

خصوصیات کاربران راه و وسایل نقلیه

به منظور آشنایی با جنبه‌های عملی و کاربردی ترافیک در خیابانها و بزرگراهها، درک چگونگی تأثیر اجزای مختلف یک سیستم ترافیک از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. همچنین خصوصیات جریانهای ترافیک به شدت از خصوصیات و محدودیتهای هر یک از این اجزا تأثیر می‌پذیرد. پنج جزء اصلی که در یک سیستم ترافیک تحت تأثیر متقابل قرار دارند، عبارتند از:

- کاربران راه (رانندگان، عابران پیاده، دوچرخه سواران و مسافران)
 - وسایل نقلیه (خصوصی و تجاری)
 - خیابانها و بزرگراهها
 - تجهیزات کنترل ترافیک
 - محیط اطراف
- این فصل شامل مروری بر خصوصیات مهم کاربران راه و وسایل نقلیه می‌باشد.

۴-۱-۱- رسیدگی به تنوع:

در صورتی که اجزای مختلف سیستم ترافیک خصوصیات مشابهی داشتند، وظایف مهندسی ترافیک بسیار ساده‌تر بود. اگر کلیه رانندگان دقیقاً به یک شیوه نسبت به تجهیزات کنترل ترافیک واکنش نشان می‌دادند، طراحی آنها به راحتی انجام می‌شد. اگر کلیه وسایل نقلیه از ابعاد، وزن و خصوصیات عملکردی مشابهی برخوردار بودند، ایمنی با راحتی بیشتری حاصل می‌شد. لیکن رانندگان و سایر کاربران راه از خصوصیتی با تنوع وسیع برخوردار می‌باشند. مهندس ترافیک باید رانندگان مسن و رانندگان ۱۸ ساله، رانندگان پرخاشگر و رانندگان محجوب و رانندگانی که در داخل و بیرون وسایل نقلیه‌شان دچار سردرگمی و حواس پرتی بسیار هستند، را مورد رسیدگی قرار دهد. موضوعات ساده‌ای نظیر زمان عکس‌العمل، خصوصیات بینایی و سرعت پیاده‌روی به دلیل عدم تشابه کاربران راه، بسیار پیچیده می‌شوند.

اغلب خصوصیات انسانی از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. برای مثال، اغلب عابران پیاده با سرعتی بین ۰/۹ تا ۱/۴ متر بر ثانیه از عرض خیابان عبور می‌کنند. در عین حال عابران پیاده‌ای نیز وجود دارند که تندتر و یا کندتر قدم می‌زنند. توزیع نرمال نسبت‌هایی از جمعیت را که احتمال دارد در این محدوده ها قرار گیرند، مشخص می‌کند. با توجه به این تجزیه، طراحی سیستم بر اساس میانگین هر مشخصه روش مناسب و عملی نمی‌باشد. برای مثال اگر یک چراغ راهنمایی به گونه‌ای زمان بندی شود که با میانگین سرعت حرکت عابران پیاده از عرض خیابان منطبق باشد، حدود نیمی از کل عابران پیاده که با سرعتی کمتر قدم می‌زنند در معرض مخاطرات غیر قابل توجیه قرار می‌گیرند.

از اینرو اغلب استانداردها با مشخصه ۸۵ درصد (یا ۱۵ درصد) هماهنگ می‌شوند. بطور کلی مشخصه درصدی، مقداری از یک توزیع می‌باشد که درصد معینی از جمعیت خصوصیتی کمتر و یا معادل آن مقدار را دارند. برای مثال در مورد سرعت پیاده‌روی ملاحظات ایمنی ایجاب می‌نماید که با نیاز عابران کندتر هماهنگ شویم. لذا سرعت پیاده‌روی ۱۵ درصد که تنها ۱۵ درصد از کل جمعیت با سرعت کمتر از آن قدم می‌زنند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جایی که زمان عکس‌العمل راننده مورد توجه باشد، مشخصه ۸۵ درصد که ۸۵ درصد از جمعیت به لحاظ عددی زمان عکس‌العمل مساوی و یا کمتر از این مقدار را دارند، استفاده می‌شود. این نگرش به روشها و اسلوب‌هایی از طراحی منتهی می‌شود که با اطمینان نیاز ۸۵ درصد از جمعیت را در نظر می‌گیرند.

