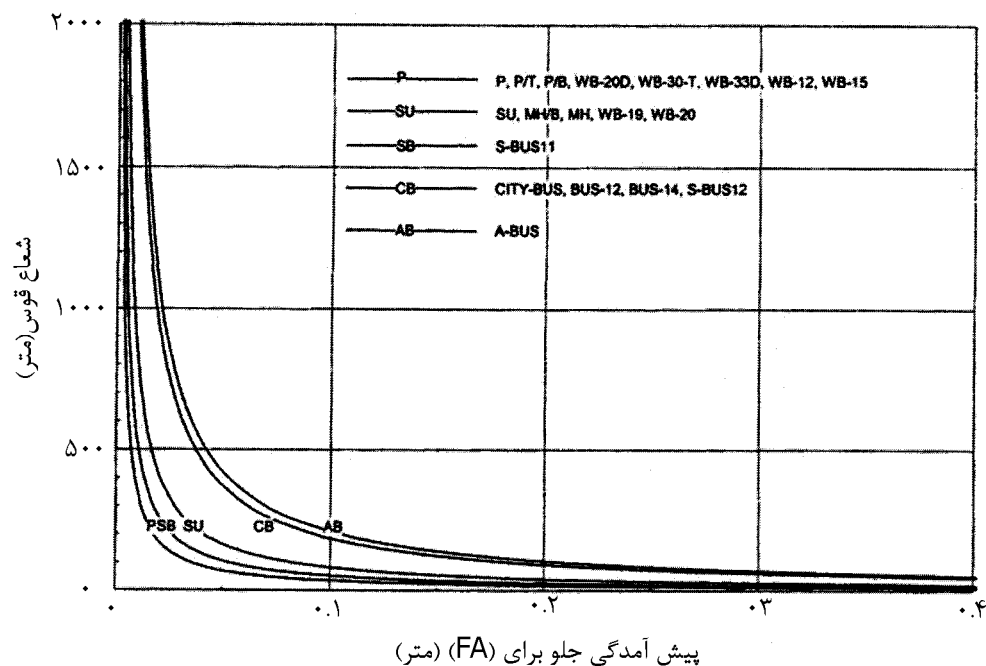
$F_A = \sqrt{R^2 + A(2L + A) - R} \quad (34-3)$
<p>که در آن:</p> <p>A = پیش آمدگی جلوی وسیله نقلیه خط داخلی (متر)</p> <p>L = فاصله بین محورهای کامیون یا کشنده (متر)</p>

پهنای پیش آمدگی عقب F_B ، فاصله شعاعی بین لبه بیرونی مسیر چرخ عقب داخلی و لبه داخلی بدنه وسیله نقلیه است. در خودروی سواری طرح، پهنای بدنه 0/3 متر بزرگتر از پهنای پشت به پشت چرخ های عقب است، لذا $F_B = 0/15$ متر، در وسایل نقلیه سنگین طرح، پهنای بدنه، برابر پهنای پشت به پشت چرخ های عقب است و بنابراین $F_B = 0$

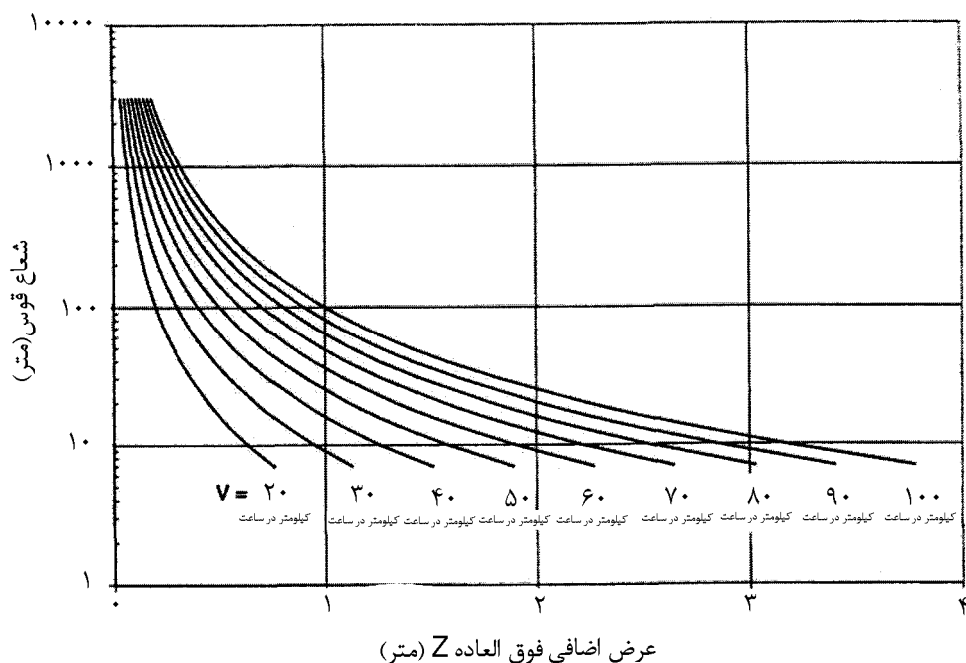
عرض اضافی فوق العاده (Z) پهنای اضافی رویه (در امتداد شعاع) است که به خاطر سختی گردش در قوس و متفاوت بودن نحوه هدایت وسیله نقلیه توسط راننده، در نظر گرفته می شود. این پهنای اضافی مقداری تجربی است که با سرعت ترافیک و شعاع قوس تغییر می کند و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$Z = 0.1(V / \sqrt{R}) \quad (35-3)$
<p>که در آن:</p> <p>V = سرعت طرح راه (کیلومتر در ساعت)</p>

این معادله که در اصل، برای تعریض مسیر در قسمت های عادی راه است، می تواند برای قوس های تقاطع نیز به کار رود. شکل 3-45 مقادیر محاسبه شده Z ، برای سرعت های بین 20 و 100 کیلومتر در ساعت را نشان می دهد. برای بازه معمولی شعاع های قوس در تقاطع ها، یعنی شعاع های بین 15 تا 150 متر، با استفاده از رابطه سرعت - شعاع قوس، Z مقدار ثابت حدود 0/6 متر را به خود می گیرد. این پهنای اضافی، که به صوت شماتیک در شکل های 3-46 و 3-49 نشان داده است باید به صورت یکنواخت در عرض سواره رو اعمال شود تا عدم دقت رانندگی در مسیرهای منحنی را جبران کند.



44-3: پیش آمدگی جلو برای تعریض سواره‌رو در قوس‌ها



شکل 3-45: عرض اضافی فوق العاده برای جبران سختی رانندگی در سواره‌رو قوس‌ها

تعریض سواره‌رو در قوس‌های افقی

گاهی اوقات، سواره‌رو در قوس‌های افقی، به منظور قابل مقایسه کردن شرایط حرکتی آن با قسمت مستقیم، تعریض می‌شود. در راه‌های قدیمی با خط‌های باریک و قوس‌های تند، نیاز قابل توجهی به تعریض مسیر در محل قوس‌ها، حتی در سرعت‌های پایین وجود داشت. در راه‌ها و خیابان‌های جدید با خطوط به

عرض 3/6 متر و مسیر با کیفیت بالا، نیاز به تعریض علیرغم سرعت بالا به میزان قابل توجهی کم شده است، اما در بعضی شرایط با توجه به سرعت، انحنا و عرض خطوط، تعریض سواره‌رو هنوز مناسب به نظر می‌رسد.

تعریض در بعضی قوس‌ها به یکی از دلایل زیر مورد نیاز است:

(1) وسیله نقلیه طرح، به دلیل آن که مسیر چرخ‌های عقب آن منطبق بر مسیر چرخ‌های جلو نیست و

بمنظور انطباق با قوس، پهنای بیشتری اشغال می‌کند.

(2) رانندگان در هدایت خودروهایشان در مرکز خط عبور، با سختی مواجه می‌شوند.

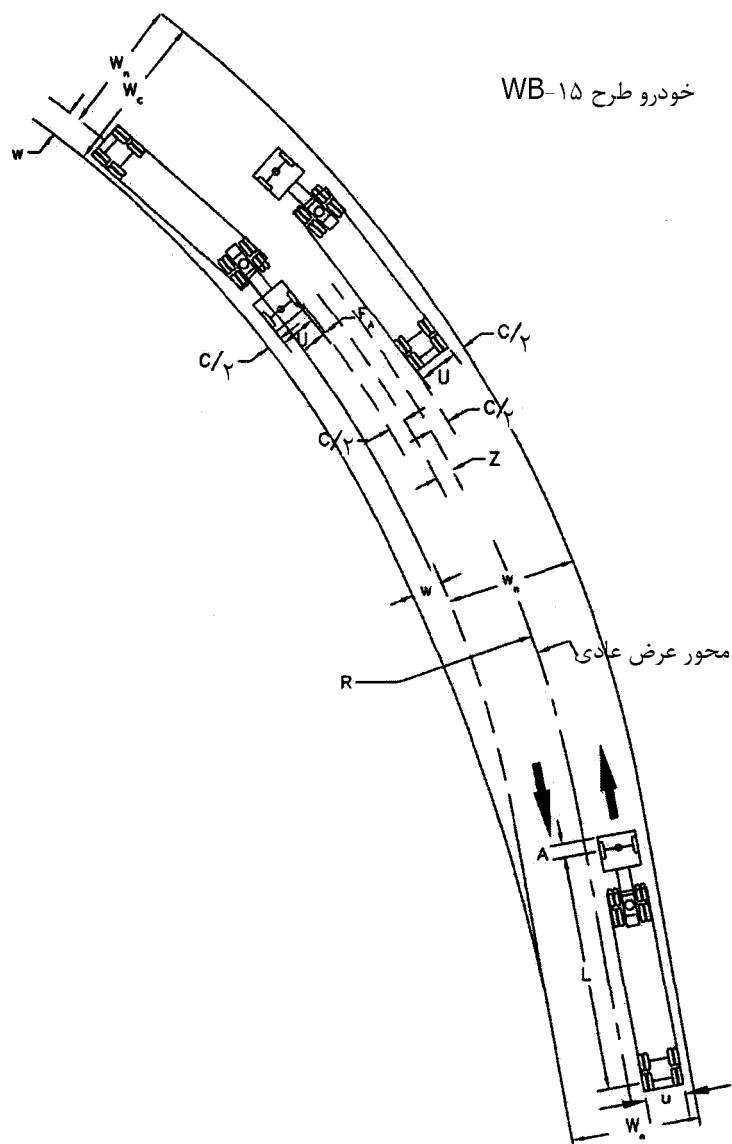
عرض اضافی اشغال شده توسط وسیله نقلیه، به هنگام عبور از قوس در مقایسه با عرض سواره‌رو در قسمت مستقیم راه، می‌توان با استفاده از هندسه و برای هر ترکیبی از سرعت و فاصله بین محورهای محاسبه کرد. تأثیر تغییر در استقرار جانبی چرخ‌های عقب، نسبت به چرخ‌های جلو و سختی حاصل از آن در هدایت وسیله نقلیه باید با تعریض قوس جبران شود، اما مقدار مناسب تعریض را نمی‌توان به قطعیت خروج از مسیر تعیین کرد.

مقدار تعریض سواره‌رو در قوس‌های افقی، برابر با تفاوت عرض لازم در قوس با عرض مورد استفاده در قسمت مستقیم است :

$w = W_c - W_n$	(36-3)
که در آن:	
w = مقدار تعریض سواره‌رو در قوس (متر)	
W_c = عرض سواره‌رو در قوس (متر)	
W_n = عرض سواره‌رو در مسیر مستقیم (متر)	

عرض سواره‌رو مورد نیاز در قوس دارای اجزاء متعددی است که به شرایط حرکت در قوس بستگی دارد و شامل: عرض مسیر هر وسیله نقلیه در حالت عبور از مقابل وسیله دیگر یا حین سبقت از آن، U ؛ فاصله آزاد جانبی هر وسیله نقلیه، C ؛ پهنای پیش‌آمدگی جلوی وسیله نقلیه، F_A ؛ و عرض اضافی فوق‌العاده به علت مشکل بودن رانندگی در قوس، Z می‌شود. کاربرد اجزاء ذکر شده در شکل 3-46 نشان داده شده است. پیرامون هر یک از این اجزاء، قبلاً تحت عنوان «استنتاج مقادیر طراحی برای تعریض قوس‌های افقی» در همین فصل، بحث شده است.

برای انتخاب عرض W_c ، لازم است تا خودرو مناسب انتخاب شود. خودرو طرح باید معمولاً وسیله نقلیه سنگین باشد، زیرا خروج از مسیر کامیون‌ها و تریلی‌ها به مراتب بیشتر از خودروی سبک است. خودروی طرح WB-15 به عنوان نماینده خودروها برای قسمت‌های عادی راه دوخطه در نظر گرفته شده است. هرچند اگر نماینده ترافیک واقعی در معبر خاصی، خودرو طرح دیگری باشد، می‌توان همان را انتخاب کرد.



شکل 3-46: اجزای تعریض در قوس‌های قسمت عادی راه (راه‌های دوخطه، یک‌طرفه یا دوطرفه)

عرض W_c بوسیله معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$W_c = N(U + C) + (N - 1)F_A + Z$	(37-3)
در آن:	
N = تعداد خطوط عبور،	
U = عرض مسیر وسیله نقلیه طرح (بیرون به بیرون چرخها)، متر	
C = فاصله آزاد جانبی (متر)	
F_A = عرض پیش آمدگی جلوی خط داخلی وسیله نقلیه خط داخلی (متر)	
Z = عرض اضافی فوق‌العاده (متر)	

مقادیر تعریض سواره‌رو برای شرایط طراحی فرض شده مربوط به خودروی WB-15 در راه دو خطه، در جدول 3-47 ارائه شده است. تفاوت‌های مربوط به عرض مسیر خودروهای طرح کامیون و تریلی‌های WB-12, WB-19, WB-20, WB-20D, WB-30T و WB-33D در قوس‌های تند تقاطع‌ها قابل ملاحظه است، ولی در قسمت‌های عادی راه که معمولاً دارای شعاع‌های قوس بیشتر از 200 متر و سرعت‌های طرح بیش از 60 کیلومتر در ساعت است این تفاوت‌ها ناچیز است (به شکل 3-43 مراجعه شود). هنگامی که هر دو ویژگی یعنی قوس‌های تند (مثلاً برای سرعت طرح 50 کیلومتر در ساعت) و تریلی‌های بزرگ، توأمأ حاکم باشد، مقادیر تعریض بدست آمده برای تریلی WB-15 بایستی براساس جدول 3-48 اصلاح شود. افزایش‌های پیشنهادی مقادیر مندرج در جدول برای دو محدوده انحناء، جنبه کلی دارد و الزاماً منتج به مقدار کامل فاصله آزاد جانبی یا عرض اضافی فوق‌العاده (شکل 3-45) برای شعاع‌های کوچکتر، نمی‌شود. برای احجام و سرعت‌های پایین‌تر، در راه‌های با چنین انحناءهایی، در عین حال، فواصل آزاد جانبی کمی کوچک‌تر می‌تواند قابل اغماض باشد.

مقادیر طراحی برای تعریض سواره‌رو

عریض کردن جاده، هزینه بر است و تعریض‌های جزئی، در عمل تأثیر بسیار کمی دارد. پیشنهاد می‌شود که حداقل تعریض، 0/6 متر در نظر گرفته شود و مقادیر کمتر از آن در جدول 3-47 مورد استفاده قرار نگیرند. باید توجه کرد که مقادیر جدول 3-47 برای تریلی متوسط طرح WB-15 است. برای خودروهای طرح دیگر، باید تعدیل‌های جدول 3-48 را اعمال کرد. مقادیر جدول 3-47 برای راه‌های دوخطه یکطرفه نیز قابل استفاده است (یعنی برای هر یک از سواره‌روهای راه یا خیابان مجزا). مطالعات، نشان می‌دهد که در مسیر مستقیم، بین دو وسیله نقلیه در وضعیت سبقت (هم جهت)، در مقایسه با دو وسیله‌ای که از مقابل هم عبور می‌کنند، فاصله آزاد تا اندازه‌ای کوچک‌تر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. شواهدی مبنی بر این که این فاصله آزاد کوچک‌تر، در مسیر قوسی راه‌های یکطرفه، صادق باشد، به دست نیامده است. بعلاوه رانندگان در وضعیتی نیستند که درباره فاصله‌های آزاد، در هنگام سبقت خودروها یا عبور آنها از مقابل یکدیگر در قسمت‌های قوسی راه‌های دو طرفه، دآوری کنند. به این دلیل و برای آنکه همه اجزاء هندسی راه‌های مجزا، دارای ضریب اطمینان می‌باشند، تعریض سواره‌رو دو خطه یک طرفه راه مجزا، همانگونه که در ذیل جدول 3-47 عنوان شده، باید همانند راه دو خطه دو طرفه در نظر گرفته شود.

در راه‌ها و یا خیابان‌های چهار خطه غیر مجزا، تعریض سواره‌رو، باید به اندازه دو برابر مقادیر مندرج در جدول 3-47 در نظر گرفته شود. این، بدان معنا است که بعضی مقادیر کمتر از 0/6 در جدول 3-47 که قبلاً در مورد راه‌های دو خطه، از آنها صرف‌نظر شده بود، در این حالت ممکن است مورد استفاده قرار گیرند زیرا دو برابر آن مقادیر، از حداقل 0/6 متر، تجاوز خواهد کرد.

مقادیر بالا در قوس‌های قسمت‌های عادی راه قابل استفاده هستند. برای شرایط تقاطع، که راه‌های گردشی آن بطور کلی دارای شعاع‌های کمتراند معیارهای مربوط به عرض‌های طرح، تا اندازه‌ای متفاوت‌اند. این معیارها در بخش "عرض‌های راه‌های گردشی در تقاطع‌ها" در همین فصل، ارائه می‌شود و مقادیر طراحی در شکل 3-49 ارائه شده است.

شعاع قوس (متر)	عرض سواره رو = 7/20 متر						عرض سواره رو = 6/60 متر						عرض سواره رو = 60 متر					
	سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)						سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)						سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
3000	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/2	0/2	0/3	0/3	0/3	0/3	0/5	0/5	0/6	0/6	0/6	0/6
2500	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/2	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/5	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6
2000	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/1	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/4	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6	0/7
1500	0/0	0/0	0/1	0/1	0/1	0/1	0/3	0/3	0/4	0/4	0/4	0/4	0/6	0/6	0/7	0/7	0/7	0/7
1000	0/1	0/1	0/1	0/2	0/2	0/2	0/4	0/4	0/4	0/5	0/5	0/5	0/7	0/7	0/7	0/8	0/8	0/8
900	0/1	0/1	0/2	0/2	0/2	0/3	0/4	0/4	0/5	0/5	0/5	0/6	0/7	0/7	0/8	0/8	0/8	0/9
800	0/1	0/2	0/2	0/2	0/3	0/3	0/4	0/5	0/5	0/5	0/6	0/6	0/7	0/8	0/8	0/8	0/9	0/9
700	0/2	0/2	0/2	0/3	0/3	0/4	0/5	0/5	0/5	0/6	0/6	0/7	0/8	0/8	0/8	0/9	0/9	1/0
600	0/2	0/3	0/3	0/3	0/4	0/4	0/5	0/6	0/6	0/6	0/7	0/7	0/8	0/9	0/9	0/9	1/0	1/0
500	0/3	0/3	0/4	0/4	0/5	0/5	0/6	0/6	0/7	0/7	0/8	0/8	0/9	0/9	1/0	1/0	1/1	1/1
400	0/4	0/4	0/5	0/5	0/6	0/6	0/7	0/7	0/8	0/8	0/9	0/9	1/0	1/0	1/1	1/1	1/2	1/2
300	0/5	0/6	0/6	0/7	0/8	0/8	0/8	0/9	0/9	1/0	1/1	1/1	1/1	1/2	1/2	1/3	1/4	1/4
250	0/6	0/7	0/8	0/8	0/9		0/9	1/0	1/1	1/1	1/2		1/2	1/3	1/4	1/4	1/5	
200	0/8	0/9	1/0	1/0			1/1	1/2	1/3	1/3			1/4	1/5	1/6	1/6		
150	1/1	1/2	1/3	1/3			1/4	1/5	1/6	1/6			1/7	1/8	1/9	1/9		
140	1/2	1/3					1/5	1/6					1/8	1/9				
130	1/3	1/4					1/6	1/7					1/9	2/0				
120	1/4	1/5					1/7	1/8					2/0	2/1				
110	1/5	1/6					1/8	1/9					2/1	2/2				
100	1/6	1/7					1/9	2/0					2/2	2/3				
90	1/8						2/1						2/4					
80	2/0						2/3						2/6					
70	2/3						2/6						2/9					

توجه :

- مقادیر نشان داده شده مربوط به برخورد طرح WB-15 است و اندازه تعریض را برحسب متر ، نشان می‌دهد برای سایر خودروهای طرح ، از تعدیل های مندرج در جدول 3-48 استفاده می شود .
- از مقادیر کم تر از 0/6 متر ، می توان صرفنظر کرد .
- برای سواره های رو راه های سه خطه ، مقادیر جدول را باید در 1/50 ضرب کرد .
- برای سواره های رو راه های چهار خطه ، مقادیر جدول را باید دو برابر کرد.

جدول 3-47: مقادیر محاسبه شده و مقادیر طرح برای تعویض سواره رو در قوس های قسمت های عادی
راه (راه های دوخطه، یک طرفه یا دو طرفه)

وسیله نقلیه طرح							
شعاع قوس (متر)	SU	WB-12	WB-19	WB-20	WB-20D	WB-30T	WB- 33D
3000	-0/3	-0/3	0/0	0/0	0/0	0/0	0/1
2500	-0/3	-0/3	0/0	0/0	0/0	0/0	0/1
2000	-0/3	-0/3	0/0	0/0	0/0	0/0	0/1

1500	-0/4	-0/3	0/0	0/1	0/0	0/0	0/1
1000	-0/4	-0/4	0/1	0/1	0/0	0/0	0/2
900	-0/4	-0/4	0/1	0/1	0/0	0/0	0/2
800	-0/4	-0/4	0/1	0/1	0/0	0/0	0/2
700	-0/4	-0/4	0/1	0/1	0/0	0/0	0/3
600	-0/5	-0/4	0/1	0/1	0/0	0/1	0/3
500	-0/5	-0/4	0/1	0/2	0/0	0/1	0/4
400	-0/5	-0/4	0/2	0/2	0/0	0/1	0/5
300	-0/6	-0/5	0/2	0/3	-0/1	0/1	0/6
250	-0/7	-0/5	0/2	0/3	-0/1	0/1	0/8
200	-0/8	-0/6	0/3	0/4	-0/1	0/2	1/0
150	-0/9	-0/7	0/4	0/6	-0/1	0/2	1/3
140	-0/9	-0/7	0/4	0/6	-0/1	0/2	1/4
130	-1/0	-0/7	0/5	0/6	-0/2	0/2	1/5
120	-1/1	-0/8	0/5	0/7	-0/2	0/3	1/6
110	-1/1	-0/8	0/6	0/8	-0/2	0/3	1/7
100	-1/2	-0/9	0/6	0/8	-0/2	0/3	1/9
90	-1/3	-0/9	0/7	0/9	-0/2	0/3	2/1
80	-1/4	-1/0	0/8	1/1	-0/2	0/4	2/4
70	-1/6	-1/1	0/9	1/2	-0/3	0/5	2/8

توجه :

- تعدیل ها ، از طریق اعمال کاهش یا افزایش به مقادیر جدول 3-47 صورت می گیرد.
- تعدیل ها ، فقط به شعاع قوس ، بستگی دارد و مستقل از عرض سواره رو و سرعت طرح است .
- برای سواره های سه خطه ، مقادیر جدول را باید در 1/50 ضرب کرد .
- برای سواره های چهار خطه ، مقادیر جدول را باید دو برابر کرد .

جدول 3-48 : مقادیر تعدیل برای مقادیر تعریض قوس های قسمت های عادی راه (راه های دو خطه، یک طرفه یا دو طرفه)

کاربرد تعریض در قوس ها

تعریض باید به تدریج از نزدیکی قوس اعمال شود تا مسیر افقی ملایمی برای لبه سواره رو تأمین گردد که با مسیر ورود خودروها به قوس و خروج از آن، متناسب باشد. نکات اصلی مورد توجه در طراحی تعریض قوس، که در طرفین آن اعمال می گردد به شرح زیر است:

- در قوس های ساده (بدون حلزونی) تعریض بایستی تنها در لبه داخلی سواره رو اعمال گردد. در قوس های دارای حلزونی، می توان تعریض را، کلاً در لبه داخلی سواره رو و یا به طور مساوی در دو سمت محور راه، اجرا کرد. در روش اخیر افزایش طول مماس لبه خارجی، سبب از بین رفتن

قوس معکوس ملایم در این لبه می‌گردد. در هر دو حالت، محور خط‌کشی شده نهایی و ترجیحاً هر جداکننده محوری طولی، باید در وسط لبه‌های سواره‌رو تعریض شده قرار گیرد.

- تعریض قوس بایستی بصورت تدریجی و در طول مناسبی که تمامی عرض سواره‌رو را قابل استفاده نماید، انجام شود. با وجودیکه یک اتصال طولانی برای جریان ترافیکی، مطلوب است اما ممکن است منجر به لچکی‌های باریک رویه شود که اجرای آن سخت و پرهزینه است. ترجیحاً، تعریض باید در طول قسمت استقرار یک‌بری انجام شود، اما گاهی طول‌های کمتر از این، مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً تغییر عرض باید در طول بین 30 تا 60 متر انجام شود.
- از دیدگاه فایده و زیبایی، لبه سواره‌رو در طول تعریض تدریجی، باید به صورت منحنی ملایم و خوش ترکیب باشد. از لبه مستقیم باید پرهیز شود. در راه‌های درجه 2 و جاهایی که جزئیات مسیر افقی در دسترس نیست، لبه تعریض تدریجی که به طریق چشمی پیاده شده باشد بهتر از لبه مستقیم است. به هر حال، در دو انتهای قسمت تعریض تدریجی نباید شکستگی زاویه‌دار در لبه روسازی پدیدار گردد.
- در مسیر راه‌های بدون حلزونی، با منظور نمودن $\frac{1}{2}$ تا $\frac{2}{3}$ طول تعریض تدریجی در قسمت مستقیم و مابقی در طول قوس، امتدادی ملایم و مناسب حاصل خواهد شد. این کار، با روش معمول برای تأمین یک‌بری هماهنگ است. لبه داخلی سواره‌رو را می‌توان مانند یک حلزونی اصلاح شده، که نقاط کنترل آن بوسیله نسبت عرض به طول یک لچکی مثلی تعیین شده، با محاسبه مقادیر براساس منحنی سهمی یا منحنی درجه سوم و یا با شعاع بزرگتر قوس مرکب، طراحی کرد. در غیر اینصورت می‌توان راستای آن را، در محل کار، به صورت چشمی تعیین نمود. در راه‌های دارای حلزونی، افزایش عرض معمولاً در طول قوس اتصال توزیع می‌شود.
- مشخصات محل‌های تعریض را می‌توان به صورت کامل در نقشه‌های اجرایی منعکس کرد. در غیر اینصورت می‌توان کنترل‌های کلی را در نقشه‌های اجرایی یا الگو منعکس کرد و جزئیات نهایی را به مهندس کارگاه واگذار نمود.

عرض راه‌های گردشی در تقاطع‌ها

عرض راه‌های گردشی در تقاطع‌ها، تابع انواع وسیله نقلیه در نظر گرفته شده برای عبور، شعاع قوس و سرعت مورد نظر است. راه‌های گردشی بسته به الگوی هندسی تقاطع، ممکن است برای عملکرد یک طرفه و یا دوطرفه طراحی شوند.

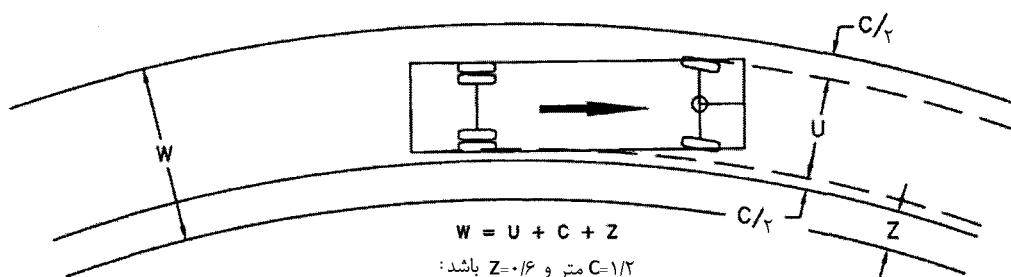
انتخاب خودرو طرح مناسب، باید مبتنی بر اندازه و تعداد انواع وسیله نقلیه‌ای باشد که از راه گردشی استفاده می‌کنند یا انتظار می‌رود که از آن عبور کنند. شعاع انحنای عرض مسیر وسیله نقلیه طرح، عرض راه گردشی را تعیین خواهد کرد. عناصر تشکیل‌دهنده عرض، برای وسیله نقلیه در حال گردش، که در شکل 3-49 به صورت نموداری نشان داده شده در بخش «استنتاج مقادیر طراحی برای تعریض قوس‌های افقی» که قبلاً در همین فصل ارائه گردید، تشریح شده است. در اینجا اثرات یک‌بری ناکافی و سطوح با مقاومت اصطکاکی کم که باعث لغزش چرخ‌های عقب خودروهایی که غیرآهسته حرکت می‌کنند، به سمت خارج قوس و پیدایش زاویه‌های لغزشی مناسب می‌شوند، صرف‌نظر شده است.

راه‌های گردشی بر مبنای عملکرد، به صورت یک خطه با امکان رد شدن از کنار ماشین متوقف یا بدون آن و عملکرد دو خطه، یک طرفه یا دو طرفه، طبقه‌بندی می‌شوند. معمولاً، در طراحی، سه حالت در نظر گرفته می‌شود:

حالت اول - عملکرد یک طرفه یک خطه بدون امکان سبقت از خودروی متوقف؛ که معمولاً برای گردش‌های کم اهمیت و حجم گردش‌های متوسط در جاییکه مسیر اتصالی نسبتاً کوتاه است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحت این شرایط احتمال خرابی وسیله نقلیه، کم است ولی یکی از لبه‌های سواره‌رو، ترجیحاً باید دارای جدول شیب‌دار یا شانه همکف باشد.

حالت دوم - عملکرد یک طرفه یک خطه با امکان سبقت گرفتن از خودروی متوقف که امکان حرکت با سرعت پایین و با فاصله آزاد جانبی کافی را فراهم می‌کند و به این ترتیب خودروهای دیگر می‌توانند از کنار خودروی بازمانده عبور کنند. این عرض‌ها برای تمام حرکت‌های گردشی در احجام ترافیک متوسط تا سنگین که از ظرفیت اتصال یک خطه تجاوز نکند، قابل استفاده است. در صورت بروز خرابی، جریان ترافیک می‌تواند با قدری کاهش سرعت، برقرار بماند. بسیاری از رابط‌ها و اتصالات در تقاطع‌های جریان‌بندی شده، در این طبقه‌بندی قرار دارند.

در عین حال برای حالت دوم، عرض مورد نیاز برای وسایل نقلیه طویل‌تر، همانطور که در جدول 3-50 ذکر شده، بسیار زیادتر است. برای این گونه وسایل نقلیه طویل‌تر، شامل خودروهای طرح WB-20, WB-33D, WB-30T 19، چنانچه به تعدادی تردد کنند که منظور نمودن آن‌ها به عنوان وسیله طرح، مناسب باشد، می‌توان از عرض‌های مربوط به حالت اول به عنوان مقادیر کمینه استفاده کرد. شتاب جانبی اوج بزرگی خواهد بود.



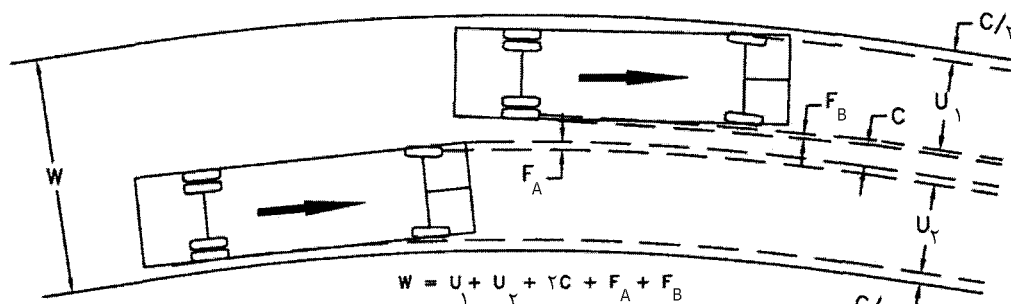
$$W = U + C + Z$$

$C = 1/2$ متر و $Z = 0/6$ باشد:

$$W = U + 1.8$$

حالت اول

عملکرد راه یکطرفه یک خطه - بدون امکان سبقت



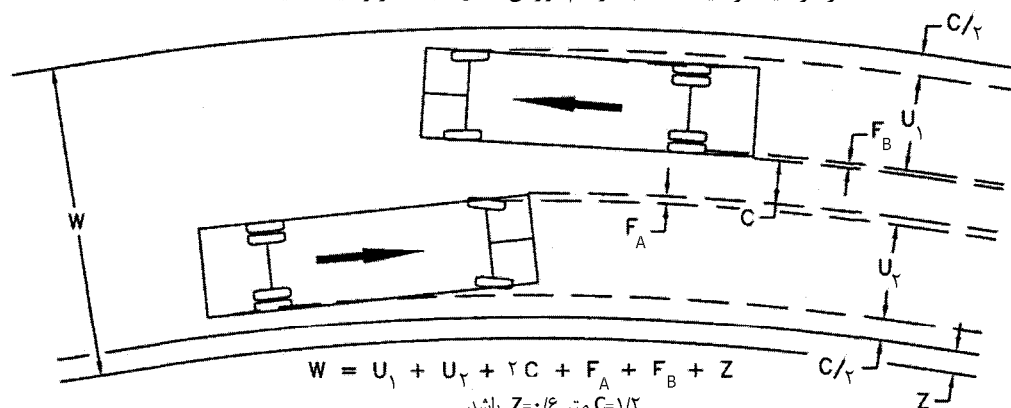
$$W = U_1 + U_2 + 2C + F_A + F_B$$

چون سبقت از وسیله نقلیه متوقف با سرعت کم صورت می گیرد، متر $Z = 0$ و C نصف مقدار مربوط به حالت های ۱ و ۳ فرض می شود یعنی یا $C = 0/6$ پس:

$$W = U_1 + U_2 + F_A + F_B + 1.2$$

حالت دوم

عملکرد راه یکطرفه یک خطه با فراهم آوردن امکان سبقت از وسیله نقلیه متوقف



$$W = U_1 + U_2 + 2C + F_A + F_B + Z$$

$C = 1/2$ متر و $Z = 0/6$ باشد

$$W = U_1 + U_2 + F_A + F_B + 3$$

حالت سوم

عملکرد دوخطه - یک یا دوطرفه

U = عرض مسیر وسیله نقلیه (بیرون به بیرون چرخها)، متر

C = فاصله آزاد جانبی کل برای هر وسیله نقلیه، متر

Z = عرض اضافی فوق العاده به علت سختی رانندگی در سواره رو قوس F_A = پهنای پیش آمدگی جلو

F_B = پهنای پیش آمدگی عقب

شکل 3-49: استنتاج عرض های راه های گردشی در قوس های تقاطع ها



شماره داخلی رویه R (متر)	حالت اول، عملکرد یک خطه یک طرفه بدون امکان سبقت از وسیله نقلیه متوقف																		
	P	SU	BUS-12	BUS-14	CITY BUS	S.BUS11	S.BUS12	A.BUS	WB-12	WB-15	WB-19	WB_2 0	WB- 20D	WB- 30T	WB- 33D	MH	P/T	P/B	MH/B
15	4/9	5/5	6/6	7/2	6/5	5/7	5/5	5/7	7/0	9/7	13/3	15/7	8/8	11/6	-	5/5	5/7	5/4	6/5
25	3/9	5/0	6/7	5/9	5/6	5/1	5/0	5/7	5/8	7/2	8/5	9/0	6/9	7/9	12/0	5/0	5/1	4/9	5/5
30	3/8	4/9	5/4	5/7	5/4	5/0	4/9	5/5	5/5	6/7	7/7	8/1	6/3	7/3	10/4	4/9	5/0	4/8	5/3
50	3/7	4/6	5/0	5/2	5/0	4/7	4/6	5/0	5/0	6/7	6/3	6/5	5/5	6/1	7/7	4/6	4/7	4/5	4/9
75	3/7	4/5	4/8	4/9	4/8	4/5	4/5	4/9	4/8	5/3	5/7	5/9	5/2	5/6	6/7	4/5	4/5	4/5	4/7
100	3/7	4/5	4/8	4/9	4/8	4/5	4/5	4/9	4/8	5/3	5/7	5/9	5/2	5/6	6/7	4/5	4/5	4/5	4/7
125	3/7	4/5	4/8	4/9	4/8	4/5	4/5	4/9	4/8	5/3	5/7	5/9	5/2	5/6	6/7	4/5	4/5	4/5	4/7
150	3/7	4/5	4/8	4/9	4/8	4/5	4/5	4/9	4/8	5/3	5/7	5/9	5/2	5/6	6/7	4/5	4/5	4/5	4/7
پیمنایت	3/6	4/2	4/4	4/4	4/4	4/2	4/2	4/4	4/2	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/2	4/2	4/2	4/2
حالت دوم، عملکرد یک خطه یک طرفه با امکان سبقت از وسیله نقلیه متوقف دیگر، از همان نوع																			
15	6/0	9/2	11/9	13/1	11/7	9/4	9/7	12/4	11/8	17/3	24/7	29/5	15/4	20/9		9/2	9/3	8/7	11/0
25	5/6	7/9	9/6	10/2	9/5	8/0	8/2	9/9	9/3	12/1	14/9	16/0	11/2	13/5	21/7	7/9	7/9	7/6	8/9
30	5/5	7/6	9/0	9/5	9/0	7/7	7/8	9/3	8/8	11/1	13/3	14/2	10/4	12/2	18/4	7/6	7/6	7/4	6/4
50	5/3	7/0	8/0	8/3	7/9	7/0	7/1	8/1	7/7	9/1	10/4	10/9	8/7	9/8	13/1	7/0	7/0	6/8	7/5
75	5/2	6/7	7/4	7/6	7/4	6/7	6/8	7/5	7/1	8/2	9/0	9/3	7/9	8/6	10/8	6/7	6/7	6/6	7/0
103	5/2	6/5	7/2	7/3	7/1	6/6	6/6	7/2	6/9	7/7	8/3	8/0	7/5	8/1	9/7	6/5	6/5	6/5	6/8
125	5/1	6/4	7/0	7/1	7/0	6/5	6/5	7/1	6/7	7/5	8/0	8/1	7/3	7/7	9/0	6/4	6/4	6/4	6/6
150	5/1	6/4	6/9	7/0	6/9	6/4	6/4	7/0	6/6	7/3	7/7	7/8	7/2	7/5	8/6	6/4	6/4	6/3	6/5
پیمنایت	5/0	6/1	6/4	6/4	6/4	6/1	6/1	6/4	6/1	6/4	6/4	6/4	6/4	6/4	6/4	6/1	6/1	6/1	6/1
حالت سوم، عملکرد دو خطه یک طرفه یا دو طرفه (وسیله مشابه در هر دو خط)																			
15	7/8	11/0	13/7	14/9	13/5	11/2	11/5	14/2	13/6	19/1	26/5	31/3	17/2	22/7	-	11/0	11/1	10/5	12/8
25	7/4	9/7	11/4	12/0	11/3	9/5	10/0	11/7	11/1	13/9	16/7	17/8	13/0	15/3	25/5	9/7	9/7	9/4	10/7
30	7/3	9/4	10/8	11/3	10/8	9/5	9/6	11/1	10/6	12/9	15/1	16/0	12/2	14/0	20/2	9/4	9/4	9/2	10/2
60	7/1	8/8	9/8	10/1	9/7	8/8	8/9	9/9	9/5	10/9	12/2	12/7	10/5	11/6	14/9	8/8	8/8	8/6	9/3
75	7/0	8/5	9/2	9/4	9/2	8/5	8/6	9/3	8/9	10/0	10/8	11/1	9/7	10/4	12/6	8/5	8/5	8/4	8/8
100	7/0	8/3	9/0	9/1	8/9	8/4	6/4	9/0	8/7	9/5	10/1	10/4	9/3	9/9	11/5	8/3	8/3	8/3	8/6
125	6/9	8/2	8/8	6/8	8/8	8/3	8/3	8/9	8/5	8/3	9/8	9/9	9/1	9/5	10/8	8/2	8/2	8/2	8/4
150	6/9	8/2	8/7	8/8	8/7	8/2	8/2	8/8	8/4	8/1	9/5	9/6	9/0	9/3	10/4	8/2	8/2	8/1	8/3
پیمنایت	6/8	7/9	8/2	8/2	8/2	7/9	7/9	8/2	7/9	8/2	8/2	8/2	8/2	8/2	8/2	7/9	7/9	7/9	7/9

جدول 3-50: عرض های استنتاج شده راه های گردش، برای خودروهای طرح مختلف

حالت سوم - عملکرد دو خطه، یک طرفه یا دو طرفه؛ هنگامی که عملکرد دو طرفه است و یا در صورتی که عملکرد یکطرفه ولی برای عبور حجم ترافیک، دو خط مورد نیاز است، قابل استفاده است.

مقادیر طراحی

عرض کل، W ، برای هر یک از راه‌های گردشی تقاطع‌ها، با جمع کردن مقدار صحیح عناصر عرضی، به دست می‌آید. فرمول‌های جداگانه‌ای برای محاسبه عرض و نیز مقادیر فاصله آزاد جانبی، C و عرض اضافی فوق‌العاده مربوط به سختی حرکت در قوس، Z ، برای هر یک از حالات، در شکل 3-49 نشان داده شده است. مقادیر عرض مسیر، U ، از شکل 3-43 و مقادیر عرض پیش‌آمدگی جلو، F_A ، از شکل 3-44 به دست می‌آید. دو مقدار اخیر، برای شعاع گردش R_T که تقریباً برابر مجموع مسیر، فاصله‌های آزاد جانبی مربوط و شعاع لبه داخلی سواره رو راه گردشی است، از روی نمودارها، بدست می‌آید.

به هنگام تعیین عرض در حالت اول مقدار $1/2$ متر برای فاصله آزاد جانبی (C) مناسب به نظر می‌رسد. مقدار فوق‌العاده مربوط به سختی رانندگی در قوس (Z) ثابت و برای تمامی شعاع‌های 150 متر و کمتر، معادل $0/6$ متر است. در این حالت نیازی به منظور کردن عرض پیش‌آمدگی جلو، F_A ، نیست زیرا سبقت از وسیله نقلیه دیگر مورد نظر نیست.

برای حالت دوم، عرض شامل U ، C برای خودروی متوقف و U ، C برای خودروی سبقت گیرنده است که به آن، باید پهنای پیش‌آمدگی جلو، F_A برای یک وسیله نقلیه و پهنای پیش‌آمدگی عقب خودرو دیگر، F_B را اضافه نمود. پهنای پیش‌آمدگی عقب برای خودروی سواری $0/15$ متر در نظر گرفته می‌شود. مقدار F_B برای خودروی سنگین طرح، صفر است. مقدار C نصف مقدار دو حالت دیگر، یعنی $0/6$ متر برای خودروی متوقف و $0/6$ متر برای خودروی سبقت گیرنده، در نظر گرفته می‌شود. به دلیل اینکه سبقت از خودروی متوقف، با سرعت کم انجام می‌گیرد، مقدار Z ، حذف می‌شود.