اما ۱۵ درصد باقی مانده چه می‌شود؟ یکی از خصوصیات توزیع‌های نرمال این است که دو سر منتهی‌الیه توزیع (۱۵ درصد حداکثر و حداقل) به سمت مثبت و منفی بی‌نهایت میل می‌کند. ۱۵ درصد حداکثر و حداقل یک توزیع، در عمل نماینده مقادیر بسیار نامتعارفی است که نمی‌تواند به طور مؤثر در روشهای طراحی لحاظ گردد. از اینرو وجود کاربرانی که ممکن است از خصوصیات خارج از محدوده ۸۵ درصد (یا ۱۵ درصد) برخوردار باشند، به صورت کیفی بررسی می‌شود و اغلب روشها و معیارهای استاندارد مستقیماً آنها را در نظر نمی‌گیرند.

مشابه تنوع خصوصیات کاربران راه، خصوصیات وسایل نقلیه نیز به صورت گسترده‌ای تغییر می‌کند. بزرگراه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند تا با نیاز موتورسیکلتها، انواع خودروهای سواری و دامنه وسیعی از وسایل نقلیه تجاری شامل کامیونهای ترکیبی یک‌کش (دو یکد و سه یکد) هماهنگ باشند. لذا به عنوان مثال عرض خط باید با بزرگترین وسیله نقلیه‌ای که انتظار می‌رود از تسهیلات استفاده کند، مطابقت نماید.

بواسطه ضوابط اخذ گواهینامه و استانداردهای کشوری و اتحادیه‌ای در طراحی وسیله نقلیه و خصوصیات عملکردی، محدودیتهای عمده‌ای بر روی دامنه خصوصیات کاربران راه و وسایل نقلیه اعمال می‌شود. با این وجود مهندس ترافیک هنوز باید محدوده‌ای وسیع از خصوصیات کاربران راه و وسایل نقلیه را مورد رسیدگی قرار دهد.

۴-۱-۲- ساماندهی به تنوع از طریق یکنواختی

هرچند مهندسان ترافیک کنترل ناچیزی بر خصوصیات راننده و وسیله نقلیه دارند، با این وجود طراحی سیستمهای جاده‌ای و تجهیزات کنترل ترافیک اصلی‌ترین بخش مسئولیت حرفه‌ای آنها می‌باشد. در هر دو مورد روشهای مورد استفاده نیازمند تشابه و همسانی زیادی هستند. جاده‌های با طبقه‌بندی و عملکرد مشابه باید ظاهری آشنا برای رانندگان داشته باشد، تجهیزات کنترل ترافیک باید تا حد امکان متحد الشکل باشند. مهندسان ترافیک تلاش می‌کنند تا اطلاعات را به شگردهای مشابه در اختیار رانندگان قرار دهند. حال هرچند این امر متضمن عکس‌العملهایی یکسان از سوی رانندگان نمی‌شود، با این وجود زمانی که آنها، با علائم و رهنمودهایی که مهندسان ترافیک در داخل سیستم طراحی می‌کنند، مأنوس و آشنا شوند، حداقل محدوده رفتاریشان تنگ‌تر می‌شود.

۴-۲- کاربران راه:

انسانها موجودات پیچیده‌ای هستند و دامنه وسیع خصوصیات آنها می‌تواند بر فعالیت رانندگی تأثیر بگذارد. در سیستمی که راننده به طور کامل کنترل عملکرد وسیله نقلیه را در دست دارد، یک مهندس ترافیک خوب، نیازمند آشنایی کامل با خصوصیات راننده است. قسمت عمده‌ای از کار مهندسان ترافیک شامل یافتن شگردهای روشن برای در اختیار قرار دادن اطلاعات به رانندگان می‌باشد، روش مؤثری که عکس‌العمل‌های ایمن و مناسبی را در پی داشته باشد. عوامل تیزبینی و فرآیند عکس‌العمل، بیشترین اهمیت را در میان خصوصیات راننده دارا می‌باشند. فصل مشترک این دو خصوصیت را می‌توان به این

صورت بیان نمود که در اغلب موارد عکس‌العمل نشان دادن به علائم رانندگی نیازمند استفاده از بینایی می‌باشد، آشنایی با نحوه دریافت و ارزیابی اطلاعات، عاملی کلیدی در طراحی جاده‌ها و تجهیزات کنترل می‌باشد.

شنوایی یکی دیگر از خصوصیات با اهمیتی است که عامل مهمی در فعالیت رانندگی محسوب می‌گردد (شنیدن بوق، آژیر آمبولانس اورژانس، صوت ممتد ترمزها و ...). علی‌رغم اینکه توجه به این خصوصیت حائز اهمیت است، لیکن هنگامی که رانندگان کم شنوا و یا حتی ناشنوا گواهینامه دریافت می‌کنند، هیچ عامل ترافیکی نمی‌تواند بر اساس علائم صوتی طراحی شود.

در گذشته توانایی جسمی نیز دارای اهمیت بود. لیکن به عنوان یک پیامد مهم، تکامل تدریجی سیستمهای خودکار فرمان و ترمز این خصیصه را بجز برای رانندگان مجرب کامیونها، اتوبوسها و سایر وسایل نقلیه سنگین، برطرف نموده است. شایان ذکر است که روان‌شناسی و شخصیت راننده یکی از مهمترین عوامل انسانی تأثیرگذار بر فعالیت رانندگی می‌باشد. با این وجود سنجش این عامل به آسانی امکان پذیر نیست و رسیدگی به آن در طراحی دشوار است. چنین عاملی اصولاً از طریق روشهای اجرایی و صدور مجوز مورد رسیدگی قرار می‌گیرد و سعی می‌شود رانندگانی را که در فواصل متناوب رفتارهای نامناسب را به شکل بروز تصادف و تکرار تخلف ابراز می‌نمایند، حذف و یا محدود کنند.

۴-۲-۱- خصوصیات بینایی رانندگان:

به هنگام مراجعه رانندگان برای اخذ اولیه و یا تمدید گواهینامه از آنها خواسته می‌شود تا آزمایش چشم انجام دهند. این آزمایش با نظارت اداره راهنمایی و رانندگی استان و یا بینایی سنج و چشم پزشک معتمدی که فرم مخصوصی را برای راهنمایی و رانندگی تکمیل می‌کند، انجام می‌شود. روش انجام آزمایش عبارت است از قرائت تمرینهای یک نمودار استاندارد که تیزبینی استاتیک را می‌سنجد، به عبارت دیگر این پارامتر بیانگر توانایی دید واضح اجسام در حالت سکون می‌باشد.

« عوامل دید در رانندگی:

علی‌رغم اهمیت تیزبینی استاتیک، این خصوصیت تنها عامل دید مطرح در فعالیت رانندگی محسوب نمی‌شود. کتاب راهنمای مهندسی ترافیک [۱] خلاصه بسیار خوبی از عوامل دید مطرح در رانندگی را ارائه می‌نماید که در جدول (۴-۱) نشان داده شده است. بسیاری از عوامل ارائه شده در جدول (۴-۱) بیانگر طبیعت دینامیکی فعالیت رانندگی بوده و این واقعیت را منعکس می‌سازند که اکثر اشیاء رویت شده بوسیله رانندگان نسبت به چشمان راننده در حرکت نسبی می‌باشند. تیزبینی استاتیک که به عنوان پیشنهاد صدور یک گواهینامه رانندگی معاینه می‌گردد، تنها یکی از عوامل متعدد دید می‌باشد. لذا مهندسان ترافیک باید تنوع قابل ملاحظه‌ای را در بسیاری از دیگر خصوصیات دید رانندگان پیش‌بینی نموده و مورد رسیدگی قرار دهند.