تمام عناصر تشکیل‌دهنده عرض مسیر، در حالت سوم مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای محاسبه عرض کل، مقادیر U و F_A به ترتیب از شکل‌های 3-43 و 3-44، فاصله آزاد (C) برابر $1/2$ متر، F_B برابر $0/15$ متر برای خودروی سبک و Z برابر $0/6$ متر با هم جمع می‌شود.

عرض‌های استنتاج شده برای شعاع‌های گوناگون و برای وسیله نقلیه طرح در جدول 3-50 ارائه شده است. برای استفاده معمول طراحی، عرض پیشنهادی ارائه شده در جدول 3-50 به ندرت، بطور مستقیم به کار می‌رود، زیرا راه‌های گردشی، معمولاً بیش از یک نوع وسیله نقلیه را در خود جای می‌دهند. حتی پارک‌وهایی که اصولاً برای سواری طراحی شده‌اند، مورد استفاده اتوبوس‌ها و وسایل نقلیه سنگین راهداری نیز قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، تعداد راه‌هایی که برای استفاده وسیله نقلیه WB-15 یا وسایل نقلیه طولی‌تر طراحی می‌شود، بسیار کم است. عرض‌های مورد نیاز برای ترکیبی از وسایل نقلیه طرح مختلف راهنمای عملی طراحی راه‌های تقاطع‌ها است. این عرض‌های طراحی در جدول 3-51 برای سه حالت منطقی از ترافیک مختلط، که ذیلاً تعریف می‌شود، ارائه شده است. در عین حال، چنانچه وسایل نقلیه بزرگی مانند WB-19 یا WB-33، از یک راه گردشی یا رابط استفاده کند. جاگیری مسیرهای گردشی آنها، باید حداقل در شرایط حالت اول فراهم شود. بنابراین، باید عرض‌های حالت اول برای وسیله نقلیه طرح و شعاع مناسب مذکور در جدول 3-50، کنترل شوند تا معلوم گردد که آیا از مقادیر جدول 3-51 تجاوز می‌کنند یا خیر. اگر تجاوز کرد، باید از عرض‌های حالت اول جدول 3-50 به عنوان حداقل عرض‌های راه گردشی یا رابط، استفاده کرد.



شرایط ترافیک برای تعریف عرض‌های راه‌های گردشی به صورت کلی بیان شده است، زیرا اطلاعات مربوط به حجم ترافیک یا درصد حجم کل ترافیک برای هر نوع وسیله نقلیه برای تعریف دقیق این شرایط ترافیکی در دسترس نیست.

شعاع لبه داخلی سواره رو R (متر)	عرض روسازی (متر)								
	حالت 1: عملکرد یک خطه یکطرفه بدون امکان سبقت از خودرو متوقف			حالت 2: عملکرد یک خطه یک طرفه با امکان سبقت از خودرو متوقف			حالت 3: عملکرد دو خطه، یک طرفه یا دو طرفه		
	شرایط ترافیکی طرح								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	15	5/4	5/5	7/0	6/0	7/8	9/2	9/4	11/0
25	4/8	5/0	5/8	5/6	6/9	7/9	8/6	9/7	11/1
30	4/5	4/9	5/5	5/5	6/7	7/6	8/4	9/4	10/6
50	4/2	4/6	5/0	5/3	6/3	7/0	7/9	8/8	9/5

75	3/9	4/5	4/8	5/2	6/1	6/7	7/7	8/5	8/9
100	3/9	4/5	4/8	5/2	5/9	6/5	7/6	8/3	8/7
125	3/9	4/5	4/8	5/1	5/9	6/4	7/6	8/2	8/5
150	3/6	4/5	4/5	5/1	5/8	6/4	7/5	8/2	8/4
مسیر مستقیم	3/6	4/2	4/2	5/0	5/5	6/1	7/3	7/9	7/9
تعدیل عرض در ارتباط با کیفیت لبه سواره رو									
بدون شانه مستحکم	ندارد			ندارد			ندارد		
جدول شیب دار	ندارد			ندارد			ندارد		
جدول عمودی، در یک طرف	0/3 متر اضافه شود			ندارد			0/3 متر اضافه شود		
جدول عمودی، در دو طرف	0/6 متر اضافه شود			0/3 متر اضافه شود			0/6 متر اضافه شود		
شانه مستحکم در یک یا دو طرف راه	برای حالت های C, B در مسیر مستقیم میتوان در صورتی که شانه، 1/2 متر یا عریض تر باشد، عرض خط را به 3/6 متر کاهش داد			عرض شانه کم شود. حداقل عرض همانند حالت 1			چنانچه شانه 1/2 متر یا عریض تر باشد 0/6 متر کسر شود		
A : وسیله نقلیه سبک (P) حالت غالب دارد اما بعضاً کامیون نیز مورد نظر است. B : تعداد کافی کامیون، ملاک طرح است اما بعضاً تریلی نیز منظور می شود. C : تعداد کافی اتوبوس و تریلی، ملاک طرح است.									

جدول 3-51: عرض های طرح سواره رو برای راه های گردشی

حالت ترافیکی A

این حالت ترافیکی، عمدتاً شامل خودروهای سبک (P) است، اما بعضاً کامیون ها نیز در نظر گرفته می شوند، مقادیر مندرج در جدول 3-51 قدری بزرگتر از مقادیر مربوط به وسایل نقلیه سبک در جدول 3-50 هستند.

حالت ترافیکی B

این حالت ترافیکی شامل تعداد کافی از کامیون ها است که می تواند عامل طراحی باشد. اما بعضاً تریلی نیز، منظور می گردد. مقادیر جدول 3-51 برای حالت اول و سوم با مقادیر جدول 3-50 برای کامیون مطابقت دارند. برای حالت دوم، این مقادیر همانطور که بعداً در همین بخش توضیح داده خواهد شد، کاهش می یابند.

حالت ترافیکی C

این حالت ترافیکی شامل تعداد کافی تریلی WB-12 یا WB-15 به عنوان ملاک طرح است، مقادیر جدول 3-51 برای حالت اول و سوم، نظیر مقادیر WB-12 در جدول 3-50 است. برای حالت دوم، مقادیر کاهش داده شده است.

بطور کلی حالت ترافیکی A می‌تواند برای حجم ترافیک کم ماشین‌های سنگین یا فقط عبور اتفاقی تریلی‌های بزرگ در نظر گرفته شود. حالت ترافیکی B برای حجم متوسطی از ماشین‌های سنگین (بین 5 تا 10 درصد از حجم کل ترافیک) و حالت ترافیکی C برای تعداد بیشتری از تریلی‌های بزرگ در نظر گرفته می‌شود.

در جدول 3-51 ترکیبی از وسایل نقلیه کوچکتر برای بدست آوردن عرض‌ها، برای حالت دوم بیش از حالت سوم فرض شده است زیرا عبور از کنار وسیله نقلیه متوقف در حالت دوم، کمتر اتفاق می‌افتد. به علاوه، لازم نیست، خروج از مسیر، برای هر دو وسیله نقلیه سبقت‌گیرنده و متوقف، منظور گردد. اغلب، وسیله‌های نقلیه متوقف، می‌توانند به کنار لبه داخلی سواره‌رو راه منتقل شوند، تا فاصله آزاد اضافی لازم برای عبور خودروها تأمین شود.

وسایل نقلیه طرح یا مجموعه‌های وسایل نقلیه طرح که ملاک تعیین مقادیر جدول 3-51 برای سه حالت مختلف ترافیکی قرار گرفته و با فرض منظور نمودن فاصله آزاد کامل برای خودروهای طرح تعیین شده‌اند، عبارتند از :

حالت	شرایط ترافیکی طرح		
	A	B	C
I	P	SU	WB-12
II	P-P	P-SU	SU-SU
III	P-SU	SU-SU	WB-12-WB-12

ترکیب حروف، مانند P-SU برای حالت دوم، بدان معناست که عرض طرح در این مثال، سبقت وسیله نقلیه سبک طرح از کامیون طرح متوقف یا بالعکس را، امکان‌پذیر می‌سازد. در مورد فاصله آزاد جانبی کامل، بطوری که قبلاً بحث شد، مقدار فوق‌العاده‌ای منظور گردید.

وسایل نقلیه بزرگتر، در عبور از راه‌هایی که برای خودروهای کوچک‌تر، طراحی شده، فاصله آزاد کمتری دارند و نیازمند استفاده از سرعت کمتر و توجه و مهارت بیشتر، توسط راننده می‌باشند، ولی اندازه وسایل نقلیه‌ای که می‌توانند از مسیرهای باریک عبور کنند، محدود است. وسایل نقلیه بزرگی که می‌توانند از راه‌های گردشی با عرض‌های داده شده در جدول 3-51، منتها با فاصله آزاد جانبی بین حدود نصف مقدار کل C در قوس‌های تند تا تقریباً مقدار کامل C در قوس‌های بازتر، عبور کنند، عبارتند از:

حالت	شرایط ترافیکی طرح		
	A	B	C
I	WB-12	WB-12	WB-15
II	P-SU	P-WB-12	SU-WB-12
III	SU-WB-12	WB-12-WB-12	WB-15-WB-15

عرض‌های مندرج در جدول 3-51، همانگونه که در زیر جدول ذکر شده، بر حسب نوع شانه و جدول کنار، در معرض تعدیل‌هایی قرار می‌گیرند. اگر در خارج از کف راه، سبز مستحکم و فضایی وجود داشته باشد و مانعی برای استفاده از آن نباشد وسیله نقلیه بزرگ اتفاقی می‌تواند از کنار وسیله نقلیه دیگر، در راه طرح شده برای وسایل نقلیه کوچک، عبور کند.

در چنین شرایطی عرض می‌تواند کمی کوچک‌تر از مقادیر مندرج در جدول باشد. وجود جدول قائم در کنار خط عبور موجب القای حس محدودیت به راننده می‌شود و وسایل نقلیه بزرگ اتفاقی فضای اضافی برای مانور ندارند، به این دلیل، اینگونه راه‌ها را باید کمی عریض‌تر از مقادیر مندرج در جدول 3-51 در نظر گرفت. وقتی شانه مستحکم در کنار سواره رو وجود داشته باشد، عرض‌های مربوط به حالت دوم و سوم و در بعضی شرایط حالت اول را می‌توان در قسمت‌های مستقیم، کاهش داد. مقادیر حالت دوم، ممکن است بخاطر عرض اضافی شانه مستحکم کاهش یابند، اما هیچگاه، نباید از عرض حالت اول کمتر شوند. همین طور، مقادیر حالت سوم ممکن است تا 0/6 متر کاهش یابند. مقادیر حالت اول برای وسایل نقلیه طرح خاص، به میزان حداقل، منظور شده و کاهش بیشتر آن حتی با وجود شانه مستحکم، به جز در قسمت‌های مستقیم، به صلاح نیست. اگر در دو سمت مسیر، از جدول قائم استفاده شده باشد، مقادیر ارائه شده در جدول باید برای حالت‌های اول و سوم به میزان 0/60 متر و برای حالت دوم به اندازه 0/3 متر افزایش یابند زیرا سبقت از وسایل نقلیه متوقف با سرعت کم، صورت می‌گیرد. اگر چنین جدولی تنها در یک طرف راه وجود داشته باشد، برای حالت‌های اول و سوم، اضافه عرض 0/3 متر در نظر گرفته می‌شود و برای حالت دوم اضافه عرضی لازم نیست.

مثالی از کاربرد جدول 3-51 در طراحی به صورت زیر است. فرض می‌شود که طرح هندسی و حجم ترافیک برای حرکت گردشی معین، عملکرد یک خطه یکطرفه با امکان سبقت از خودرو متوقف (حالت دوم) را توجیه کند، و این که حجم ترافیک، شامل 10 تا 12 درصد وسیله نقلیه سنگین و بطور موردی تریلی بزرگ باشد که برای آن شرایط ترافیکی C مطلوب قلمداد شود. بنابراین اگر شعاع لبه داخلی سواره‌رو برابر 50 متر باشد، عرض راه از جدول 3-51 برابر 7 متر بدست می‌آید. با یک شانه 1/2 متری مستحکم عرض راه گردشی، می‌تواند به 5/8 متر کاهش یابد (به بخش پایینی جدول 3-51 مراجعه شود). با جدول قائم در هر طرف راه، عرض راه گردشی نباید کمتر از 7/3 متر باشد.

عرض‌های کناره سواره‌رو

عرض یک راه گردشی شامل شانه‌ها یا فاصله آزاد جانبی معادل، در بیرون سواره‌رو است. در سراسر محدوده تقاطع، عرض شانه از صفر یا حداقل، در خیابان‌های شهری جدول‌دار تا پهنای آن در نیمرخ عرضی قسمت عادی راه تغییر می‌کند. حالت‌های معمول‌تر در ادامه مورد بحث قرار گرفته است. در تقاطع جریان‌بندی شده، برای راه‌های گردشی معمولاً شانه لازم نیست. خط‌های عبور، با جدول‌بندی، خط‌کشی رویه یا جزیره‌ها مشخص می‌شوند. جزیره‌ها ممکن است جدول‌بندی شده باشند و ضوابط ابعادی برای جزیره‌ها، فاصله آزاد جانبی مناسب را در بیرون لبه خارجی راه گردشی فراهم کنند. در بیشتر حالات، راه‌های گردشی نسبتاً کوتاه است و برای جاگیری موقت وسایل نقلیه نیازی به شانه نیست. بحث درباره ابعاد جزیره، در فصل 9 آمده است.

در مواردی که راه راستگرد جداگانه وجود دارد، لبه سمت چپ آن، یک ضلع جزیره مثلثی را مشخص می‌کند. اگر جزیره کوچک باشد یا در هدایت حرکت نقش مهمی داشته باشد، با جدول‌بندی و خط‌کشی رویه مشخص می‌شود. از طرف دیگر، هنگامی که شعاع گردش بزرگ است، کناره جزیره را می‌توان با میله راهنما یا چشم‌گربه‌ای یا بطور ساده، با خط‌کشی لبه رویه مشخص کرد. در هر حال، احداث شانه سمت چپ، معمولاً لازم نیست هرچند برای جلوگیری از تأثیرات ناشی از انحراف جانبی وسایل نقلیه، در صورت وجود

جدول باید برای آن عقب نشینی منظور گردد یا نوار مسطحی به عرض کافی در سمت چپ، در نظر گرفته شود.

به طور معمول، شانه در سمت راست راه‌های گردشی راست گرد جاده‌های برون شهری منظور می‌شود. در ارتباط با مسایل کلی و بخش نیمرخ عرضی شانه سمت راست باید اصولاً مانند شانه قسمت‌های معمولی راه مجاور و احتمالاً بخاطر شرایط تقاطع، اندکی باریک‌تر از آن باشد. به دلیل تمایل وسایل نقلیه در حال گردش به تجاوز به شانه راه، مستحکم بودن آن باید مد نظر قرار گیرد تا شانه، قابلیت تحمل بارهای سنگین چرخ‌ها را داشته باشد. اگرچه منظور نمودن جدول در سمت راست، موجب کاهش عملیات راهداری حاصل از استفاده خودروها از شانه سمت راست و نشست و خرابی متعاقب آن می‌شود، ولی انجام این کار در مجاورت راه‌های با سرعت بالا، به هیچ وجه توصیه نمی‌شود، در راه‌های شهری با سرعت پایین، جدول‌بندی سمت راست راه گردشی، کار معمول و متعارفی است. درباره جداول در فصل 4 بطور مفصل‌تر، بحث خواهد شد.

در طرح‌های بزرگ مقیاس جریان‌بندی و همچنین در تبادلهای ممکن است راه‌های گردشی با انحنا و طول کافی برای جدا نمودن از راه‌های دیگر وجود داشته باشند. اینگونه راه‌های گردشی باید در هر دو طرف دارای شانه باشند. هنگام استفاده از جداول باید آنها را در لبه خارجی شانه جای داد. این جداول باید از نوع شیب‌دار باشد.

بعضی از راه‌های گردشی، مخصوصاً رابط‌ها، از روی ابنیه تخلیه آب، از رو یا زیر راه‌های دیگر، یا از کنار دیوارها یا برش‌های سنگی در یک سمت یا هر دو سمت، عبور می‌کنند. در این محل‌ها، حداقل فاصله آزاد، طبق مندرجات فصل‌های بعد یا آنچه در ویرایش فعلی مشخصات پلهای AASHTO [31] ذکر شده مستقیماً اعمال می‌شود. بعلاوه، طراحی باید به لحاظ فاصله دید کافی ارزیابی شود، زیرا قوس تند، ممکن است به فاصله آزاد جانبی بیش از حداقل، نیاز داشته باشد.

جدول 3-52، خلاصه‌ای از حدود مقادیر طراحی مربوط به راه‌های گردشی را در شرایط کلی ذکر شده در بالا، نشان می‌دهد. در راه‌های بدون جدول یا با جداول شیب‌دار، نوع شانه و مقطع عرضی آن باید همانند راه متقاطع در نظر گرفته شود. عرضهای نشان داده شده در جدول برای شانه‌های مستحکم هستند. در حالتیکه، در کنار جاده، حفاظ کار گذاشته شده باشد، عرض‌های تعیین شده، باید تا بر حفاظ اندازه‌گیری شود و مقدار آن، حدود 0/6 متر بیشتر از مقادیر جدول باشد. غیر از موارد حجم ترافیک کم، مطلوب آن است که شانه‌های راست در عرض 1/20 متر یا بیشتر، دارای رویه، روکش یا نوع دیگری از تثبیت باشد.

شرایط راه گردشی	عرض شانه یا فاصله آزاد جانبی، در خارج از لبه سواره رو	
	چپ	راست
طول کوتاه، معمولاً در تقاطع‌های جریان بندی شده	0/6 تا 1/2	0/6 تا 1/20
طول متوسط تا بلند یا در خاکریزی یا در خاکبرداری	1/2 تا 3/0	1/8 تا 3/6
نکته : تمام اندازه ها برای فاصله دید به مقدار لازم باید افزایش داده شوند		

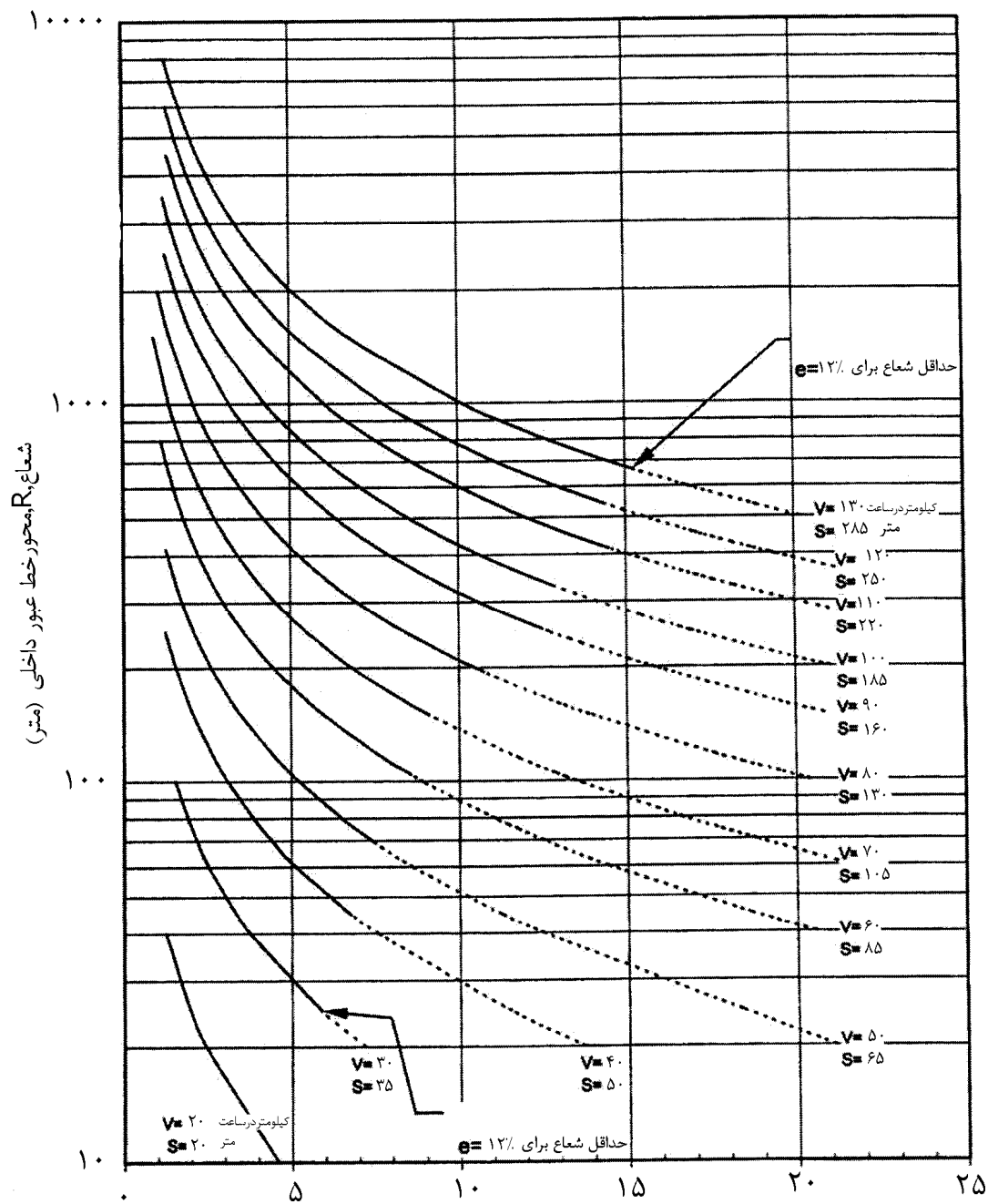
شکل 3-52: حدود عرض‌های شانه مستحکم یا فاصله آزاد جانبی معادل در خارج از راه‌های گردشی که روی ابنیه قرار ندارد

فاصله دید در قوس‌های افقی

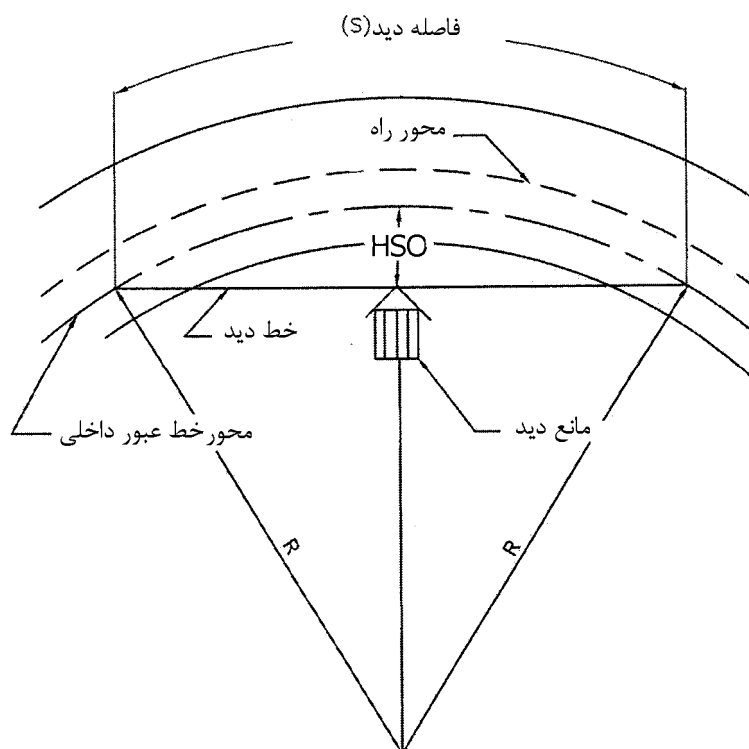
جزء دیگری از مسیر افقی، فاصله دید در داخل قوس‌ها است. اگر در داخل قوس یا در خط عبور مجاور میانه راه‌های مجزا موانع دید (مانند دیوارها، شیروانی برش‌ها، ساختمان‌ها و یا موانع طولی) وجود داشته باشد، بمنظور تأمین فاصله دید کافی، باید نیمرخ عرضی عادی راه را تعدیل نمود یا در صورت عدم امکان بر طرف کردن مانع، مسیر را اصلاح کرد. به علت وجود متغیرهای فراوان در مسیر، در نیمرخ عرضی و نیز در تعداد، نوع و محل استقرار موانع بالقوه، معمولاً هر قوس باید بطور خاص مورد مطالعه قرار گیرد. طراح باید، با توجه به فاصله دید نظیر سرعت طرح، به عنوان یک ضابطه، شرایط واقعی هر قوس را، واریسی کند و تعدیل‌های مقتضی را بمنظور تأمین فاصله دید کافی، به عمل آورد.

فاصله دید توقف

برای استفاده کلی در طراحی قوس‌های افقی، خط دید، وتر قوس است و فاصله دید توقف، در طول محور خط عبور داخلی قوس اندازه گرفته می‌شود. شکل 3-53 نموداری است که مقادیر عقب نشینی خط دید افقی در محوطه دید بدون مانع را برای شعاع‌های مختلف، نشان می‌دهند. این فاصله تعیین کننده فاصله دید توقف ارائه شده در جدول 3-1 است. شکل 3-53 شامل شعاع‌های نظیر کلیه مقادیر یک‌بری تا حداکثر 12 درصد است.



شکل 3-53: ضوابط طرح برای فاصله دید توقف در قوس های افقی



شکل 3-54: نمودار اجزاء برای تعیین فاصله دید افقی

مقادیر عقب‌نشینی خط دید افقی در شکل 3-53، با استفاده از روابط هندسی ابعاد مختلف مطابق با شکل 3-54 و براساس معادله 3-38 بدست می‌آید. این معادله فقط برای قوس‌های دایره‌ای طویل‌تر از فاصله دید و برای سرعت مربوط، به کار می‌رود. روابط بین HSD ، R و V در شکل 3-53 را می‌توان با سرعت کنترل کرد. برای مثال، اگر سرعت طرح 80 کیلومتر در ساعت و شعاع قوس 350 متر باشد، محوطه دید بدون مانعی با عقب‌نشینی خط دید افقی (HSD) به میزان حدود 6 متر مورد نیاز است تا فاصله دید افقی، تأمین گردد. در مثال دیگر، برای مانع دیدی در فاصله 6 متری از محور خط عبور داخلی قوس با شعاع 175 متر، فاصله دید مورد نیاز تقریباً در مرز بالایی محدوده سرعت 60 کیلومتر در ساعت قرار دارد.

$HSD = R \left[\left(1 - \cos \frac{28.65s}{R} \right) \right]$	(38-3)
در آن:	
S = فاصله دید توقف (متر)	
R = شعاع قوس (متر)	
HSD = عقب‌نشینی خط دید افقی (متر)	

موانع دید افقی ممکن است ناشی از شیروانی خاکبرداری در داخل قوس باشد. برای ارتفاع چشم 1080 میلی‌متر و ارتفاع شیء 600 میلی‌متر که در فاصله دید توقف در نظر گرفته می‌شود، در جاییکه معمولاً شیروانی خاکبرداری مانع دید محسوب می‌شود، ارتفاع 840 میلی‌متر را می‌توان به عنوان نقطه وسط خط دید به کار برد، با این فرض که قوس قائمی وجود نداشته باشد، یا مقدار آن ناچیز باشد. برای راهی با سواره‌رو به

عرض 6/6 متر و شانه به پهنای، 1/2 متر، عرض اضافی 1/2 متری برای جوی کناری و شیب شیروانی خاکبرداری، 1 قائم به 2 افقی، مانع دید، در فاصله حدود 5/75 متری خارج محور خط عبور داخلی قرار دارد. این مقدار، برای فاصله دید لازم در سرعت 50 کیلومتر در ساعت وقتی شعاع قوس 90 متر یا بیشتر است کفایت می‌کند. همین مقدار (5/75 متر) برای سرعت 80 کیلومتر در ساعت و شعاع قوس 375 متر یا بیشتر نیز کافی خواهد بود. در قوس‌های با شعاع کمتر باید شیب شیروانی خاکبرداری را ملایم‌تر گرفت یا تمهیدات دیگری از قبیل ایجاد پله به عمل آورد. از سوی دیگر، راه‌های با ابعاد جانبی عادی 16 متر و بیشتر، فاصله دید توقف کافی برای قوس‌های افقی در سراسر محدوده سرعت‌های طرح و شعاع‌های قوس را تأمین می‌کنند.

در بعضی حالات، دیوارهای حائل، حفاظ‌های بتنی میانه و دیگر عوامل مشابه که در قسمت داخلی قوس، بنا می‌شوند، ممکن است مانع دید باشند و برای فاصله دید توقف، باید آنها را کنترل کرد. مثلاً مانعی از این نوع، که در فاصله 1/2 متری از لبه داخلی سواره‌رو به عرض 7/2 متر قرار گرفته، دارای عقب‌نشینی خط دید افقی به میزان حدود 3/0 متر است. این وضعیت، در سرعت 80 کیلومتر در ساعت، فاصله دید توقف کافی را برای قوسی با شعاع حدود 700 متر یا بیشتر تأمین می‌کند. اگر این مانع 0/3 متر دیگر از راه دور شود و در واقع، مقدار HSO به 3/3 متر افزایش یابد، فاصله دید توقف کافی، برای شعاع 625 متر نیز در همان سرعت 80 کیلومتر در ساعت تأمین خواهد شد. این روش برای ابنیه موجود یا موانع دید مشابه در داخل قوس، قابل اعمال است.

در جاییکه فاصله دید توقف کافی بدلیل وجود نرده یا یک مانع طولی ممتد، قابل دستیابی نیست، باید گزینه‌های طراحی، با در نظر گرفتن جهات ایمنی و اقتصادی بررسی شوند این گزینه‌ها به شرح زیر هستند :

- 1) افزایش فاصله موانع از لبه سواره‌رو
- 2) افزایش شعاع قوس
- 3) کاهش سرعت طرح

با این وجود، در هر یک از گزینه‌ها، عرض شانه داخلی قوس نباید از 3/6 متر تجاوز کند زیرا خطر استفاده رانندگان از شانه، بعنوان خط عبور یا خط سبقت بوجود می‌آید.

همانطور که در شکل 3-54 دیده می‌شود، روش ارائه شده تنها در شرایطی نتایج دقیقی در پی خواهد داشت که هم خودرو و هم مانع دید در محدوده قوس‌های افقی ساده باشند. هرگاه یکی از این دو در خارج از این محدوده قرار گیرد، نتایج تقریبی خواهند بود. همین قضیه، در موردی که خودرو یا مانع دید، یا هر دوی آنها در محدوده حلزونی یا قوس مرکب قرار گیرد، صادق است. در این موارد، نتایج بدست آمده برای عقب‌نشینی خط دید افقی کمی بزرگتر از مقادیر لازم برای تأمین فاصله دید توقف مطلوب، هستند. در بسیاری موارد، فاصله آزاد اضافی حاصل شده، مقدار ناچیزی خواهد بود. هرگاه شکل 3-53 قابل استفاده نبود، باید طرح را با استفاده از روش‌های ترسیمی یا محاسباتی، کنترل کرد. مرجع [32]، یک روش محاسباتی را، برای این کنترل ارائه می‌کند.

فاصله دید سبقت

حداقل فاصله دید سبقت برای یک خیابان یا راه دو خطه در حدود چهار برابر حداقل فاصله دید توقف در همان سرعت طرح است. برای تطبیق با این فواصل دید بزرگتر، محوطه آزاد طرف داخل قوس باید بسیار عریض‌تر از آنچه در ارتباط با فاصله دید توقف بحث شد، در نظر گرفته شود.

معادله 3-38، مستقیماً برای فاصله دید سبقت قابل استفاده است. ولی ارزش عملی آن، محدود به استفاده برای قوس‌های طولانی است. نمایش مقادیر حاصل از کاربرد این معادله، در درجه اول این نتیجه را عاید می‌کند که تأمین فاصله دید سبقت، بجز برای قوس‌های بسیار باز، مشکل است.

فاصله دید سبقت بین ارتفاع چشم (1080 میلی‌متر) و ارتفاع مانع (1080 میلی‌متر) اندازه‌گیری می‌شود. خط دید نزدیک مرکز محوطه داخلی قوس در حدود 240 میلی‌متر بالاتر از خط دید مربوط به فاصله دید توقف است. در برش‌ها، فاصله جانبی حاصله برای نیمرخ‌های عادی راه (شیروانی‌های خاکبرداری 2H:1V تا 6H:1V)، بین محور خط عبور داخلی قوس تا نقطه میانی خط دید، 0/5 تا 1/5 متر بیش از فاصله مربوط به حالت دید توقف است. بدیهی است که برای بسیاری از برش‌ها طراحی برای فاصله دید سبقت، باید تنها به قسمت‌های مستقیم یا قوس‌های با شعاع بزرگ محدود شود. حتی در مناطق دشتی، تأمین فاصله دید سبقت در قوس‌ها نیازمند منطقه آزاد و بدون مانعی در داخل هر قوس است که در پاره‌ای مـوارد، تـا آن سـوی حـریم ادامـه می‌یابد.

به طور کلی، طراحان برای کنترل فاصله دید در قوس‌های افقی باید از روش‌های ترسیمی ارائه شده در شکل 3 - 8 و توضیحات مربوط به آن استفاده کنند.

ضوابط عمومی برای مسیرهای افقی

علاوه بر اجزاء طرح ویژه مسیرهای افقی که طی عناوین پیش، مورد بحث قرار گرفت، در عمل، ضوابط عمومی دیگری نیز شناخته شده است. این ضوابط، در قالب روابط نظری قرار ندارند ولی برای راه‌های دارای جریان عبور کارآمد و یکنواخت، مهم هستند. انحنای بیش از حد یا ترکیب‌های ضعیف انحنای که محدودیت ظرفیت را در پی دارند، باعث ضرر اقتصادی ناشی از افزایش زمان سفر و هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود و از زیبایی ظاهری راه می‌کاهد. برای پرهیز از این گونه طراحی‌های ضعیف، در صورت امکان، باید ضوابط عمومی زیر را رعایت کرد:

- مسیر باید تا حد امکان، در جهت رسیدن به مقصد پیشروی کند اما در عین حال از وضعیت پستی و بلندی طبیعی پیروی کند و املاک آباد شده و ارزش‌های اجتماعی را حفظ نماید. یک مسیر منحنی شکل که بطور کلی از عوارض طبیعی پیروی می‌کند بر مسیر مستقیمی که آن عوارض را می‌شکافد، برتری دارد. در مسیر منحنی شکل، بریدگی‌های ناشی از راهسازی را می‌توان به حداقل رساند و شیروانی‌ها و رویش‌های طبیعی را حفظ کرد. این نوع طرح، از نقطه نظر احداث و نگهداری، مطلوب است. به طور کلی، تعداد قوس‌های کوتاه باید به حداقل رسانده شود. از مسیرهای مارپیچ مرکب از قوس‌های کوتاه، باید پرهیز کرد، زیرا معمولاً باعث حرکت غیرعادی می‌شود. گرچه زیبایی‌های مرتبط با مسیر منحنی شکل، اهمیت دارد، قسمت‌های مستقیم طولانی نیز در راه‌های دو خطه لازم است تا در حد امکان، فاصله دید سبقت کافی در طول هرچه بیشتری از راه، تأمین گردد.

- در مسیرهای مورد مطالعه برای یک سرعت طرح معین، حتی‌الامکان باید از شعاع قوس حداقل خودداری شود. طراح باید کوشش کند که بطور کلی از قوس‌های باز استفاده کند و شعاع حداقل را به شرایط بحرانی اختصاص دهد. به طور کلی، زاویه مرکزی هر قوس، باید تا آنجا که شرایط طبیعی اجازه می‌دهد، کوچک باشد تا مسیر، در حد امکان «رو به مقصد» شود. این زاویه انحراف باید در طولانی‌ترین قوس ممکن سرش‌کن شود، اما در راه‌های دو خطه، استثناء مذکور در قسمت آخر پاراگراف قبلی رعایت می‌گردد.
- همواره باید مسیرهایی را که حالت آرام و پیوسته دارد، جستجو کرد. قوس‌های تند نباید در انتهای یک قسمت مستقیم طولانی طراحی شوند. از تغییرات ناگهانی محدوده‌های انحنای باز به محدوده‌های انحنای تند، باید پرهیز شود تا جایی که امکان دارد، قبل از قوس تند باید قوس‌هایی که انحنای آنها به ترتیب افزایش می‌یابد، منظور گردد.
- در زوایای انحراف کوچک، باید طول قوس به حد لازم بزرگ باشد تا از نمایان شدن شکل گره جلوگیری شود. طول قوس برای زاویه مرکزی 5 درجه باید حداقل 150 متر باشد و این طول حداقل باید به ازای هر یک درجه کاهش زاویه مرکزی، 30 متر افزایش یابد. حداقل طول قوس‌های افقی در راه‌های اصلی $L_{c \min}$ ، برحسب متر، باید در حدود سه برابر سرعت طرح بر حسب کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شود، $L_{c \min} = 3V$. در راه‌های با سرعت بالا و دسترسی کنترل شده که از انحنای ملایم استفاده می‌شود، به منظور در نظر گرفتن مسائل زیبایی، طول حداقل مطلوب قوس‌ها باید در حدود دو برابر طول حداقل فوق‌الذکر باشد، یعنی $L_{c \text{des}} = 6V$.
- از انحنای تند در خاکریزهای مرتفع و طولانی باید پرهیز کرد. در صورت نبود شیروانی خاکبرداری یا درختچه‌ها و درخت‌هایی که بالاتر از سطح راه قرار دارند، درک میزان انحنای تعدیل هدایت خودرو براساس آن، برای رانندگان، دشوار است.
- استفاده از قوس‌های دایره‌ای مرکب، باید با احتیاط انجام شود. از آنجا که قوس‌های مرکب، در هماهنگ کردن راه با وضعیت زمین، از خود نرمش نشان می‌دهد، آسانی کاربرد آن نیز طراحان را وسوسه می‌کند که از این نوع قوس‌ها بی‌هیچ قید و شرطی استفاده کنند. ترجیحاً از کاربرد آن‌ها در قوس‌های تند باید پرهیز شود. استفاده از قوس‌های مرکب با اختلاف شعاع زیاد، همان مشکلاتی را در پی خواهد داشت که تقرب مسیر مستقیم به قوس‌های دایره‌ای دارد. هنگامی که وضعیت پستی و بلندی یا محدودیت‌های حریم راه، استفاده از قوس‌های مرکب را اقتضا می‌کند، شعاع قوس دایره بازتر، R_1 ، نباید بیش از $1/5$ برابر شعاع قوس دایره تندتر، R_2 ، باشد. قوس‌های مرکب چندتایی (یعنی چند دایره متوالی) ممکن است برای اتصال تدریجی قوس‌های تند، به طوری که در قسمت «قوس‌های دایره‌ای مرکب» بحث شد، مناسب باشند. استفاده از اتصال حلزونی میان قوس‌های باز و تند می‌تواند، مطلوب باشد. در مسیرهای یک طرفه، مانند رابط‌ها، اختلاف شعاع قوس‌های مرکب، در صورتیکه قوس دوم از قوس اول بازتر باشد، چندان مهم نیست. در عین حال، استفاده از قوس‌های مرکب متشکل از یک قوس بازتر بین دو قوس تندتر، در رابط‌ها، روش مطلوبی نیست.
- از برگشت ناگهانی مسیر افقی (ایجاد پیچ معکوس) باید اجتناب کرد اینگونه تغییرات، کار رانندگان را برای ماندن در خط عبور خود، مشکل می‌کند. همچنین ایجاد یک‌بری کافی برای دو قوس، دشوار

می‌شود و ممکن است به بی‌نظمی در حرکت نیز بیانجامد. فاصله بین دو قوس بایستی برابر مجموع طول‌های استقرار یک‌بری و طول‌های حذف شیب مخالف هر دو قوس و یا ترجیحاً طول معادل قوس‌های حلزونی، به شرحی که در بخش «ضوابط طرح اتصال تدریجی» ارائه شد، در نظر گرفته شود. اگر فاصله کافی (یعنی بیش از 100 متر) برای تأمین طول‌های حذف شیب مخالف و یا ترجیحاً طول معادل حلزونی برای بازگشت مقطع عرضی به حالت عادی، وجود نداشته باشد، ممکن است که در طول زیادی از راه، محور با لبه‌ها در یک تراز قرار داشته باشند و مشکلاتی برای تخلیه عرضی آب به وجود آید. در این حالت، بایستی طول‌های استقرار یک‌بری آنقدر افزایش پیدا کنند که به یکدیگر متصل شوند و به این ترتیب، نیمرخ عرضی، در یک نقطه از راه به شکل افقی در می‌آید. برای سواره‌روهای دارای نیمرخ عرضی مستوی (شیب عرضی یکطرفه) اشکال برگرداندن لبه‌های سواره‌رو به مقطع عادی، کمتر است و مقدار 100 متر بیان شده را می‌توان کاهش داد.

- از کاربرد قوس‌های کمرشکسته یا پشت تخت (قسمت کوتاه مستقیم بین دو قوس هم‌جهت) بایستی خودداری شود، مگر در مواردی که وضعیت پستی و بلندی یا شرایط حریم، استفاده از گزینه‌های دیگر را، عملاً غیرممکن کرده باشد. بجز راه‌های کمربندی، بیشتر رانندگان انتظار این را ندارند که قوس‌های پی در پی در جهت مخالف، ممکن است انتظار ناخودآگاهی را بین رانندگان بوجود آورد که قوس‌های هم‌جهت پی در پی را، غیرمنتظره بنمایاند. قوس‌های پشت تخت از لحاظ ظاهری نیز نمای خوشایندی ندارند. در این موارد استفاده از مسیری با قوس‌های اتصال حلزونی یا قوس‌های مرکب، که در آنها تا اندازه‌ای یک‌بری ممتد به وجود می‌آید، به استفاده از قوس‌های پشت‌تخت، ترجیح دارد. اصطلاح «پشت تخت» معمولاً در حالتی که قسمت مستقیم اتصالی طول قابل ملاحظه‌ای داشته باشد، به کار نمی‌رود. حتی در این حالت نیز، در صورتی که هر دو قوس از فاصله‌ای به خوبی دیده شود، مسیر، دارای شکل خوشایندی نیست.
- برای پرهیز از بوجود آمدن نمایی با تغییر شکل‌های ناسازگار، مسیر افقی باید به دقت، با طرح نیمرخ طولی هماهنگ شود. ضوابط عمومی این هماهنگی در بخشی از این فصل، تحت عنوان «ترکیب مسیر افقی و قائم (پلان و نیمرخ طولی)» ارائه شده است.

مسیر قائم (نیمرخ طولی)

شرایط زمین

وضعیت پستی و بلندی اراضی مورد عبور بر مسیر راه‌ها خیابان‌ها تأثیرگذار است. وضعیت پستی و بلندی‌های زمین بر مسیر افقی تأثیر می‌گذارد، اما تأثیر چشم‌گیرتری بر مسیر قائم دارد. برای مشخص کردن تغییرات پستی و بلندی، مهندسان معمولاً آن را برحسب نوع زمین به سه طبقه تقسیم می‌کنند. در منطقه دشت، فاصله‌های دید راه، با تبعیت از محدودیت‌های افقی و قائم عموماً طولانی است یا می‌تواند طول کافی برای آنها را بدون مشکلات ساختمانی یا هزینه زیاد تأمین کرد. در منطقه تپه ماهوری، شیب‌های طبیعی مرتباً از تراز راه یا خیابان بالا می‌رود و پایین می‌افتد و گاهی شیب‌های تند محدودیت‌هایی برای مسیرهای عادی افقی و قائم معبر ایجاد می‌کنند.

در منطقه کوهستانی، تغییرات طولی و عرضی در تراز زمین، نسبت به راه یا خیابان، شدید است و مکرراً برای دستیابی به مسیر افقی و قائم قابل قبول، خاکبرداری تپه‌های کناری و ایجاد شیروانی‌های پلکانی، مورد نیاز است.

طبقه‌بندی‌های زمین به مشخصات عمومی دهلیز مسیر معین، بستگی دارد. مسیرهایی که از دره‌ها، گردنه‌ها یا مناطق کوهستانی می‌گذرند و تمامی مشخصات راه‌ها یا خیابان‌های گذرنده از منطقه دشت یا تپه ماهوری را دارند، به عنوان دشتی یا تپه ماهوری طبقه‌بندی می‌شوند. بطور کلی منطقه تپه ماهوری، شیب‌های تندتری را نسبت به دشت ایجاد می‌کند، و باعث می‌شود که سرعت خودروهای سنگین به سرعت کمتر از خودروهای سبک، کاهش یابد. تأثیر مناطق کوهستانی بیشتر است و موجب می‌شود که حرکت بعضی خودروهای سنگین با سرعت خزیدن، انجام گیرد.

شیب‌ها

راه‌ها و خیابان‌ها، بایستی به گونه‌ای طراحی شوند که مشوق حرکت یکنواخت سراسری باشند. همانطور که قبلاً در این فصل بحث شد، برای رسیدن به چنین منظوری، از ارتباط ضوابط گوناگون هندسی راه یا خیابان با سرعت طرح، استفاده می‌شود. معیارهای طراحی برای بسیاری از ویژگی‌های راه تعیین شده است، اما نتایج معدودی در مورد ارتباط مناسب شیب‌ها با سرعت طرح بدست آمده است. ویژگی‌های حرکتی وسایل نقلیه در شیب‌ها، در ادامه بحث شده و روابطی بین شیب‌ها و طول آنها با سرعت طرح ارائه گردیده است.

ویژگی‌های حرکتی وسایل نقلیه در شیب‌ها

خودروهای سبک: عملکرد رانندگان وسایل نقلیه سبک در شیب‌ها بسیار متفاوت است، اما بطور کلی، که خودروهای سبک، در شیب‌های با تندی 4 تا 5 درصد، می‌توانند به راحتی و بدون کاهش سرعت قابل ملاحظه، نسبت به سرعتی که معمولاً در راه دشتی دارند، حرکت کنند، به جز خودروهایی که نسبت وزن به قدرت آنها، زیاد است (شامل بعضی اتومبیل‌های سنگین وزن و نیمه سنگین).

مطالعات نشان می‌دهد که در وضعیت ترافیک غیرمتراکم، حرکت در سربالایی با شیب 3 درصد، تأثیر ناچیزی بر سرعت خودروهای سبک در مقایسه با حرکت در راه دشتی دارد. در سربالایی‌های تندتر، سرعت مرتباً با افزایش شیب، کاهش می‌یابد. در سراسی‌ها، سرعت وسایل نقلیه سبک کمی بیشتر از سرعت در منطقه دشتی است، شرایط محلی بر این قضیه تأثیرگذار است.

خودروهای سنگین: تأثیر شیب بر سرعت خودروهای سنگین به مراتب چشم‌گیرتر از تأثیر آن بر سرعت وسایل نقلیه سبک است. میانگین سرعت وسایل نقلیه سنگین در راه‌های کفی به میانگین سرعت وسایل نقلیه سبک نزدیک است. سرعت وسایل نقلیه سنگین معمولاً، نسبت به سرعت دشت، در سراسی‌ها، بیش از 5 درصد افزایش و در سربالایی‌ها 7 درصد یا بیشتر، کاهش می‌یابد. در سربالایی‌ها، حداکثر سرعت کامیون در درجه اول به طول و تندی شیب و نسبت وزن به قدرت آن بستگی دارد، که این نسبت برابر وزن ناخالص وسیله نقلیه تقسیم بر میزان خالص قدرت موتور است. دیگر عواملی که بر میانگین سرعت وسیله نقلیه

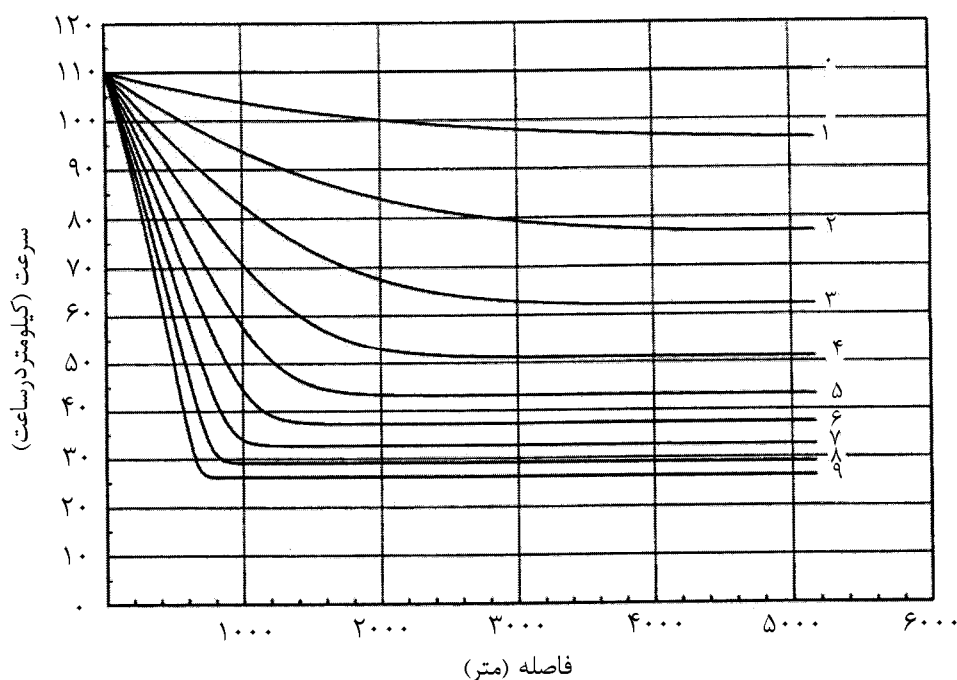
سنگین در شیب‌ها تأثیر می‌گذارند، سرعت ورود به شیب (سربالایی)، مقاومت آیرودینامیک و مهارت راننده هستند. دو عامل آخر تأثیر کمی بر میانگین سرعت دارد.

مطالعات گسترده‌ای در مورد خصوصیات کامیون‌ها برای مشخص کردن تأثیرات جداگانه و یا ترکیبی شیب راه، نیروی کشنده و وزن ناخالص کامیون انجام شده است [33، 34، 35، 36، 37، 38، 39].

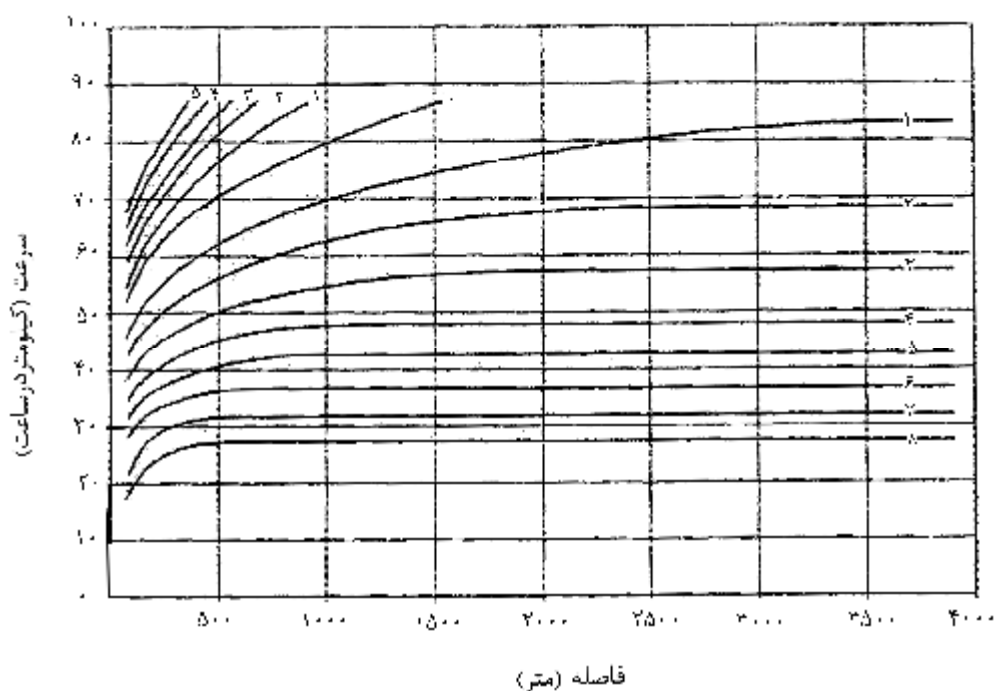
تأثیر میزان و طول شیب بر سرعت برای خودروی سنگین نمونه در شکل‌های 3-55 و 3-56 نشان داده شده است. به کمک شکل 3-55 می‌توان تعیین کرد که خودروی سنگینی که حرکت در سربالایی را با هر سرعت (تا حدود 120 کیلومتر در ساعت) آغاز کرده، چه فاصله‌ای را روی شیب‌های مختلف یا ترکیبی از شیب‌ها طی می‌کند تا به سرعت معین یا سرعت حد برسد. مثلاً برای سرعت ورودی حدود 110 کیلومتر در ساعت، خودروی سنگین، حدود 950 متر را در شیب 5 درصد طی می‌کند تا سرعت آن به 60 کیلومتر در ساعت برسد. اگر سرعت ورودی، 60 کیلومتر در ساعت باشد، سرعت خودروی سنگین در سربالایی با شیب 6 درصد، پس از پیمودن 300 متر، به حدود 43 کیلومتر در ساعت می‌رسد. برای تعیین این سرعت، باید روی منحنی 6 درصد، نقطه نظیر 60 کیلومتر در ساعت را مشخص کرد، این نقطه در فاصله 750 متری از مبدأ قرار دارد. با افزایش 300 متر به این فاصله، طول از مبدأ 1050 متر به دست می‌آید که سرعت نظیر آن روی منحنی 6 درصد، حدود 43 کیلومتر در ساعت است. شکل 3-56 عملکرد وسیله نقلیه سنگین را که با سرعت خزش به سربالایی می‌رسد نشان می‌دهد. وسیله سنگین قادر است که سرعت خود را تا 40 کیلومتر در ساعت یا بیشتر، تنها در شیب‌های کمتر از 3/5 درصد بالا ببرد. این اطلاعات، راهنمایی ارزشمندی، در مورد ارزیابی اثر وسایل نقلیه سنگین بر جریان ترافیک در مجموعه معینی از شرایط نیم‌رخ، در اختیار طراح می‌گذارد.

زمان سفر (و بنابراین سرعت) خودروهای سنگین در شیب‌ها، مستقیماً به نسبت وزن به قدرت بستگی دارد. وسایل نقلیه سنگین با نسبت وزن به قدرت مشابه، نوعاً ویژگی‌های حرکتی مشابهی دارند، لذا این نسبت، کمک قابل توجهی در پیش‌بینی عملکرد کامیون‌ها خواهد داشت. معمولاً، نسبت وزن به قدرت برحسب وزن ناخالص به قدرت خالص با واحد کیلوگرم نیرو به کیلو وات بیان می‌شود. این مسأله آشکار شده است که خودروهای سنگین با نسبت وزن به قدرت حدود 120 کیلوگرم نیرو به کیلو وات، از نظر کاربر راه ویژگی‌هایی حرکتی قابل قبولی دارند. چنین نسبتی حداقل سرعت 60 کیلومتر در ساعت را در سربالایی‌های با شیب 3 درصد تضمین می‌کند.

واضح است که صنعت خودروسازی، این مقدار از نسبت وزن به قدرت را به عنوان حداقل هدف طراحی وسایل نقلیه تجاری، قابل قبول یافته است. همچنین روشن است که متصدیان حمل و نقل، داوطلبانه، این نسبت را به عنوان ضابطه عملکردی حداقل برای بارهایی که روی وسایل نقلیه سنگین با قدرت‌های مختلف گذارده می‌شود، می‌شناسند. نتیجه کلی آن شده است که نسبت وزن به قدرت وسایل نقلیه سنگین در سال‌های اخیر، بهبود یافته است. نسبت‌های حاصل از اطلاعات بدست آمد، از مطالعات سراسری قدرت ترمز که در فاصله سال‌های 1949 و 1985 انجام شد، نشان می‌دهد که به عنوان مثال، برای وزن ناخالص وسیله نقلیه به میزان 18000 کیلوگرم، متوسط نسبت وزن به قدرت از 220 (کیلوگرم به کیلو وات) در سال 1949 به حدود 130 (کیلوگرم به کیلو وات) در سال 1975 کاهش یافته است، این کاهش، ادامه یافته و در سال 1985، به 80 (کیلوگرم به کیلو وات) رسیده است. این کاهش نسبت، به معنی قدرت بیشتر و توانایی بهتر وسایل نقلیه سنگین در صعود از سربالایی‌ها است.



شکل 3-55: منحنی‌های سرعت-مسافت وسیله نقلیه سنگین نمونه 120 کیلوگرم بر کیلووات برای کاهش سرعت در سربالایی‌ها



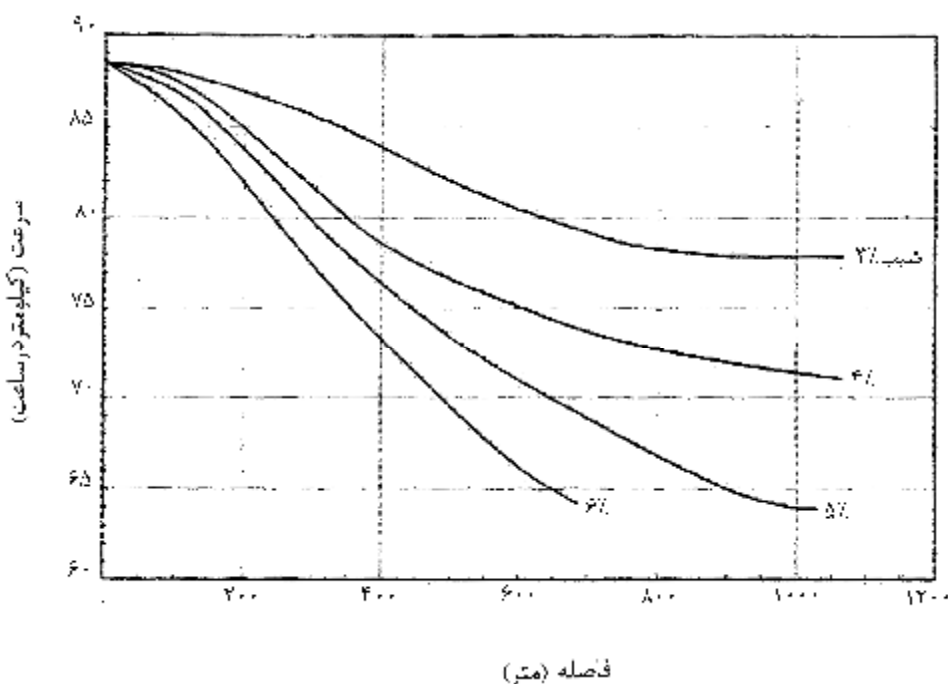
شکل 3-56: منحنی‌های سرعت-مسافت، برای افزایش سرعت وسیله نقلیه سنگین نمونه 120 کیلوگرم بر کیلو وات در سربالایی‌ها و سرپایینی‌ها

تمایل به استفاده از کامیون‌های بزرگتر و سنگین‌تر با سه واحد یدک (که در بعضی از ایالت‌ها مجاز است) در حال افزایش است. مطالعات نشان می‌دهد هر چه تعداد محورها افزایش می‌یابد، نسبت وزن به قدرت نیز افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن همه عوامل، به نظر می‌رسد که استفاده از نسبت وزن به قدرت 120 کیلوگرم به کیلو وات برای مشخص کردن طول بحرانی شیب، محافظه کارانه است. هرچند محل‌هایی وجود

دارد که در آنها نسبتی به بزرگی 120 کیلوگرم به کیلووات مناسب نیست. در اینگونه مواقع، طراحان به انتخاب نسبت وزن به قدرت صحیح‌تر و یا اتخاذ روش دیگری که همخوانی نزدیکتری با شرایط دارد، ترجیح می‌شوند.

وسایل نقلیه تفریحی

بررسی شرایط وسایل نقلیه تفریحی در شیب‌ها به اندازه مطالعه شرایط وسایل نقلیه سنگین، اهمیت ندارد. اگر چه در بعضی مسیرها مانند مسیرهایی که برای مقاصد تفریحی، تعیین شده‌اند، و درصد پایین خودروهای سنگین، احداث خط سربالایی را توجیه نمی‌کند، ترافیک وسایل نقلیه تفریحی ممکن است به حدی باشد که لزوم در نظر گرفتن یک خط سواره‌روی اضافی احساس شود. این مسأله را می‌توان به کمک نمودار شکل 3 - 57 به همان ترتیب که قبلاً طی همین فصل در مورد وسایل نقلیه سنگین بیان شد، مورد ارزیابی قرار داد. وسایل نقلیه تفریحی انواع مختلفی دارد.

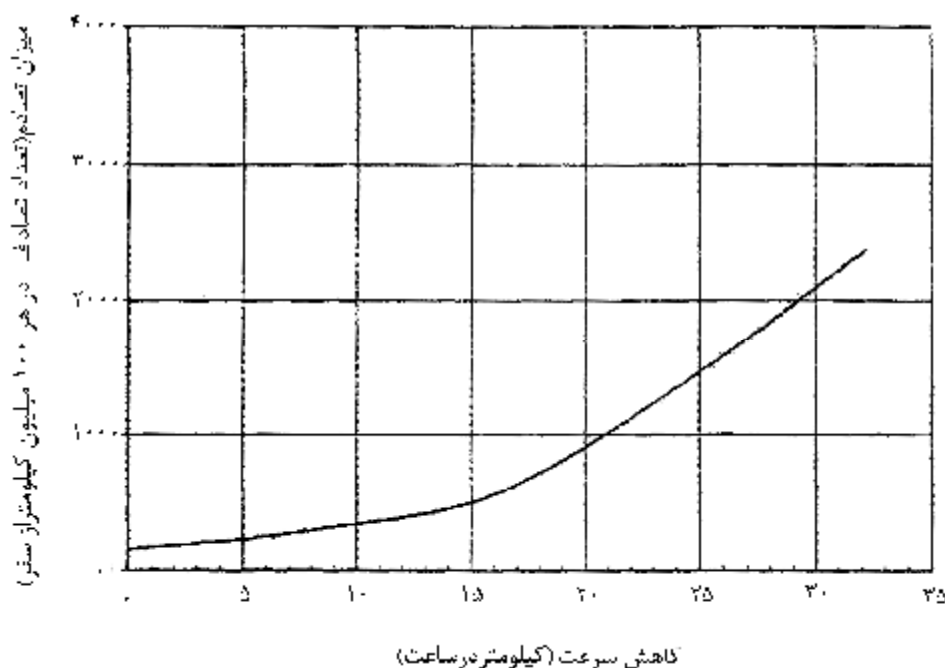


شکل 3-57: منحنی‌های سرعت - مسافت، برای وسیله نقلیه تفریحی نمونه در سربالایی‌های معین [40]

از آنجایی که ویژگیهای وسایل نقلیه تفریحی بسیار متفاوت است، انتخاب یک وسیله نقلیه طرح، مشکل است. در عین حال، اخیراً مطالعه‌ای در مورد سرعت وسایل نقلیه در شیب‌ها که شامل وسایل نقلیه تفریحی نیز می‌شود صورت گرفته است [40]. وسیله نقلیه‌ای که یک یدک مسافرتی را می‌کشد به عنوان بحرانی‌ترین وسیله نقلیه در نظر گرفته شده و منحنی‌های شکل 3 - 57 برای وسیله نقلیه تفریحی نمونه، مبتنی بر همین فرض است.

ضوابط شیب‌ها در طراحی

حداکثر شیب: بر اساس اطلاعات شکل‌های 3 - 55 تا 3 - 58 و با توجه به ضوابط مورد عمل مربوط به شیب‌ها، خط‌مشی‌های منطقی برای حداکثر شیب‌ها را می‌توان ارائه نمود. حداکثر شیب حدود 5 درصد برای سرعت طرح 110 کیلومتر در ساعت، مناسب به نظر می‌رسد. برای سرعت طرح 50 کیلومتر در ساعت، بسته به وضعیت زمین، شیب حداکثر 7 تا 12 درصد است. اگر تنها راه‌های مهم‌تر، مورد توجه باشد، به نظر می‌رسد که برای سرعت طرح 50 کیلومتر در ساعت، شیب‌های حداکثر 7 تا 8 درصد، معرف طراحی‌های فعلی است. شیب‌های حدی برای سرعت طرح بین 60 تا 100 کیلومتر در ساعت، بین دو مقدار بالا انتخاب خواهد شد. ضوابط حداکثر شیب برای هر طبقه عملکردی راه و خیابان در فصل‌های 5 تا 8 ارائه شده است.



شکل 3-58: میزان تصادف وسایل نقلیه سنگینی که سرعت‌های حرکت آن‌ها به کمتر از سرعت حرکت متوسط کل ترافیک کاهش یافته است [41]

حداکثر شیب طرح، باید به صورت غیر مکرر بکار رود و در اکثر حالات بایستی شیب‌ها کمتر از حد بیشینه آن انتخاب شوند. از طرف دیگر برای شیب‌های با طول کمتر از 150 متر و برای سراشیبی‌های یک طرفه، حداکثر شیب را می‌توان 1 درصد تندتر از سایر موارد انتخاب نمود، برای راه‌های برون شهری با حجم ترافیک پایین حداکثر شیب، ممکن است 2 درصد تندتر باشد.

حداقل شیب: معمولاً در راه‌های بدون جدول، که شیب عرضی برای تخلیه جانبی آب‌های سطح راه، کافی است، می‌توان بدون بروز مشکل، از شیب افقی (صفر) استفاده کرد. در خیابان‌ها یا راه‌های جدول‌دار، باید شیب طولی در نظر گرفت تا تخلیه آب‌های سطح راه را تأمین کند. حداقل شیب، معمولاً 0/5 درصد است، اما شیب‌های 0/3 درصد، برای روسازی‌های با کیفیت بالا که با دقت شیب‌بندی شده‌اند و بر روی بستری مستحکم قرار دارند می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. حتی شیب‌های کمتر نیز در شرایط خاصی که بعداً توضیح داده خواهد شد، ممکن است بکار روند. توجه ویژه‌ای باید به ورودی‌های سیلاب و مکان آنها معطوف شود. تا پخش آب در سطح سواره‌رو در حد قابل اغماض باقی بماند. کانال‌های کناری و آبروها خط

القعرهای میانه برای تخلیه کافی آبهای سطحی به شیبی بیش از شیب طولی راه نیاز دارند. جوی‌های تخلیه آب، در فصل 4 مورد بحث قرار می‌گیرند.

طول‌های بحرانی شیب برای طرح

حداکثر شیب به تنهایی ضابطه کاملی برای طراحی نیست. بلکه طول هر شیب معین نیز باید در ارتباط با حرکت وسیله نقلیه، در نظر گرفته شود. اصطلاح «طول بحرانی شیب» برای تعیین حداکثر طول سربالایی مشخص که روی آن، وسیله نقلیه سنگین بار شده بدون کاهش غیر منطقی سرعت، بتواند حرکت کند، به کار می‌رود. برای سربالایی معین، طول‌های کمتر از مقدار بحرانی، حرکت قابل قبولی در محدوده سرعت‌های مطلوب را در پی دارند. اگر برقراری آزادی مطلوب حرکت در شیب‌های طولانی‌تر از حد بحرانی مورد نظر باشد، بایستی تعدیل‌های لازم مانند تغییر مسیر و خط پروژه برای کاهش شیب یا اضافه کردن خط کمکی، در نظر گرفته شود. اطلاعات مربوط به طول بحرانی شیب به همراه سایر عوامل مربوط (مانند حجم ترافیک نسبت به ظرفیت) برای تعیین ضرورت اضافه کردن خط کمکی، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برای بدست آوردن مقادیر طرح طول‌های بحرانی شیب، که توانایی خودروهای سنگین در بالا رفتن، عامل تعیین کننده آنها است، اطلاعات و فرضیات زیر مورد نیاز است:

1 - ابعاد و قدرت کامیون یا تریلی نماینده، برای استفاده به عنوان وسیله نقلیه طرح، همراه با اطلاعات مربوط به قابلیت صعود این وسیله نقلیه :

یک خودروی سنگین بارشده که قدرت آن، هم ارز نسبت وزن به قدرت حدود 120 کیلوگرم بر کیلو وات است، نماینده ابعاد و نوع وسیله نقلیه‌ای است که معمولاً برای ضابطه طراحی راه‌های اصلی بکار می‌رود. اطلاعات شکل‌های 3 - 55 و 3 - 56 برای این نوع وسیله نقلیه کاربرد دارد.

2 - سرعت ورود به طول بحرانی شیب :

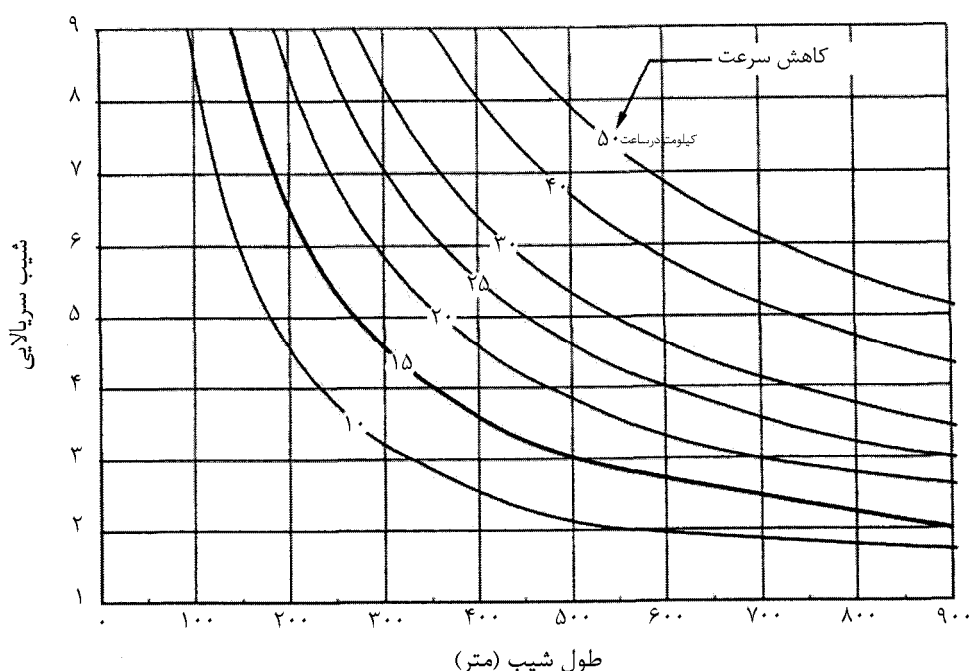
سرعت متوسط حرکت که با سرعت طرح مرتبط است را می‌توان برای تخمین سرعت وسایل نقلیه در ورود به سربالایی، به کار برد. البته این تخمین با توجه به شرایط نزدیک شدن به سربالایی، مشمول تعدیل می‌گردد. هنگامیکه وسیله نقلیه در شیبی نزدیک به صفر به سربالایی برسد، می‌توان سرعت حرکت را مستقیماً بکار برد. در صورتی که نزدیک شدن به سربالایی، در سرپایینی انجام گیرد این مقدار باید تا اندازه‌ای افزایش یابد. وقتی نزدیک شدن، از حالت سربالایی باشد این سرعت باید کاهش داده شود.

3 - حداقل سرعت در سربالایی که برای مقادیر کمتر از آن، مزاحمت برای خودروهای پشت‌سر، غیر منطقی تلقی می‌شود.

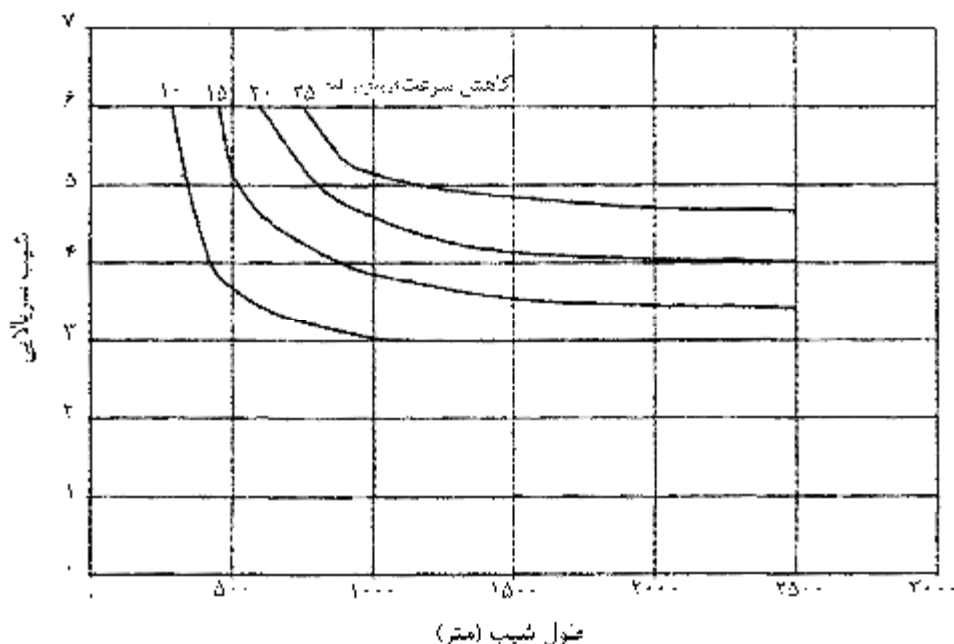
هیچ اطلاعات خاصی برای قاعده‌مند کردن سرعت‌های کمینه قابل اغماض وسایل نقلیه سنگین در سربالایی وجود ندارد. این فرض منطقی است که این سرعت‌های کمینه، باید با سرعت طرح نسبت مستقیم داشته باشند. حداقل سرعت وسایل نقلیه سنگین، در حدود 40 تا 60 کیلومتر در ساعت برای اکثر راه‌ها (که در آن سرعت طرح بین 60 تا 100 کیلومتر در ساعت است) احتمالاً موجبات ناراحتی غیرمنطقی رانندگان پشت سر را که در راه‌های دو خطه نمی‌توانند سبقت بگیرند، فراهم نخواهد کرد، به شرطی که فاصله زمانی عدم امکان سبقت خیلی طولانی نباشد. این فاصله زمانی در راه‌های دو خطه‌ای که حجم ترافیک آنها بسیار کمتر از ظرفیت آنها است احتمالاً آزار دهنده نیست. در حالی که در راه‌های با حجم ترافیک نزدیک به ظرفیت، این مسأله، مشکل ساز است. در راه‌های چندخطه، احتمالاً سرعت‌های حداقل کمتر از راه‌های دو

خطه می‌تواند برای وسایل نقلیه سنگین روا داشته شود، زیرا فرصت بیشتر و مشکل کمتری برای سبقت گرفتن وجود دارد. راه‌ها باید به شکلی طراحی شوند که سرعت وسایل نقلیه سنگین در آنها به قدری پایین نیاید که برای رانندگان پشت سر، شرایط غیرقابل قبولی ایجاد کند.

مطالعات نشان می‌دهند که صرفنظر از مقدار سرعت میانگین راه، هرچه وسیله نقلیه از این سرعت فاصله بگیرد، احتمال بروز حادثه برای آن افزایش می‌یابد. یک بررسی از این گونه [41] توزیع سرعت وسایل نقلیه در راه‌های یک ایالت، و ارتباط آن با میزان تصادفات کامیون‌های چهار محوره و بیشتر را در جاده‌های کفی، مورد مطالعه قرار داده است. میزان تصادف‌ها برای کاهش سرعت‌های 10، 15، 25 و 30 کیلومتر در ساعت، با این فرض که کاهش سرعت متوسط برای کلیه خودروها در یک سربالایی، 30 درصد کاهش سرعت وسیله نقلیه سنگین در همان سربالایی است، ارائه گردیده است. نتایج حاصل از این تجربه و تحلیل در شکل 3-58 نشان داده شده است.



شکل 3-59: طول بحرانی شیب برای طراحی، خودرو فرض شده از نوع سنگین 120 کیلوگرم بر کیلو وات است، سرعت ورودی 110 کیلومتر در ساعت



شکل 3-60: طول بحرانی شیب با سرعت ورودی 90 کیلومتر در ساعت برای وسیله نقلیه تفریحی نمونه

یک مبنای متعارف برای مشخص کردن طول بحرانی شیب، میزان کاهش سرعت وسایل نقلیه سنگین نسبت به سرعت میانگین ترافیک است. مطلوب آن است که کلیه وسایل نقلیه با سرعت میانگین حرکت کنند. البته این کار عملی نیست. در گذشته برای مشخص کردن طول بحرانی شیب روش کلی این بوده که، کاهش سرعت کامیون‌ها نسبت به سرعت میانگین کل ترافیک، برابر 25 کیلومتر در ساعت در نظر گرفته می‌شد. همانطور که در شکل 3-58 نشان داده شده، میزان تصادفات وقتی کاهش سرعت از 15 کیلومتر در ساعت تجاوز می‌کند به شدت افزایش می‌یابد بطوری که این میزان برای کاهش سرعت 25 کیلومتر در ساعت وسایل نقلیه سنگین نسبت به سرعت میانگین ترافیک، $\frac{2}{4}$ برابر بزرگتر از میزان تصادفات ناشی از کاهش سرعت 15 کیلومتر در ساعت است. برپایه این روابط، توصیه می‌شود که معیار کاهش سرعت 15 کیلومتر در ساعت به عنوان رهنمود کلی تعیین طول بحرانی شیب (سربالایی) مورد استفاده قرار گیرد.

سرعت کامیون طرح (120 کیلوگرم بر کیلو وات) که در موقع ورود به سربالایی، 110 کیلومتر در ساعت بوده، با توجه به طول شیب با مقادیر مختلفی از سرعت متوسط حرکت کمتر می‌شود، این طول‌ها، در شکل 3-59 که مبتنی بر قدرت کامیون مذکور در شکل 3-55 می‌باشد، نشان داده شده است. منحنی کاهش سرعت 15 کیلومتر در ساعت، به عنوان رهنمود طراحی برای تعیین طول‌های بحرانی شیب در نظر گرفته شده است. اطلاعات مشابهی برای وسایل نقلیه تفریحی در شکل 3-60، که مبتنی بر قدرت وسیله نقلیه تفریحی ارائه شده در شکل 3-57 است، می‌توان یافت.

هنگامی که سرعت ورودی به شیب (سربالایی) کمتر از 110 کیلومتر در ساعت باشد (مانند ورود از سربالایی) کاهش‌های سرعت نشان داده شده در شکل‌های 3-59 و 3-60 در طول‌های کوتاه‌تری حاصل خواهد شد. بالعکس، وقتی تقرب به سربالایی، از حالت سراسیمه و سرعت تقرب احتمالاً بیش از 110 کیلومتر در ساعت باشد، وسایل نقلیه سنگین و وسایل نقلیه تفریحی کمی بیشتر از مقادیر مندرج در شکل‌ها، از شیب بالا می‌روند تا سرعت آنها به مقادیر ذکر شده، کاهش پیدا کند.

روش استفاده از شکل 3-59 برای تعیین طول‌های بحرانی شیب در مثال‌های زیر، نشان داده شده است. فرض می‌شود باید راهی برای سرعت 100 کیلومتر در ساعت طراحی شود و نزدیک شدن به سربالایی با شیب 4 درصد از قسمت کاملاً هموار، انجام می‌گیرد. منحنی کاهش سرعت 15 کیلومتر در ساعت در شکل 3-59 طول بحرانی شیب را 350 متر نشان می‌دهد. اگر سرعت طرح 60 کیلومتر در ساعت بود، سرعت اولیه و سرعت حداقل روا داشته در شیب متفاوت می‌بود اما با همان کاهش سرعت مجاز طول بحرانی باز هم 350 متر خواهد بود.

در مثال دیگر، تعیین طول بحرانی سربالایی 5 درصد که نزدیک شدن به آن در طول 500 متر و از سربالایی 2 درصد انجام می‌گیرد مورد نظر است. شکل 3-59 نشان می‌دهد که 500 متر طول بحرانی در سربالایی 2 درصد کاهش سرعت حدود 9 کیلومتر در ساعت را موجب می‌گردد. منحنی، بازهم نشان می‌دهد که کاهش سرعت 6 کیلومتر در ساعت، در طول 100 متر از سربالایی 5 درصد حاصل می‌گردد.

هنگامی که نزدیک شدن به یک سربالایی، از یک سرازیری ناپیوسته صورت می‌گیرد، اغلب وسایل نقلیه سنگین سرعت خود را گاهی تا میزان قابل توجهی افزایش می‌دهند، تا صعود در سربالایی را با سرعت هرچه بیشتر انجام دهند. این عامل را می‌توان در طراحی، با افزایش مقدار کاهش سرعت روا داشته، به حساب آورد. آنچه بر عهده طراح باقی می‌ماند، داوری در مورد میزان افزایش سرعت وسایل نقلیه سنگین در انتهای سرازیری ناپیوسته، نسبت به سرعت نزدیک شدن افقی آنها است. این طور به نظر می‌رسد که در سراسیبه‌های ملایم افزایش 10 کیلومتر در ساعت و در سراسیبه‌های تندتر یا طولی‌تر افزایش سرعت 15 کیلومتر در ساعت را می‌توان در نظر گرفت. بر این اساس، در حالت نزدیک شدن، از سرازیری ناپیوسته به سربالایی، می‌توان میزان کاهش سرعت را 25 یا 30 کیلومتر در ساعت در نظر گرفت. بعنوان مثال در جایی که سراسیبه 4 درصد پیش از یک سربالایی 6 درصد قرار گرفته کاهش سرعت را می‌توان 25 کیلومتر در ساعت، فرض کرد. در این حالت طول بحرانی سربالایی 6 درصد، حدود 370 متر است.

طول بحرانی شیب در شکل 3-59 به عنوان طول مستقیم شیب استنتاج شده است. در جائیکه قوس قائم جزئی از طول بحرانی شیب باشد، باید طول شیب مستقیم معادل را بکار برد. درجایی که قوس قائم از نوع 2 و 4 از شکل 3-69 مذکور در قسمت‌های بعدی همین فصل باشد و اختلاف جبری شیب‌ها زیاد بزرگ نباشد، اندازه‌گیری طول بحرانی را می‌توان بین نقاط تقاطع قائم به عمل آورد. اگر قوس قائم از نوع 1 و 3 شکل 3-69 باشد، حدود یک چهارم از طول قوس قائم، باید بعنوان بخشی از شیب مورد نظر، به حساب آورده شود. سراسیبه‌های تند نیز، می‌تواند تأثیر زیان آوری بر ظرفیت و ایمنی راه‌های با حجم بالای ترافیک و تعداد زیاد وسایل نقلیه سنگین، داشته باشد. بعضی سراسیبه‌ها به قدری تند و طولانی هستند که بعضی وسایل نقلیه سنگین برای حفظ کنترل وسیله نقلیه روی شیب، با سرعت خزیدن حرکت می‌کنند. خودروهای کندرو از این نوع، می‌تواند برای سایر خودروها مزاحمت ایجاد کند. بنابراین مواردی وجود دارد که در سرازیری‌ها، باید خط ویژه وسایل نقلیه سنگین در نظر گرفت. برای این موقعیت‌ها، روش‌هایی در کتاب ظرفیت راه [14] ارائه شده است.

ملاک‌های طراحی پیشنهادی برای تعیین طول بحرانی شیب، ضوابطی الزامی نیستند بلکه به عنوان راهنما استفاده می‌شوند. در بعضی موارد ممکن است، شرایط طبیعی یا سایر محدودیت‌ها از کاهش طول یا ملایم کردن شیب‌ها، بمنظور رعایت این ضابطه، جلوگیری نماید. در جایی که کاهش سرعت بیش از مقادیر پیشنهادی راهنمای طراحی، اجتناب‌ناپذیر باشد، ممکن است عملکرد نامطلوبی در راه‌های دارای وسایل نقلیه

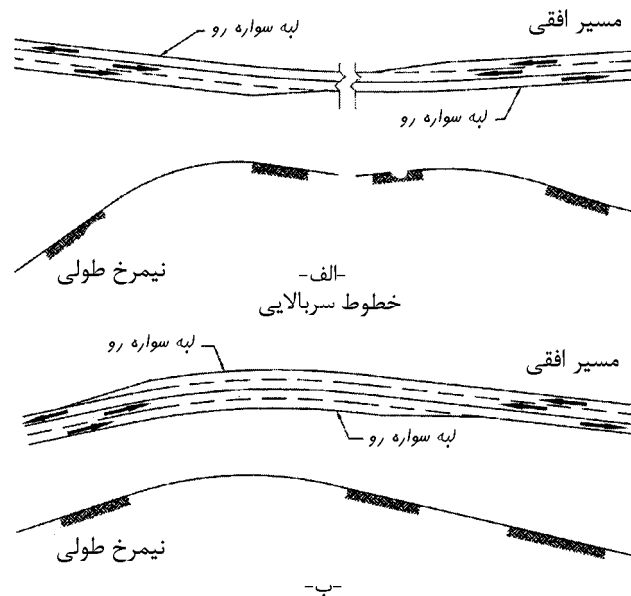
سنگین زیاد، بویژه راه‌های دو خطه با حجم ترافیک نزدیک به ظرفیت و حتی در بعضی موارد در راه‌های چند خطه، حاصل گردد. هنگامیکه طول شیب از مقدار بحرانی تجاوز کند، بویژه در شرایطی که حجم ترافیک برابر ظرفیت یا نزدیک به آن باشد و تعداد وسایل نقلیه سنگین نیز زیاد باشد، باید برای تردد وسایل نقلیه کندرو، خط اضافی سربالایی تأمین گردد. اطلاعات شکل 3-59 همراه با سایر نکات مربوط، به ویژه اطلاعات حجم ترافیک نسبت به ظرفیت و اطلاعات تعداد خودروهای سنگین، برای تعیین موارد تجویز این خط اضافی، می‌تواند به کار گرفته شود.

خطوط سربالایی

خطوط سربالایی برای راه‌های دو خطه

کلیات: آزادی و ایمنی حرکت راه‌های دو خطه علاوه بر اینکه متأثر از طول و تناوب محدوده‌های سبقت است، تحت تأثیر ترافیک خودروهای بارشده سنگینی قرار دارد که در سربالایی‌های با چنان طول زیادی حرکت می‌کنند که کندی حرکتشان می‌تواند مانعی برای خودروهای پشت‌سر، پدید آورد. در گذشته، تأمین خط اضافی سربالایی، برای بهبود حرکت در سربالایی‌ها، به خاطر هزینه‌های اجرایی، نسبتاً محدود بوده است. با این حال، امروزه به خاطر افزایش میزان تأخیر و تعداد تصادفات شدید در شیب‌ها، ایجاد خط‌های اضافی معمولاً در برنامه اجرایی اولیه منظور می‌شود و ایجاد خطوط اضافی در راه‌های موجود، به عنوان پروژه‌های ارتقاء ایمنی، مد نظر قرار می‌گیرد. احتمال وقوع تصادف، برای این شرایط (راه‌های دو خطه بدون خط اضافی سربالایی) در شکل 3-58 نشان داده شده است.

قطعه راه دارای خط اضافی سربالایی، راه سه خطه نیست بلکه راه دو خطه با یک خط اضافی برای وسایل نقلیه کندرو در سربالایی است به نحوی که سایر خودروهایی که از خط عادی سمت راست محور راه حرکت می‌کنند، دچار تأخیر نشوند. این خودروهای تندروتر از وسایل نقلیه کندتر سبقت می‌گیرند، ولی نه در خط عبور مقابل و نه مانند سبقت متعارف. طراحی راه‌های دو خطه با خط‌های سربالایی در شکل‌های 3-61-الف و 3-61-ب، نشان داده شده است. خطوط به طور مستقل و جداگانه برای هر جهت طراحی می‌شوند. با توجه به مسیر و شرایط نیمرخ طولی، خطوط اضافی دو جهت ممکن است مجاور هم باشند ولی هم‌پوشانی نداشته باشند، مانند شکل 3-61-الف، و یا هم‌پوشانی داشته باشند، مانند شکل 3-61-ب که مربوط به قله‌ای بین دو شیب طولانی است.