« میدانهای دید:

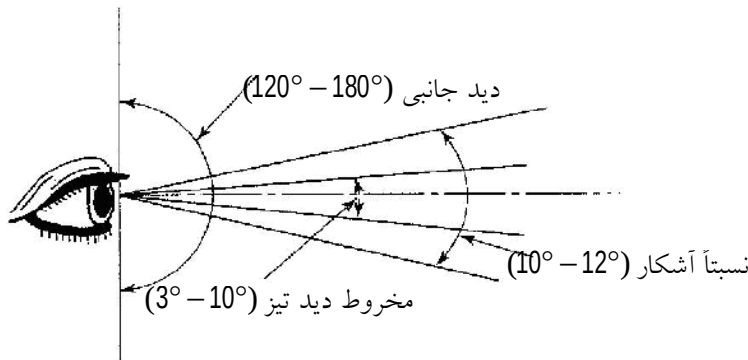
شکل (۴-۱) سه میدان دید متمایز را که هر یک در فعالیت رانندگی حائز اهمیت می‌باشند. نشان می‌دهد [۲]:

- مخروط دید تیز یا آشکار: ۳ تا ۱۰ درجه پیرامون خط دید؛ علائم تنها درون این میدان دید محدود قابل خواندن هستند.
- مخروط دید نسبتاً آشکار: ۱۰ تا ۱۲ درجه پیرامون خط دید؛ رنگ و شکل می‌تواند در این میدان تشخیص داده شود.

جدول (۴-۱): عوامل دید در فعالیت رانندگی

نمونه‌ای از فعالیت رانندگی مرتبط	تعریف	عامل دید
تغییر تمرکز دید از نمایشگرهای داشبورد به سوی جاده	تغییر در شکل عدسی چشم برای متمرکز کردن تصاویر در کانون	تطابق
خواندن علائم ترافیکی فواصل دور	توانایی دیدن جزئیات کوچک به صورت واضح	تیزبینی استاتیک
سازگاری با تغییرات نور بمحض ورود به تونل	تغییر در حساسیت نسبت به شدت‌های مختلف نور	سازگاری
تشخیص سرعت وسایل نقلیه‌ای که مسیر راننده را قطع می‌کنند	مشاهده اشیائی که از عرض میدان دید عبور می‌کنند	حرکت زاویه‌ای
تشخیص سرعت وسیله نقلیه نزدیک شونده	تشخیص تغییرات بوجود آمده در اندازه تصویر در معرض دید	حرکت در عمق
تشخیص رنگ چراغ‌های راهنمایی	تمایز بین رنگ‌های مختلف	رنگ
تشخیص عابران پیاده با لباس‌های تیره در شب	رویت اشیائی که درخشندگی آنها با زمینه مشابه است	حساسیت به اختلاف شدت فروزدگی
سبقت در راه‌های دوطرفه با ترافیک نزدیک‌شونده از روبرو	تخمین فاصله اشیاء	درک عمقی
خواندن علائم ترافیکی در حال حرکت	توانایی رویت اشیائی که نسبت به چشم در حرکت نسبی هستند	تیزبینی دینامیک
بررسی محیط جاده برای اطلاع از اتفاقات و خطرات	تغییر جهت از نگاه ممتد	چرخش چشم
کاهش عملکرد دید به علت تابش خیره‌کننده چراغ جلو	توانایی مقاومت و تجدید توازن از اثرات تابش خیره‌کننده	حساسیت به تابش خیره کننده
مشاهده یک دوچرخه در حال عبور از سمت چپ	تشخیص اشیاء در طرفین میدان دید	دید پیرامونی

- دید جانبی (پیرامونی): این میدان ممکن است تا بیش از ۹۰ درجه در چپ و راست محور مردمک چشم و بیش از ۶۰ درجه در بالا و ۷۰ درجه در پایین خط دید گسترش یابد. اشیاء ساکن عموماً در میدان دید جانبی رویت نمی‌شوند، اما حرکت اشیاء از طریق این میدان نمایان می‌شود.



شکل (۴-۱): تصویر میدانهای دید

میدانهای دید فوق برای یک فرد ساکن تعریف می‌شوند. برای مثال هنگامی که سرعت افزایش می‌یابد، میدان دید جانبی محدود می‌شود به گونه‌ای که در سرعت ۳۲ km/h به ۱۰۰ درجه و در سرعت ۹۶ km/h به ۴۰ درجه کاهش می‌یابد. میدانهای دید برخی از شیوه‌های مهندسی ترافیک و کارآیی آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای مثال، علائم ترافیکی به گونه‌ای درون میدان دید آشکار قرار داده می‌شوند که بدون نیاز به تغییر خط دید رانندگان قابل خواندن باشند. از اینرو این علائم معمولاً درون یک دامنه ۱۰ درجه‌ای از خط دید مورد انتظار راننده که فرض می‌شود با محور جاده در یک امتداد قرار دارد، نصب می‌شوند.