شکل 3-61: خطوط سربالایی در راه‌های دو خطه

تأمین خط سربالایی، در راه‌های دو خطه، به عنوان خط اضافی در جهت سربالایی، در جایی که شیب، حجم ترافیک و حجم ترافیک وسایل نقلیه سنگین، متفقاً موجب کاهش وضعیت جریان عبور، نسبت به وضعیت قبل از سربالایی می‌شود، مطلوب است. در جایی که خط سربالایی تأمین شده، رانندگان خودروهای سنگین، تمایل زیادی به استفاده از آن داشته‌اند.

در راه‌های با حجم ترافیک که، وسیله نقلیه سبک، به طور اتفاقی دچار تأخیر می‌شود و احداث خط سربالایی با آنکه مطلوب است، حتی در جایی که طول شیب از مقدار بحرانی تجاوز کند. ممکن است از نظر اقتصادی قابل توجیه نباشد. در اینگونه موارد باید پهلوه‌های وسیله نقلیه کندرو جهت کاهش تأخیر خودرو سبک اتفاقی از وسایل نقلیه کندرو، در نظر گرفته شود. پهلوه‌ها در بخش "روش‌هایی برای افزایش فرصت‌های سبقت در راه‌های دو خطه" در همین فصل مورد بحث قرار می‌گیرد.

توجیه‌پذیر بودن احداث خط سربالایی، منوط به تأمین سه ضابطه زیر است (که منعکس کننده جنبه اقتصادی است):

- 1) جریان ترافیک سربالایی بیش از 200 وسیله نقلیه در ساعت،
- 2) جریان ترافیک سربالایی خودرو سنگین بیش از 20 وسیله نقلیه در ساعت،
- 3) برقرار شدن یکی از سه شرط زیر:
 - کاهش سرعت 15 کیلومتر در ساعت یا بیشتر برای خودرو سنگین نمونه، پیش‌بینی شود،
 - وجود سطح سرویس (E) یا (F) در شیب،
 - کاهش دو سطح یا بیشتر از سطح سرویس در حرکت از قطعه نزدیک شدن (پیش از شیب) به خود شیب (سربالایی)،

بعلاوه، گاهی اوقات، رعایت ایمنی ممکن است صرفنظر از سربالایی یا حجم ترافیک، اضافه کردن خط سربالایی را توجیه کند.

شدت جریان ترافیک سربالایی، با ضرب کردن حجم ترافیک ساعتی موجود یا پیش بینی شده در ضریب توزیع جهتی سربالایی و تقسیم عدد حاصل بر ضریب ساعت اوج، بدست می آید (ضریب ساعت اوج و ضریب توزیع جهتی، در فصل 2 بحث شده است). تعداد خودروهای سنگین در سربالایی با ضرب کردن شدت جریان ترافیک سربالایی در درصد خودروهای سنگین در جهت سربالایی بدست می آید.

وسایل نقلیه سنگین: همانطور که در بخش قبلی اشاره شد، تنها یکی از حالات ضابطه سوم باید برقرار باشد. طول بحرانی شیب برای کاهش سرعت 15 کیلومتر در ساعت وسایل نقلیه سنگین با استفاده از شکل 3-59 بدست می آید. این طول بحرانی با طول سربالایی مورد ارزیابی مقایسه می شود. اگر طول بحرانی شیب کمتر از طول شیب مورد مطالعه باشد، ضابطه سوم تحقق یافته است. ابتدا این مقایسه باید اول از همه، انجام شود، زیرا وقتی طول شیب از طول بحرانی تجاوز کند، بررسی دیگری در مورد ضابطه سوم، لازم نیست.

توجیه پذیر بودن خط سربالایی در جاهایی که از طول بحرانی شیب تجاوز نمی شود، باید از دیدگاه ظرفیت راه بررسی شود. مراحل کار، مطابق با روش های مذکور در HCM [14] در مورد تحلیل شیب های خاص برای راه های دو خطه است. دو شرط دیگر ضابطه سوم با استفاده از این روش ها، مورد ارزیابی قرار می گیرد. تأثیر خودروهای سنگین بر ظرفیت راه، در درجه اول تابعی از اختلاف بین سرعت متوسط خودروهای سنگین و سرعت متوسط حرکت وسایل نقلیه سبک در راه است. ابعاد فیزیکی وسایل نقلیه سنگین و همچنین ویژگی های ضعیف تر آنها در شتاب گیری بر شرایط لازم برای حرکت این وسایل در جریان ترافیک، تأثیر دارد. در سربالایی های یکسره (منفرد)، تأثیر خودروهای سنگین، شدیدتر از تأثیر متوسط آنها بر یک بخش طولانی تر از راه است. بنابراین برای یک حجم معین ترافیک مختلط و مقطع عرضی ثابت راه، میزان تراکم در شیب های یکسره بیش از تراکم جریان عبور در قطعه طولانی تری از راه است که دارای سربالایی و سرپائینی توأم باشد. برای تعیین حجم سرویس طراحی در شیب های یکسره، باید از ضرایب مربوط به خودروهای سنگین در طرح هندسی و سطح سرویس انتخاب شده توسط کارفرما، به عنوان اساس طرح راه مورد نظر استفاده شود.

اگر کاهش سرعت 15 کیلومتر در ساعت وجود نداشته باشد (یعنی از مقدار طول بحرانی شیب تجاوز نشود)، باید بررسی نمود که آیا سطح سرویس E یا F برقرار است یا خیر؟ این کار از طریق محاسبه حد شدت جریان سرویس برای سطح خدمت دهی D و مقایسه این مقدار، با شدت جریان واقعی سربالایی، انجام می شود. شدت جریان واقعی از تقسیم حجم ترافیک ساعتی بر ضریب ساعت اوج بدست می آید. اگر شدت جریان واقعی از شدت جریان سطح خدمت دهی D بیشتر باشد ضابطه 3 برقرار است و اگر از حد شدت جریان سطح خدمت دهی D کم تر بود، شرط دوم ضابطه سوم تحقق نیافته و این شرط، راه سربالایی را تجویز نمی کند.

تنها مورد باقیمانده برای کنترل برقرار بودن ضابطه سوم، این است که آیا سطح خدمت دهی بین قطعه تقرب و شیب (سربالایی)، دو سطح یا بیشتر کاهش پیدا می کند یا نه؟ برای ارزیابی این معیار، باید سطح خدمت دهی قطعه تقرب و سطح خدمت دهی سربالایی، مشخص شوند. چون این معیار، تنها در موارد معدودی نیاز به بررسی دارد، در این جا از توضیح آن صرفنظر می شود.

کتاب «ظرفیت راه‌ها» [14] شامل جزئیات اضافی، و کاربرگ‌هایی برای محاسبات مورد نیاز مربوط به شرط سوم ضابطه سوم است. این اطلاعات و روش‌های مربوط به آن، به صورت نرم‌افزار نیز موجود است که استفاده از آن محاسبات دستی را کاهش می‌دهد.

از آنجا که متغیرهای زیادی برای بررسی خط‌های سربالایی وجود دارد، به سختی می‌توان مجموعه‌ای از شرایط را بطور کامل به عنوان نمونه شرح داد، لذا روش تحلیلی مفصلی مانند آنچه که قبلاً توضیح داده شد، برای موارد مربوط به راه سربالایی توصیه می‌شود.

محل شروع خط اضافی سربالایی به سرعتی که خودروهای سنگین به سربالایی می‌رسند و نیز فاصله دید بستگی دارد. در جایی که هیچگونه محدودیت فاصله دید یا هر شرایط دیگری که سرعت تقرب به سربالایی را محدود سازد، وجود نداشته باشد، خط اضافی می‌تواند در فاصله‌ای بعد از نقطه شروع سربالایی آغاز گردد، زیرا سرعت وسایل نقلیه سنگین به کمتر از سطح قابل اغماض رانندگان پشت سر، کاهش نخواهد یافت تا آنکه فاصله‌ای را روی سربالایی طی کنند. آن نقطه بهینه از نظر ظرفیت، وضعیتی است که سرعت خودرو سنگین، به 60 کیلومتر در ساعت، کاهش پیدا کند، ولی کاهش 15 کیلومتر در ساعت برای سرعت خودرو سنگین، بطوری که در بخش گذشته، تحت عنوان «طول بحرانی شیب برای طراحی» مورد بحث قرار گرفت، عملی‌ترین معیار قابل دستیابی از نظر سطح خدمت‌دهی و ایمنی است. این کاهش در سرعت 15 کیلومتر در ساعت، مبنای پذیرفته شده برای تعیین نقطه شروع خط سربالایی است. فاصله پایین سربالایی تا نقطه‌ای را که سرعت خودروهای سنگین به 15 کیلومتر در ساعت کمتر از سرعت متوسط حرکت نزول می‌کند، می‌توان از شکل‌های 3-55 یا 3-59 به دست آورد. برای خودروهای سنگینی که نسبت وزن به قدرتشان، غیر از 120 کیلوگرم بر کیلو وات باشد، منحنی‌های متفاوتی وجود دارد. به عنوان مثال، اگر شرایط نزدیک شدن به سربالایی این گونه باشد که خودروهای سنگین 120 کیلوگرم بر کیلو وات، در جریان ترافیکی حرکت کنند که سرعت متوسط حرکت آن‌ها 110 کیلومتر در ساعت باشد، کاهش سرعت 15 کیلومتر در ساعت، برای شیب‌های 4 تا 7 درصد در فاصله‌های 175 تا 350 متر واقع خواهد شد. اگر تقرب، در سرازیری باشد مسافت بدست آمده کمی بزرگتر و اگر تقرب در سربالایی باشد این مقدار، کوچکتر خواهد بود. فاصله‌هایی را که به این ترتیب به دست می‌آید، می‌توان برای تعیین نقطه شروع خط سربالایی به کار برد. وقتی محدودیت‌ها، شرایط تقرب یا هرگونه شرایط دیگر، احتمال سرعت‌های پایین خودروهای نزدیک شونده به سربالایی را نشان دهد خط اضافی سربالایی باید از حوالی نقطه شروع سربالایی، آغاز گردد. قبل از نقطه آغاز، باید یک قطعه لچکی با نسبت مطلوب 1:25 و به طول حداقل 90 متر، منظور گردد.

طرح مطلوب آن است که خط سربالایی تا فاصله‌ای بعد از نقطه اوج یعنی جایی که سرعت خودرو سنگین نمونه به مقداری که 15 کیلومتر در ساعت کمتر از سرعت سایر خودروها و دارای حداقل مطلوب 60 کیلومتر در ساعت باشد، برسد. دستیابی به این وضعیت در بسیاری از موارد، ممکن است عملی نباشد زیرا فاصله طولانی لازم است تا خودروهای سنگین بتوانند به سرعت مطلوب برسند. در این گونه موارد، نقطه عملی برای انتهای خط اضافی، محلی است که خودروهای سنگین بتوانند بدون تداخل بی‌جا با ترافیک، به خط اصلی بازگردند، (بویژه نقطه‌ای که فاصله دید برای سبقت در غیاب ترافیک مقابل وجود داشته باشد، یا ترجیحاً 60 متر بعد از آن نقطه)، طول لچکی مناسب برای بازگشت آرام خودروهای سنگین به خط اصلی باید تأمین شود. بعنوان مثال، در راهی که فاصله دید سبقت مناسب، 30 متر بعد از نقطه اوج فراهم می‌شود، خط سربالایی

باید 90 متر (یعنی 30 متر بعلاوه 60 متر) بعد از نقطه اوج ادامه پیدا کند و یک قطعه لچکی اضافی نیز با نسبت مطلوب لچکی 1:50 و طول حداقل 180 متر به آن اضافه گردد.

مطلوب آن است که عرض خط سر بالایی، برابر با خطوط اصلی باشد. خط کمکی باید چنان احداث گردد که بتواند فوراً به عنوان یک خط اضافی برای یک جهت حرکت تشخیص داده شود. محور راه معمولی دو خطه باید به وضوح خط کشی شود و این خط کشی، شامل خطوط زرد رنگ ممتد مربوط به مناطق سبقت ممنوع نیز باشد. تابلوهایی مانند « ترافیک کندرو از سمت راست» یا « خودروهای سنگین از خط سمت راست استفاده کنند» می تواند خودروهای کندرو را به خط سربالایی هدایت کند. این علائم و خط کشی های مناسب دیگر در کتاب «ادوات یکنواخت کنترل ترافیک» [6] ارائه شده است.

شیب عرضی خط سربالایی معمولاً به روش اضافه کردن یک خط به راه چند خطه، اعمال می شود. با توجه به نظر و روش نهاد مربوط، می توان شیب عرضی خط سربالایی را امتداد شیب خط اصلی و یا اندکی بیشتر از خط همجوار آن در نظر گرفت. در یک مقطع دارای یک بری، شیب عرضی معمولاً بصورت امتداد شیب خط اصلی در نظر گرفته می شود .

به شیوه مطلوب، شانه مجاور لبه بیرونی خط سربالایی را باید هم عرض شانه قسمت عادی راه دو خطه در نظر گرفت، مخصوصاً در جایی که رفت و آمد دوچرخه وجود داشته باشد. هر چند این موضوع ممکن است غیرعملی باشد، بویژه در جایی که خط سربالایی به راه موجود اضافه شده باشد، شانه مفیدی به عرض 1/2 متر یا بیشتر قابل قبول است. گرچه عرض 1/2 متر، برای آن که وسیله نقلیه متوقف روی شانه، کاملاً خط سربالایی را آزاد بگذارد، کافی نیست ولی مجموعه شانه 1/20 متری و خط سربالایی، عرض کافی برای وسیله نقلیه متوقف و خودرو عبور کننده با سرعت کم را بدون آنکه نیازی به تجاوز به خط اصلی توسط خودرو متحرک باشد، تأمین می کند.

به طور خلاصه، خطوط سربالایی روش کم هزینه ای برای مقابله با کاهش ظرفیت است و بهبود جریان عبور را در مواردی که تراکم در سربالایی ها، ناشی از خودروهای سنگین کندرو همراه با حجم بالای ترافیک است، فراهم می کند. همچنین، بطوری که قبلاً بحث شد، سبب ارتقاء ایمنی نیز، می گردد. در بعضی از راه های دو خطه موجود، اضافه کردن خط های سربالایی، ممکن است باعث به تعویق افتادن راه سازی مجدد برای چندین سال یا برای همیشه گردد. در طراحی جدید، خطوط سربالایی می توانند کارایی ترافیکی یک راه دو خطه را، به میزان مؤثر برسانند، در صورتی که بدون استفاده از این خطوط، راه چندخطه ای با هزینه بسیار سنگین تر، مورد نیاز خواهد بود.

خطوط سربالایی در آزاد راه ها و راه های چندخطه

کلیات: اگرچه استفاده از خطوط سربالایی متداول تر شده، ولی به حدی که در راه های دو خطه از آن استفاده می شود، در آزادراه ها و راه های چندخطه کاربرد وسیع ندارد و ممکن است دلیل آن این باشد که راه های چند خطه، اغلب، ظرفیت کافی برای برآوردن تقاضاهای ترافیکی، شامل درصد متعارفی از خودروهای سنگین با نسبت وزن به قدرت بالا را، بدون آنکه دچار تراکم شوند، دارند.

بطور کلی تجویز خطوط سربالایی در راه های چندخطه، به آن آسانی که در مورد راه های دو خطه به عمل می آید، توجیه پذیر نیست، زیرا در راه های دو خطه، خودروهایی که پشت سر خودروهای کندروتر، در سربالایی حرکت می کنند، مکرراً توسط خودروهای روبرو، از کاربرد خط مجاور، برای سبقت از وسیله نقلیه کندرو،

بازداشته می‌شوند، در حالی که در راه‌های چند خطه، چنین مانعی وجود ندارد یعنی وسیله نقلیه کندرو که در خط سمت راست حرکت می‌کند، مانعی برای خودرو پشت‌سر، که می‌تواند به آسانی به خط مجاور سمت چپ تغییر مسیر داده و روی آن، ادامه حرکت بدهد، ایجاد نمی‌کند، گرچه مسلم است که ایمنی بیشتر، وقتی حاصل می‌شود که خودروهای جریان ترافیک با سرعت یکسان حرکت کنند.

از آنجا که راه‌ها عموماً برای 20 سال آینده یا بیشتر طراحی می‌شوند، توجیه‌پذیر بودن خطوط سربالایی در معابر چندخطه، برای چندین سال پس از احداث، نسبت به راه‌های دو خطه، دارای احتمال کمتری است، حتی اگر اینگونه خطوط سربالایی برای ساعت‌های اوج سال طرح، مطلوب قلمداد شود. اگر احداث خطوط سربالایی برای سال طرح، مورد نظر باشد، از نظر اقتصادی بهتر است طراحی خط سربالایی در راه‌های چند خطه از ابتدا انجام شود ولی احداث آن، به تعویق بیفتد. در این شرایط، زیرسازی و عملیات خاکی خط سربالایی آتی همزمان با احداث راه باید انجام گردد. زیرسازی و عملیات خاکی اضافی مربوط به خط سربالایی در مقایسه با احجام کل نیمرخ عرضی، کوچک است. در عین حال اگر این عملیات خاکی و زیرسازی اضافی، قابل اجرا نباشد، کاربرد شانه باریک‌تر در مجاورت خط سربالایی به جای شانه عریض نیمرخ عادی قابل قبول است، اگرچه مطلوب نیست.

گرچه خط‌های سربالایی، اصولاً در مناطق برون شهری کاربرد دارد ولی مواردی هست که در مناطق شهری، این خطوط، مورد نیاز است. نقش خطوط سربالایی مخصوصاً برای آزادی حرکت در آزاد راه‌های شهری که نسبت حجم ترافیک به ظرفیت آنها بالا است، بسیار مهم است. در آزاد راه‌های شهری و خیابان‌های شریانی قدیمی‌تر که دارای سربالایی‌های قابل ملاحظه و فاقد خط سربالایی است، بوجود آمدن تراکم، در ترافیک سنگین روان، به هنگام رسیدن به سربالایی امری عادی است.

خودروهای سنگین: عوامل اصلی تعیین کننده نیاز به خط کمکی در راه‌های چند خطه عبارتند از :

طول‌های بحرانی شیب، تأثیرات خودروهای سنگین در سربالایی‌ها، برحسب شدت جریان معادل خودرو سبک و احجام سرویس برای سطح خدمت‌دهی مطلوب و سطح خدمت‌دهی پایین‌تر بعدی.

طول بحرانی شیب که قبلاً در این فصل بحث شد، طولی از یک سربالایی معین است که سرعت وسایل نقلیه سنگین کم قدرت را به اندازه 15 کیلومتر در ساعت کمتر از سرعت متوسط حرکت بقیه ترافیک کاهش می‌دهد. این طول با استفاده از شکل 3-59 محاسبه و سپس با طول شیب مورد نظر مقایسه می‌شود. در صورت کم‌تر بودن طول شیب (سربالایی) از طول سربالایی مورد ارزیابی، اضافه نمودن خط سربالایی تجویز می‌شود.

در تعیین حجم سرویس، تعیین تعداد وسایل نقلیه سبک معادل وسایل نقلیه سنگین، عامل مهمی است. این مسأله عموماً مورد اتفاق نظر است که تأثیر بازدارنده خودروهای سنگین در راه‌های چند خطه نسبت به خودروهای پشت‌سر کمتر از تأثیر آنها در راه‌های دو خطه است. مقایسه حجم‌های معادل وسیله نقلیه سبک در کتاب «ظرفیت راه‌ها» [14] برای شیب، طول شیب و درصد وسایل نقلیه سنگین یکسان، به روشنی تفاوت احجام وسایل نقلیه سبک معادل برای وسایل نقلیه سنگین در معابر دو خطه و چهار خطه را نشان می‌دهد.

برای توجیه هزینه تأمین یک خط سربالایی، مانند توجیه هزینه در راه‌های دو خطه، سطح خدمت‌دهی پایین در سربالایی، باید معیار قرار گیرد، زیرا استفاده‌کنندگان تراکم بیشتری (یعنی سطح خدمت‌دهی پایین‌تری) را در سربالایی‌های یکسره، نسبت به قسمت‌های طولانی راه، خواهند پذیرفت. عملاً، حجم

سرویس، در سربالایی یکسره، نباید از حجم خدمت‌دهی مربوط به سطح خدمت‌دهی کمتر از سطح خدمت-دهی مبنای طراحی تجاوز کند و اصولاً از حجم خدمت‌دهی مربوط به سطح خدمت‌دهی D، نباید بیشتر شود. بطور کلی، نیازی به منظور نمودن خطوط سربالایی نیست، مگر اینکه حجم ترافیک در جهت سربالایی برابر یا بیشتر از حجم سرویس نظیر سطح خدمت‌دهی D باشد. در اکثر موارد، هنگامی که حجم سرویس شامل خودروهای سنگین بیشتر از 1700 وسیله نقلیه در هر ساعت در هر خط و طول سربالایی و درصد خودروهای سنگین به میزان کافی برای منظور نمودن خط سربالایی برسد، حجم ترافیک بر حسب وسیله نقلیه سبک معادل احتمالاً ممکن است نزدیک به ظرفیت و یا حتی بیشتر از آن بشود. در این حالت سرمایه-گذاری برای اضافه کردن تعداد خطوط راه، از احداث خط سربالایی بهتر است.

همچنین خطوط سربالایی، برای راه‌های چهارخطه با حجم ترافیک جهتی پایین‌تر از 1000 خودرو در ساعت در هر خط، بدون توجه به درصد خودروهای سنگین، بطور کلی تجویز نمی‌شود. اگرچه در این شرایط، گاهی راننده خودرو سنگین از خودرو سنگین دیگری سبقت می‌گیرد، اما این اشغال خط دیگر، در این حجم کم، به اندازه‌ای نیست که هزینه یک خط سربالایی را با نبودن معیار مناسب توجیه کند.

شیوه‌های ارائه شده در HCM [14] برای بررسی ویژگی‌های حرکتی جریان عبور در سربالایی‌های مورد نظر، باید مورد استفاده قرار گیرد. شدت جریان سرویس حداکثر برای سطح خدمت‌دهی مطلوب، همراه با شدت جریان نظیر سطح خدمت‌دهی پایین‌تر بعدی باید تعیین شود. اگر شدت جریان در سربالایی از شدت جریان سرویس نظیر سطح خدمت‌دهی پایین‌تر تجاوز کند، بررسی خط سربالایی تجویز می‌شود. بمنظور استفاده از روش‌های HCM سرعت جریان آزاد باید محاسبه یا تخمین زده شود. سرعت جریان آزاد می‌تواند با اندازه‌گیری سرعت متوسط وسایل نقلیه سبک تحت شرایط جریان ملایم یا پایین (تا 1300 وسیله نقلیه سبک در هر ساعت در هر خط) در معبر مورد نظر یا معبر مشابه تعیین شود.

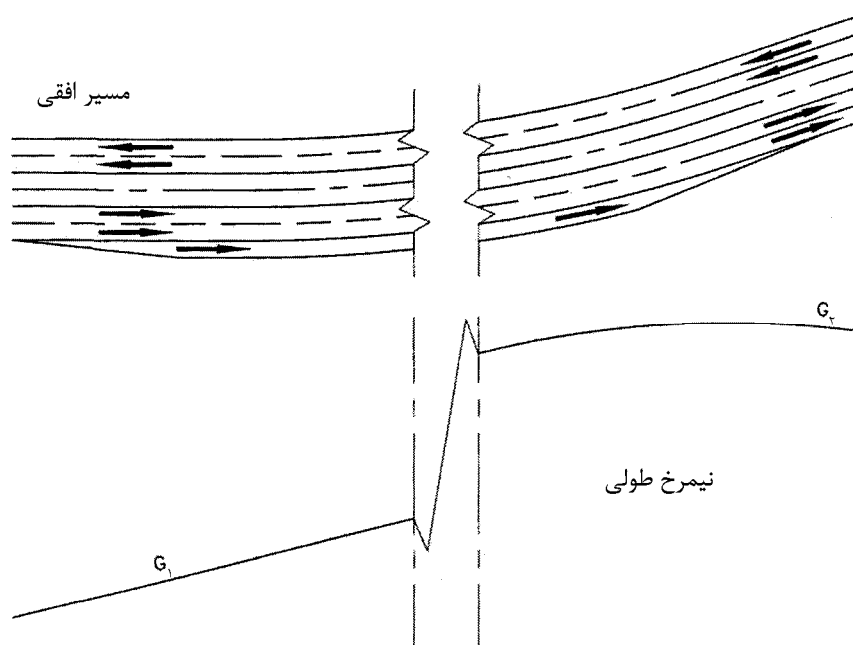
اطلاعات اخیر [14، 41] نشان می‌دهد که سرعت متوسط جریان آزاد تحت شرایط ایده‌آل برای راه‌های چند خطه، از 0/6 کیلومتر در ساعت پایین‌تر از هشتاد و پنجمین درصد توزیعی در سرعت 65 کیلومتر در ساعت تا 5 کیلومتر در ساعت پایین‌تر از هشتاد و پنجمین درصد توزیعی در سرعت 100 کیلومتر در ساعت تغییر می‌کند. محدودیت سرعت، عاملی است که بر سرعت جریان آزاد تاثیر می‌گذارد. تحقیقات اخیر [14، 41] پیشنهاد می‌کنند که سرعت جریان آزاد تقریباً 11 کیلومتر در ساعت بالاتر از حد سرعت در معابر دارای حد سرعت‌های 60 و 70 کیلومتر در ساعت و 8 کیلومتر در ساعت بالاتر از حد سرعت در معابر دارای حد سرعت-های 80 و 90 کیلومتر در ساعت باشد. تحلیل‌های مبتنی بر این قواعد تجربی باید با احتیاط انجام شود. اندازه-گیری‌های محلی بعنوان یک روش پیشنهادی برای تعیین سرعت جریان آزاد است، از تخمین‌های حاصل از روش‌های فوق‌الذکر تنها زمانی استفاده می‌شود که اطلاعات محلی در دسترس نباشد.

وقتی سربالایی مورد بررسی در راه چند خطه قرار داشته باشد، گاهی اوقات عوامل دیگری نیز مانند نوع میانه، عرض‌های خط عبور، فاصله آزاد جانبی و تراکم نقاط دسترسی باید در نظر گرفته شود. این عوامل در شیوه‌های تجزیه و تحلیل ظرفیت، با اعمال تعدیل‌هایی در سرعت جریان آزاد، به حساب آورده می‌شود و به تنهایی قابلیت برای بررسی مفید بودن خط سربالایی ندارند.

در تجزیه و تحلیل‌های حرکتی جریان عبور برای آزادراه‌ها، تعدیل‌هایی از طریق اعمال ضرایب مربوط به محدودیت عرض خطوط عبور، فاصله آزاد جانبی، وسایل نقلیه تفریحی و تعداد رانندگان ناآشنا صورت می‌گیرد.

تحت پاره‌ای از شرایط باید بررسی‌های مربوط به خطوط اضافی، برای وسایل نقلیه سنگین، در سرایشی انجام شود. این بررسی، با استفاده از همان شیوه‌های فوق‌الذکر و با استفاده از معادل‌های وسیله نقلیه سبک برای خودروهای سنگین در سرایشی (به جای وسایل نقلیه سنگین و وسایل نقلیه تفریحی در سربالایی) صورت می‌گیرد.

خطوط سربالایی در راه‌های چند خطه، معمولاً در خارج یا سمت راست راه قرار داده می‌شوند (شکل 3-62). اصول مربوط به شیب‌های عرضی، تعیین محل نقاط ابتدایی و انتهایی و طراحی مناطق ابتدایی و انتهایی یا لچکی‌ها برای خطوط سربالایی، قبلاً در این فصل، برای راه‌های دو خطه توضیح داده شد. این اصول برای معابر چند خطه نیز قابل استفاده است. یک نکته اساسی در مورد خط سربالایی این است که نقطه ابتدایی خط کمکی باید در محلی باشد که سرعت کامیون به حد قابل قبول، ترجیحاً در حدود 15 کیلومتر در ساعت کمتر از سرعت متوسط حرکت راه رسیده باشد. در راه‌های چند خطه، فاصله دید سبقت ضرورت ندارد.



شکل 3-62: خط سربالایی در آزادراه‌ها و راه‌های چند خطه

روش‌های افزایش فرصت‌های سبقت در راه‌های دو خطه

برای فراهم کردن افزایش فرصت‌های سبقت در راه‌های دو خطه روش‌های موفقیت‌آمیزی ارائه شده است. بعضی از معروف‌ترین این روش‌ها شامل: ایجاد خطوط سبقت، پهلویی‌ها رانندگی در شانه و استفاده از شانه تثبیت شده در طول‌های منتخب در رهنمودهای اداره راه‌های فدرال، تحت عنوان: «روش‌های کم هزینه برای بهبود عملکرد ترافیک در راه‌های دو خطه» [42] بیان شده است. خلاصه‌ای از این روش‌ها در قسمت‌های بعدی، ارائه می‌شود. معیارهای مفصل‌تر برای این روش‌ها، در آن منبع بیان شده است.

خطوط سبقت

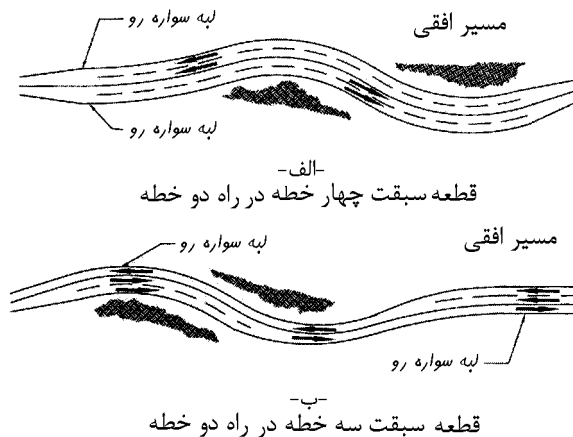
به منظور بهبود عملکرد ترافیک در قطعات با ظرفیت پایین و ارتقاء آن، حداقل به کیفیت یکسان با قطعات مجاور راه، می‌توان یک خط اضافی برای یک یا هر دو جهت حرکت فراهم کرد. همچنین خطوط سبقت، می‌توانند برای تأمین بهبود عملکرد کلی ترافیک در راه‌های دو خطه، از طریق کاهش تأخیرهای ناشی از عدم کفایت فرصت‌ها برای سبقت‌گیری در طول‌های قابل توجهی از راه‌ها، معمولاً بین 10 تا 100 کیلومتر، در نظر گرفته شوند. در جایی که خطوط سبقت‌گیری، برای بهبود عملکرد ترافیکی، در طول قسمتی از راه بکار می‌روند، این خطوط بطور منظم، در فواصل معینی تکرار می‌شوند.

محل خط اضافی باید در نظر راننده، صورت منطقی داشته باشد. ارزش خط سبقت در جاهایی که محدودیت فاصله دید سبقت وجود دارد بیشتر مشهود است تا قسمت‌های طولانی مستقیمی از مسیر که حتی بدون خطوط سبقت نیز امکان سبقت در آن‌ها وجود دارد. از طرف دیگر، محل قرار گرفتن خط سبقت باید در جایی باشد که فاصله مناسب دید برای لچکی‌های افزایش و کاهش خط، تأمین شود. حداقل فاصله دید 300 متر در نزدیکی هر لچکی توصیه می‌شود. همچنین انتخاب محل مناسب برای خط سبقت، مستلزم در نظر گرفتن محل تقاطع‌ها و دسترسی‌های با حجم ترافیک بالا، به منظور کمینه کردن حرکات گردشی در محل این خط است. بعلاوه، از محدودیتهای فیزیکی دیگر همچون پلها و آبروها، در صورتیکه از امکان ایجاد یک شانه ممتد جلوگیری کنند باید دوری کرد.

موارد ذیل، خلاصه‌ای از روش‌های طراحی برای تأمین قطعات سبقت در راه‌های دو خطه است:

- (1) مسیرهای افقی و قائم (پلان و نیمرخ طولی) باید طوری طراحی شود که تا حد امکان قسمت هرچه بیشتری از راه، دارای فاصله دید سبقت باشد (به جدول 3-7 مراجعه شود).
- (2) وقتی حجم طرح به ظرفیت راه، نزدیک شود، تأثیر کمبود فرصت‌های سبقت در کاهش سطح خدمت‌دهی، باید مد نظر قرار گیرد.
- (3) اگر طول بحرانی شیب از طول فیزیکی سربالایی کمتر است باید احداث خط اضافی سربالایی در نظر گرفته شود. طول بحرانی شیب با استفاده از شکل‌های 3-59 و 3-60 تعیین می‌شود.
- (4) اگر گستردگی و تناوب فرصت‌های سبقت با اعمال موارد 1 و 3 باز هم خیلی کم بود، احداث قطعات خط سبقت باید مورد بررسی قرار گیرد.

قطعات خط سبقت، که ممکن است به عرض سه یا چهار خط باشند در راه‌های دو خطه احداث می‌شوند تا تناوب نواحی سبقت را بطور مطلوب فراهم کنند یا اختلال ناشی از وسایل نقلیه سنگین کندرو را از بین ببرند و یا هر دو مزیت را تأمین کنند. در مواردی که در طراحی مسیر افقی و قائم امکان دستیابی به تعداد و طول‌های کافی قطعات سبقت نیست، می‌توان خطوط کمکی را مطابق شکل 3-63 به صورت موضعی در یک یا هر دو جهت حرکت، به منظور افزایش فرصت‌های سبقت در نظر گرفت. این گونه قطعات، بویژه در مناطق تپه ماهوری و بخصوص در حالتی که مسیر افقی مارپیچ است یا مسیر قائم دارای طول‌های بحرانی شیب است، مزیت دارد.



شکل 3-63: قطعات خطوط سبقت در راه‌های دو خطه

در مناطق تپه ماهوری حتی اگر طول شیب‌ها کمتر از طول بحرانی باشد، ممکن است، مسیر مستقیم راه با محدودیت سبقت مواجه گردد. استفاده از خطوط سبقت در برآمدگی‌ها، قطعات سبقت اضافی در هر دو جهت راه، در موارد حداکثر نیاز، تأمین می‌کند. قطعات خط سبقت باید به حد کافی طولانی باشند، تا فرصت سبقت برای چندین وسیله نقلیه در حال حرکت پشت سر وسیله نقلیه کندرو را قبل از بازگشت به نیمرخ عرضی عادی راه‌های دو خطه فراهم کند.

حداقل طول برای خط سبقت (بدون احتساب لچکی‌های ورودی و خروجی)، برای اطمینان از این که خودروهای معطل شده فرصت یک بار سبقت کامل را داشته باشند 300 متر است. وقتی خط سبقت برای کاهش تأخیر در گلوگاه معینی، مورد نظر است، طول مورد نیاز توسط محدوده گلوگاه، کنترل می‌شود. خط اضافی برای اصلاح کلی عملکرد ترافیکی، باید طول کافی بیش از 0/5 کیلومتر داشته باشد تا کاهش قابل ملاحظه‌ای در دنباله ترافیکی، بوجود آورد. طول بهینه خط سبقت معمولاً 0/8 تا 3/2 کیلومتر است و برای احجام ترافیکی بالاتر، مقیدار بیش از آن مناسب می‌باشد. کتاب «ظرفیت راه‌ها» [14] رهنمودهایی برای انتخاب طول بهینه خط سبقت ارائه می‌کند. به این ترتیب، با توجه به احجام ترافیک و فرصت‌های سبقت، نوعاً بهبود جریان ناشی از کاهش صف ترافیکی در فاصله 5 تا 15 کیلومتر بعد از شروع خط سبقت بدست می‌آید. بعد از آن، تا رسیدن به خط اضافی بعدی، دنباله‌های عادی، مشاهده می‌گردد.

منظور کردن قطعه خط کمکی سبقت در راه دو خطه الزاماً شامل عملیات خاکی زیاد، نیست. عرض خط اضافه شده معمولاً مشابه عرض خط‌های راه دو خطه است. عرض مطلوب شانه، حداقل 1/2 متر است و در صورت امکان، بایستی شانه قطعه سبقت، مشابه شانه در قسمت‌های دو خطه مجاور در نظر گرفته شود. با این حال شانه به عرض کامل، در قطعه خط سبقت، به اندازه راه متعارف دو خطه ضرورت ندارد زیرا تعداد وسایل نقلیه‌ای که احتمالاً در قطعه سبقت توقف می‌کنند، کم است و سبقت از وسیله نقلیه‌ای که فقط دو چرخ آن روی شانه قرار گرفته، چندان مشکل نیست. بنابراین اگر عرض معمولی شانه در راه دو خطه، 3 متر باشد برای ایجاد قطعه سبقت، تعریض راه دو خطه به میزان، 1/8 تا 2/4 متر در هر طرف، کاملاً کفایت می‌کند.

مجزا کردن قطعات چهار خطه‌ای که صرفاً برای بهبود فرصت‌های سبقت در نظر گرفته شده، لازم نیست، زیرا در قسمت دو خطه راه، ترافیک دو طرف مقابل، شکل مجزا ندارد. با این وجود استفاده از میانه، مفید است و در راه‌های با حجم ترافیک دو طرفه 500 وسیله نقلیه در هر ساعت یا بیشتر و به ویژه در راه‌هایی که نهایتاً تبدیل به چهار خطه مجزا خواهند شد، باید مورد نظر قرار گیرد.

لچکی اتصالی در دو انتهای خط اضافی بایستی بگونه‌ای طراحی شود که مشوق حرکتی ایمن و کارآمد باشد. طول لچکی کاهش خط (لچکی انتهایی یا لچکی خروج) با استفاده از فرمول کتاب «ادوات یکنواخت کنترل ترافیک» [6]: $L=0.6WS$ (L: طول به متر، W: عرض به متر، S: سرعت به کیلومتر در ساعت) محاسبه می‌شود. در حالی که طول توصیه شده برای لچکی افزایش خط (لچکی ابتدایی یا لچکی ورود) نصف تا دو سوم طول لچکی کاهش خط است.

نصب علائم و خط‌کشی خط اضافی، تا اندازه‌ای در MUTCD [6] مشخص شده است خط‌کشی‌های محور راه در محل این خطوط اضافی و نصب علائم و خط‌کشی‌های محل لچکی، کاهش تعداد خط عبور را معین می‌کند. با این حال، MUTCD، به نصب علائم در محل افزایش خط و قبل از آن، اشاره ندارد. یک تابلو با نوشته «خط سبقت، 1 کیلومتر» باید قبل از هر خط اضافی نصب شود تا رانندگان وسایل نقلیه کندرو و خودروهای پشت سر بتوانند برای استفاده کارآمد از خط اضافی آماده شوند. نصب تابلوهای اضافی در 3 تا 10 کیلومتر مانده به خط سبقت نیز مطلوب است زیرا می‌تواند، از طریق مطمئن ساختن آنان به اینکه بزودی فرصت سبقت خواهند یافت باعث خنثی شدن بی‌صبری و کم‌طاقتی رانندگان معطل شده پشت سر وسایل نقلیه کندرو بشود. در ضمن، یک تابلو نیز بایستی در شروع لچکی نصب شود تا وسایل نقلیه کندروتر را تشویق به حرکت از منتهی‌الیه سمت راست کند.

تغییر تدریجی رویه‌های دو خطه به سه یا چهار خطه، باید در مکان‌هایی که تغییر خطوط کاملاً برای راننده قابل رؤیت است، صورت گیرد. قطعات چهار خطه راه، به ویژه راه‌های مجزا، به طول بیش از 3 کیلومتر ممکن است موجب آن شود که راننده فراموش کند که راه اساساً دو خطه است. بنابراین، لازم است که تغییرات تدریجی تعداد خطوط از سه خط یا چهار خط به دو خط، توسط خط‌کشی و علائم، به خوبی مشخص شود تا رانندگان از راه دو خطه پیش رو آگاه گردند. بویژه نصب یک تابلوی هشداردهنده قبل از پایان خط سبقت نیز، برای آگاهی رانندگان از راه باریک‌تر پیش‌رو، دارای اهمیت است. برای کسب اطلاعات بیشتر به MUTCD [6] مراجعه شود.

پهلوگیرها (بیرون‌روها)

پهلوگیر، محوطه‌ای شانه عریض شده و بدون مانعی است که به وسایل نقلیه کندرو اجازه می‌دهد از خطوط اصلی عبور، کنار بکشند و امکان سبقت را برای وسایل نقلیه پشت سر فراهم کنند [43,42]. از راننده وسیله نقلیه کندرو انتظار می‌رود که در صورت مشاهده خودروهایی در پشت سر خود از خط اصلی کنار بکشد و آنقدر در این وضعیت بماند تا وسایل نقلیه پشت سرش سبقت بگیرند و سپس به خط اصلی باز گردد. اگر تعداد خودروهای پشت سر وسیله نقلیه کندرو یک یا دو دستگاه باشند لزومی به توقف خودروی کندرو نیست. ولی اگر تعداد خودروهای پشت سر، بیش از این باشد لازم است که وسیله نقلیه کندرو در محوطه، پهلوگیر توقف کند تا تمام خودروهای پشت سبقت بگیرند. پهلوگیرها بیشتر در راه‌های با حجم پایین‌تر که تشکیل قطار خودروها نادر است و در زمین‌های ناهموار تند شیب که احداث خط اضافی احتمالاً مقرون به صرفه نیست،

مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شرایط، اغلب در مناطق کوهستانی، ساحلی و خوش منظر که بیش از 10 درصد احجام ترافیک را خودروهای سنگین و وسایل نقلیه تفریحی تشکیل می‌دهند، یافت می‌شود. طول پیشنهادی برای پهلوهی‌های با لچکی در جدول 3-64 ارایه شده است. پهلوهی‌های به طول کمتر از 60 متر حتی در سرعت‌های تقرب پایین نیز توصیه نمی‌شود. پهلوهی‌های طولانی‌تر از 185 متر برای راه‌های پر سرعت توصیه نمی‌شود، زیرا ممکن است از آن به عنوان خط سبقت استفاده کنند. طول پیشنهادی، بر فرض ورود وسایل نقلیه کندرو به پهلوهی‌ها با سرعتی معادل 8 کیلومتر در ساعت کمتر از سرعت متوسط ترافیک عبوری، تعیین شده است. این طول اجازه می‌دهد که خودرو تا وسط پهلوهی را بدون ترمز گرفتن طی کند و سپس در صورت لزوم با شتاب‌کاهنده کمتر از 3 متر بر مجذور ثانیه، تا رسیدن به حالت توقف، اقدام به ترمز کند. طول‌های پیشنهادی در جدول 3-64 شامل لچکی‌های ورودی و خروجی نیز می‌شود. طول متعارف این لچکی‌ها 15 تا 30 متر تغییر می‌کند.

حداقل طول (متر) *	سرعت تقرب (کیلومتر در ساعت)
60	30
60	40
65	50
85	60
105	70
135	80
170	90
185	100
* طول حداکثر باید 185 متر باشد تا از پهلوهی به عنوان خط سبقت استفاده شود	

3-64: طول‌های پیشنهادی برای پهلوهی‌ها (شامل لچکی)

حداقل عرض پهلوهی 3/6 متر و مقدار مطلوب آن 5 متر است. استفاده از پهلوهی عریض‌تر از 5 متر توصیه نمی‌شود.

پهلوهی‌ها نباید در محل یا در مجاورت قوس افقی یا قائمی که فاصله دید را در یک جهت محدود می‌کند، قرار گیرند. فاصله دید موجود در محل نزدیک شدن به پهلوهی، باید حداقل 300 متر باشد. نصب علائم و خط‌کشی صحیح رویه نیز، هم برای بالا بردن میزان استفاده از پهلوهی و هم برای اطمینان از ایمنی، لازم است. خط‌کشی لبه سمت راست رویه نیز برای راهنمایی رانندگان، بویژه در پهلوهی‌های پهن‌تر، مطلوب است.