۴-۲-۲ - نارسایی‌های مهم دید:

برخی از مسائل مرتبط با بینایی می‌تواند رفتار و عملکرد راننده را تحت تأثیر قرار دهد. در بیشتر موارد رانندگان تحت تأثیر نارسایی‌های مختلف دید به رانندگی ادامه می‌دهند، مگر شرایط ب گونه‌ای باشد که یک ناتوانی شدید در بینایی بوجود آید. مرجع شماره ۳ مرور و بحث بسیار خوبی را پیرامون این موضوع در بر دارد.

برخی از متداولترین مسائل شامل آب مروارید، آب سیاه (کوری تدریجی)، نارسایی‌های دید جانبی، ناهماهنگی ماهیچه‌های چشم، نارسایی‌های عمق تشخیص و کور رنگی می‌باشند. رانندگانی که برای اصلاح هر یک از این مسائل جراحی چشم انجام می‌دهند، ممکن است به طور موقت یا دائمی دچار اختلالهایی در دید شوند. بیماریهای دیگری نظیر دیابت (مرض قند)، در صورت عدم کنترل می‌تواند اثرات منفی قابل توجهی بر بینایی داشته باشد. برخی از عارضه‌ها نظیر آب مروارید و آب سیاه در صورت عدم درمان می‌تواند به کوری منجر شود.

کوررنگی که در این بین بدترین عارضه محسوب نمی‌شود، معمولاً مشکلات متعددی را برای رانندگان مبتلا ایجاد می‌نماید زیرا رنگ، یکی از ابزارهای مهم بیان اطلاعات می‌باشد. متأسفانه یکی از شایع‌ترین نوع کوررنگی ناتوانی در تشخیص تفاوت بین سبز و قرمز می‌باشد. این مسئله می‌تواند در چراغهای راهنمایی اثر نامطلوبی بر ایمنی چنین رانندگانی داشته باشد. برای اینکه این مشکل تا حدودی اصلاح شود، مقداری رنگ دانه آبی به چراغهای سبز و مقداری رنگ دانه زرد به چراغهای قرمز اضافه می‌گردد و به این ترتیب تشخیص آنها بوسیله رانندگان مبتلا به کوررنگی ساده‌تر می‌شود. همچنین موقعیت رنگها در فانوسهای چراغ راهنمایی دیر زمانی است که استاندارد شده است. در فانوسهای قائم، رنگ قرمز در بالا و رنگ سبز در پایین و در فانوسهای افقی، رنگ قرمز در سمت چپ و رنگ سبز در سمت راست قرار دارد.

۴-۲-۳ - زمان مشاهده و عکس العمل

دومین خصوصیت بسیار مهم راننده، زمان مشاهده و عکس العمل (PRT) می باشد. در طی زمان مشاهده و عکس العمل، راننده باید ۴ فرآیند متفاوت را انجام دهد [۴]:

- **دریافت:** در این مرحله، یک شی یا وضعیت نگران کننده در میدان دید راننده ثبت می شود و راننده از روی آگاهی متوجه چیزی می شود که هم اکنون نیازمند یک واکنش است.
- **شناسایی:** در این مرحله راننده اطلاعات کافی پیرامون شی یا وضعیت را بدست می آورد تا ملاحظات یک واکنش مناسب را تصویب نماید.
- **تصمیم گیری:** هنگامی که شناسایی شی یا وضعیت به صورت کامل انجام شد، راننده باید اطلاعات را تجزیه و تحلیل نماید و درباره چگونگی واکنش تصمیم بگیرد.
- **واکنش:** پس از دستیابی به یک تصمیم، واکنش به صورت فیزیکی توسط راننده انجام می گردد.

کل زمانی که این فرآیندها به طول می انجامد، زمان مشاهده و عکس العمل (PRT) نامیده می شود. در برخی از متون، ۴ مرحله فوق به صورت مشاهده - شناسایی - احساس و اراده بیان می شود و اصطلاح زمان PIEV مورد استفاده قرار می گیرد. در این کتاب اصطلاح PRT مورد استفاده قرار می گیرد. لیکن خواننده باید بداند که این اصطلاح معادل زمان PIEV می باشد.