حرکت بر روی شانه

در قسمتهایی از ایالات متحده، یک رسم و عادت پایدار بوجود آمده که وسایل نقلیه کم سرعت، وقتی وسیله نقلیه‌ای را در حال نزدیک شدن به خود مشاهده می‌کنند، به روی شانه رفته و بعد از رد شدن وسیله نقلیه پشت سر به خط اصلی باز می‌گردند. این عمل موقعی انجام می‌گیرد که شانه رویه‌داری وجود داشته باشد و در حقیقت شانه به عنوان یک پهلوهی پیوسته عمل کند. این رسم، بدون آنکه مستلزم کاهش سرعت قابل ملاحظه از سوی هر راننده باشد، بعنوان احترام راننده وسیله نقلیه کندرو به دیگر رانندگان تلقی می‌شود. نهادهای طراح و اجرا کننده راه‌ها بایستی قبل از تصمیم‌گیری درباره اعطای مجوز استفاده از شانه به عنوان کمک به امکان سبقت، هزینه مربوط به ایجاد شانه رویه‌دار و طول راه‌های دو خطه را ارزیابی کنند.

باید دانست، اگر استفاده از شانه، برای رانندگی رایج و عمومی شود، محدود به مکان‌های معینی نخواهد بود بلکه به تمامی محل‌هایی که شانه رویه‌دار وجود دارد، تعمیم پیدا خواهد کرد. دیگر اینکه، عرض مورد نیاز این نوع شانه، 3 متر یا ترجیحاً 3/6 متر است. همچنین تأثیری که رانندگی روی شانه ممکن است بر استفاده از راه توسط موتور سیکلت سواران و دوچرخه سواران داشته باشد، بایستی مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که استفاده از شانه برای رانندگان، عادی محلی و غیرعام می‌باشد، لذا علائم خاصی برای ارتقاء این نوع کاربرد، ایجاد نشده است.

قطعه‌های دارای شانه ماشین‌رو

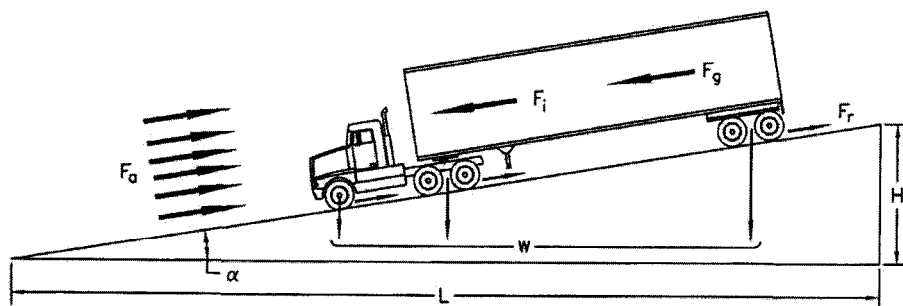
راه دیگر دستیابی به فرصت‌های سبقت بیشتر، اجازه دادن به وسایل نقلیه کندرو برای حرکت بر روی شانه رویه‌دار، در محل‌های معین با تابلوهای خاص است. در این حالت، استفاده وسایل نقلیه کندرو از شانه، نسبت به آنچه قبلاً ذکر شد، محدودتر است. معمولاً رانندگان به سمت قطعاتی از شانه که طول آنها برای سبقت خودروهای پشت‌سر، کافی است، تغییر مسیر می‌دهند و سپس به خط اصلی باز می‌گردند. بنابراین، شانه ماشین‌رو مانند یک پهلویگر طولانی عمل می‌کند. این شیوه، به نهاد مسئول امر راه امکان می‌دهد که از شانه در مواقعی استفاده کنند که تحمل بارهای عبور خودرو را داشته باشد و به فرصت‌های سبقت بیشتر، ناشی از تشکیل صف‌های متعدد خودرو نیاز باشد.

طول شانه‌های ماشین‌رو بین 0/3 تا 5 کیلومتر تغییر می‌کند. استفاده از شانه بایستی در جایی مجاز باشد که عرض آن حداقل 3 متر و ترجیحاً 3/6 متر باشد. شانه‌های ماشین‌رو باید از مقاومت سازه‌ای مناسب برای تحمل بارهای پیش‌بینی شده همراه با رویه مناسب برخوردار باشند. شرایط مطلوب شانه باید مورد توجه خاص باشد، زیرا رانندگان تمایلی به عبور از شانه ناهموار، ترک دار یا پوشیده شده از نخاله، ندارند. در هر دو انتهای شانه ماشین‌رو باید علائم مناسب، نصب شود. اگر چه، علائم خاصی برای شانه‌های ماشین‌رو در کتاب «ادوات یکنواخت کنترل ترافیک» [6] ارائه نشده، ولی به هر حال، بایستی از علائم ویژه‌ای در اینگونه موارد استفاده کرد.

راه‌های خروجی اضطراری (خروجی‌های اضطراری)

کلیات

در راه‌هایی که سرایشی طولانی دارند یا در مسیرهای جدیدی که وضعیت پستی و بلندی و شرایط محل، چنین سرایشی‌هایی را الزام آور می‌کند، طراحی و ساخت یک خروجی اضطراری در مکان مناسب، مطلوب است تا برای وسایل نقلیه خارج از کنترل و بویژه خودروهای سنگین، وضعیتی فراهم گردد که بیرون از جریان ترافیک اصلی سرعت خود را کاهش دهند و توقف کنند. وسایل نقلیه خارج از کنترل، معمولاً حاصل عدم توانایی راننده در ترمز کردن، به علت داغ شدن زیاد از حد ترمزها در اثر نقص فنی یا ناتوانی در تعویض بموقع دنده است. تجربیات قابل توجهی از خروجی‌های اضطراری ساخته شده در راه‌های موجود بدست آمده که دست اندرکاران راه را به سمت طراحی و احداث این خروجی‌ها به منظور نجات جان سرنشینان و پایین آوردن میزان خسارات، سوق داده است. ارزیابی‌ها و گزارشهای مربوط به خروجی‌های موجود، بیانگر عملکرد قابل قبول این خروجی‌ها در کاهش سرعت و کنترل مطلوب خودرو توسط راننده بوده است [44].



F_a = مقاومت هوا	W = جرم ناخالص وسیله نقلیه (وزن)
F_i = مقاومت اینرسی (مقاومت جبر، مقاومت ماند)	H = ارتفاع
F_g = مقاومت شیب	L = طول
F_r = مقاومت غلت	α = زاویه شیب

شکل 3-65: نیروهای مؤثر بر وسیله نقلیه در حال حرکت

نیروهای مؤثر بر سرعت هر وسیله نقلیه عبارت از نیروی مقاومت موتور، نیروی مقاومت ترمز و نیروی مقاوم حرکت می‌باشند. نیروهای مقاومت ترمز و موتور می‌توانند در طراحی خروجی اضطراری نادیده گرفته شوند، زیرا خروجی باید برای بدترین حالت طراحی می‌شوند که در آن، خودرو در وضعیت خلاص و ترمزها نیز از کار افتاده‌اند. نیروی مقاوم حرکت خودرو از چهار جزء تشکیل می‌شود: اینرسی، آئرودینامیک، غلت و شیب. نیروهای اینرسی و شیب منفی باعث ادامه حرکت خودرو می‌شوند، در حالی که نیروهای مقاومت غلت، مقاومت شیب مثبت و مقاومت هوا باعث کندی حرکت آن می‌گردند. شکل 3-65 عمل نیروهای مقاوم مختلف را نشان می‌دهد.

مقاومت اینرسی را می‌توان به عنوان نیرویی بیان کرد که در برابر خودرو متوقف، مقاومت می‌کند یا به خودرو در حال حرکت کمک می‌کند، مگر آنکه خودرو، تحت تأثیر یک نیروی خارجی قرار داشته باشد. بوسیله افزایش یا کاهش سرعت، باید بر نیروی اینرسی غلبه کرد. نیروهای مقاومت غلت و مقاومت شیب مثبت برای غلبه بر مقاومت اینرسی، وجود دارند.

مقاومت غلت، یک اصطلاح کلی است که برای بیان مقاومت به حرکت در سطح تماس بین چرخ‌های وسیله نقلیه و رویه راه به کار می‌رود و تنها موقعی قابل اعمال است که خودرو در حال حرکت باشد. این مقاومت متأثر از نوع مصالح سطح روسازی و خواص جابه جایی آن است. هر نوع از مصالح روسازی، دارای ضریبی است که برحسب کیلوگرم بر هزار کیلوگرم وزن ناخالص خودرو بیان می‌شود و برای تعیین مقدار نیروی مقاومت غلت وسیله نقلیه به کار می‌رود. مقادیر نشان داده شده در جدول 3-66 برای مقاومت غلت با استفاده از منابع مختلف سراسر کشور بدست آمده و بهترین تخمین موجود است.

نیروی مقاومت شیب، ناشی از تأثیر وزن است و به عنوان نیروی لازم برای حرکت خودرو در فاصله قائم معین بیان می‌شود. برای اینکه نیروی مقاومت شیب، در خروجی اضطراری، نیروی مفیدی باشد باید خودرو، در جهت عکس نیروی وزن یعنی در سربالایی حرکت کند. در حالتی که وسیله نقلیه سرازیری را طی می‌کند مقاومت شیب منفی است و بنابراین موجب کاهش نیروهای موجود برای کم کردن سرعت و نگه داشتن وسیله نقلیه می‌شود. مقدار نیروی مقاومت شیب تابع وزن کل خودرو و میزان شیب است. برای هر یک درصد از شیب، مقاومت شیب 10 کیلوگرم بر 1000 کیلوگرم است، اعم از آن که شیب مثبت یا منفی باشد.

مصلح رویه	شیب معادل* (%)	مقاومت غلت (کیلوگرم در 1000 کیلوگرم جرم ناخالص وسیله نقلیه (وزن))
بتن با سیمان پرتلند	1/0	10
بتن آسفالتی	1/2	12
شن متراکم	1/5	15
خاک یا ماسه غیرمتراکم	3/7	37
مصلح شکسته غیرمتراکم	5/0	50
شن غیرمتراکم	10/0	100
ماسه	15/0	150
شن نخودی	25/0	250
مقاومت غلت برحسب شیب معادل*		

جدول 3-66: مقاومت غلت مصالح رویه راه

آخرین جزء نیروی مقاوم حرکت، مقاومت هوا در برابر حرکت (مقاومت آیرودینامیکی) یا نیروی حاصل از اثر تأخیری هوا بر سطوح مختلف وسیله نقلیه است. در سرعت‌های بالای 80 کیلومتر در ساعت، هوا موجب مقاومت قابل ملاحظه‌ای می‌گردد. اما مقدار این مقاومت در سرعت‌های زیر 30 کیلومتر در ساعت قابل صرف‌نظر است. از تأثیر مقاومت آیرودینامیکی در تعیین طول بستر توقف صرف‌نظر می‌شود که این خود ضریب اطمینان کوچکی خواهد بود.

ضرورت و محل خروجی‌های اضطراری

هر سرازیری خصوصیات ویژه‌ای دارد. مسیر راه، مقدار شیب، طول و سرعت، عوامل بالقوه مؤثر در کنترل خارج شدن وسیله نقلیه می‌باشند. در راه‌های موجود مشکلات حرکتی در سرپایینی، معمولاً توسط ادارات محلی، رانندگان وسایل نقلیه سنگین یا توده مردم گزارش می‌شود. در بررسی محل یک سرازیری معین، ممکن است نرده‌های ایمنی آسیب دیده، سطوح آبله روی سواره‌رو با روغن‌ریزی سطح رویه را (که نشان دهنده مشکل رانندگان خودروهای سنگین در تطبیق با وضعیت سرازیری است)، دیده شود. برای معابر موجود، هرگاه نیاز به خروجی اضطراری مسلم شد، باید هرچه زودتر نسبت به احداث آن، اقدام نمود. سابقه تصادف (یا برای معابر جدید، سابقه تصادف در معابر مشابه) و نحوه عملکرد خودروهای سنگین بر روی شیب مورد نظر، همراه با قضاوت مهندسی، اغلب برای تعیین لزوم ایجاد خروجی اضطراری به کار می‌رود. احتمال پرت شدن خودرو سنگین به سمت مراکز فعالیت یا مراکز جمعیت مجاور، اغلب دلیل کافی برای احداث خروجی اضطراری است.

از احداث خروجی‌های اضطراری غیرضروری بایستی اجتناب کرد. مثلاً اگر وجود یک قوس، احداث یک خروجی اضطراری را توجیه کرده است، بعد از آن قوس، نباید خروجی دیگری ساخته شود.

از آنجا که خطمشی‌های جهانی‌ای برای راه‌های موجود و راه‌های جدید در دسترس نیست، عوامل گوناگونی باید برای انتخاب محل خاص یک خروجی اضطراری در نظر گرفته شوند. هر محلی، مشکلات و مشخصه‌های مربوط به خود را دارد. عواملی که بایستی مورد بررسی قرار گیرند شامل وضعیت پستی و بلندی، طول و درصد شیب، سرعت حرکت، مسائل اقتصادی، ملاحظات زیست محیطی و آمار تصادفات هستند. به طور کلی خروجی اضطراری باید در محلی باشد که بیشترین تعداد وسایل نقلیه خارج از کنترل را از خطر نجات دهد، مثلاً در انتهای سرازیری یا وسط آن که وسیله نقلیه خارج از کنترل، ممکن است موجب تصادف فاجعه آمیز گردد.

روش جدیدی در تجزیه و تحلیل عملکرد ترافیک در شیب، برای راه‌های جدید و موجود، علاوه بر تجزیه و تحلیل تصادف، ارائه شده که سیستم درجه بندی سختی شیب¹ [45] نام دارد. این سیستم از یک حد دمایی ترمز که از پیش تعیین شده (260 درجه سانتیگراد) برای ایجاد سرعتی ایمن در شیب استفاده می‌کند و آن را برای تعیین دمای مورد انتظار ترمز در حد فاصل‌های 0/8 کیلومتری طول سرازیری نیز، می‌توان به کار برد. محلی که دمای ترمز، از حد تجاوزه می‌کند، نقطه‌ای است که خرابی ترمز ممکن است بوجود آید و احتمال پرت شدن خودرو را بوجود می‌آورد.

بطور کلی، خروجی‌های اضطراری را می‌توان در محل‌های قابل اجرا از مسیر مستقیم جاده اصلی، احداث نمود. این خروجی‌ها، باید قبل از شروع قوس‌های افقی که وسایل نقلیه خارج از کنترل قادر به تطبیق با آن نیستند و نیز قبل از مناطق پرجمعیت، احداث شوند. خروجی‌ها باید به سمت راست جاده منحرف شوند. در راه‌های مجزای چند خطه وقتی که خروج از سمت چپ تنها محل ممکن، به نظر برسد، بروز مشکلات ناشی از امتناع خودروهای خط سمت چپ در ارائه حق تقدم به وسیله نقلیه خارج از کنترل (که سعی در تعویض خط برای ورود به خروجی اضطراری دارد)، دور از انتظار نیست.

گرچه تصادف‌های ناشی از خودروهای سنگین مهار گسیخته (خارج از کنترل)، در محل‌های مختلفی از طول شیب رخ می‌دهد، نقاطی که در آن تصادف‌های مکرری واقع شده باید به دقت مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. تجزیه و تحلیل داده‌های تصادف مربوط به محل مورد نظر خروجی اضطراری باید شامل ارزیابی قطعه-ای از راه بلافاصله در بالا دست باشد که عبارت از میزان انحنای طی شده، فاصله تا قوس مجاور و شعاع آن قوس است.

جزء لازم ارزیابی، مشخص کردن حداکثر سرعتی است که خودروی خارج از کنترل می‌تواند در محل مورد نظر به آن برسد. آنگاه بالاترین سرعت قابل حصول می‌تواند به عنوان حداقل سرعت طرح خروجی اضطراری به کار رود. سرعت ورودی 130 تا 140 کیلومتر در ساعت که برای طراحی پیشنهاد شده، بمنظور معرفی شرایط حدی است و بنابراین نباید مبنای تعیین محل خروجی‌ها قرار گیرد. اگرچه متغیرهای موجود، برقرار کردن ضابطه حداکثر سرعت وسیله نقلیه سنگین برای تعیین محل خروجی‌های اضطراری را ناممکن کرده، مسلم است که سرعت‌های پیش‌بینی شده باید کمتر از مقادیر مورد استفاده طرح باشد. عامل اصلی برای مشخص کردن نیاز به خروجی اضطراری، باید ایمنی سایر اجزاء ترافیک، راننده خودروی خارج از کنترل و ساکنان کناره یا انتهای شیب باشد. خروجی اضطراری (یا خروجی‌های اضطراری در صورتی که ضوابط، نیاز

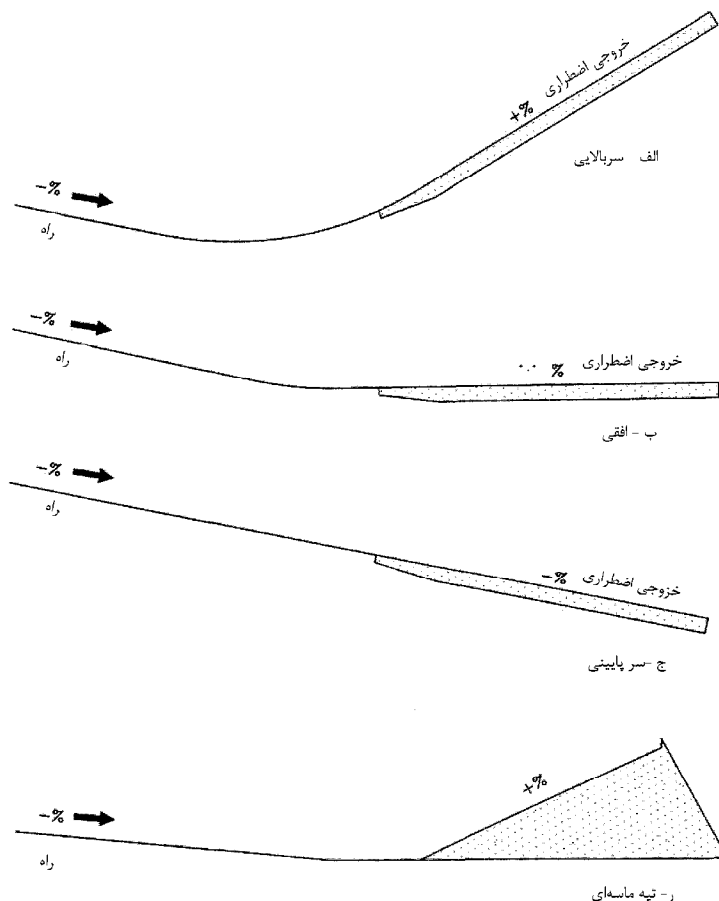
1-Grade Severity Rating system

بیش از یک خروجی را اقتضا کند) باید در جایی قرار گیرد که از نظر تندی و طول شیب، خطر قابل ملاحظه- ای برای خودروهای سنگین مهار گسیخته را نشان دهد و شرایط پستی و بلندی نیز عملیات احداث را ممکن سازد.

انواع خروجی‌های اضطراری

خروجی‌های اضطراری به روش‌های گوناگونی طبقه‌بندی شده‌اند. طبقه‌بندی‌های کلی مورد استفاده عبارت از: رمپ‌های ثقیل، تپه ماسه‌ای و بسترهای توقف می‌باشند. با توجه به این طبقه‌بندی‌ها، چهار طرح اصلی برای خروجی‌های اضطراری بیشتر استفاده می‌شود. این چهار نوع طراحی، شامل تپه ماسه‌ای و سه نوع لایه توقف است، که انواع اخیر با توجه به شیب بستر توقف طبقه‌بندی می‌شوند: سرازیر، افقی و سربالا. چهار نوع خروجی یاد شده در شکل 3-67 نمایش داده شده است. رمپ‌های ثقیل، دارای سطح رویه‌دار یا از جنس مصالح دانه‌ای متراکم هستند که اصولاً نیروهای گرانشی برای کم کردن سرعت و در نهایت توقف کامل خودروی خارج از کنترل استفاده می‌کنند. نیروهای مقاومت غلت، دخالت مختصری در توقف وسایل نقلیه دارند. خروجی‌های ثقیل معمولاً طولانی و شیب‌دار و تحت تأثیر محدودیت‌های عوارض زمین و محدودیت‌های اقتصادی قرار دارند. هنگامی که یک خروجی گرانشی (ثقیل) حرکت به جلو را متوقف می‌کند، سطح رویه‌دار خروجی قادر به جلوگیری از حرکت خودرو به سمت عقب، در جهت سرپایینی و قیچی شدن آن در غیاب یک سیستم بازدارنده، نخواهد بود. از این رو خروجی ثقیل، نامطلوب‌ترین نوع خروجی اضطراری است.

تپه‌های ماسه‌ای، مرکب از ماسه‌های خشک و متراکم نشده هستند که در محل خروجی کپه می‌شوند و معمولاً طول آنها از 120 متر تجاوز نمی‌کند. تأثیر نیروی گرانشی بستگی به میزان شیب سطح دارد. افزایش مقاومت غلت توسط ماسه متراکم نشده تأمین می‌شود. تپه‌های ماسه‌ای معمولاً دچار تقلیل ویژگی‌های کاهش سرعتی خود می‌شوند و وضع آب و هوا بر آنها تأثیر می‌گذارد. به همین دلیل نسبت به بسترهای توقف، نامطلوب‌تر هستند. در عین حال، برای مکان‌هایی که فضای کافی برای اجرای انواع دیگر خروجی وجود ندارد، استفاده از تپه‌های ماسه‌ای بدلیل ابعاد محدود آنها، ممکن است مناسب باشد.



نکته: مقطع طولی در امتداد خط مبنای خروجی اضطراری است

شکل 3-67: انواع اصولی خروجی‌های اضطراری

خروجی‌های اضطراری با بسترهای توقف سرپایینی، موازی با خطوط عبور اصلی راه و در مجاورت آن ساخته می‌شوند. در بستر توقف این خروجی‌ها، از دانه‌های غیرمتراکم برای افزایش مقاومت غلت و کم کردن سرعت استفاده می‌شود. مقاومت شیب در جهت حرکت عمل می‌کند. از اینرو، این نوع خروجی‌ها ممکن است نسبتاً طولانی باشند، زیرا اثر ثقل به کاهش سرعت وسیله نقلیه کمک نمی‌کند. خروجی اضطراری باید دارای یک راه بازگشت بدون مانع و مشخص به راه باشد تا رانندگانی که در کارایی خروجی دچار تردید می‌شوند احساس کنند که با یک کاهش سرعت، می‌توانند به راه باز گردند.

هنگامی که شرایط پستی و بلندی اجازه دهد، بستر توقف با شیب افقی انتخاب دیگری است. خروجی که در وضعیت افقی قرار گرفته، مبتنی بر افزایش مقاومت غلت از مصالح غیر متراکم در بستر توقف، بمنظور کاهش سرعت و توقف خودرو است، بنابراین اثر ثقل، در حد کمینه است. این نوع خروجی دارای بستر توقف طولانی‌تر از حالت سرپالایی است.

معمول‌ترین نوع خروجی‌های اضطراری، بستر توقف سرپالایی است. در این نوع خروجی‌ها از مقاومت شیب نیز به عنوان مکمل اثر مصالح سنگی در بستر توقف و بطور کلی کاهش طول خروجی مورد نیاز برای توقف خودرو استفاده می‌شود. مواد غیرمتراکم بستر توقف، مقاومت غلت را همانند انواع دیگری خروجی، افزایش می‌دهد. در حالی که مقاومت شیب، در جهت سرپایینی یعنی در جهت عکس حرکت عمل می‌کند،

مصالح غیر متراکم بستر برای نگهداری خودرو در جای خود روی شیب خروجی، پس از رسیدن به حالت توقف ایمن نیز، به کار می‌رود.

هر یک از انواع خروجی برای موقعیت‌های مشخص قابل استفاده هستند و در انتخاب نوع خروجی بایستی سازگاری آن با وضعیت محلی و شرایط پستی و بلندی در نظر گرفته شود. اصولاً روش‌های تجزیه و تحلیل خروجی‌های اضطراری برای همه انواع و طبقه‌بندی‌ها، یکسان است. ضریب مقاومت غلت مصالح رویه که برای تعیین طول مورد نیاز به منظور کم کردن سرعت و توقف ایمن، به کار می‌رود، در هر روش متفاوت است.

نکات طراحی

ترکیب نیروهای مقاومت خارجی فوق‌الذکر و نیروهای مقاومت داخلی که در مورد آن بحث نشد برای محدود کردن حداکثر سرعت وسیله نقلیه خارج از کنترل عمل می‌کنند. سرعت‌های بیش از 130 تا 140 کیلومتر در ساعت به ندرت، اتفاق می‌افتند. بنابراین، یک خروجی اضطراری بایستی برای حداقل سرعت ورودی 130 کیلومتر در ساعت و ترجیحاً 140 کیلومتر در ساعت طراحی شود. فرمول‌ها و برنامه‌های نرم افزاری متعددی برای مشخص کردن سرعت فرار در هر نقطه از شیب، ارائه شده است. این روش‌ها می‌توانند برای تعیین سرعت طرح شیب‌ها و مسیرهای افقی مشخص بکار روند [46,45,44].

طراحی و ساخت خروجی‌های اضطراری مؤثر، بایستی با توجه به نکاتی که در ادامه ارائه می‌شود، طراحی و ساخته شوند:

- برای توقف ایمن، طول خروجی اضطراری بایستی به اندازه کافی باشد تا انرژی جنبشی خودروی خارج از کنترل را مستهلک کند.
- مسیر خروجی اضطراری بایستی مستقیم یا با انحنای بسیار کم باشد تا کمترین سختی را برای راننده در کنترل خودرو ایجاد کند.
- عرض خروجی، باید به اندازه‌ای باشد که بیش از یک خودرو را در خود جای دهد، زیرا نیاز به خروجی اضطراری برای بیش از یک وسیله نقلیه در فواصل زمانی کم غیر متعارف نیست. حداقل عرض 8 متر در بعضی مناطق عملی است ولی عرض‌های بیشتر برتری دارند. عرض 9 تا 12 متر برای جاگیری دو وسیله نقلیه خارج از کنترل یا بیشتر، مطلوب‌تر است. در مناطقی که احداث خروجی‌های عریض از نظر اقتصادی ضرورت نداشته یا توجیه‌پذیر نبوده، از خروجی‌های با عرض کمتر از آنچه در بالا اشاره شده می‌توان به نحو مطلوبی استفاده کرد. به طور کلی عرض خروجی بین 3/6 تا 12 متر متغیر است.
- مصالح رویه مورد استفاده برای بستر توقف بایستی توقف و دارای تراکم‌پذیری پایین و ضریب مقاومت غلت بالایی باشند. وقتی از سنگدانه استفاده می‌شود، بایستی گرد گوشه، غیرشکسته و غالباً هم اندازه و در حد امکان عاری از ریزدانه باشد. اینگونه مصالح، درصد فضای خالی را حداکثر کرده و بنابراین تخلیه آب مناسب و حداقل قفل و بست داخلی و تراکم را خواهند داشت. مصالح با مقاومت برشی پایین، به دلیل اجازه نفوذ به چرخ‌های وسیله نقلیه، مناسب و مطلوب هستند. دوام مصالح باید به کمک آزمایش خردشدگی مناسب، ارزیابی شود. شن نخودی نمونه مصالحی است که اغلب به کار می‌رود، گرچه شن غیر متراکم و ماسه نیز مورد استفاده قرار می‌-

گیرند. دانه‌بندی با بزرگترین اندازه 40 میلی‌متر با موفقیت در چندین ایالت مورد استفاده قرار گرفته است. مصالح مطابق با دانه‌بندی شماره 57 آشتو در صورت حذف مصالح ریزدانه، کارایی دارد.

- بسترهای توقف باید با ضخامت حداقل 1 متر مصالح ساخته شود. آلودگی مواد بستر، می‌تواند کارایی بستر متوقف‌کننده را کاهش دهد. این کاهش بدلیل بوجود آمدن یک لایه سخت در عمق بستر به ضخامت تا 300 میلی‌متر صورت می‌گیرد. بنابراین، حداقل ضخامت مصالح تا 1100 میلی‌متر توصیه می‌شود. وقتی خودرو به بستر توقف وارد می‌شود، چرخ‌ها در بستر فرو می‌رود و موجب جابه جایی آن می‌شود و در نتیجه باعث افزایش مقاومت غلت می‌گردد. برای کمک به اینکه کاهش سرعت وسیله نقلیه بصورت آرام و یکنواخت باشد، ضخامت بستر باید به تدریج از حداقل 75 میلی‌متر در محل ورود به بستر به مقدار کامل آن در فاصله 30 تا 60 متری برسد.
- تخلیه آب بستر توقف به منظور کمک به محافظت آن در برابر یخ‌زدگی، و پرهیز از آلودگی باید تأمین گردد. این کار می‌تواند با شیب‌دهی نشیمن بستر، هدایت آب قبل از ورود به نشیمن بستر، تخلیه جانبی و یا زهکش‌های زیرسطحی با خروجی‌های عرضی انجام شود. از پارچه‌گونه‌ها می‌توان در فاصله بین زیراساس و مصالح بستر برای جلوگیری از نفوذ ریزدانه‌ها که ممکن است باعث نگهداری آب گردد، استفاده کرد. در صورتی که نگرانی آلودگی‌های سمی از سوخت دیزل یا سایر مواد ریخته شده وجود داشته باشد، می‌توان کف بستر توقف را با بتن پوشاند و مخزن‌هایی برای جمع‌آوری مواد آلوده ریخته شده تعبیه نمود.
- محل ورود به خروجی اضطراری بایستی به گونه‌ای طراحی شود که وسیله نقلیه با سرعت بالا بتواند بصورت ایمن و بی‌خطر وارد آن شود. بیشترین فاصله دید ممکن باید قبل از ورود تأمین شود. تمام طول خروجی، باید برای راننده قابل رؤیت باشد. زاویه انحراف خروجی اضطراری باید کوچک و معمولاً 5 درجه یا کمتر باشد. یک خط کمکی، ممکن است برای کمک به راننده برای ورود به راه خروجی مناسب باشد. سطح راه اصلی باید تا نقطه‌ای در روی دماغه خروجی یا آنطرف دماغه ادامه یابد تا هر دو چرخ جلو وسیله نقلیه خارج از کنترل، بطور همزمان وارد بستر توقف شوند. این شیوه زمان آمادگی مناسبی را برای راننده پیش از شروع کاهش سرعت فراهم می‌کند. بستر توقف باید فاصله جانبی کافی از خطوط عبوری اصلی راه داشته باشد تا از پرت شدن مصالح غیر متراکم آن بر روی سطح سواره رو، جلوگیری شود.
- دسترسی به خروجی باید به طور واضح با نصب تابلو خروج مشخص شود، تا راننده خودروی خارج از کنترل زمان لازم را برای عکس‌العمل داشته باشد و احتمال گم کردن خروجی به حداقل برسد. نصب علائم پیش آگاهی ضرورت دارد تا رانندگان را از وجود خروجی اضطراری آگاه کند و قبل از نقطه تصمیم‌گیری آمادگی لازم را در آنان ایجاد نماید تا زمان کافی برای انتخاب راه حل استفاده از خروجی اضطراری یا عدم استفاده از آن داشته باشند. در نزدیکی محل ورود، برای ممانعت از داخل شدن به خروجی و توقف در آن، باید از تابلوهای انتظامی استفاده شود. مسیر خروجی باید با خط کشی و نصب قطعات چشم گربه‌ای مشخص شود تا لبه‌های راه

خروجی به هنگام روز و شب به خوبی دیده شود (برای کسب اطلاعات بیشتر به MUTCD [6] مراجعه شود). روشن کردن محوطهٔ تقرب و خروجی نیز مطلوب است.

- خصوصیتی که خروجی اضطراری را برای خودروهای سنگین به صورت راهکار ایمنی مؤثر در آورده، رهایی وسیلهٔ نقلیه گرفتار شده در داخل آن را نیز مشکل می‌کند. لازم است راه سرویسی در مجاورت بستر توقف ساخته شود تا یدک‌کش‌ها و ماشین‌آلات راهداری بتوانند بدون گرفتار شدن در بستر توقف، از آن استفاده کنند. عرض این راه سرویس باید حداقل 3 متر باشد. بهتر است راه سرویس دارای رویه باشد ولی این رویه را می‌توان از نوع شنی انتخاب کرد. این خط کمکی بایستی به گونه‌ای طراحی شود که رانندهٔ وسیلهٔ نقلیهٔ خارج از کنترل آن را با بستر توقف اشتباه نکند.

- معمولاً در کنار بستر توقف در فواصل 50 تا 100 متری نصب میل مهارهایی لازم است تا ایمنی مورد نیاز را برای یدک‌کش، در هنگام رها کردن وسیله نقلیه از بستر توقف، فراهم کند. یک میل مهار باید در فاصله 30 متری بستر توقف قرار داده شود تا به بازگشت وسیله نقلیه خراب به سطح راه کمک کند. رانندگان یدک‌کش‌های محلی می‌توانند کمک شایانی به استقرار درست میل مهارها بکنند.

وسیله نقلیه در هنگام بالا رفتن از شیب، انرژی جنبشی خود را از دست می‌دهد و ناگهان، به علت تأثیر ثقل می‌ایستد. برای مشخص کردن فاصلهٔ مورد نیاز برای متوقف شدن وسیلهٔ نقلیه از فرمول ساده شده زیر می‌توان استفاده کرد. این فرمول با در نظر گرفتن مقاومت غلت و مقاومت شیب بدست آمده است [33]:

$L = \frac{V^2}{254(R \pm G)} \quad (39-3)$
<p style="text-align: right;">در آن:</p> <p style="text-align: center;"> L = طول بستر متوقف کننده یا بستر توقف (متر) V = سرعت ورود (کیلومتر در ساعت) G = درصد شیب تقسیم بر 100 R = مقاومت غلت، بر حسب درصد شیب معادل، تقسیم بر 100 (به جدول 3-66 مراجعه شود) </p>

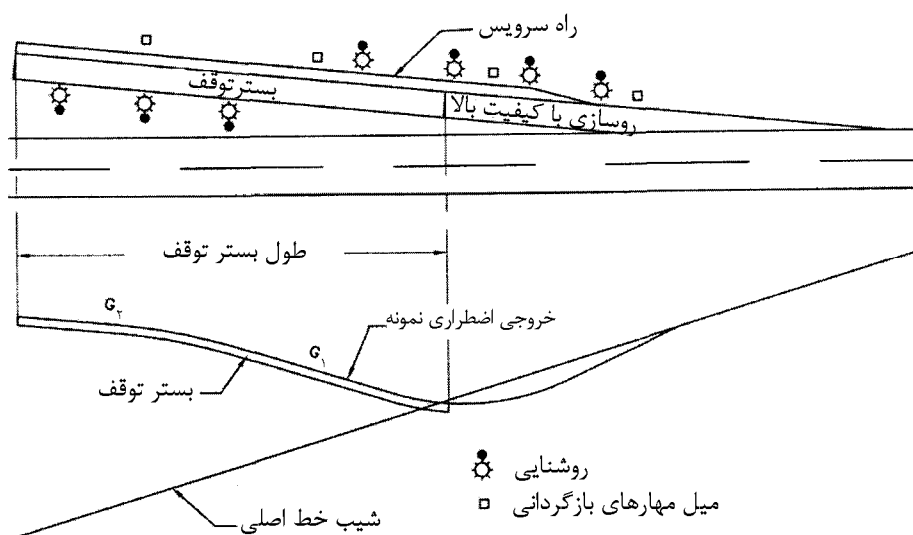
برای مثال، فرض کنید شرایط پستی و بلندی محلی که برای خروجی اضطراری انتخاب شده، آنرا به استفاده از سربالایی 10 درصد محدود می‌کند ($G = +0/10$)، بستر توقف باید از شن غیر متراکم برای سرعت ورودی 140 کیلومتر در ساعت ساخته شود. با استفاده از جدول 3-66 مقدار R برابر $0/1 (100 \div 10 = R)$ به دست می‌آید. با توجه به معادلهٔ 3-39، طول بستر توقف حدود 400 متر خواهد بود.

اگر در طول بستر توقف، بطوری که در شکل 3-68 نشان داده شده بیش از یک شیب بکار رود، کاهش سرعت بوجود آمده در هر یک از شیب‌ها در اثر عبور از بستر، با استفاده از معادلهٔ زیر محاسبه خواهد شد:

$V_f^2 = V_i^2 - 254L(R \pm G) \quad (40-3)$
--

در آن:
V_f = سرعت در انتهای شیب (کیلومتر در ساعت)
V_i = سرعت ورودی در ابتدای شیب (کیلومتر در ساعت)
L = طول شیب (متر)
R = مقاومت غلت، بر حسب درصد شیب معادل، تقسیم بر 100 (به جدول 3-66 مراجعه شود)
G = درصد شیب تقسیم بر 100

سرعت نهایی برای هر شیب را باید از سرعت ورودی کسر نمود تا سرعت ورودی شیب بعدی بدست آید سپس محاسبات را برای شیب بعدی تکرار کرد و این کار را آنقدر ادامه داد تا سرعت خودرو خارج از کنترل به صفر برسد.



شکل 3-68: خروجی اضطراری نمونه

شکل 3-68 نمونه یک نمای مسیر افقی و نیمرخ طولی یک خروجی اضطراری با ملحقات را نشان می‌دهد.

هنگامی که تنها محل عملی برای احداث خروجی اضطراری، طول و شیب کافی را برای توقف کامل خودروی خارج از کنترل تأمین نمی‌کند باید از تجهیزات مستهلک‌کننده مکمل استفاده کرد.

هنگامی که تأمین خروجی اضطراری، با طول کامل و توان کاهش سرعت کافی برای سرعت طرح مورد نظر باشد، چنانچه پی‌آمدهای حاصل از تجاوز و ادامه حرکت وسیله نقلیه خارج از کنترل به آن سوی نقطه انتهایی خروجی وخیم باشد باید از نوعی وسیله ایمنی در این نقطه استفاده کرد.

ایمن سازی انتهایی خروجی باید با دقتی طراحی شود که بتوان مطمئن بود که سود آن از ضررش بیشتر است. خطر ناشی از رد شدن یک خودرو سنگین از انتهایی یک خروجی اضطراری برای دیگران، بسیار مهمتر از مصدومیت راننده یا تلف شدن بار است. کاهش ناگهانی سرعت خودرو سنگین خارج از کنترل می‌تواند جا به جا شدن بار، بریدن مفصل اتصال یدک و یدک کش و یا فچی شدن تریلی‌ها (زیاد شدن زاویه یدک و



یدک کش به نحوی که یدک کش نتواند رو به جلو حرکت کند) را در پی داشته باشد، که تمام این موارد عامل بالقوه آسیب به راننده و محموله است.

خاکریزهای از جنس مصالح بستر با ارتفاعی بین 0/6 تا 1/5 متر و شیروانی 1V:1/5 بعنوان آخرین تمهید ایمنی برای جلوگیری از تجاوز خودرو به بیرون خروجی اضطراری مورد استفاده قرار گرفته است. حداقل یک خروجی اضطراری با نصب ردیفی از ضربه گیرها بمنظور جلوگیری از تجاوز خودرو خارج از کنترل به آن سوی انتهای خروجی، باید ساخته شود. بعلاوه برای جلوگیری از حرکت به عقب یا قیچی شدن خودرو مهار گسیخته بی ترمز و به اندازه کافی بی حرکت کردن آن، در خروجی های ثقلی با رویه متراکم، می توان بستری از شن یا ردیفی از ضربه گیرها در انتهای خروجی ایجاد کرد. در حالتی که از بشکه مصالح استفاده می شود بایستی مراقب بود تا بشکه ها از مصالح لایه توقف پر شوند و از مصالح ریزدانه عاری باشند تا اختلاط مصالح ریزدانه با مصالح بستر موجب کاهش مقاومت غلت آن نگردد.

محوطه های کنترل ترمز

از پهلویها یا بیرون رفتگی ها در قله سربالایی، می توان بعنوان محوطه های کنترل ترمز و یا محوطه های ایست اجباری، برای فراهم کردن فرصتی برای راننده به منظور بازرسی تجهیزات خودرو و اطمینان از داغ نبودن زیاده از حد ترمزها در شروع سرازیری، استفاده کرد. بعلاوه، اطلاعات مربوط به شیب و محل خروجی اضطراری را می توان بوسیله تابلوهای تصویری یا جزوه های راهنما ارائه کرد. محوطه کنترل ترمز می تواند یک خط رویه دار پشت شانه و جدا از آن و یا شانه تعریض شده ای باشد که یک خودرو سنگین بتواند بر روی آن توقف کند. البته بایستی به منظور جلوگیری از توقف خودروهای معمولی در این منطقه تابلوگذاری مناسب انجام شود.

نگهداری و تعمیر

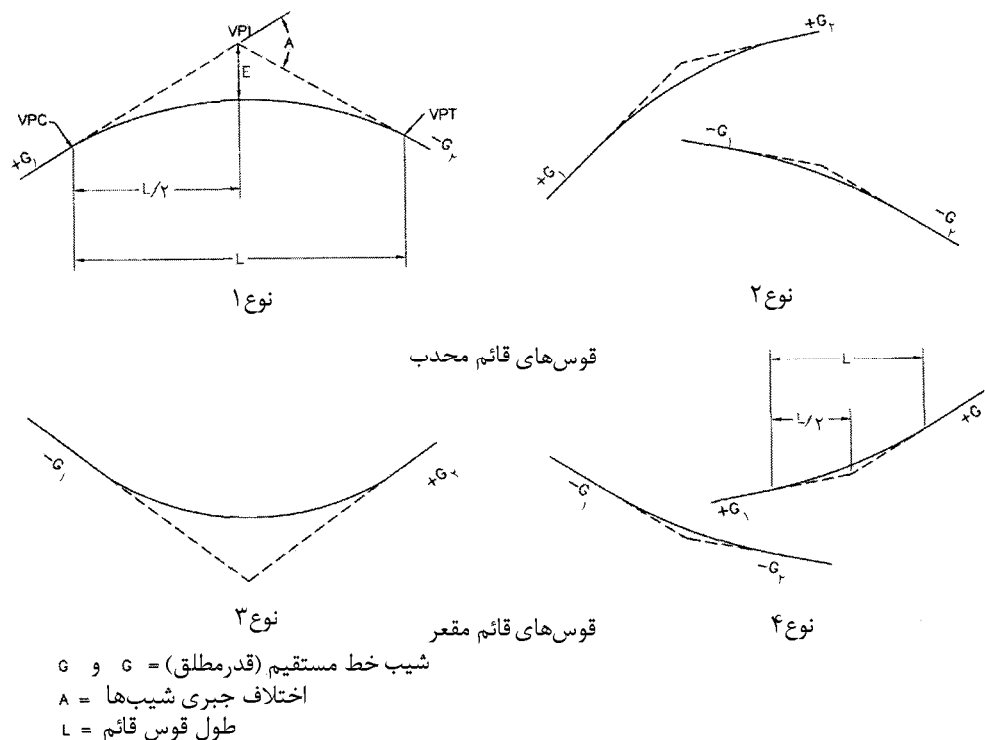
بعد از هر بار استفاده، بسترهای توقف شنی باید با استفاده از ادوات ماشینی تا حد امکان به حالت نخست درآید و سنگدانه ها به طریق مناسب، شخم زده شود. چون سنگدانه ها به مرور زمان روند تراکم پذیری دارند، مصالح بستر توقف باید از آلودگی ها پاک شود و به تناوب شخم زده شود تا ویژگی های کند کنندگی آن باز گردد و تخلیه آب را تسهیل نماید. استفاده از ماشین آلات به هنگام عملیات تعمیر و نگهداری، موجب کاهش زمان مورد نیاز حضور کارگران تعمیراتی در شرایط رها کردن خودرو خارج از کنترل، از بستر توقف می گردد. تعمیر و نگهداری متعلقات خروجی اضطراری نیز باید به نحو مقتضی، انجام شود.

قوس های قائم

نکات کلی

قوس های قائم، برای اعمال تغییرات تدریجی بین شیب ها، می تواند یکی از انواع محدب (برآمده، گنبدی) یا مقعر (فرورفته، کاسه ای) نشان داده شده در شکل 3-69 باشد. قوس های قائم باید به لحاظ کاربری، ساده باشند و طرحی ایمن و راحت، ظاهری مناسب، و زهکشی کافی را ارائه کنند. ضابطه اصلی ایمنی برای قوس قائم محدب، تأمین فاصله دید زیاد برای سرعت طرح است. با آنکه تحقیقات نشان داده است که قوس های

قائم با فاصله دید محدود، الزاماً مشکلات ایمنی را به همراه نداشته‌اند، توصیه می‌شود که تمامی قوس‌های قائم، دست کم با رعایت حداقل فاصله دید توقف مندرج در جدول 3-1 طراحی شوند و در صورت امکان مقداری بیش از آن تأمین گردد. به علاوه در نقاط تصمیم‌گیری (انتخاب) باید فاصله دید بیشتری فراهم شود.



شکل 3-69: انواع قوس‌های قائم

برای آسایش راننده، آهنگ تغییر شیب باید در محدوده قابل اغماض باشد. این امر در قوس‌های قائم مقعر، مهم‌تر است زیرا نیروهای گرانشی و جانب مرکز در جهت عکس یکدیگر عمل می‌کنند. شکل ظاهری نیز، باید در طرح قوس‌های قائم مد نظر باشد. شکل ظاهری قوس طولانی از قوس کوتاه مناسب‌تر است. قوس‌های قائم کوتاه در اثر پدیده جمع شدگی¹ نوعی شکستگی را در پروفیل طولی، مجسم می‌کنند. تأمین تخلیه آب معابر جدول‌دار در قوس‌های قائم مقعر (نوع 3 در شکل 3-69) مستلزم طراحی دقیق نیمرخ است تا شیب طولی لبه‌های خارجی معبر، کمتر از 0/5 درصد، یا در برخی موارد 0/3 درصد نشود. در برخی موارد، استفاده از شیب‌های ملایم‌تر نیز ممکن است، مقتضی باشد هرچند مطلوب نیست.

معمولاً برای سهولت، در طراحی پروفیل راه، از قوس سهمی که محور قائم معادل آن در محل تقاطع خطوط قائم (VPI) متمرکز است استفاده می‌شود. انحراف قائم قوس از خط شیب با توان دوم (مجذور) فاصله افقی از انتهای قوس (نقطه انتهایی تماس) تغییر می‌کند. انحراف قائم از خط شیب در هر نقطه از قوس به

صورت نسبتی از انحراف قائم در نقطه VPI که برابر با $\frac{AL}{800}$ است محاسبه می‌شود (علائم اختصاری A و L مطابق شکل 3-69 تعریف می‌شوند).

1- foreshortening

تغییر شیب در واحد طول قوس قائم، مقدار ثابت $\frac{A}{L}$ است، عکس این نسبت، یعنی $\frac{L}{A}$ طول افقی لازم

برای تغییر 1 درصدی شیب می‌باشد. مقدار $\frac{L}{A}$ که معیار انحنا است را با K نشان می‌دهند و از آن برای تعیین فاصله افقی از نقطه شروع قوس (VPC) تا بالاترین نقطه در قوس‌های نوع I و یا پایین‌ترین نقطه در قوس‌های نوع 3 استفاده می‌شود. برای این کار کافی است K در شیب ورود به قوس قائم ضرب شود. در این دو نقطه، شیب برابر صفر است. مقدار K برای تعیین طول حداقل قوس‌های قائم در سرعت‌های طرح مختلف نیز به کار می‌رود. سایر جزئیات قوس‌های قائم سهمی در کتاب‌های مهندسی راه آورده شده است. گاهی اوقات استفاده از قوس‌های قائم نامتقارن نیز به علت محدودیت فاصله آزاد یا ضوابط دیگر، ممکن است مقتضی باشد. ولی بدلیل اینکه موارد استفاده از این قوس‌ها نادر است، معادلات مربوط در این جا ذکر نمی‌گردد. برای اطلاعات کامل می‌توان به بحث قوس قائم سهمی نامتقارن، در متون طرح راه مراجعه کرد.

قوس‌های قائم محدب

بطور کلی تعیین حداقل طول قوس‌های قائم محدب بر اساس معیار فاصله دید، برای تامین ایمنی، راحتی و زیبایی نتیجه رضایت بخش دارد. استثنا از این امر، ممکن است محل‌های تصمیم‌گیری مانند فاصله دید در دماغه رابط‌های خروجی باشد که باید فاصله‌های دید بیشتری برای آنها در نظر گرفت. برای کسب اطلاعات بیشتر به بخش مربوط به فاصله دید تصمیم‌گیری (انتخاب) در همین فصل، مراجعه شود. شکل 3-70 پارامترهای مورد استفاده در تعیین طول قوس قائم محدب سهمی برای تأمین هر مقدار فاصله دید را نشان می‌دهد. فرمول‌های اصولی برای تعیین طول قوس قائم محدب برحسب اختلاف جبری شیب (قدر مطلق تفاضل مقدار جبری شیب‌ها) و فاصله دید عبارتند از:

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \quad S < L \quad \text{اگر (41-3)}$$

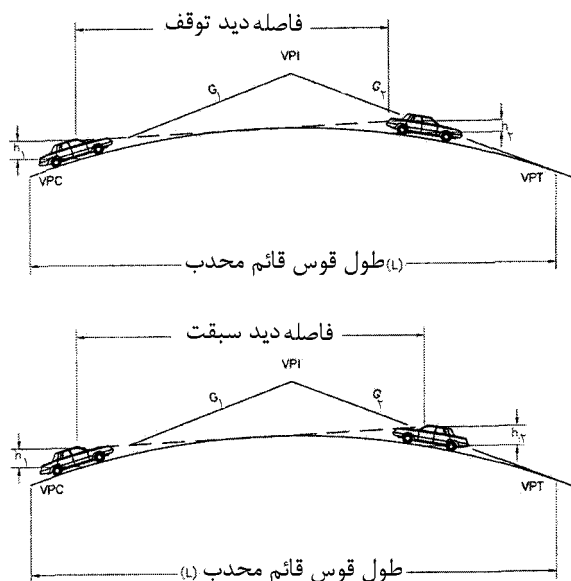
$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A} \quad S > L \quad \text{و چنانچه (42-3)}$$

که در آن:

L: طول قوس قائم به متر h_1 : ارتفاع چشم از سطح معبر به متر

S: فاصله دید به متر h_2 : ارتفاع شیئی از سطح معبر به متر

A: قدر مطلق اختلاف جبری شیب‌ها به درصد



شکل 3-70: پارامترهای مورد استفاده در تعیین طول قوس قائم محدب برای تأمین فاصله دید

با فرض میلی‌متر $h_1 = 1080$ و میلی‌متر $h_2 = 600$ به طوریکه در فاصله دید توقف فرض شد، خواهیم داشت:

$$L = \frac{AS^2}{658} \quad S < L \quad \text{در حالت (43-3)}$$

$$L = 2S - \frac{658}{A} \quad S > L \quad \text{و در حالت (44-3)}$$

ضوابط طرح - فاصله دید توقف: حداقل طول قوس‌های قائم به ازای مقادیر مختلف A برای تأمین حداقل فاصله دید توقف در سرعت‌های طرح مختلف در شکل 3-71 نشان داده شده است. خطوط توپر مقادیر حداقل طول قوس‌های قائم را برای مقادیر صحیح (غیرکسری) K ، که از معادلات 3-43 و 3-44 به دست آمده نشان می‌دهند.

منحنی خط چین کوتاه در سمت چپ پایین شکل، بیان‌کننده حالت $S = L$ است. توجه شود که در سمت راست منحنی $S = L$ عدد K یا مقدار طول قوس قائم برای یک درصد تغییر A ، ضابطه طرح ساده و مناسبی است. برای هر سرعت طرح، K یک عدد صحیح است که میزان انحنای قائم را نشان می‌دهد ضابطه طراحی برحسب k کلیه ترکیب‌های A و L را برای هر یک از سرعت‌های طرح پوشش می‌دهد بنابراین لازم نیست مقدار A و L به طور جداگانه در فهرست مقادیر طرح، مشخص شوند. انتخاب منحنی‌های طرح بدلیل اینکه حداقل طول قوس بر حسب متر مساوی K برابر اختلاف جبری شیب‌ها بر حسب درصد می‌باشد ($L = KA$) آسان می‌شود. برعکس کنترل نقشه‌ها بوسیله مقایسه تمام قوس‌ها با مقدار طرح K به راحتی امکان‌پذیر است.

جدول 3-72 مقادیر محاسبه شده K برای طول قوس‌های قائم متناظر با فاصله‌های دید توقف ذکر شده در جدول 3-1 برای هر سرعت طرح را نشان می‌دهد. ستون سمت راست مقادیر گرد شده K را نشان می‌دهد

که در طراحی مستقیماً از این مقادیر استفاده می‌شود. این مقادیر گرد شده به صورت خطوط پر در شکل 3-71 ترسیم شده است. مقادیر گرد شده K بیش از مقادیر محاسبه شده است اما اختلاف آن، فاحش نیست. وقتی S بزرگتر از L باشد (بخش پایین سمت چپ شکل 3-71)، نمودار مقادیر محاسبه شده به شکل منحنی (که برای سرعت 70 کیلومتر در ساعت به شکل خط چین نشان داده شده) در می‌آید که به سمت چپ خمیدگی دارد و برای مقادیر کوچک A طول قوس قائم صفر است زیرا خط دید از روی قله (بالاترین نقطه) می‌گذرد. این رابطه وضعیت مطلوبی از عرف طراحی را به دست نمی‌دهد. بیشتر ایالت‌ها، برای طول قوس قائم، مقدار حداقلی را به کار می‌برند که یا به صورت مقدار واحدی برای سرعت طرح‌های مختلف و یا به صورت تابعی از A است. مقادیر مورد استفاده در حال حاضر، بین 30 تا 100 متر است. برای تشخیص وجه تمایز بین سرعت‌های طرح و تعیین حدود مورد عمل فعلی، حداقل طول قوس قائم از فرمول $L_{min} = 0/6V$ محاسبه می‌شود که در آن L برحسب متر و V سرعت طرح برحسب کیلومتر در ساعت است. این تعدیل طول قوس قائم برای مقادیر پایین A ، در بخش پایین سمت چپ شکل 3-71 به صورت خطوط قائم نشان داده شده است.

مقادیر K که به شرح بالا برای حالت S کوچکتر از L نتیجه شد، می‌تواند بدون خطای قابل ملاحظه‌ای، برای حالت S بزرگتر از L نیز به کار رود. همانگونه که در شکل 3-71 نشان داده شده، امتداد یافتن خطوط مورب تا تقاطع با خطوط قائم مربوط به حداقل طول قوس قائم، فقط برای مقادیر کوچک A منجر به تفاوت قابل ملاحظه نسبت به مقدار نظری (منحنی خط چین برای سرعت 70 کیلومتر ساعت) می‌شود و انتخاب قوس قائم طولانی‌تر، هزینه اضافی مهمی در بر ندارد یا مستلزم هزینه اضافی نیست.

برای رانندگی شب هنگام در راه‌هایی که فاقد روشنایی هستند، طول قابل رؤیت جاده، مقدار طولی است که مستقیماً بوسیله نور چراغ‌های جلو وسیله نقلیه روشن می‌شود. در پاره‌ای از شرایط که در زیر به آنها اشاره می‌شود، مقادیر حداقل فاصله دید توقف مورد استفاده برای طرح از طول قابل دید معبر، بیشتر است. نخست آن که چراغ‌های جلو در مورد فاصله‌ای که می‌توانند نور را با شدت مورد نیاز برای دید بتابانند، مواجه با محدودیت‌هایی هستند. وقتی چراغ‌ها به صورت نور پایین عمل کنند، شدت نور کاهش یافته منبع روشنایی و زاویه رو به پایین انتشار نور، طول محدوده قابل رؤیت سطح معبر را به مقدار قابل توجهی محدود می‌کند. بنابراین در صورت استفاده از نور پایین، به ویژه در راه‌های با سرعت طرح بالا، صرف نظر از اینکه نیمرخ طولی راه مستقیم یا به صورت قوس قائم باشد، طول قابل رؤیت سطح راه از فاصله دید توقف کمتر می‌شود. دوم آن که، در قوس‌های قائم محدب، محوطه جلو نقطه تماس نور چراغ‌های جلو با سطح معبر در سایه قرار می‌گیرد و فقط از روشنایی غیر مستقیم بهره‌مند می‌شود.

چون ارتفاع چراغ خودرو (معمولاً در حدود 600 میلی متر) کمتر از ارتفاع چشم راننده (1080 میلی متر) است، کنترل فاصله دید شیئی روشن شده، بیش از آن که با خط دید مستقیم باشد به کمک ارتفاع چراغ‌های جلو، انجام می‌گیرد. تمام اشیاء واقع در منطقه سایه باید به اندازه کافی بلند باشند تا نور چراغ‌ها به صورت مستقیم با آنها برخورد کند. بر اساس معادله (3-41) ارتفاع شعاع پایینی نور چراغ جلو از سطح معبر در فاصله‌ای از جلو خودرو که برابر فاصله دید توقف است، حدوداً معادل 400 میلی متر است. اگرچه سیستم چراغ‌های جلو خودرو، بطوری که گفته شد، طول دید راه را محدود می‌کند، عوامل مختلف دیگری وجود دارد که در اثر آن سایر وسایل نقلیه‌ای که ارتفاع چراغ عقب آنها از 450 میلی متر تا 600 میلی متر تغییر می‌کند و سایر اجسامی که اندازه آنها نسبتاً بزرگ است، نور مستقیم چراغ‌های جلو را در فاصله دید توقف طرح، دریافت می‌-

کنند. علاوه بر این، رانندگان از این نکته آگاهند که دید در شب، صرف نظر از جنبه‌های طراحی خیابان و راه، کمتر از روز است و در نتیجه ممکن است دقیق‌تر و هشیارتر باشند.

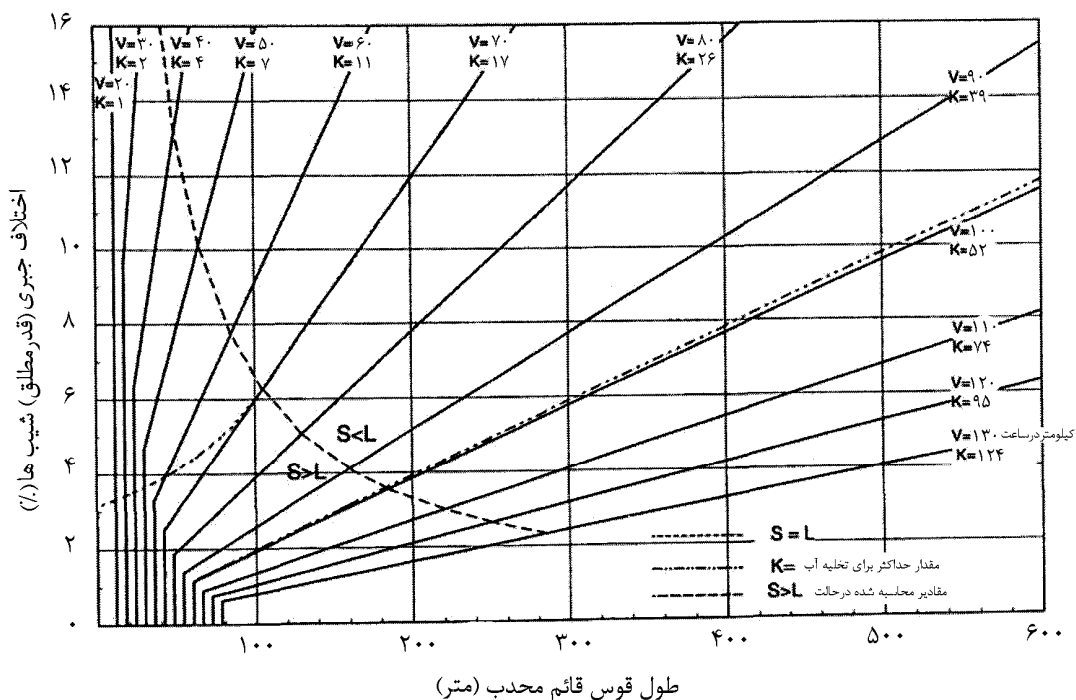
نقطه قله قوس قائم نوع 1 (رجوع شود به شکل 3-69) به صورت افقی (بدون شیب طولی) است، لیکن چنانچه قوس قائم به اندازه‌ای تند باشد که در فاصله‌ای برابر 15 متر از قله قوس حداقل شیب برابر 0/30 درصد حاصل گردد مشکلی از نظر تخلیه آب‌ها در راه‌های جدول دار ایجاد نمی‌شود. این حالت، نظیر K برابر 51 متر برای هر یک درصد تغییر شیب) است که در شکل 3-71 به عنوان حداکثر تخلیه آب ترسیم شده است. تمام وضعیت‌هایی که بالا یا در سمت چپ این خط قرار می‌گیرند از نظر تخلیه آب مشکلی ندارند. وضعیت‌هایی که در پایین و یا سمت راست این خط قرار می‌گیرد، مربوط به قوس‌های قائم بازر است در این حالت‌ها توجه ویژه‌ای برای اطمینان از تخلیه مناسب آب روبه در نقاط نزدیک قله لازم است. مقصود این نیست که مقدار 51 برای K به عنوان حداکثری برای طرح منظور شود بلکه منظور این است که برای مقادیر بیش از 51، مجاری تخلیه آب‌ها باید به دقت طراحی شود.

ضوابط طرح - فاصله دید سبقت: مقادیر طرح قوس قائم محدب برای فاصله دید سبقت بدلیل تفاوت فاصله دید و ارتفاع شیئی با مقادیر مربوط به فاصله دید توقف، متفاوت است. برای محاسبه از فرمول‌های کلی (3-41) و (3-42) استفاده می‌شود ولی با منظور نمودن ارتفاع شیئی 1080 میلی‌متر، معادلات خاص زیر با همان تعاریف علائم اختصاری، نتیجه می‌گردد:

$$L = \frac{AS^2}{864} \quad S < L \quad \text{برای (3-45)}$$

$$L = 2S - \frac{864}{A} \quad S > L \quad \text{برای (3-46)}$$

برای حداقل فاصله دید سبقت مندرج در جدول 3-7، قوس‌های قائم محدب با طول بیشتر از فاصله دید توقف به دست می‌آید. میزان اختلاف بین این دو طول، از روی مقادیر K (طول قوس قائم برای یک درصد تغییر A) در جدول 3-73 مشهود است. مقادیر K مربوط به فاصله دید سبقت بیش از 7 برابر مقادیر مربوط به فاصله دید توقف است.



شکل 3-71: ضوابط طرح برای قوس‌های قائم محدب - قسمت‌های عادی راه

سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)	فاصله دید توقف (متر)	میزان انحنای قائم K^*	
		محاسبه شده	طرح
20	20	0/6	1
30	35	1/9	2
40	50	3/8	4
50	65	6/4	7
60	85	11/0	11
70	105	16/8	17
80	130	25/7	26
90	160	38/9	39
100	185	52/0	52
110	220	73/6	74
120	250	95/0	95
130	285	123/4	124

میزان انحنای قائم K عبارت از طول قوس به ازای هر یک درصد اختلاف جبری شیب‌های متقاطع (A) می‌باشد $k = \frac{L}{A}$

جدول 3-72: ضوابط طرح قوس‌های قائم محدب برای فاصله دید توقف

سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)	فاصله دید سبقت (متر)	میزان انحنای قائم k^* برای طرح
30	200	46
40	270	84
50	345	138

60	410	195
70	485	272
80	540	338
90	615	438
100	670	520
110	730	617
120	775	695
130	815	769
<p>* میزان انحنای قائم (K) عبارت از طول قوس به ازای هر یک درصد اختلاف جبری شیب‌های متقاطع (A) است.</p> $k = \frac{L}{A}$		

جدول 3-73- ضوابط طرح قوس‌های قائم محدب برای فاصله دید سبقت

بطور کلی طراحی قوس‌های قائم محدب بر اساس فاصله دید سبقت بدلیل هزینه بالای ناشی از برش‌های مورد نیاز و مشکل حجم بالای عملیات خاکی و تطبیق قوس‌های طولانی با خط زمین، به خصوص برای راه‌های با سرعت طرح بالا عملی نیست. تأمین فاصله دید سبقت در قوس‌های قائم محدب، ممکن است در راه‌های دارای سرعت‌های طرح پائین و شیب‌های ملایم یا سرعت‌های طرح بالا و مقادیر بسیار کوچک اختلاف جبری شیب‌ها (A) عملی باشد. معمولاً فاصله دید سبقت تنها در محل‌هایی تأمین می‌شود که مجموعه مسیر افقی و نیمرخ طولی نیازی به استفاده از قوس‌های قائم محدب نداشته باشد.

قوس‌های قائم مقعر

حداقل چهار معیار مختلف در طرح قوس‌های قائم مقعر تا حدی مورد شناسایی قرار گرفته است. این چهار معیار عبارتند از:

- 1- فاصله دید نور چراغ جلو
- 2- آسایش مسافر
- 3- کنترل تخلیه آب‌ها
- 4- ظاهر کلی

برخی از نهادها مستقیماً فاصله دید چراغ جلو را به کار برده‌اند و اغلب همین مقدار به عنوان اساس تعیین طول قوس‌های قائم مقعر در اینجا توصیه شده است. وقتی وسیله نقلیه‌ای از یک قوس قائم مقعر در هنگام شب عبور می‌کند بخشی از راه پیش‌رو که بوسیله چراغ‌ها روشن می‌شود بستگی به موقعیت چراغ‌های جلو و جهت شعاع نورانی دارد. معمولاً فرض می‌شود که ارتفاع چراغ برابر 600 میلی متر است و نور چراغ به اندازه 1 درجه از محور طولی وسیله نقلیه به سمت بالا انحراف دارد. انتشار رو به بالای شعاع نور با انحراف رو به بالای یک درجه، طول قابل رؤیت معبر را مقداری افزایش می‌دهد ولی عموماً در طراحی مد نظر قرار نمی‌گیرد. معادلات زیر ارتباط بین S ، L ، A را نشان می‌دهند. S فاصله بین وسیله نقلیه و نقطه‌ای است که شعاع چراغ با انحراف 1 درجه به سمت بالا، سطح جاده را قطع می‌کند:

$$L = \frac{AS^2}{200[0.6 + S(\tan 1^\circ)]} \quad S < L \quad \text{وقتی (47-3)}$$

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3/5S} \quad \text{یا (48-3)}$$

$$L = 2S \frac{200[0.6 + S(\tan 1^\circ)]}{A} \quad S > L \quad \text{چنانچه (49-3)}$$

$$L = 2S - \frac{120 + 3/5S}{A} \quad \text{یا (50-3)}$$

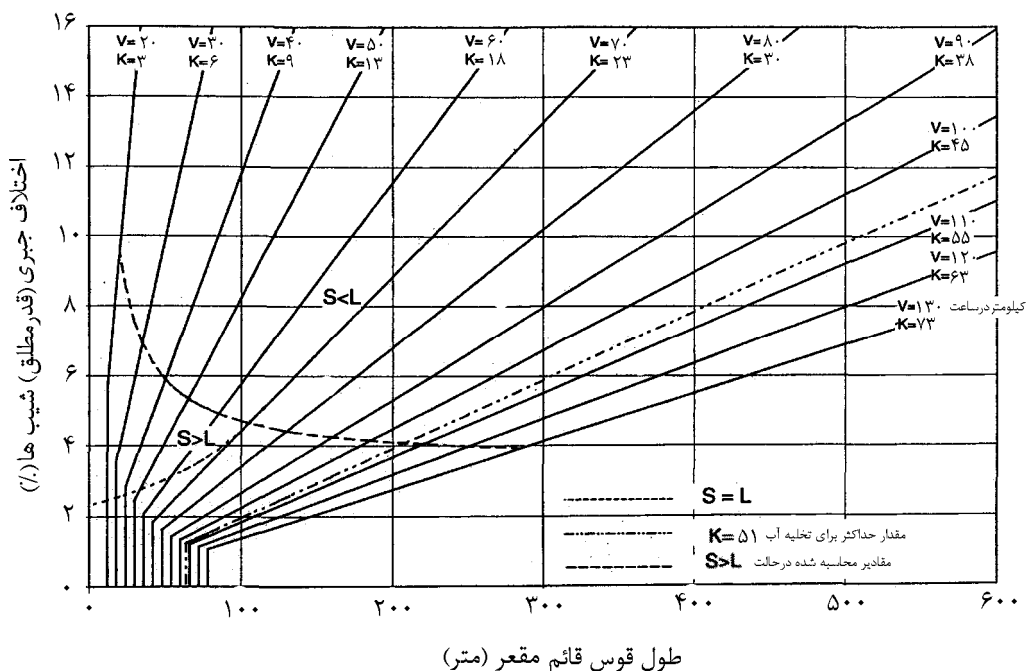
که در آن:

L = طول قوس قائم مقعر (متر)،

S = فاصله شعاع نورانی،

A = اختلاف جبری شیب ها (درصد)

بمنظور حفظ ایمنی کامل راه، قوس های قائم مقعر باید به اندازه کافی طولانی باشند تا فاصله قابل دید توسط نور چراغ با فاصله دید توقف یکسان شود. بنابراین مقتضی است که در معادلات فوق الذکر به جای S ، فاصله دید توقف سرعت های طرح مختلف به کار رود. مقادیر طول قوس های قائم مقعر که برای فاصله دید توقف سرعت طرح های مختلف بدست می آیند در شکل 3-74 با خطوط پر و با استفاده از مقادیر گرد شده K (همانند روش مورد استفاده برای قوس های قائم محدب) نشان داده شده اند.



شکل 3-74: ضوابط طرح برای قوس های قائم مقعر - قسمت های عادی راه

تأثیر تغییر در جهت قائم بر راحتی مسافر در قوس های قائم مقعر بیشتر از قوس های قائم محدب است زیرا نیروهای گرانشی و جانب مرکز در خلاف جهت همدیگر هستند. مقدار راحتی در اثر تغییر در جهت قائم

به آسانی قابل اندازه‌گیری نیست زیرا به میزان قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر سیستم فنربندی وسیله نقلیه، وزن وسیله نقلیه، انعطاف‌پذیری لاستیک‌ها و عوامل دیگر قرار دارد. در اثر تلاش‌های محدود در زمینه اینگونه اندازه‌گیری‌ها این نتیجه کلی حاصل شده است که سواری در محل قوس‌های قائم مقعر، هنگامی راحت است که شتاب جانب مرکز از $0/3$ متر بر مجذور ثانیه تجاوز نکند. رابطه کلی برای این معیار عبارت است از :

$$L = \frac{AV^2}{395} \quad (51-3)$$

که در آن:

L = طول قوس قائم مقعر (متر)،

A = (قدر مطلق) اختلاف جبری شیب‌ها (درصد)،

V = سرعت طرح (کیلومتر در ساعت).

طول قوس قائم لازم برای تأمین راحتی، برای سرعت‌های طرح مختلف در حدود 50 درصد طول لازم برای تأمین معیار فاصله دید چراغ جلو در محدوده عادی شرایط طرح است.

مسئله تخلیه آب‌ها در قوس‌های قائم مقعر نوع 3 (شکل 3-69)، در قسمت‌های جدول‌دار، در طرح تأثیر می‌گذارد. معیار تقریبی برای قوس‌های قائم مقعر، همان است که در قوس‌های قائم محدب بیان شد (یعنی حداقل شیب $0/3$ درصد باید در فاصله 15 متری قله تأمین شود). این معیار که متناظر با $k = 51$ است، در شکل 3-74 برای قوس‌های قائم مقعر، به عنوان حداکثر تخلیه آب تعیین شده است. این معیار با سایر معیارهای مربوط به طول قوس قائم مقعر، متفاوت است زیرا، حداکثر طول را تعیین می‌کند، در صورتی که سایر معیارها، حداقل طول را ارائه می‌کند. حداکثر طول براساس معیار تخلیه آب از حداقل طول برای سایر معیارها تا سرعت طرح 100 کیلومتر در ساعت بیشتر است.

برای در نظر گرفتن زیبایی ظاهری قوس‌های قائم مقعر قبلاً، به عنوان یک قاعده تقریبی، حداقل طول قوس برابر $30A$ به کار رفته است که نظیر $K=30$ در شکل 3-74 است. این تقریب یک ضابطه کلی برای مقادیر کوچک یا متوسط A است. در مقایسه با عامل فاصله دید چراغ جلو، این مقدار متناظر با سرعت طرح 80 کیلومتر در ساعت است. در راه‌های درجه یک، برای تأمین زیبایی ظاهری، استفاده از قوس‌های قائم مقعر طول‌تر، مناسب است.

با توجه به مباحث مطرح شده، مشاهده می‌شود که ضوابط طرح برای قوس‌های قائم مقعر با قوس‌های قائم محدب تفاوت می‌کنند و برای آنها ضوابط جداگانه‌ای لازم است. به نظر می‌رسد که فاصله دید چراغ جلو منطقی‌ترین معیار برای استفاده کلی است و مقادیر تعیین شده براساس فاصله‌های دید توقف در حدود قابل قبول فعلی قرار دارد. استفاده از این معیار، برای تثبیت مقادیر طرح برای محدوده‌ای از طول‌های قوس قائم مقعر، توصیه می‌شود. همانند قوس‌های قائم محدب، در اینجا نیز مناسب است که ضابطه طرح برای همه مقادیر A برحسب مقدار K بیان شود. این امر مستلزم انحراف اندکی از مقادیر محاسبه شده K برای مقادیر کوچک A است، ولی اختلاف‌ها مهم نیستند. در جدول 3-75 مقادیر محاسبه شده و گرد شده K (که به عنوان ضابطه طرح به کار می‌رود) نشان داده شده‌اند. در شکل 3-74 طول قوس‌های قائم مقعر بر اساس مقادیر K در سرعت‌های طرح با خطوط توپر نشان داده شده است. باید تأکید شود که این طول‌ها مقادیر حداقل بر اساس سرعت طرح هستند و در صورت امکان قوس‌های با طول بیشتر مطلوب هستند ولی وقتی K از 51 تجاوز کند، باید مسأله تخلیه آب‌ها مورد توجه خاص قرار گیرد.

در شیب‌های ملایم، برای قوس‌های قائم مقعر نیز باید حداقل طول رعایت شود. به نظر می‌رسد که مقادیر تعیین شده برای وضعیت محدب، در حالت کلی برای نوع مقعر نیز مطلوب باشد. طول‌هایی از قوس قائم مقعر که به صورت خطوط قائم در شکل 3-74 نشان داده شده معادل 0/6 سرعت طرح است. (سرعت طرح برحسب کیلومتر در ساعت و L_{min} برحسب متر).

قوس‌های قائم با طول کمتر از مقادیر محاسبه شده مندرج در جدول 3-75 ممکن است به دلایل اقتصادی در مواردی که یک مانع غیر قابل جابجایی، نیمرخ طولی را محدود کند، توجیه پذیر باشد. در بعضی موارد، رابط‌ها نیز ممکن است با طول قوس‌های قائم مقعر کوتاه‌تر طراحی شوند، در چنین شرایطی روشن کردن مسیر، مطلوب است. در طراحی خیابان‌ها چنانچه مقدار A حدود 1 درصد یا کوچکتر باشد، برخی از مهندسين طرح قوس قائم را بدون محاسبه طول می‌پذیرند. در عین حال، تعدیل نیمرخ هنگام عملیات اجرایی معمولاً به ایجاد یک قوس قائم هرچند کوتاه می‌انجامد.

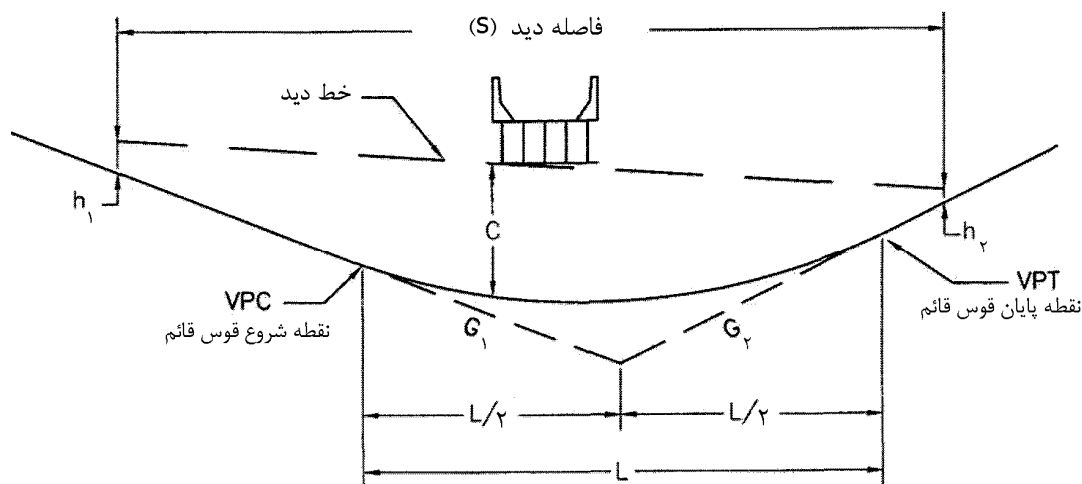
سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)	فاصله دید توقف (متر)	میزان انحنای قائم K^*	
		محاسبه شده	طرح
20	20	2/1	3
30	35	5/1	6
40	50	8/5	9
50	65	12/2	13
60	85	17/3	18
70	105	22/6	23
80	130	29/4	30
90	160	37/6	38
100	185	44/6	45
110	220	54/4	55
120	250	62/8	63
130	285	72/7	73

K^* میزان انحنای قائم (K) عبارت از طول قوس به ازای هر یک درصد اختلاف جبری شیب‌های متقاطع (A) می‌باشد $k=L/A$

جدول 3-75: ضوابط طرح برای قوس‌های قائم مقعر

فاصله دید در زیر گذرها

فاصله دید راه در تقاطع‌های غیر همسطح باید حداقل برابر فاصله دید توقف و ترجیحاً بزرگتر از آن باشد. در تقاطع‌های غیر همسطح، طرح نیمرخ طولی (خط پروژه) همانند سایر نقاط راه است باستثنای برخی قوس‌های قائم مقعر که در زیر سازه‌ای قرار می‌گیرند (شکل 3-76). در موارد معدودی ممکن است که سرستون سازه، جلوی خط دید را بگیرد و فاصله دید را به کمتر از مقداری که در صورت نبودن سازه حاصل می‌شد کاهش دهد. معمولاً در تقاطع‌های غیرهمسطح حداقل طول قوس قائم مقعر به ترتیبی که قبلاً گفته شده تأمین می‌شود و حتی در صورت تجاوز از شیب‌های توصیه شده نیازی به کاهش فاصله دید به کمتر از مقادیر حداقل پیشنهادی برای فاصله دید توقف، نخواهد بود.



شکل 3-76: فاصله دید در زیر گذرها

در بعضی موارد، طراح ممکن است بخواهد فاصله دید موجود در محل زیرگذر را کنترل کند، مانند زیرگذرهای بدون رابط که برای آن تأمین فاصله دید سبقت، مطلوب است. این گونه کنترل‌ها به روش ترسیمی در روی نیمرخ امکان‌پذیر است ولی می‌توان آن را از طریق محاسباتی نیز به انجام رساند. معادلات کلی برای طول قوس قائم مقعر در زیرگذرها، عبارتند از:

حالت 1- فاصله دید بیشتر از طول قوس قائم ($S > L$)

$$L = 2S - \frac{800[C - (\frac{h_1 + h_2}{2})]}{A} \quad (52-3)$$

حالت 2- فاصله دید کمتر از طول قوس قائم ($S < L$)

$$L = \frac{AS^2}{800[c - (\frac{h_1 + h_2}{2})]} \quad (53-3)$$

که در آن:

L : طول قوس قائم (متر)،

S : فاصله دید (متر)،

A : (قدر مطلق) اختلاف جبری شیب‌ها (درصد)،

C : فاصله آزاد قائم (متر)،

h_1 : ارتفاع چشم (متر)،

h_2 : ارتفاع شیئی (متر)،

با منظور کردن متر $h_1 = 2/4$ ، برای ارتفاع چشم راننده وسیله نقلیه سنگین و متر $h_2 = 0/6$ برای ارتفاع شیئی (چراغ عقب وسیله نقلیه)، خواهیم داشت:

حالت 1- فاصله دید بزرگتر از طول قوس قائم ($S > L$)

$$L = 2S - \left[\frac{800(C - 1.5)}{A} \right] \quad S > L \quad (54-3)$$

حالت 2- فاصله دید کوچکتر از طول قوس قائم ($S < L$)

$$L = \frac{AS^2}{800(C-1.5)} \quad S < L \quad (55-3)$$

ضوابط کلی برای نیمرخ طولی

علاوه بر ضوابط ویژه مسیر قائم به شرح فوق‌الذکر ضوابط کلی دیگری نیز باید، برای طرح مدنظر قرار گیرند.

- خط پروژه با تغییرات تدریجی شیب، به صورتی که با نوع راه‌ها، خیابان‌ها، و وضعیت زمین سازگاری داشته باشد به خطوط با شکستگی‌های متعدد و شیب‌های با طول کوتاه ترجیح دارد. معیار ویژه طرح، حداکثر شیب و طول بحرانی شیب است. ولی شیوه استفاده و هماهنگ‌سازی آن با زمین روی یک خط پیوسته، تعیین‌نده تناسب و زیبایی محصول نهایی است.
- از نیمرخ‌های « موجی » یا نیمرخ‌هایی که گودی نهفته دارد باید پرهیز کرد. این نیمرخ‌ها اغلب در مسیرهای نسبتاً مستقیم واقع در مناطق تپه ماهوری مشاهده می‌شود. نمونه‌هایی از این گونه نیمرخ-های نامطلوب در راه‌ها و خیابان‌های قدیمی مشهود است که هم از نظر زیبایی ناخوشایند هستند و به لحاظ رانندگی مشکل آفرین هستند. گودی‌های ناپیدا می‌تواند برای رانندگان ایجاد مشکل کند زیرا در صورتی که راه یا خیابان واقع در آن سوی گودی، خالی از وسیله نقلیه مقابل باشد، راننده سبقت‌گیرنده ممکن است گمراه شود. حتی در گودی‌های کم عمق، این نوع نیمرخ، موجب نگرانی است زیرا راننده نمی‌تواند اطمینان پیدا کند که آیا بعد از سربالایی، خودرویی در جهت مقابل وجود دارد یا نه. با استفاده از قوس‌های افقی یا شیب‌های تدریجی‌تر، باید از این گونه نیمرخ‌ها پرهیز کرد.
- خط پروژه موجی شکل که شامل شیب‌های محرک سرعت (شتاب دهنده)¹ در طول‌های قابل ملاحظه باشد، باید به لحاظ تأثیر آن بر جریان ترافیک مورد ارزیابی قرار گیرد. اینگونه نیمرخ‌ها به وسایل نقلیه سنگین اجازه می‌دهد که با سرعتی بیش از حالت نبودن سرازیری قبل از سربالایی، حرکت کنند ولی ممکن است موجبات تشویق به سرعت‌های زیاده از حد خودروهای سنگین، همراه با تصادف‌های ناشی از آن را نیز، فراهم آورد.
- بطور کلی از خطوط پشت تخت (دو قوس قائم هم جهت که بوسیله یک قسمت مستقیم کوتاه از همدیگر جدا شده‌اند)، بویژه در گودی‌ها که دید کامل هر دو قوس نامطلوب است، باید اجتناب شود. این اثر بویژه در راه‌های مجزا با میانه باز قابل توجه است.
- در شیب‌های طولانی بهتر است به جای شیب یکنواخت مداوم در طول مسیر (که فقط اندکی کم‌تر از حداکثر پیشنهادی است) از شیب‌های تند در پایین و شیب‌های ملایم در قله سربالایی استفاده شود یا در فاصله‌هایی از شیب یکنواخت، قطعات کوتاهی با شیب‌های ملایم‌تر، منظور گردد. این کار مخصوصاً برای راه‌ها و خیابان‌های با سرعت طرح پایین مفید است.
- در تقاطع‌های همسطح بهتر است در بخش‌هایی از راه که دارای شیب‌های ملایم تا تند هستند، شیب در محل تقاطع، کاهش داده شود. این کار برای وسایل نقلیه‌ای که قصد گردش دارند مفید است و احتمال تصادف را کاهش می‌دهد.

¹ Momentum Grade

- باید از ایجاد قوس‌های قائم‌مقر در خاکبرداری بجز در صورتیکه امکان تخلیه آب‌ها به خوبی فراهم باشد، اجتناب کرد.

ترکیب مسیر افقی و قائم

نکات کلی

با توجه به اینکه مسیر افقی و قائم اجزاء ثابت طرح هستند، باید مطالعات کاملی در مورد آنها انجام شود. اصلاح عیوب مسیر پس از ساخته شدن راه بسیار مشکل بوده و هزینه بردار است. در آزاد راه‌ها مسایلی مانند سازه‌های چند طبقه و حریم گران قیمت وجود دارد. در اغلب خیابان‌های شریانی، عملیات عمرانی سنگین در امتداد مرکز املاک صورت می‌گیرد و تغییر مسیر در آینده، غیر ممکن است، بنابراین هرگونه مصالحه در طراحی مسیر باید به دقت سنجیده شود. زیرا زیان وارد به اجتماع، در اثر تأخیرها و تصادفات ممکن است بیش از صرفه‌جویی در آغاز کار باشد.

مسیرهای افقی و قائم نباید به صورت مستقل طراحی شوند. این دو مکمل یکدیگرند و طراحی ضعیف مجموعه آنها ممکن است باعث تخریب نقاط قوت و بزرگ‌نمایی عیوب هر یک بشود. مسیر افقی و نیمرخ طولی جزء مهم‌ترین عناصر طرح هستند. طراحی خوب هر یک از آن دو و مجموعه آنها باعث افزایش ایمنی و کارایی، تشویق به سرعت یکنواخت و افزایش زیبایی راه می‌شود که اغلب هزینه اضافی در بر ندارد [23، 47، 48، 49، 50، 51، 52، 53].

ضوابط عمومی طرح

بدون توجه به موقعیت راه نمی‌توان در مورد ترکیب مسیر افقی و نیمرخ طولی، بحث کرد. این دو موضوع وابسته به هم بوده و هر چه در مورد یکی گفته شود در مورد دیگری نیز قابل اعمال است. در اینجا فرض بر این است که موقعیت جاده تثبیت شده و کار باقیمانده عبارت از ایجاد هماهنگی بین محور افقی و قائم است به طوری که راه یا خیابان ساخته شده، یک معبر با صرفه، زیبا و ایمن برای سفر باشد. محدودیت‌ها یا آثار فیزیکی که به تنهایی یا با هم مسیر را تعیین می‌کنند، عبارت از: مشخصه معبر بر اساس ترافیک، وضع پستی و بلندی، شرایط زیر سطحی، وضع موجود کشاورزی، آبادانی‌ها، شرایط خاک بستر، توسعه فرهنگی موجود، توسعه احتمالی آینده و موقعیت نقاط انتهایی راه است. سرعت طرح در تعیین موقعیت کلی راه در نظر گرفته می‌شود. ولی با پیشرفت طراحی و وارد شدن به جزئیات مسیر افقی و نیمرخ طولی، اهمیت سرعت طرح بیشتر می‌شود. سرعت طرح انتخاب شده توازن تمام عناصر طرح را حفظ می‌کند. سرعت طرح، مقادیر حدی بسیاری از عناصر از قبیل انحنا و فاصله دید را تعیین می‌کند و بر بسیاری از عناصر دیگر، مانند عرض، فاصله آزاد و حداکثر شیب تأثیر دارد که درباره همه اینها قبلاً در این فصل، بحث شده است.