«مقادیر طراحی:

نظیر همه خصوصیات انسانی، با تغییرات عوامل دیگر شامل نوع و پیچیدگی رویداد درک شده و شرایط محیطی در زمان واکنش، زمان مشاهده و عکس العمل نیز به صورت گسترده در بین رانندگان تغییر می کند.

با این وجود، برای کاربردهای مختلف باید مقادیر طراحی انتخاب شود. دستورالعملهای AASHTO بر مبنای برخی مطالعات تحقیقاتی [۶ و ۹] برای اغلب محاسباتی که شامل عکس العملهای ترمز می باشند مقدار ۲/۵ ثانیه را بکار می برد [۵]. چنین فرض می شود که این مقدار به طور تقریبی یک مشخصه ۹۰ درصد می باشد (به این معنی که ۹۰ درصد از کل رانندگان زمان PRT برابر یا سریع تر از ۲/۵ ثانیه خواهند داشت).

به منظور زمان بندی چراغ راهنمایی، انجمن مهندسان حمل و نقل [۱۰] زمان PRT را برابر ۱ ثانیه توصیه می نمایند. با توجه به سادگی واکنش و اطلاع قبلی رانندگان برای واکنش به چراغهای راهنمای، زمان PRT به طور قابل توجهی از آنچه برای واکنش ترمز در یک جاده در نظر گرفته می شود، کمتر است. لیکن مقدار توصیه شده به طور تقریبی معرف مشخصه ۸۵ درصد برای واقعیتهای خاص واکنش به چراغ راهنمایی می باشد.

با این وجود، مطابق ضوابط AASHTO در برخی موقعیتهای پیچیده تر ممکن است رانندگان برای واکنش، به زمانی بیشتر از ۱ تا ۲/۵ ثانیه نیازمند باشند. موقعیتهایی که در آن رانندگان باید حوادث غیر منتظره را شناسایی نموده و نسبت به آن واکنش نشان دهند یا هنگامی که در محیط شلوغ جاده شناسایی منبع اطلاعات با مشکل روبرو می شود و یا در موقعیتی که در آن احتمال خطا در دریافت اطلاعات، تصمیم گیری و واکنش وجود دارد، همه مواردی هستند که منجر به افزایش زمانهای PRT خواهند شد.

برخی مثالهای ارائه شده در AASHTO از مکانهایی که ممکن است توأم با چنین موقعیتهایی باشند، عبارتند از تبادلهای تقاطعهای پیچیده ای که با حرکتهای غیر عادی مواجه می شود، تغییرات در مقطع عرضی جاده ها نظیر محللهای اخذ عوارض راه، گلوگاهها و مناطقی که محیط جاده با عوامل حواس پرتی دید شلوغ می شود. ضوابط AASHTO در جایی که مانور پرهیز از تصادف مورد نیاز می باشد، برای توقف در راههای بین شهری PRT برابر ۳ ثانیه و برای توقف در راههای درون شهری PRT برابر ۹/۱ ثانیه را توصیه می نماید. AASHTO در جایی که پرهیز از تصادف نیازمند تغییر سرعت، مسیر و یا جهت باشد،

PRT بین ۱۰/۲ تا ۱۱/۲ ثانیه را در راههای بین شهری، ۱۲/۱ تا ۱۲/۹ ثانیه را در راههای حومه شهر و ۱۴ تا ۱۴/۵ ثانیه را برای راههای درون شهری توصیه می‌کند. ضوابط کامل AASHTO در بخش (۳-۳)، صفحه ۱۱۶ مرجع ۵ ارائه شده است.

« سایر عوامل مؤثر بر PRT :

به طور کلی مقادیر PRT تحت تأثیر برخی از عوامل افزایش می‌یابد، این عوامل عبارتند از:

- (۱) سن
- (۲) خستگی
- (۳) پیچیدگی عکس‌العمل
- (۴) تأثیر مشروبات الکلی و یا داروهای مخدر بر راننده

به استثناء اثر مشروبات الکلی و داروهای مخدر، سایر عوامل و رفتارها پس از مستندسازی مناسب در مقادیر توصیه شده برای طراحی لحاظ می‌شوند. در کشورهای مختلف اثر مشروبات الکلی و داروهای مخدر اصولاً از طریق سخت‌گیری بیشتر در اعمال قوانین مربوط به DWI/DUI مورد توجه قرار می‌گیرد. هدف از اعمال این قوانین حذف رانندگانی است که تخلفات مکرر، آنها را به یک تهدید جدی برای ایمنی سیستم مبدل ساخته است.