ترکیب مناسب مسیر افقی و نیمرخ طولی، با بررسی‌های فنی و رعایت رهنمودهای کلی زیر، حاصل می‌شود:

- انحنا و شیب‌ها باید با یکدیگر، به خوبی، متوازن باشند. مسیر مستقیم یا قوس باز همراه با شیب‌های تند یا طولانی و انحناء فوق‌العاده همراه با شیب‌های ملایم، هر دو بیانگر طراحی ضعیف هستند. یک طرح منطقی بین این دو، بهترین ترکیب ایمنی ظرفیت، راحتی و یکنواختی حرکت، و ظاهر زیبا در قالب محدودیت‌های عملی زمین و منطقه راه فراهم می‌کند.
- با انطباق انحنای قائم بر انحنای افقی و برعکس، مسیر خوش‌آیندتر می‌شود. ولی چنین ترکیباتی نیاز به تحلیل تأثیر آنها بر ترافیک دارد. تغییرات پی در پی نیمرخ طولی (خط پروژه) همراه با انحنای افقی، باعث پدیدار شدن برآمدگی‌هایی در فاصله‌ای از چشم راننده می‌شود که همانگونه که قبلاً بحث شد شرایط نامناسبی را ایجاد می‌کند. با این حال ممکن است استفاده از ترکیب مسیر افقی و قائم، چنانکه ذیلاً بحث خواهد شد منجر به وضعیت‌های نامطلوبی نیز بشود.
- از منظور نمودن انحنای افقی تند در بالای قوس‌های قائم محدب مهم یا نزدیک آن باید اجتناب نمود، زیرا راننده به خصوص در شب ممکن است متوجه تغییر در مسیر افقی نشود. چنانچه قوس افقی، طولانی‌تر از قوس قائم باشد، معایب این حالت از بین می‌رود. همچنین برای طرح مطلوب، می‌توان از مقادیری که به اندازه کافی بیش از مقادیر حداقل مربوط به سرعت طرح باشد استفاده کرد.
- تا اندازه‌ای در ارتباط با رهنمود قبلی از قرار دادن انحنای افقی تند در حوالی انتهای شیب تند، و یا در نزدیک نقطه پایینی قوس قائم مقرر تند باید خودداری شود. چون منظره جلوی راه، کوتاه می‌شود، هرگونه انحنای افقی غیر از قوس بسیار ملایم موجب ظاهر کج و معوج نامطلوب راه می‌گردد. بعلاوه، سرعت خودروها بویژه وسایل نقلیه سنگین، اغلب در انتهای سرازیری، زیاد است و چنان وضعیتی می‌تواند بویژه در شب، حرکات غیرعادی را سبب گردد.
- در یک راه یا خیابان دو خطه، نیاز به تأمین فاصله دید سبقت در فواصل متعدد، شامل درصد بالایی از طول معبر، اغلب رهنمودهای مربوط به ترکیب مسیر افقی و قائم را لغو می‌کند. در چنین شرایطی بهتر است از بخش‌های با مسیر مستقیم طولانی استفاده شود تا فاصله دید سبقت کافی در طرح را تضمین کند.
- در تقاطع‌ها، هم انحنای افقی و هم نیمرخ طولی باید تا حد امکان ملایم باشند زیرا فاصله دید هر دو راه یا خیابان مهم است و وسایل نقلیه ممکن است به کم کردن سرعت یا توقف، ملزم گردند.
- در راه‌ها و خیابان‌های مجزا، گاهی اوقات تغییر در عرض میانه و همچنین استفاده از مسیرهای افقی جداگانه برای هر یک از راه‌های یک طرفه، ممکن است مطلوب باشد. چنانچه ساختن راه چهارخطه از نظر میزان ترافیک توجیه‌پذیر باشد استفاده از این روش طراحی به مراتب بهتر بوده و نیازی به هزینه‌های اضافی ندارد.
- در مناطق مسکونی، طرح مسیر باید به گونه‌ای باشد که میزان سر و صدا و مزاحمت برای مناطق مجاور را به حداقل برسد. گاهی می‌توان تعدیل‌های کوچکی در وضعیت افقی به عمل آورد تا منطقه حایل بین راه و ردیف‌های منازل افزایش یابد.
- مسیر راه باید طوری طراحی شود که جذابیت مناظر طبیعی و مصنوعی اطراف از قبیل، رودخانه‌ها، صخره‌ها، پارک‌ها و سازه‌های مهم افزایش یابد. راه باید به سمت مناظر

چشم‌گیر متوجه باشد نه آنکه از آن دور شود. چنانچه تماشای مناظر از پایین و با نگاه به سمت آسمان زیباتر باشد راه باید از پایین به بالا و به سمت مناظر ایجاد گردد و برعکس چنانچه تماشای مناظر از بالا به پایین جالب باشد باید جهت‌گیری راه از بالا به پایین باشد.

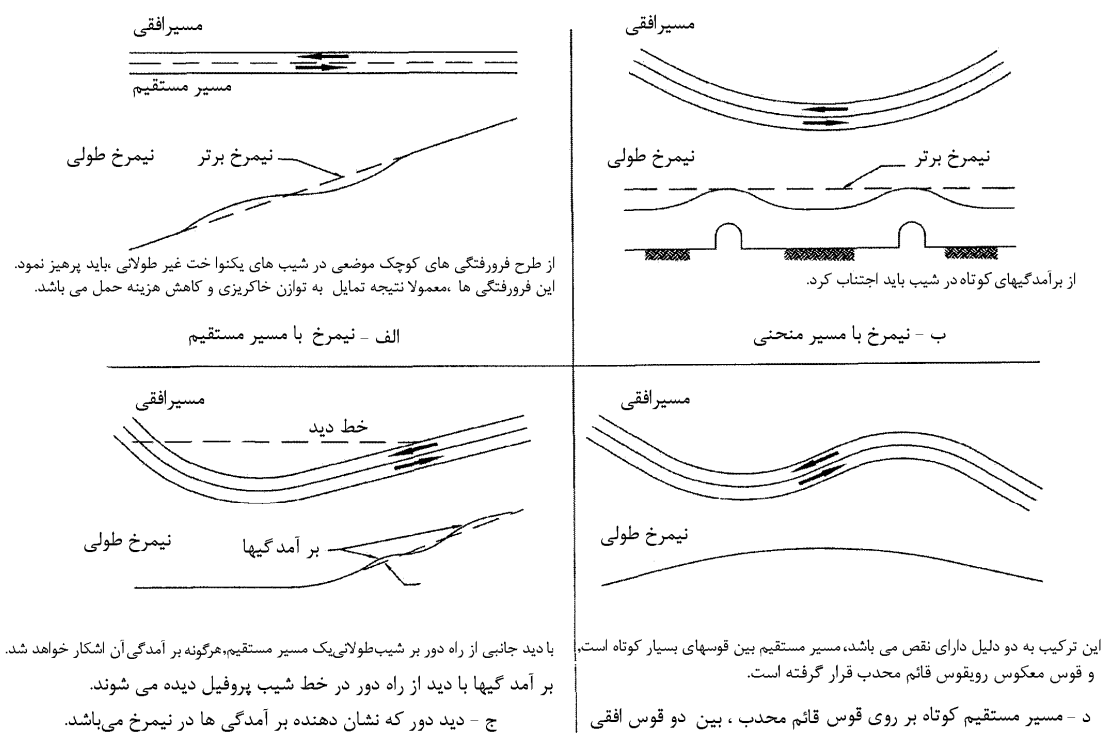
هماهنگ کردن مسیر افقی و نیمرخ طولی (مسیر قائم) در طرح

هماهنگ کردن مسیر افقی با نیمرخ طولی نباید به پیشامدها سپرده شود بلکه باید همزمان با طراح مقدماتی که تعدیل‌ها و اصلاحات به آسانی قابل انجام است، آغاز گردد. گرچه برای همه راه‌ها نمی‌توان ترتیب خاصی برای مطالعه تعیین کرد، یک فرآیند کلی قابل اعمال برای اغلب معابر، در ادامه بیان می‌شود. طراح باید از نقشه‌های با چنان مقیاس، اندازه و ترتیبی استفاده کند که بتواند قطعات پیوسته و طولانی راه را هم در مسیر افقی و هم در نیمرخ طولی مطالعه نماید و همه چیز را به صورت سه بعدی تجسم کند. نقشه‌های مورد استفاده باید در مقیاس کوچک باشند و نیمرخ طولی به همراه مسیر افقی رسم شده باشد. استفاده از کاغذ ممتد نقشه پلان - پروفیل برای این منظور مناسب است. برای کمک به این تجسم برنامه‌های کامپیوتری نیز موجود دارد که امکان مشاهده مسیرهای افقی و قائم را به صورت سه بعدی فراهم می‌کنند.

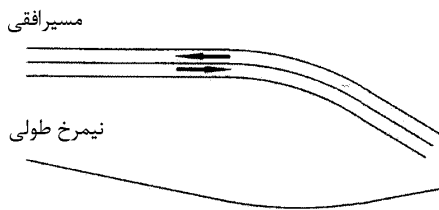
پس از مطالعه مسیر افقی و قائم در شکل مقدماتی، اصلاحات در هر کدام یا در هر دو برای رسیدن به هماهنگی مورد نظر قابل انجام است. در این مرحله طراح نباید نگران محاسبات مسیر، غیر از موارد مهم مشخص باشد. مطالعات وسیعی باید بر اساس تجزیه و تحلیل‌های کامپیوتری یا گرافیکی انجام شود. معیارها و اجزاء طرح که در این فصل و فصل قبل به آنها اشاره شد باید در نظر گرفته شوند. برای سرعت طرح انتخاب شده، مقادیر مورد نیاز برای ضوابط انحناء، شیب، فاصله دید و طول استقرار یک‌بری را باید به دست آورد و به صورت ترسیمی یا با استفاده از کامپیوتر یا سیستم CADD (طرح و ترسیم به کمک کامپیوتر) کنترل کرد. گاهی اوقات ممکن است حین مطالعه، تعدیل سرعت طرح در برخی از قطعات راه، بمنظور تطبیق با تغییرات احتمالی سرعت‌های جریان الزام‌آور گردد. این نیاز، ممکن است در مواردی که تغییرات قابل-ملاحظه‌ای در مشخصات مسیر برای تطبیق با محدودیت وضع طبیعی غیر عادی یا حریم راه لازم باشد، مشاهده گردد. به علاوه ضوابط عمومی طرح، همانگونه که برای مسیر افقی، مسیر قائم (نیمرخ طولی) و ترکیب آنها به صورت جداگانه بیان شد، باید در نظر گرفته شوند. همه جوانب وضع زمین، جریان ترافیک و شکل ظاهری باید در نظر گرفته شوند و خطوط افقی و قائم باید قبل از محاسبات پیر هزین و وقت گیر و پیش از شروع به تهیه نقشه‌های اجرایی بزرگ مقیاس، تعدیل شوند.

هماهنگ کردن مسیر افقی و قائم از نظر ظاهر معمولاً به طریق چشمی روی نقشه‌های مقدماتی یا به کمک برنامه‌های کامپیوتری که بدین منظور تهیه شده‌اند قابل انجام است. بطور کلی چنانچه کار توسط طراح با تجربه انجام گیرد، از این روش نتیجه رضایت بخشی حاصل می‌شود. این روش‌های تجزیه و تحلیل را می‌توان بوسیله مدل، کروکی یا تصاویر تهیه شده با کامپیوتر، در محل‌هایی که شکل ظاهری بعضی ترکیب‌های مسیر افقی و نیمرخ طولی مبهم است، تکمیل کرد. در راه‌های دارای جوی کناری، تأثیر تغییرات تدریجی یک‌بری بر پروفیل‌های امتداد آبرو باید بررسی شود. این امر به خصوص در مناطق با شیب‌های ملایم با اهمیت بوده و می‌تواند باعث گودشدگی‌های موضعی شود. جابجایی‌های جزئی در نیمرخ در ارتباط با قوس افقی گاهی می‌تواند از بروز این مشکل جلوگیری کند.

چنانچه طرح خیابان‌ها یا راه‌های معمولی محلی مد نظر باشد، روش‌های ذکر شده در فوق، در مقایسه با راه‌های درجه یک مسلماً باید اصلاح شوند. مسیر هر راه یا خیابان محلی، چه در حالت روسازی و چه در حالت بهسازی تابع آبادانی‌های فعلی و آتی املاک همجوار است. راه‌ها و خیابان‌های متقاطع و محل انشعاب‌ها از عوامل مهم تعیین‌کننده هستند. اگر چه این موارد، برای طرح، باید کاملاً در نظر گرفته شوند ولی نباید جنبه‌های مطلوبی را که قبلاً ذکر شد از بین ببرند. حتی برای طراحی خیابان، مطلوب آن است که به جای اتصال قطعات تکه تکه، از مسیر افقی و نیمرخ طولی یک تکه¹ استفاده شود. چند مثال از طرح ضعیف و مطلوب در شکل 3-77 نشان داده شده است.

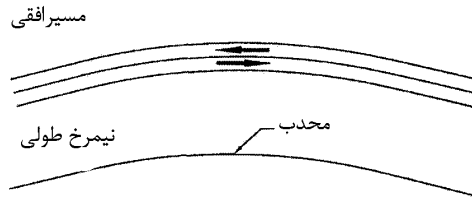


شکل 3-77: ارتباط مسیر و پروفیل در راه [48]



این ترکیب یک نمود ضعیف است- قوس افقی، دارای زاویه تند به نظر می رسد.

ه - نمود زاویه تند



وقتی که قوسهای عمودی و افقی بر یکدیگر منطبق می شوند ، نمود بسیار رضایت بخش حاصل می شود.

و - انطباق قوسهای افقی و عمودی



زمانی که قوسهای عمودی و افقی مخالف یکدیگر هستند، نمود بسیار رضایت بخش حاصل می شود.

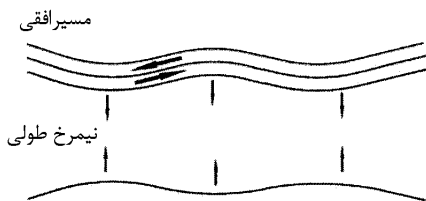
ز- قوسهای مخالف در جهات عمودی و افقی



قوسهای باز بسیار طولانی ، حتی اگر از نظر سرعت طراحی مورد نیاز نباشد و صرفنظر از نیمرخ طولی ، با زاویه مرکزی کوچک رقم ، ظاهری دلپذیر دارند.

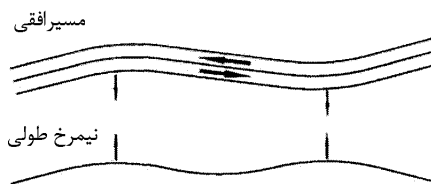
ح - مسیر افقی با زاویه مرکزی کوچک

شکل 3-77: وابستگی های مسیر و نیمرخ در طرح معبر



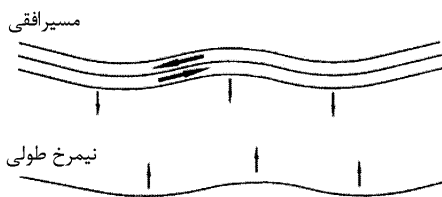
شرایط هماهنگی کلاسیک بین مسیر عمودی و افقی در حالی رخ می دهد که رنوس قوسها بر یکدیگر منطبق می شوند. و اثر با ارزشی از قوسهای معکوس سه بعدی متشکل از مارپیچ های محدب و مقعر ایجاد می کند.

ط- انطباق رنوس قوسهای افقی و عمودی



شرایط هماهنگی صحیح، یک مرحله از هماهنگی در قوس افقی حذف شده است اما رنوس منطبق شده اند مسیر مستقیم طولانی در پلان بوسیله قوس قائم ملایم شده است.

ی - انطباق یک در میان رنوس



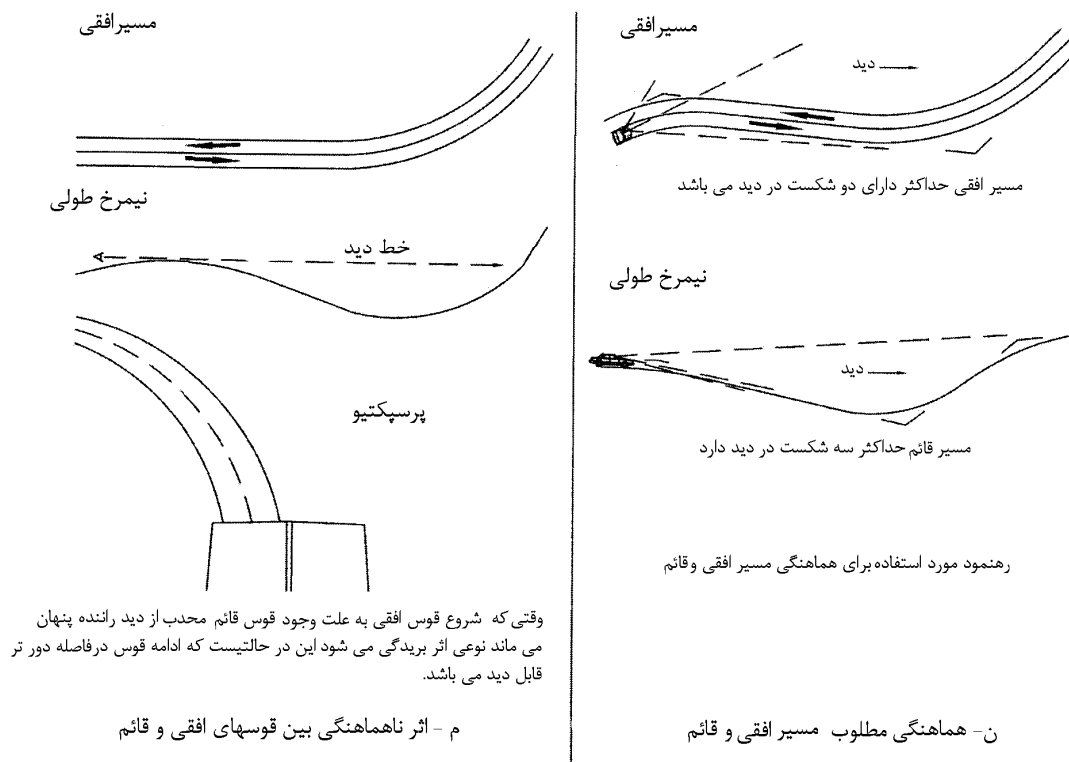
ک- هماهنگی ضعیف بین مسیر افقی و قائم



مسیر بالا نمونه ای ضعیف از طراحی است زیرا مسیر شامل یک مسیر مستقیم طولانی با یک قوسهای کوتاه است در حالی که تعادل بین قوسها و مسیر مستقیم در طراحی ، مطابق مسیر پایین، برتری دارد.

ل- مسیر افقی باید متعادل شود

شکل 3-77: ارتباط مسیر و پروفیل در راه (ادامه)



شکل 3-77: وابستگی های مسیر نیمرخ در طرح معبر

سایر عناصر مؤثر بر طرح هندسی

علاوه بر اجزاء ذکر شده در قبل، اجزاء گوناگون دیگری وجود دارند که بر طرح هندسی یک راه تأثیر گذاشته و یا طرح هندسی بر آنها تأثیر می گذارد. هر کدام از این اجزاء فقط به اندازه ای که برای نشان دادن ارتباط با طرح هندسی، از یک سو و چگونگی تأثیرپذیری طرح هندسی از آن، از سوی دیگر، لازم بوده مورد بحث قرار گرفته است. طراحی مفصل این اجزا در اینجا ذکر نشده است.

تخلیه آبها

تسهیلات تخلیه آب راه، آب را در عرض حریم حمل می کنند و سیلاب را از روی راه جمع آوری و انتقال می دهند. تسهیلات تخلیه آب شامل پلها، آبروها، جوی های بزرگ و کوچک، جدول ها و انواع مختلف زهکش ها است. ظرفیت های هیدرولیکی و محل هر یک از سازه ها باید به گونه ای طراحی شود که خسارت به املاک بالا دست و پایین دست را در نظر بگیرد و خطر قطع شدن ترافیک بوسیله سیلاب را با توجه به اهمیت راه، نیازهای خدمت رسانی به ترافیک طرح، قوانین و مقررات و بالاخره اعتبارات، هر چه بیشتر کاهش دهد. با آنکه نکات مربوط به طرح تخلیه آبها بخشی از طرح هندسی راه است، در اینجا معیارهای خاص آن ذکر نشده اند. برای ملاحظه مباحث کلی تخلیه آبها به «رهنمودهای تخلیه آب، آشتو» [54] و برای اطلاع از «زمینه های اصلی طراحی هیدرولیکی راه به کتاب «مدل تخلیه آبها» آشتو [55] مراجعه شود.

بسیاری از نهادها نیز در این مورد کتاب های مرجع خوبی در مورد تخلیه آبها دارند که برای طرح هیدرولیکی می توان از آن استفاده کرد. از کتاب مدل تخلیه آبها، آشتو [55] و نرم افزار کامپیوتری [56] می-

توان به عنوان مرجع استفاده کرد. به علاوه نشریات دیگری از اداره راه‌های فدرال (FHWA) و یا سرویس ملی اطلاعات فنی [56] وجود دارد و در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نیازهای هیدرولیکی مربوط به تقاطع جریان‌ها و پخش سیلاب در مسیر و نیمرخ طولی راه تأثیر می‌گذارند. چنانچه در منطقه‌ای احتمال بروز سیل وجود داشته باشد خطر خرابیهای ناشی از سیل، برای راه و املاک دیگر باید ارزیابی شود. در صورت عبور مسیر از منطقه سیل‌گیر، ترازهای سطح سیلاب برای سیل‌هایی با دوره بازگشت مختلف، تصمیمات مربوط به نیمرخ راه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نیمرخ‌های طولی راه در محل تقاطع جریان‌ها غالباً با رعایت جوانب هیدرولیکی تعیین می‌شوند. حتی‌الامکان تقاطع راه با مسیرهای جریان آب و گذر راه از مناطق سیل‌گیر باید به گونه‌ای باشد که جهت جریان و پخش سیلاب به صورت طبیعی حفظ شود. پایداری جریان و محیط اطراف آن نیز از نکات مهم و پیچیده، در تعیین مسیر و طرح راه، هستند.

هرجا که ممکن باشد از جوی‌های سطحی برای جمع‌آوری و انتقال آب از سطح راه استفاده می‌شود. جوی باید دارای ظرفیت کافی برای تخلیه سیلاب طرح باشد و شکل و محل قرارگیری آن مناسب باشد. معمولاً از رویش گیاهی برای پوشش جوی‌ها استفاده می‌شود. اما چنانچه پوشش گیاهی قادر به کنترل فرسایش نباشد سنگ یا رویه بتنی به کار می‌رود. آب سطح راه معمولاً از شیروانی‌های سبز به جوی‌های کناری یا جوی‌های میانه انتقال می‌یابد. چنانچه شیروانی‌های خاکریزی در اثر جاری شدن آب فرسوده شود از جداول بتنی یا آسفالتی، چاهک و جوی تحتانی، ناودان شیب‌دار و جوی روباز استفاده می‌شود. در محل‌هایی که تخلیه سیلاب مورد نیاز باشد، معمولاً از جدول‌گذاری، استفاده می‌شود. در جدول‌گذاری باید دقت شود که جدول‌ها در محوطه بدون مانع مجاور راه، قرار نگیرند. برای راهنمایی بیشتر در این زمینه، به بخش فاصله آزاد افقی از موانع در فصل چهارم رجوع شود.

جوی‌های تحتانی (زیر راه) باید به گونه‌ای طراحی و مستقر شوند که پخش آب روی سطح سواره‌رو، به حد قابل اغماض محدود شود. با توجه به اینکه انباشته شدن آشغال‌ها در دریچه‌های مشبک ممکن است باعث مسدود شدن آنها گردد، استفاده از شکاف جدول و یا مجموعه دریچه مشبک و جدول شکافدار در مناطق شهری مفید است. دریچه‌های مشبک و مجراهای کنار جدول باید خارج از سواره‌رو قرار گیرند تا باعث انحراف وسایل نقلیه‌ای که سعی در عدم عبور از روی آنها دارند، نشوند. در موارد مقتضی، دریچه‌های مشبک باید با عبور دوچرخه و عابر پیاده سازگار باشند. استفاده از بخش‌های جدول‌دار ناپیوسته مانند دماغه رابط‌ها، برای هدایت آب سطحی، در صورتی که موجب کاهش ایمنی گردد، مجاز نیست. دهانه مجراها باید به گونه‌ای طراحی و قرار داده شوند که مانع از تجمع و ته‌نشین شدن خاشاک و ذرات معلق در آب در نقاط کم شیب راه گردند. در قسمت پایینی قوس‌های قائم مقعر لازم است که دهانه ورود بزرگتری منظور گردد. مجراها باید طوری قرار داده شوند که جریان متمرکز و جریان پخش شده سنگین، خطوط عبور را اشغال نکنند. چنانچه سطح راه دارای پیچ و انشعاب باشد (مانند رابط‌ها و تقاطع‌ها)، آب‌های سطحی قبل از تغییر شیب عرضی باید جمع‌آوری شوند. در بالادست نقاط عبور عابر پیاده نیز باید دریچه تخلیه آب پیش‌بینی شود. مجاری تخلیه آب باید ظرفیت کافی داشته باشند تا مانع از جمع شدن آب در سطح راه و پل‌ها، به خصوص در قوس‌های قائم مقعر شوند. تأثیر کلی تخلیه آب‌ها بر وضع هندسی راه، جوی‌های مجاور یا زیرشانه، جوی‌های تحتانی و شیروانی‌ها در فصل 4 مورد بحث قرار خواهند گرفت.

تخلیه آب در مناطق شهری نسبت به مناطق برون شهری مشکل‌تر و پرهزینه‌تر است. زیرا در مناطق شهری مشکلاتی از قبیل: حجم و سرعت تجمع بیشتر، سیلاب، خسارت بالقوه بیشتر و پرهزینه‌تر به املاک

مجاور در اثر طغیان آب، هزینه‌های کلی بیشتر (به خاطر مجراها و سیستم‌های زیرزمینی بیشتر)، محدودیت به دلیل آبادانی‌های شهری، نبود مناطق طبیعی برای جمع شدن سیل، و حجم ترافیک ماشینی و یا عابر پیاده بیشتر وجود دارند. در مناطق شهری نیاز بیشتری به جلوگیری از سیلاب جمع شده و هدایت آن قبل از رسیدن به راه و نیز، انتقال آب سطحی و جریان آب کنار جدول بدون قطع جریان ترافیک و بروز مشکل برای سرنشینان وسایل نقلیه و عابران پیاده، وجود دارد. معمولاً برای این کار به سیستم‌های زیرزمینی، چاهک، مجراهای متعدد، جدول‌گذاری و جوی‌های کناری نیاز است. اغلب، ایجاد سیستم‌های جدید منتهی به محل نهایی تخلیه با طول قابل ملاحظه مورد نیاز است. زیرا سیستم‌های تخلیه سیلاب و فاضلاب موجود فاقد ظرفیت کافی برای تخلیه آبهای سطحی راه هستند. سیستم مشترک تخلیه آب که مورد استفاده نهاد مسئول راه و سایر نهادها قرار گیرد، از نظر اقتصادی مفید است زیرا ساختن یک سیستم مشترک، اقتصادی‌تر از ساختن دو سیستم جداگانه است. «طراحی تخلیه آب راه‌های شهری» [58] در مجموعه‌ای که توسط اداره راه‌های فدرال (FHWA) ارائه شده مورد بحث قرار گرفته است.

برای کاهش حجم جریان اوج می‌توان آب بارانی را که در محل می‌بارد، در حوضچه‌های نگهداری، لوله‌های تخلیه آب باران، جوی‌ها، توقفگاه‌ها، مرداب‌ها و غیره ذخیره نمود. در این صورت جریان با شدت کمتری انتقال می‌یابد و یا مقدار سیلاب در پایین دست کاهش پیدا می‌کند. برای طراحی تخلیه آب در راه‌هایی که تجهیزات موجود انتقال در پایین دست آنها برای انتقال سیلاب اوج تسهیلات تخلیه آب راه کافی نیست و راه، عامل افزایش شدت جریان اوج و مشکلات طغیان در پایین دست می‌گردد، به عنوان روشی برای کاهش هزینه‌های ساختمانی مربوط به تخلیه جداگانه آب‌های سطح راه، می‌توان از روش مذکور استفاده کرد. برای تطبیق با مقررات ایالتی و فدرال کیفیت آب ممکن است ایجاد حوضچه‌های نگهداری نیز لازم گردد. بعضی از ایالت‌ها دارای مقررات زیست محیطی هستند که مستلزم رعایت معیارهای آلودگی و فرسایش است. هزینه تخلیه آب در اغلب راه‌ها، جزئی و کم اهمیت نیست. دقت و توجه ویژه برای تأمین نیازهای تخلیه کافی آب و حفاظت راه در مقابل سیل در تمام مراحل انتخاب مسیر و طراحی، مؤثر بودن خود در کاهش هزینه‌ها را هم به لحاظ احداث و هم از نظر نگهداری، آشکار خواهد کرد.

کنترل فرسایش و منظر آرای

یکی از عوامل مهم در طراحی، ساخت و نگهداری راه‌ها جلوگیری از فرسایش است، که باید در ابتدا و به هنگام انتخاب مسیر و طراحی در نظر گرفته شود. در طرح هندسی راه به خصوص در اجزاء نیمرخ عرضی، این عامل تا اندازه‌ای مد نظر قرار می‌گیرد. البته مهمترین کاربرد مستقیم کنترل فرسایش در طراحی تخلیه آب و تعیین مشخصات منظر آرایشی و سبزی‌کردن شیروانی‌ها است.

فرسایش و نگهداری با استفاده از شیروانی‌های کناری ملایم گرد شده هماهنگ با زمین طبیعی؛ شیروانی‌های خاکبرداری پلکانی، جوی‌های تخلیه طراحی شده با توجه به عرض، عمق، شیب‌ها، مسیر و تمهیدات حفاظتی، قرار دادن مجراها با در نظر گرفتن مسأله فرسایش، جلوگیری از فرسایش در مجاری خروجی آبروها، تسهیلات مناسب برای انتقال آب‌های سطحی، جدول‌های آسفالتی، پلکانی‌ها و سایر تجهیزات محافظ برای بدنه دام انداختن رسوبات درمنطقه‌ها و پوشش‌های گیاهی محافظ و درخت‌کاری، به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.

منظر آرایی باید متناسب با مشخصات راه و محیط اطراف آن انجام شود. این کار شامل توجه به زمینه‌های اصلاحی کلی زیر است:

- 1- حفظ پوشش گیاهی موجود
 - 2- نشا کردن پوشش گیاهی موجود در صورت امکان
 - 3- کاشتن گیاهان جدید
 - 4- بریدن و کم کردن بعضی از گیاهان
 - 5- تولید مجدد نمونه‌های گیاهی و مصالح
- اهداف مختلفی از کاشتن یا ابقاء و نگهداری رویدنی‌های طبیعی در کنار راه وجود دارد که با یکدیگر مرتبط هستند و اصولاً شامل موارد زیر می‌باشند: 1- کمک به زیبایی و ایمنی 2- کمک به کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری 3- ایجاد جذابیت، فایده و زیبایی برای لذت و رضایت کسانی که از راه عبور می‌کنند.
- منظر آرایی در راه‌های شهری و خیابان‌ها بدلیل نقش آن در کاهش مزاحمت‌های ناشی از ترافیک شهری از اهمیت بیشتری برخوردار است و می‌تواند باعث کاهش آثار مزاحمت گردد و خیابان‌ها و راه‌های شهری را به صورت همجواران بهتری درآورد.
- برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد منظر آرایی و کنترل فرسایش به « راهنمای آشتو برای طرح زیست‌محیطی و منظر آرایی حمل و نقل » [49] مراجعه شود.

استراحتگاه‌ها، مراکز اطلاع‌رسانی و چشم اندازه‌ها

استراحتگاه‌ها، مراکز اطلاع‌رسانی و چشم‌اندازها عناصر عملکردی و مطلوب مجموعه تسهیلات راه هستند که برای تأمین ایمنی و آسایش استفاده‌کنندگان ایجاد می‌شوند. استراحتگاه عبارت است از محوطه‌ای در کنار راه، دارای پارکینگ مستقل و جدا از راه که به سرنشینان این امکان را می‌دهد تا برای مدت کوتاهی در آنجا توقف نمایند. در این مکان‌ها ممکن است امکانات اولیه از قبیل آب آشامیدنی، محل استراحت، میز و نیمکت، تابلو اطلاعات، تلفن و غیره برای مسافران در نظر گرفته شود. استراحتگاه‌ها به عنوان مکان‌هایی برای همایش‌های اجتماعی و یا انجام فعالیت‌های تفریحی از قبیل قایقرانی، شنا و مسابقات سازمان‌دهی شده منظور نشده است. مراکز اطلاع‌رسانی با کارمند یا بدون کارمند با هدف دادن اطلاعات و سرویس به مسافران در استراحتگاه‌ها ایجاد می‌شوند. چشم‌انداز، عبارت از محلی در کنار راه است که به رانندگان امکان توقف در خارج از شانه را می‌دهد تا در درجه اول، افراد به تماشای مناظر پرداخته و با ایمنی به عکس گرفتن بپردازند. در این مکان‌ها نیازی به ایجاد تسهیلات برای آسایش و راحتی، نیست.

در انتخاب محل مناسب برای استراحتگاه‌ها، مراکز اطلاع‌رسانی و چشم‌اندازها باید به کیفیت مناظر، دسترسی و قابلیت توسعه محل توجه شود. امکان فراهم کردن آب و دفع یا تصفیه فاضلاب نیز باید بررسی شود. طرح و نقشه محل باید با استفاده از طرح جامع که شامل مکان رابط، محل پارکینگ‌ها، ساختمان‌ها، محل تفریح، منبع آب، تسهیلات دفع فاضلاب و محل‌های نگهداری است تهیه شود. منظور آن است که بالاترین بها، قبل از آنکه به فواصل یکنواخت یا زمان رانندگی یکنواخت بین محل‌ها داده شود، به تناسب محل تعلق گیرد.

تسهیلات باید به گونه‌ای طراحی شوند که نیاز افراد پیر و معلول را برآورند. برای کسب اطلاعات بیشتر در زمینه طرح استراحتگاه‌ها به « راهنمای آشتو برای ایجاد استراحتگاه‌ها در شریانی‌های مهم و آزاد راه‌ها» [59] مراجعه شود.

روشنایی

روشنایی می‌تواند باعث افزایش ایمنی راه و خیابان و آسایش و راحتی جریان عبور آن گردد. آمار نشان می‌دهد که میزان تصادفات در شب بیش از روز است. این امر را می‌توان تا اندازه زیادی به کاهش دید در شب، نسبت داد. شواهد موجود، حاکی از آن است که در مناطق شهری و حومه شهری که تمرکز حجم عابر پیاده و تداخل‌های مربوط به کناره راه وجود دارد، استفاده از روشنایی با منبع ثابت، تصادفات را کاهش می‌دهد. روشن کردن راه‌های برون شهری ممکن است مطلوب باشد ولی ضرورت آن خیلی کم‌تر از خیابان‌ها و راه‌های شهری است.

عموماً نظر بر این است که روشن کردن راه‌های برون شهری، جز در بعضی نقاط بحرانی مانند تبادلهای تقاطع‌های همسطح با راه‌آهن، پل‌های باریک یا طولی، تونل‌ها، پیچ‌های تند و بالاخره نقاطی که تداخل‌های ناشی از آبادانی کناره راه وجود دارد، به ندرت توجیه‌پذیر است. اغلب راه‌های برون شهری جدید، باید با نیمرخ عرضی باز، مسیر افقی و نیمرخ طولی درجه یک طراحی شوند. لذا این راه‌ها امکان استفاده از چراغ‌های جلو را در بالاترین حد، فراهم می‌کنند و در نتیجه توجیه استفاده از روشن کردن راه را کاهش می‌دهند.

توجیه الزام روشنایی در آزادراه‌ها که عابر پیاده، ورود از کنار راه و سایر تقاطع‌های همسطح، وجود ندارد و حریم راه نسبتاً عریض است، با توجیه مربوط به خیابان‌ها و راه‌های بدون کنترل ورود، متفاوت است. «راهنمای اطلاعاتی آشتو برای روشنایی راه» [60] برای کمک به انتخاب قطعاتی از آزادراه‌ها، راه‌ها، و خیابان‌ها، که استفاده از روشنایی ثابت برای آنها می‌تواند تجویز شود و نیز تعیین مقادیر طرح روشنایی، تهیه شده است. این راهنما، شامل فصلی در مورد روشن کردن تونل‌ها و زیرگذرها، نیز می‌باشد.

نیاز تقاطع‌های همسطح راه‌های برون شهری به روشنایی، بستگی به طرح و حجم ترافیک دارد. تقاطع‌هایی که جریان بندی ندارد، اغلب بدون روشنایی است. از سوی دیگر تقاطع‌هایی که جریان بندی مفصل دارد و بویژه، چند راهی‌ها و آنهایی که در مقیاس وسیع طراحی شده‌اند اغلب روشن می‌شوند. روشن کردن تقاطع‌های بزرگ جریان بندی شده، بویژه مطلوب است. به علت انحنای تند، اینگونه تقاطع‌ها، کم‌تر در محدوده جانبی روشنایی چراغ‌های جلو قرار می‌گیرد و چراغ‌های جلو سایر خودروها، به علت تنوع جهت‌ها و حرکت‌های گردشی، بیش از آنچه کمک باشند، مانع محسوب می‌شوند. در پاره‌ای از تقاطع‌ها لازم است که وسایل نقلیه‌ای که به تقاطع می‌رسند سرعت خود را کاهش دهند. نشانه این نیاز باید مشخص و در فاصله‌ای از تقاطع که خارج از محدوده عمل چراغ‌های جلو است، قابل رؤیت باشد. روشن کردن تقاطع با منبع ثابت، این نیاز را برآورده می‌کند.

در تبادلهای نیز تأمین روشنایی با منبع ثابت مطلوب و گاهی الزامی است. راننده‌ها باید بتوانند نه تنها مسیر جلوی خود، بلکه مجموعه راه‌های گردشی را ببینند تا مسیری را که باید طی کنند تشخیص دهند. همچنین باید همه وسایل نقلیه دیگری را که ممکن است بر رفتارشان تأثیرگذار باشند، ببینند. اگر روشنایی تبادلهای در شب تأمین نشود ممکن است کارایی آن کاهش قابل ملاحظه‌ای یابد، چرا که تعداد اتومبیل‌هایی که سرعت خود را کاهش می‌دهند و با حالت تردید حرکت می‌کنند، در شب بیش از روز است. در قسمت‌هایی از تبادلهای

مانند جدول‌ها، پایه‌ها و دیوارهای جانبی (کوله‌ها) که راننده باید از نزدیک شدن به آنها پرهیز کند، بهتر کردن دید در شب، از طریق روشنایی و آلات شب‌نما، باید مد نظر قرار گیرد. در تبادل‌ها هر قدر حجم ترافیک، به خصوص ترافیک گردشی، بیشتر باشد، اهمیت روشنایی با منبع ثابت بیشتر می‌شود. در بخش‌هایی از راه‌های اصلی که گردش از داخل به خارج و از خارج به داخل راه انجام می‌شود، روشنایی باید مد نظر قرار گیرد. روشن کردن راه با استفاده از نورافکن، ممکن است در تقاطع همسطح راه با راه‌آهن، در صورت تردد شبانه قطار مطلوب باشد. این تمهید، در پاره‌ای موارد، مانند تقاطع‌هایی که به چراغ چشمک‌زن، دروازه یا هر دو مجهزند نیز ممکن است اعمال گردد.

تونل‌ها، محل اخذ عوارض و پل‌های متحرک، همانند پل‌های طویل در مناطق شهری و حومه شهری تقریباً همیشه روشن می‌شود. در پل‌های با طول زیاد در مناطق برون شهری، ممکن است هزینه روشنایی توجیه‌پذیر نباشد.

برای به حداقل رساندن اثر خیرگی و تأمین با صرفه‌ترین تأسیسات روشنایی، چراغ‌ها در ارتفاع حداقل 9 متر نصب می‌شود. با افزایش ارتفاع چراغ، یکنواختی روشنایی افزایش می‌یابد، و در اغلب موارد، استفاده از پایه‌های با ارتفاع 10 الی 15 متر بهتر است. روشنایی با استفاده از دکل‌های بلند یا نورافکن‌های مخصوص روی دکل‌های به ارتفاع 30 متر، در محوطه‌های وسیع راه مانند تبادل‌ها و استراحتگاه‌ها، به کار می‌رود. این سیستم، نور را به صورت یکنواخت روی کل محوطه پخش می‌کند و ممکن است هدایت مسیر را تأمین نماید. در عین حال این عیب را دارد که پخش نور باعث ایجاد مزاحمت برای املاک مجاور می‌شود.

پایه نورافکن‌ها باید تا حد امکان در خارج از منطقه بدون مانع کنار راه قرار گیرد. در مورد ابعاد مناسب منطقه بدون مانع برای طبقه‌بندی‌های عملکردی مختلف به فصل 4 مبحث «فاصله آزاد افقی تا مانع»، مراجعه شود. چنانچه پایه‌ها در داخل منطقه بدون مانع کار گذاشته شوند، در هر فاصله از سواره رو که باشند، باید به گونه‌ای طراحی شوند که ضربه خور باشند، معمولاً در این مورد پایه‌های کمرشکن استفاده می‌شود. در خیابان‌های واقع در مناطق پر تراکم و آباد به خصوص خیابان‌های دارای پیاده‌رو، نباید از پایه‌های کمرشکن استفاده کرد، زیرا چنانچه این پایه‌ها شکسته شود ممکن است به عابران پیاده برخورد کنند و باعث وارد شدن خسارت‌هایی به ساختمان‌های مجاور بشوند. در خیابان‌ها، بدلیل سرعت کم و وجود وسایل نقلیه پارک شده احتمال آسیب‌دیدگی سرنشینان وسیله نقلیه در اثر برخورد آن با پایه‌ها نسبت به راه‌ها کمتر است. از کار گذاشتن پایه‌ها در طول بر خارجی قوس رباط‌ها باید خودداری شود زیرا بیشتر در معرض تصادف قرار می‌گیرند. در صورت قرار گرفتن در پشت نرده‌های ایمنی طولی (نصب شده برای اهداف دیگر) پایه‌ها باید با فاصله کافی از نرده‌ها نصب شوند تا در صورت برخورد وسایل نقلیه، به نرده‌ها، امکان خم شدن آنها به مقدار کافی فراهم باشد.

در خیابان‌ها یا راه‌های مجزا می‌توان پایه‌های برق را در میانه و یا در سمت راست راه قرار داد. چنانچه پایه‌ها در سمت راست راه قرار بگیرند، منبع روشنایی به خطوط پر ترافیک نزدیک‌تر است و چنانچه در میانه قرار داده شوند هزینه اجرا کمتر و میزان نور در خطوط پرسرعت بیشتر خواهد بود. در صورت نصب پایه‌ها در میانه، باید از پایه‌های دو بازویی استفاده شود که برای آنها ارتفاع نصب بین 12 تا 15 متر، مناسب است. این پایه‌ها باید با نرده‌های ایمنی طولی مناسب، محافظت شود. در میانه‌های کم عرض بهتر است پایه‌های روشنایی طوری نصب شود که با حفاظ میانه یکپارچه باشد.

چنانچه نصب سیستم روشنایی راه برای آینده در نظر گرفته شده باشد، طرح و نصب مجراهای لازم در زیر راه و جداول به عنوان بخشی از مرحله اول ساخت، صرفه جویی های قابل ملاحظه ای را عاید خواهد کرد. روشنایی آزاد راه ها کاملاً با نوع و مکان علائم مرتبط است. بمنظور اثر بخشی کامل، این دو باید با هم طرح شوند.

خطوط انتقال نیرو

عملیات عمرانی راه و خیابان، اعم از نوسازی یا بهسازی بطور کلی مستلزم تعدیل خطوط انتقال نیرو است. اگر چه خطوط انتقال نیرو تأثیر اندکی بر طرح هندسی راه یا خیابان دارند، معیارهای منعکس کننده اصول معتبر فنی و عوامل اقتصادی باید مورد توجه کامل قرار گیرد تا یکپارچگی و کیفیت ظاهری راه یا خیابان، کارایی عملیات نگهداری آن و ایمنی ترافیک ابقاء و حفظ شود. هزینه های تعدیل خطوط انتقال نیرو به علت توجه به تعداد زیاد شرکت ها، نوع و پیچیدگی تسهیلات و میزان درگیری آنها با پروژه راه، بسیار متفاوت است. با توجه به محل استقرار پروژه راه یا خیابان، خطوط درگیر با آن می تواند شامل (1) فاضلاب بهداشتی (2) خطوط انتقال آب (3) خطوط لوله نفت، گاز، و فرآورده های نفتی (4) خطوط ارتباط زیرزمینی و هوایی شامل کابل فیبر نوری (5) تلویزیون کابلی (6) برج های ارتباط بی سیم (7) خطوط آبیاری و زهکشی (8) معابر انتقال حرارت (9) تونل های ویژه برای اتصال ساختمان ها باشد.

کلیات

خطوط انتقال نیرو باید به گونه ای قرار گیرند که نیاز به تعدیل و تجدیدنظرهای آتی به حداقل برسد و توسعه راه و خیابان در آینده امکان پذیر باشد. خدمت رسانی به این خطوط باید با حداقل تداخل در ترافیک انجام شود.

نصب طولی خطوط باید در مسیر یکنواخت و تا حد امکان نزدیک به مرز حریم باشد تا محیطی ایمن برای جریان ترافیک تأمین گردد و فضای لازم برای توسعه راه و خیابان یا نصب خطوط دیگر وجود داشته باشد. حتی الامکان، خطوط انتقال نیرو در امتداد آزاد راه ها باید به گونه ای ساخته شوند تا از خارج از خطوط دارای کنترل دسترسی، خدمت رسانی شوند.

تقاطع خطوط انتقال نیرو با راه، باید تا حد امکان به صورت عمودی باشد و در صورتی که احتمال نیاز به سرویس خطوط در آینده زیاد باشد بهتر است آنها را در داخل غلاف یا تونلی قرار دهند تا برای جریان ترافیک، در هنگام سرویس مزاحمتی بوجود نیاید.

موقعیت افقی و قائم خطوط انتقال نیرو در داخل حریم راه باید با ضوابط ناحیه بدون مانع قابل کاربرد برای سیستم، نوع راه یا خیابان و شرایط ویژه برای قطعه خاص مورد نظر مطابقت نماید. در تعیین موقعیت تسهیلات خطوط انتقال در حریم راه و خیابان اولین نکته ای که باید مورد توجه قرار گیرد امنیت مسافران است. ابعاد آزاد جانبی که برای هر طبقه بندی عملکردی خاص باید رعایت شود، در بخش « فاصله آزاد افقی تا مانع » در فصل 4 مورد بحث قرار می گیرد.

گاهی اوقات اتصال خطوط انتقال نیرو به سازه های راه از قبیل پل ها، یک شیوه عملی است و ممکن است مجاز شمرده شود. چنانچه قرار دادن خطوط در محل دیگر امکان پذیر باشد باید از اتصال به سازه های پل پرهیز شود.

به هنگام اصلاح خطوط انتقال موجود و یا نصب خطوط جدید، پیش‌بینی‌های لازم در مورد توسعه آن‌ها؛ بویژه آنهایی که در زیرزمین قرار گرفته‌اند یا متصل به پل‌ها هستند، باید به عمل آید. نصب تمام خطوط انتقال نیرو در بالا، زیر یا روی راه یا اتصال خطوط به سازه‌ها، باید با استفاده از مواد با دوامی انجام شود که برای عمر بهره‌برداری طولانی طراحی شده، نیاز به نگهداری و سرویس عادی کمتری داشته و مطابق با کدهای صنعتی و مشخصات لازم یا بالاتر از آن باشد. خطوط انتقال نیرویی که حریم آزاد راه‌های شهری یا برون شهری را قطع یا آنرا اشغال می‌کنند باید با مندرجات « رساله آشتو برای جاگذاری خطوط انتقال نیرو در حریم آزاد راه » [6] مطابقت داشته باشند. در موارد مربوط به راه‌ها و خیابان‌های بدون کنترل دسترسی، این مطابقت باید با مندرجات « رهنمود آشتو برای جاگذاری خطوط انتقال نیرو در حریم راه » [62] به عمل آید.

مناطق شهری

بدلیل کمبود جا در اغلب مناطق شهرهای بزرگ باید توجه خاصی مبذول گردد که امکان استفاده مشترک از حریم، سازگار با عملکرد آن، در طرح اولیه گنجانده شود. متعلقات مربوط به نصب تجهیزات در زیرزمین از قبیل هواکش‌ها، زهکش‌ها، علامت‌ها، آدم‌روها و آتش- نشان‌ها باید به گونه‌ای قرار داده شوند که برای نگهداری و ایمنی راه یا خیابان مانعی ایجاد نکنند. همچنین در جایی نباشند که پوشش گیاهی مانع از دید آنها شود و بهتر آن است که نزدیک مرز حریم قرار گیرند. چنانچه بخش‌هایی از راه، دارای جدول باشد بهتر است که خطوط انتقال بین جدول و پیاده‌رو با حداقل فاصله ای برابر 0/5 متر از بر جدول و در صورت امکان در پشت پیاده‌رو قرار گیرند. چنانچه به جای جدول، شانه وجود داشته باشد باید ناحیه بدون مانع متناسب با شرایط برون شهری تأمین گردد. در مناطق شهری ممکن است آبادانی‌های موجود و محدود بودن عرض حریم مانع استقرار خط انتقال نیرو یا قسمتی از آن در خارج راه یا خیابان گردد. در پاره‌ای موارد، احتمالاً مناسب است که مکانی خارج از معبر در نظر گرفته شود که مخصوص استفاده خطوط بالاگذر باشد و سایر تسهیلات در زیر راه قرار گیرد، گاهی ممکن است کار گذاشتن کلیه تسهیلات در زیر راه مناسب باشد. حالت اخیر استثنا دارد و مستلزم توجه و رعایت شیوه‌های خاص است زیرا جاگذاری خطوط انتقال نیرو در زیرزمین باید به نحوی باشد که نگهداری و سرویس آن‌ها در آینده حداقل مشکلات را برای ترافیک ایجاد کند.

مناطق برون شهری

در نوسازی‌ها، هیچ خط انتقال نیرویی نباید در زیر قسمتی از معبر قرار داده شود مگر آن که راه را قطع کند.

معمولاً نباید هیچ پایه‌ای را در میانه راه‌های مجزا قرار داد. پایه‌های خطوط انتقال نیرو، لوله هواکش و سایر متعلقات رو زمینی خطوط انتقال نیرو که ممکن است وسایل نقلیه منحرف شده با آنها برخورد کنند نباید در داخل ناحیه بدون مانع قرار داده شوند. تنها استثناء مجاز، وقتی است که متعلقات، از نوع کمرشکن (یا پاشکن) باشند و یا بتوان آنها را پشت جان‌پناه ایمنی که برای حفاظت وسایل نقلیه منحرف شده از سایر خطرهای محتمل برپا شده است، نصب نمود. «راهنمای طرح کناره راه آشتو» [63] عرض‌های منطقه بدون مانع را مورد بحث قرار می‌دهد و آن را می‌توان به عنوان مرجعی برای تعیین عرض‌های مناسب برای آزاد راه‌ها،

شیرانی‌های برون شهری و راه‌های جمع‌کننده برون شهری با سرعت بالا، مورد استفاده قرار داد. برای جمع-کننده‌های برون شهری با سرعت کم و راه‌های محلی برون شهری، به غیر از راه‌های محلی با حجم بسیار پایین و با متوسط ترافیک روزانه¹ مساوی یا کمتر از 400 وسیله نقلیه، ناحیه بدون مانع با عرض حداقل 3 متر باید تأمین شود.

ادوات کنترل ترافیک

علائم و خط‌کشی‌ها

علائم و خط‌کشی، به طور مستقیم با طرح راه یا خیابان مرتبط است و جنبه‌هایی از عملکرد و کنترل جریان ترافیک محسوب می‌شود که طراح باید در طرح هندسی این معابر آن‌ها را در نظر بگیرد. طرح علائم و خط‌کشی، باید همراه با طرح هندسی انجام شود. اگر علائم و خط‌کشی جزئی از مجموعه طرح باشد، احتمال بروز مشکلات آتی بهره‌برداری، به مقدار زیادی، کاهش می‌یابد. حدود و مقدار به کارگیری علائم و خط‌کشی‌ها بستگی به حجم ترافیک، نوع معبر و اندازه کنترل ترافیک مناسب برای جریان عبور ایمن و کارا دارد. راه‌های شیرانی معمولاً مسیرهای درجه یک به شمار می‌آیند و حجم ترافیک در آنها نسبتاً زیاد است. در این گونه راه‌ها علائم و خط‌کشی‌ها به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. راه‌های محلی، معابری کم اهمیت به حساب می‌آیند که معمولاً حجم ترافیک و سرعت پایینی دارند. در این گونه معابر استفاده از ادوات کنترل ترافیک پیچیده محدود می‌شود.

گرچه ایمنی و کارایی جریان عبور تا حدود زیادی بستگی به طرح هندسی معبر دارد، اما طرح مشخصات آن باید با علائم، به عنوان وسیله‌ای برای اخبار، اخطار و کنترل رانندگان تکمیل شود. نقشه‌های علائم، هماهنگ با مسیر افقی و قائم، موانع دید، سرعت‌ها و حرکات جریان عبور و سایر موارد قابل اعمال، پیش از تکمیل طرح باید تهیه شود.

علائم راه به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند:

- 1- علائم انتظامی: که برای نشان دادن قوانین جابه جایی ترافیک بکار می‌روند.
 - 2- علائم هشداردهنده (اخطاری): شرایطی را که ممکن است برای استفاده‌کنندگان خطر آفرین باشند، نشان می‌دهند.
 - 3- علائم هدایت‌کننده: برای هدایت ترافیک در طول یک مسیر یا به سوی یک مقصد، به کار می‌روند.
- هدف اصلی از روش‌های ذکرشده در کتاب «وسایل یکنواخت کنترل ترافیک»² [6] یکنواختی در کاربرد علائم و سایر وسایل کنترل ترافیک بیان شده است.

1- ADT
1-MUTCD

تعیین محل، شب‌نما کردن و روشن کردن علائم، درخور توجه خاص است. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد طراحی، تعیین محل و کاربرد علائم به کتاب «ادوات یکنواخت کنترل ترافیک» [6] مراجعه شود. با توجه به اینکه احتمال برخورد وسایل نقلیه با پایه‌های علائم وجود دارد، علائم را باید روی سازه‌هایی خارج از ناحیه بدون مانع و یا پشت نرده‌های ایمنی که بمنظور دیگری نصب شده، قرار داد. در صورت عملی نبودن این روش، پایه‌های علائم باید از نوع کمرشکن باشند و یا برای علائم دروازه‌ای بوسیله نرده‌های ایمنی مناسب حفاظت شوند. در «مشخصات استاندارد پایه‌های سازه‌ای برای علائم راه، نورافکن‌ها، و چراغ‌های راهنمایی، آشتو» [64] معیارهایی برای پایه‌های کمرشکن علائم ذکر شده است. از قرار دادن پایه‌ها در پیاده‌روها باید پرهیز شود زیرا باعث سد شدن راه عابران شده و ممکن است برای عابرانی که دارای مشکل بینایی هستند مانع ایجاد کنند.

خط‌کشی‌ها و علائم برجسته نیز همانند دیگر علائم، کار کنترل ترافیک را بمنظور افزایش امنیت و کارایی برعهده دارند. خط‌کشی‌ها و علائم برجسته یا بصورت مکمل علائم انتظامی یا علائم هشدار دهنده‌اند و یا به طور مستقل برای نشان دادن بعضی مقررات یا هشدار نسبت به بعضی شرایط موجود راه به کار می‌روند. خط‌کشی‌های راه و خیابان در سه نوع کلی به کار می‌روند: خط‌کشی‌های رویه، خط‌کشی‌های اجسام و جداکننده‌های خطوط عبور.

خط‌کشی‌های رویه شامل خط‌کشی محور راه، خط‌کشی بین خطوط عبور و خط‌کشی کناره سواره رو است. اینها ممکن است با خط‌کشی‌های دیگری از قبیل خط‌کشی رسیدن به موانع، خط توقف، خط‌کشی عابر پیاده و نیز نقش حروف و نشانه‌های مختلف تکمیل شوند.

موانع فیزیکی را باید از روی معبر یا نزدیک آن جا به جا کرد تا منطقه بدون مانع مناسب، تأمین گردد. اگر جا به جا کردن مانع ممکن نباشد باید با استفاده از رنگ یا مصالح با قابلیت دید بالا آن را مشخص کرد. چنانچه مانع فیزیکی در خط مستقیم ترافیک قرار دارد بهتر است مانع و علامت‌گذاری روی آن بوسیله نورافکن، در شب روشن شود و اگر این کار عملی نباشد باید از شب‌نماهای بازتاب قوی استفاده شود.

جداکننده‌های روی پایه، نوع دیگری از وسایل مشخص کننده‌اند که برای هدایت ترافیک بویژه در شب به کار می‌روند. قطعات شب نما در ارتفاعات و فواصل معین نصب می‌شود تا در صورت وجود تغییر مسیری که ممکن است غلط انداز باشد یا به خوبی واضح نباشد، مسیر راه را مشخص کند. در مورد معیارهای خط‌کشی، روش‌ها، و اصول آن به کتاب «وسایل یکنواخت کنترل ترافیک» [6] مراجعه شود.

چراغ‌های راهنمایی

چراغ‌های راهنمایی وسایلی هستند که برای کنترل ترافیک وسایل نقلیه و عابران پیاده از طریق تخصیص حق تقدم به حرکات مختلف در فواصل زمانی از پیش تعیین شده یا فواصل زمانی تحت فرمان ترافیک به کار می‌رود و یکی از عناصر کلیدی در عملکرد اغلب خیابان‌های شهر و برخی از تقاطع‌های راه‌های برون شهری هستند. به این دلیل، عملکرد برنامه‌ریزی شده چراغ برای تقاطع معابر، باید هماهنگ با طرح باشد تا کارایی بهینه بدست آید. در محل تقاطع‌ها و دسترسی‌ها، باید وضعیت قوس‌های افقی و قائم به لحاظ دید چراغ‌ها، نیازهای عابران پیاده و خصوصیات هندسی مورد توجه دقیق قرار گیرد تا عملکرد چراغ‌ها به صورت کارا و مناسب (مرحله بندی انفرادی) باشد.

چراغ‌ها و هماهنگی ترافیکی بین آنها) تضمین شود. علاوه بر نصب اولیه، نیازهای آتی چراغ نیز باید مورد ارزیابی قرار گیرد، برای کسب اطلاعات بیشتر به MUTCD [6] مراجعه شود.

ترتیب قرارگیری خطوط، در عملکرد نتیجه بخش تقاطع‌های چراغ‌دار بسیار مؤثر است. فاصله عبور عرضی هم برای وسایل نقلیه و هم برای عابران پیاده باید تا حد امکان کوتاه باشد تا زمان واقع شدن در معرض تداخل حرکت‌ها کاهش یابد. بنابراین باید اولین قدم در تعیین وضع هندسی تقاطع، تجزیه و تحلیل کامل تقاضای ترافیک موجود و آینده باشد. نیاز برای تأمین خطوط گردش به چپ و گردش به راست برای حداقل نمودن تداخل ترافیک گردشی با ترافیک عبوری باید به همراه امکان تحصیل حریم اضافی لازم، مورد ارزیابی قرار گیرد. در طول یک راه یا خیابان با تعدادی تقاطع چراغ‌دار، امکان حرکات گردشی باید بررسی شود تا از عملکرد مناسب چراغ دو طرفه اطمینان حاصل شود. در پارکینگ‌های بزرگ به دلیل حجم بالای ترافیک در حال گردش به داخل و یا به خارج پارکینگ، طراحی ورودی و خروجی پارکینگ باید به گونه‌ای انجام شود که عملکرد چراغ‌های ترافیکی تحت تأثیر را آسان نماید.

صداگیرها

با شناسایی اثر نامطلوب سر و صدا بر روی مردمی که در زمین‌های مجاور راه‌ها زندگی یا فعالیت می‌کنند و یا به نحوی از زمین‌ها استفاده می‌کنند، استفاده از صداگیرها به صورت روزافزونی در حال گسترش است. این صداگیرها هم در راه‌های موجود و هم در راه‌های جدید ساخته شده است.

در مورد صداگیرها باید به حد کافی دقت شود که احداث آنها با ضوابط ایمنی راه، هماهنگی داشته باشد. محل قرارگیری صداگیرها باید به گونه‌ای باشد که نصب علائم، امکان پذیر باشد و فاصله آزاد افقی تا موانع بیرون لبه سواره رو، به شرح فصل 4، تأمین گردد. در عین حال، چنین معلوم شده است که تأمین این عرض ممکن است گاهی عملی نباشد، در این موارد باید با رعایت تناسب کارایی در برابر هزینه، حداکثر عرض ممکن تأمین شود. عامل مهم دیگر، طراحی فاصله دید توقف است. چنانچه در محلی، فاصله دید توقف در اثر کارگذاری حفاظ صوتی از مقدار حداقل نشان داده شده در جدول 3-1 کمتر شود باید از نصب صداگیر خودداری نمود. این وضعیت، بویژه وقتی بحرانی می‌شود که محل استقرار صداگیر، در راستای داخل قوس باشد. در بعضی از طرح‌ها از نوعی بتن دارای شکل ایمن، به عنوان جزئی از صداگیر یا به عنوان حفاظ کناری جداگانه راه، در فاصله بین لبه راه و صداگیر، استفاده می‌کنند. در مسیرهای غیر مستقیم، حفاظ بتنی کناری جداگانه، ممکن است حتی در صورتی که خود صداگیر مانع دید نگردد، جلوی دید را بگیرد. در این موارد ممکن است برای تأمین فاصله دید کافی به جای حفاظ‌های کناری بتنی، از حفاظ فلزی استفاده شود.

در مورد نصب صداگیرها در نزدیکی لچکی دو راهی باید دقت لازم به عمل آید. در این محل‌ها، حسب مورد، نصب صداگیر باید حداقل در فاصله 60 متری از دماغه نظری¹، آغاز گردد یا خاتمه یابد. برای کسب اطلاعات بیشتر به فصل 4 بخش کنترل سروصدا مراجعه شود.

حصارکشی

1- Theoretical nose

نهادهای مسئول راه، از حصارکشی، بمنظور مشخص کردن مرز کنترل دسترسی مورد نیاز راه، در مقیاس وسیعی استفاده می‌کنند. هرچند حصارکشی، الزامی نیست ولی می‌تواند باعث کاهش احتمال تجاوز به حریم راه نیز بشود.

در هر بخش از راه‌های دارای کنترل دسترسی کامل می‌توان از حصارکشی استفاده نمود به جز در مناطقی که دارای شیروانی‌های مرتفع یا حصارهای طبیعی باشند و یا در مناطقی که استفاده از حصارکشی برای حفظ کنترل دسترسی لازم نباشد، حصارکشی معمولاً روی مرز حریم یا نزدیک آن انجام می‌شود یا چنانچه راه کناری وجود داشته باشد، در فاصله بین راه مورد نظر و راه کناری قرار می‌گیرد. حصارکشی برای کنترل دسترسی معمولاً در اختیار نهاد مسئول راه است که کنترل نوع و محل حصار را برعهده دارد. در مورد نوع حصار باید ارزان‌ترین نوع متناسب با کاربری املاک مجاور فراهم شود. چنانچه حصار برای کنترل دسترسی لازم نباشد مالکیت آن در اختیار صاحبان املاک مجاور است.

برقراری ترافیک در محدوده‌های تحت عملیات راه‌سازی

برقراری جریان ایمن ترافیک در حین عملیات راه‌سازی باید دقیقاً برنامه‌ریزی و اجرا شود. اگرچه اغلب بهتر است راه انحرافی ایجاد شود، این کار در بسیاری موارد عملی نیست و جریان ترافیک در محدوده تحت عملیات اجرایی، برقرار می‌شود. گاهی خطوط عبور برای انجام ساخت و ساز بسته، جابه‌جا و منحرف می‌شوند. در این صورت طرح‌های کنترل ترافیک باید تأثیر بر جریان ترافیک را با کمینه کردن زمان و تناوب تداخل با جریان ترافیک عادی، به حداقل برسانند. تهیه طرح‌های کنترل ترافیک، بخش ضروری از طراحی کلی پروژه هستند و ممکن است بر طرح خود معبر نیز تأثیر بگذارند. طرح کنترل ترافیک بستگی به طبیعت و وسعت آبادانی (پروژه)، حجم‌های ترافیک، الگوی راه یا خیابان، و ظرفیت راه‌ها و خیابان‌های موجود دارد. طرح مبتنی بر تفکر صحیح و طراحی دقیق، برای جابجایی ترافیک عبوری در محدوده تحت عملیات اجرایی، در جریان ترافیک کارآمد و ایمنی نیروهای شاغل در عملیات، نقش بسزایی دارد. مطلوب آن است که این طرح‌ها از نوعی انعطاف‌پذیری ذاتی برخوردار باشند تا نتواند با تغییرات پیش‌بینی نشده در جدول پیشرفت کار، تأخیرات یا الگوهای ترافیک تطبیق نماید.

هدف از طرح کنترل ترافیک باید فراهم کردن مسیری ایمن برای عبور وسیله نقلیه، دوطرفه، دسترسی کارگران و ترافیک عابر پیاده شامل معلولین، در محدوده عملیاتی و اطراف آن باشد. این هدف باید حتی المقدور با حالتی از وضعیت هندسی و ادوات کنترل ترافیک که با شرایط عادی قابل مقایسه است و فضای کاری مؤثر برای پیمانکار را نیز فراهم کند، همراه باشد. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد استفاده و کاربرد علائم و سایر ادوات کنترل ترافیک در محدوده‌های عملیاتی به کتاب MUTCD [6] مراجعه شود. لازم به تأکید است که باید از اصول MUTCD [6] استفاده کرد و برای هر مورد خاص از کار نقشه و برنامه‌ای فراهم نمود.

تأمین علائم هشدار و ارائه اطلاعات کافی بعد از آن ضروری است تا رانندگان را برای تغییر وضعیت عبور در محدوده عملیات آماده کند. فاصله‌ای که باید حمل نصب این علائم از شروع محل عملیات داشته باشند به سرعت معبر تحت تأثیر عملیات بستگی دارد. بزرگی این علائم نیز با توجه به نیاز به وضوح و تأکید بیشتر و یا نوع راه تغییر می‌کند. انجام عملیات راه‌سازی، بطور مکرر نیازمند تغییر الگوی جریان عبور و از جمله جا به جا کردن خطوط عبوری است که در این صورت حداقل طول لچکی برای تغییر تدریجی خط عبور

در محدوده عملیات را می‌توان از فرمول‌های ذکر شده در MUTCD [6] محاسبه نمود. شکل‌های مختلفی در MUTCD [6] نشان داده شده که باید برای تهیه نقشه‌های کنترل ترافیک از آن استفاده کرد.

از متوقف نمودن ترافیک بوسیله تکان دادن پرچم و یا هر وسیله دیگر تا حد امکان باید خودداری شود. طرح‌هایی که عبور پیوسته از مجاورت محدوده عملیات راه‌سازی را هرچند با سرعت کم، تأمین می‌کند برای رانندگان، قابل قبول و قابل تحمل‌تر از طرح‌هایی است که مستلزم توقف باشد.

چنانچه عملیات اجرایی در کنار ترافیک عبوری باشد باید در صورت امکان، منطقه بدون مانع بین محدوده عملیات و ترافیک عبوری منظور شود. در برخی شرایط، به کارگیری حفاظ فیزیکی توصیه‌پذیر است.

نکات مربوط به جریان ترافیک برای طراحی یک راه انحرافی عبارتند از: سرعت، ظرفیت، مسافت سفر و ایمنی. سرعت، برای راه انحرافی، ممکن است کمتر از مسیر تحت بهسازی باشد ولی باید به اندازه‌ای باشد که بر ظرفیت مؤثر نباشد. وقتی راه یا خیابان موجود به عنوان راه انحرافی مورد استفاده قرار می‌گیرد احجام زیادتری به خود جذب می‌کند که ممکن است نیاز به افزایش ظرفیت این معابر داشته باشد. بطور کلی این افزایش ظرفیت با حذف حرکات گردش مشکل‌آفرین، تغییر مسیر خودروهای عبوری و سنگین، ممنوع کردن توقف، اعمال ممنوعیت بارگیری و باراندازی در ساعات شلوغی، حذف یا تعدیل توقف بعضی از وسایل نقلیه عبوری، هم‌آهنگ کردن زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و گاهی تعریض فیزیکی سواره‌رو، حاصل می‌شود. یک روش مؤثر برای افزایش ظرفیت، ایجاد سیستم انحرافی یک طرفه همراه با ممنوعیت توقف است. مسیر افقی یک راه انحرافی، با مقایسه حجم ترافیک مورد انتظار برای استفاده از مسیر افقی تغییر یافته با ظرفیت محاسبه شده برای سیستم راه انحرافی کنترل می‌شود.

معیار در نزدیکی نقاط دسترسی منطقه عملیات باید به خوبی روشن بوده و خطوط عبور به خوبی مشخص شود. جریان‌بندی ترافیک بوسیله علائم نصب شده بر روی پایه‌های شکننده، خط‌کشی رویه و حفاظ‌های موقت، انجام می‌شود.

محدوده عملیات، راه‌های انحرافی و ارتباط‌های موقت اغلب شامل عوامل هندسی و محیطی راه هستند که ممکن است مستلزم احتیاط و هوشیاری بیشتر از میزان معمول مورد انتظار از رانندگان باشد. رعایت دقت در طرح این محدوده‌ها به لحاظ استفاده از جداکننده‌های خطوط عبور و وسایل هشداردهنده و تعیین منطقه عملیات اجرایی برای پیمانکار، لازم است تا تأثیرپذیری ایمنی رانندگان و کارگران به حداقل برسد. مواردی که در تهیه طرح‌های کنترل ترافیک باید در نظر گرفته شوند عبارتند از:

- مسیر انحرافی که برای ترافیک امکان حرکت ملایم از کنار محدوده عملیات را فراهم سازد. سطح سواره‌رو راه انحرافی اعم از آنکه در محدوده عملیات یا خارج از آن باشد باید در وضعیتی نگهداری شود که ایمنی جریان عبور با سرعت منطقی را تأمین کند.
- لچکی کافی برای کاهش خط عبور یا محل‌هایی که ترافیک، جا به جایی عرضی دارد. در مورد طول‌های مناسب لچکی به MUTCD [6] مراجعه شود.
- در نواحی شهری، مسیرهای انحرافی برای کلیه ترافیک پیاده موجود پیش‌بینی شود. این مسیرها باید شامل معبر عرضی ایمن، سطح هموار و دارای عرض کافی برای استفاده افراد معلول باشند.
- ادوات کنترل ترافیک و خط‌کشی باید، برای ساعات مختلف روز و شب کافی و مؤثر باشد و مصالح خط‌کشی از نوعی باشد که با تغییر الگوی ترافیک بتوان آنها را جابجا نمود.

- روشن کردن راه و چراغ‌های هشداردهنده در محل‌هایی که توجه داشته باشد، استفاده از چراغ‌های همیشه روشن برای مشخص نمودن مسیر عبوری پیوسته در محدوده عملیات یا اطراف آن، چراغ‌های چشمک زن با زمان روشن بودن کوتاه به رانندگان امکان تمرکز بر چراغ و درک عمیق آن را نمی‌دهند. استفاده از چراغ‌های چشمک زن باید منحصر به مشخص کردن شرایط یا شیئی منفرد، مشخص کردن شروع قطعه‌ای با چراغ‌های دائماً روشن و بالاخره برای استفاده با علائم کنترل ترافیک باشد.
- قراردادن مخروط‌ها، جداکننده‌های خطوط عبور، بشکه‌ها، حفاظ‌های ثابت و متحرک برای ترافیک جریان‌بندی شده، در صورتی که وضعیت خاصی وجود داشته باشد یا آنکه در روی نقشه‌های استاندارد مشخص شده باشد.
- تدوین روش‌های مربوط به جابه‌جا کردن علائم و خط‌کشی‌ها از کارگاه پس از رفع نیاز، چنانچه این روش‌ها در مشخصات پیش‌بینی نشده باشد.
- بجز در شرایط و وضعیت‌های کم‌اهمیت، ماشین‌آلات پیمانکار در هنگام شب تعطیلات آخر هفته یا مواقعی که به آنها نیاز نیست، باید به خارج از سواره‌روها میانه و شانه‌ها انتقال یابد. در مواردی که این انتقال، عملی نباشد، باید از علائم مناسب، روشن کردن محل ماشین‌آلات، حفاظ‌های متحرک و ثابت و وسایل مشابه برای حفاظت رانندگان از تصادفات با ماشین‌آلات، استفاده شود. در عین حال نباید اجازه انبار کردن مصالح خطر آفرین در روی راه‌ها، میانه‌ها یا شانه‌ها و نزدیک به جریان ترافیک، داده شود.
- درج قیودی در نقشه‌ها یا تعیین مشخصاتی برای کنترل یا منع توقف خودروهای شخصی کارکنان عملیات اجرایی در محل‌هایی از پروژه که ممکن است با ایمنی کارگران و ترافیک عبوری، در تعارض باشد.

منابع:

- 1- Johansson, G., and K. Rumar. "Driver' Brake Reaction Times," *Human Factors*, Vol. 13, No. 1, February 1971: 23-27.
- 2- Massachusetts Institute of Technology. *Report of the Massachusetts Highway Accident Survey*, CWA and ERA project, Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1935.
- 3- Norman, O. K. "Braking Distances of Vehicles from High Speeds," *Proceedings HRB*, Vol. 22, Highway Research Board, 1953: 421-436.
- 4- Fambro, D. B., K. Fitzpatrick, and R. J. Koppa. *Determination of Stopping Sight Distances*, NCHRP Report 400, Washington, D. C.: Transportation Research Board, 1997.
- 5- AASHTO. *Guidelines for Skid Resistant Pavement Design*, Washington, D. C.: AASHTO, 1976.
- 6- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. *Manual on Uniform Traffic Control Devices for*



- Streets and Highways*, Washington, D. C.: 1988 or most current edition.
- 7- Alexander, G. J., and H. Lunenfeld. *Positive Guidance in Traffic Control*, Washington, D. C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1975.
 - 8- King, G. J., and H. Lunenfeld. *Development of Information Requirements and Transmission Techniques for Highway Users*, NCHRP Report 123, Washington, D. C.: Transportation Research Board, 1971.
 - 9- McGee, H. W., W. Moore, B. G. Knapp, and J. H. Sanders. *Decision Sight Distance for Highway Design and Traffic Control Requirements*, Report No. FHWA-RD-78-78, McLean, Virginia: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, February 1978.
 - 10- Robinson, G. H., D. J. Erickson, G. L. Thurston, and R. L. Clark. "Visual Search by Automobile Drivers," *Human Factors*, Vol. 14, No. 4, August 1972: 315-323.
 - 11- Prisk, C. W. "Passing Practices on Rural Highway," *Proceedings HRB*, Vol. 21, Highway Research Board, 1941: 366-378.
 - 12- Weaver, G. D., and J. C. Glennon. *Passing Performance Measurements Related to Sight Distance Design*, Report 134-6, College Station, Texas: Texas Transportation Institute, Texas A&M University, July 1971.
 - 13- Weaver, G. D., and D. L. Woods. *Passing and No-Passing Signs, Marking, and Warrants*, Report No. FHWA-RD-79-5, Washington, D. C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, September 1978.
 - 14- Transportation Research Board. *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, Washington, D. C.: Transportation Research Board, 2000 or most current edition.
 - 15- Harwood, D. W., J. M. Mason, R. E. Brydia, M. T. Pietrucha, and G. L. Gittings. *Intersection Sight Distance*, NCHRP Report 383, Washington, D. C.: Transportation Research Board, 1996.
 - 16- Moyer, R. A. "Skidding Characteristics of Automobile Tires on Roadway Surfaces and Their Relation to Highway Safety," *Bulletin No. 120*, Ames, Iowa Engineering Experiment Station, 1934.
 - 17- Stonex, K. A., and C. M. Noble. "Curve Design and Tests on the Pennsylvania Turnpike," *Proceedings HRB*, Vol. 20, Highway Research Board, 1940: 429-451.
 - 18- Moyer, R. A., and D. S. Berry. "Marking Highway Curves with Safe Speed Indications." *Proceedings HRB*, Vol. 20, Highway Research, 1940: 399-428.



- 19- Barnett, J. "Safe Side Friction Factors and Superelevation Design," *Proceedings HRB*, Vol. 16, Highway Research Board, 1936: 69-80.
- 20- Bonneson, J. A. *Superelevation Distribution Methods and Transition Designs*, NCHRP Project 439, Washington, D. C.: Transportation Research Board, 2000.
- 21- Hajela, G. P. Comiler, *Resume of Tests on Passenger Cars on Winter Driving Surfaces*, 1939-1966, Chicago: National Safety Council, Committee on Winter Driving Hazards, 1968.
- 22- MacAdam, C. C., P. S. Fancher, and L. Segal. *Side Friction for Superlevation on Horizontal Curves*, Report No. FHWA-RD-86-024, McLean, Virginia: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, August 1985.
- 23- Tunnard, C., and B. Pushkarev. *Man Made America: Chaos or Control?* New Haven: Yale University Press, 1963.
- 24- Barnett, J. *Transition Curves for Highways*, Washington, D. C.: Federal Works Agency, Public Roads Administration, 1940.
- 25- Shortt, W. H. "A Practical Method for Improvement of Existing Railroad Curves," *Proceedings Institution of Civil Engineering*. Vol. 76, London: Institution of Civil Engineering, 1909: 97-208.
- 26- Bureau of Public Roads. *Study of Speed Curvature Relations of Pentagon Road Network Ramps*, Unpublished data, Washington, D. C.: Federal Works Agency, Public Roads Administration, 1954.
- 27- Cysewski, G. R. "Urban Intersectional Right Turning Movements," *Traffic Engineering*, Vol. 20, No. 1, October 1949: 22-37.
- 28- George, L. E. "Characteristics of Left-Turning Passenger Vehicles," *Proceedings HRB*, Vol. 31, Highway Research Board, 1952: 374-385.
- 29- Harwood, D. W., J. M. Mason, W. D. Glauz, B. T. Kulakowski, and K. Fitzpatrick. *Truck Characteristics for Use in Highway Design and Operation*, Report No. FHWA-RD-89-226, McLean, Virginia: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, August 1990.
- 30- *Offtracking Characteristics of Trucks and Truck Combinations*, Research Committee Report No. 3, San Francisco, California: Western Highway Institute, February 1970.
- 31- AASHTO. *Standard Specifications for Highway Bridges*, Washington, D. C.: AASHTO, 2002.
- 32- Raymond, Jr. W. L. "Offsets to Sight Obstructions Near the Ends of Horizontal Curves," *Civil Engineering*, ASCE, Vol. 42, No. 1, January 1972: 71-72.



- 33- Taragin, A. "Effect of Length of Grade on Speed of Motor Vehicles," *Proceedings HRB*, Vol. 25, Highway Research Board, 1945: 342-353.
- 34- Willey, W. E. "Survey of Uphill Speeds of Trucks on Mountain Grades," *Proceedings HRB*, Vol. 29, Highway Research Board, 1949: 304-310.
- 35- Huff, T. S., and F. H. Scrivner. "Simplified Climbing-Lane Design Theory and Road-Test Results," *Bulletin 104*, Highway Research Board, 1955: 1-11.
- 36- Schwender. H. C., O. K. Normann, and J. O. Granum. "New Method of Capacity Determination for Rural Roads in Mountainous Terrain," *Bulletin 167*, Highway Research Board, 1957: 10-37.
- 37- Hayhoe, G. F., and J. G. Grundmann. *Review of Vehicle Weight/Horsepower Ratio as Related to Passing Lane Design Criteria*, Final Report of NCHRP Project 20-7(10), University Park, Pennsylvania: Pennsylvania State University, October 1978.
- 38- Gillespie, T. *Methods for Predicting Truck Speed Loss and Grades*, Report No. FHWA/RD-86-059, McLean, Virginia: U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, October 1986.
- 39- Fancher, Jr., P. S., and T. D.: Gillespie. *Truck Operating Characteristics*, NCHRP Synthesis of Highway Practice 241, Washington, D. C.: Transportation Research Board, 1997.
- 40- Walton. C. M. and C. E. Lee. *Speed of Vehicles on Grades*, Research Report 20-1F, Austin, Texas: Center for Highway Research, University of Texas at Austin, August 1975.
- 41- Glennon, J. C. "An Evaluation of Design Criteria for Operating Trucks Safety on Grades," *Highway Research Record 312*, Highway Research Board, 1970:93-112.
- 42- Harwood, D. W., and C. J. Hoban. *Low Cost Methods for Improving Traffic Operations on Two-Lane Roads*, Report No. FHWA-IP-87-2, McLean, Virginia: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1987.
- 43- Harwood, D. W., and A. D. St. John. *Passing Lanes and Other Operational Improvements on Two-Lane Highway*, Report No. FHWA/RD-85/028. McLean, Virginia: Federal Highway Administration, December 1985.
- 44- Witheford, D. K. *Truck Escape Ramps*, NCHRP Synthesis of Highway Practice 178, Washington, D. C.: Transportation Research Board, May 1992.



- 45- *Grade Severity Rating System Users Manual*, Report No. FHWA-IP-88-015, McLean, Virginia: Federal Highway Administration, August 1989.
- 46- Institute of Transportation Engineers. *Truck Escape Ramps, Recommended Practice*, Washington, D. C.: Institute of Transportation Engineers, 1989.
- 47- Cron, F. W. "The Art of Fitting the Highway to the Landscape," in W. B. Snow, ed., *The Highway and the Landscape*, New Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press, 1959.
- 48- Leisch, J. E. *Application of Human Factors in Highway Design*, Unpublished paper presented at AASHTO Region 2 meeting, June 1975.
- 49- AASHTO. *A Guide for Transportation Landscaps and Environmental Design*, Washington, D. C.: AASHTO, 1991.
- 50- Smith, B. L., Lamm, Ruediger. "Coordination of Horizontal and Vertiacal Alignment with Regard to Highway Aesthetics," Transportation Research Record 1445, *Transportation Research Board*, 1994.
- 51- "Roads," Chapter Four in *National Forest Landscape Management*, Vol. 2, Forest Service, U. S. Department of Agriculture, March 1977.
- 52- *Practical Highway Aesthetics*. New York, ASCE, 1977.
- 53- *Design Cuidelines for the Control of Blowing and Drifting Snow*, Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1994.
- 54- AASHTO. *Highway Drainage Guidelines*, Vols. 1-11, Washington, D.C.: AASHTO, 1993.
- 55- AASHTO. *Model Drainage Manual*, Washington, D.C.: AASHTO, 2004.
- 56- Federal Highway Administration computer software and publications are available from McTRANS, 512 Weil Hall, University of Florida, Gainesvills, Florida 32611-2083. Phone (904) 392-0378 of PC-TRANS, 2011 Learned Hall, University of Kansas, Lawrence, Kansas, 66045. Telephone (913) 864-3199.
HY 7. *Bridge Waterways Analysis Model*, (WSPRO), 1998. WSPRO Research Report.
FHWA-RD-86-108, NTIS PB87-216107, WSPRO Users Manual (Version P60188),
1990. FHWA-IP-89-27, NTIS PB218420.
HY 8. *FHWA Culvert Analysis* (Version 6.1) 1999. Research Report (Version 1.0), 1987.
HY 8 Applications Guide, 1987, FHWA-ED-87-101.
HY 22, Urban Drainage Design Program, Version 2.1, 1998.



- HYDRAIN. Drainage Design System* (Version 6.1), 1998.
- HYDRAIN Userss Manual*, 1999.
- 57- Richardson, E. V., et at. *Highways in the River Environment: Hydraulic and Environmental Design Considerations*, Prepared by the Civil Engineering Department, Engineering Research Center, Colorado State University for the U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Washington, D. C.: February 1990.
- 58- Federal Highway Administration Publications, Hydraulic Design Series (HDS) and Hydraulic Engineering Circulars (HEC). Washington. D.C.: U.S. Department of Transportation. Availble from National Technical Information Service (NTIS), 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161. Telephone (703) 487-4650:
- HDS 1. *Hydraulics of Bridge Waterways*, 1978. FHWA-EPD-86-101. NTIS PB86-181708.
- HDS 2. *Highway Hydrology* (SI), 1996. FHWA-SA-96-067, NTIS PB97-134290.
- HDS 3. *Design Charis for Open-Channel Flow*, 1961. FHWA-IP-65-15. NTIS PB86-196961.
- HDS 4. *Introduction to Hydroulics* (SI), 1997. FHWA-HI-97-028. NTIS PB97-186761.
- HDS 5. *Hydraulic Design of Highway Culverts*, 1985. FHWA-IP-65-15. NTIS PB86-196961.
- HEC 9. *Debris-Control Structures*, 1971. FHWA-EPD-86-106. NTIS PB86-179801.
- HEC 11. *Design of Riprap of Riprap Revetments*, 1989, FHWA-IP-89-0106. NTIS PB89-218424.
- HEC 12. *Drainage of Highway Pavements*, 1984. FHWA-TS-84-202. NTIS PB84-215003.
- HEC 14. *Hydraulic Design of Energy Dissipaters for Culverts and Channels*, 1983. FHWA-EPD-86-110. NTIS PB86-180205.
- HEC 15. *Design of Roadside Channels with Felxible Linings*, 1988. FHWA-IP-87-7. NTIS PB89-122584.
- HEC 17. *Design of Encroachments on Flood Plains Using Risk Analysis*, 1981. FHWA EPD86-112. NTIS PB86-182110.
- HEC 18. *Evaluating Scour at Bridges*, 1995. FHWA-HI-96-302. NTIS PB96-163498.
- HEC 20. *Stream Stability at Highway Structures*, Edition 2, (SI), 1995. FHWA-HI-96-032-NTIS PB96-163480.
- HEC 21. *Bridge Deck Drainage Systems*, 1993. FHWA-SA-92-010. THIS PB94-109584.
- HEC 22. *Urban Drainge Design Manual* (SI), 1996. FHWA-SA-96-078. NTIS PB97-199491.



- HEC 23. *Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures* (SI), 1997. FHWA-HI-97-030. NTIS PB97-199491.
- 59- AASHTO. *A Guide for Development of Rest Areas on Major Arterials and Freeways*, Washington, D. C.: AASHTO, 2001.
- 60- AASHTO. *An Informational Guide for Roadway Lighting*, Washington, D. C.: AASHTO, 1984.
- 61- AASHTO. *A Policy on the Accommodation of Utilities within Freeway Right-of- Way*, Washington, D. C.: AASHTO, 1994.
- 62- AASHTO. *A Guide for Accommodation Utilities within Freeway Right-of- Way*, Washington, D. C.: AASHTO, 1994.
- 63- AASHTO. *Roadside Design Guide*, Washington, D. C.: AASHTO, 2002.
- 64- AASHTO. *Standard Specifications for Structural Supports for Highway Singn, Luminaires, and Traffic Signals*, Washington, D. C.: AASHTO, 2001.
- 65- Brudis and Associates, Inc. *Adivisoty Speeds on Maryland Roads*, Hanover, Maryland: Maryland Department of Transportation, Office and Safety, August 1999.