« مسافت عکس‌العمل:

تأثیر بسیار مهم زمان مشاهده و عکس‌العمل در مسافتی است که وسیله نقلیه هنگام انجام این فرآیند توسط راننده طی می‌نماید. برای مثال در یک عکس‌العمل ساده ترمز، در اولین لحظه‌ای که راننده از یک رویداد یا شی در میدان دید خود مطلع می‌گردد، PRT شروع می‌شود و هنگامی که پای خود را بر روی ترمز می‌فشارد، این زمان خاتمه می‌یابد. در طی این مدت، وسیله نقلیه با سرعت اولیه امتداد مسیر اصلی خود را ادامه می‌دهد و تنها بعد از اینکه پا پدال ترمز را می‌فشارد، وسیله نقلیه در واکنش به این تحریک بتدریج شروع به کاهش سرعت می‌کند.

مسافت عکس‌العمل به سادگی از ضرب PRT در سرعت اولیه وسیله نقلیه بدست می‌آید. از آنجایی که معمولاً واحد سرعت Km/h بوده و PRT بر حسب ثانیه بیان می‌شود، بهتر است برای استفاده واحد سرعتها به m/s تبدیل شود:

$$\frac{1\text{km} \times \left(\frac{1000\text{m}}{\text{km}}\right)}{1\text{h} \times \left(\frac{3600\text{s}}{\text{h}}\right)} = 0/2777\ldots\frac{\text{m}}{\text{s}} = 0/278\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

لذا مسافت عکس‌العمل را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$d_r = 0/278 \quad \text{s.t} \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

که در آن:

$$d_r = \text{مسافت عکس‌العمل بر حسب m}$$

$$s = \text{سرعت اولیه وسیله نقلیه بر حسب km/h}$$

$$t = \text{زمان عکس‌العمل بر حسب s}$$

اهمیت این عامل در مثال بعد توضیح داده می‌شود. راننده‌ای که با سرعت ۹۶ km/h در حال دور زدن یک پیچ می‌باشد، کامیونی را که در امتداد جاده واژگون شده است، می‌بیند. مسافتی را که راننده وسیله نقلیه قبل از فشردن پدال ترمز طی خواهد کرد، چقدر می‌باشد؟ با استفاده از استاندارد AASHTO زمان عکس‌العمل ترمز را ۲/۵ ثانیه در نظر بگیرید.

$$dr = 0.278 \times 96 \times 2.5 = 66.72m$$

وسیله نقلیه قبل از اینکه راننده ترمز را به طور کامل فشار دهد، مسافت ۶۶/۷۲ متر را طی خواهد کرد (تقریباً برابر طول ۱۱ تا ۱۲ خودروی سواری). معنی و مفهوم این موضوع وحشت‌آور است زیرا اگر کامیون واژگون شده در لحظه‌ای که راننده متوجه آن می‌شود نزدیکتر از ۶۶/۷۲ متری وسیله نقلیه باشد، نه تنها راننده با کامیون تصادف خواهد کرد بلکه این تصادف با سرعت کامل ۹۶ km/h انجام می‌گردد. کاهش سرعت تنها بعد از اتمام فرآیند مشاهده و عکس‌العمل که پدال ترمز فشرده می‌شود، آغاز می‌گردد.

۴-۲-۴- خصوصیات عابر پیاده

یکی از مهمترین مسائل ایمنی در هر سیستم جاده‌ای و خیابانی مربوط به اثرات متقابل وسایل نقلیه و عابران پیاده می‌باشد. تعداد قابل توجهی از تصادفات ترافیک و تلفات ناشی از آن عابران پیاده را در بر می‌گیرد. این موضوع که در هر برخورد بین عابر پیاده و وسیله نقلیه، عابر پیاده در معرض زیان قابل توجهی می‌باشد، تعجب‌آور نیست. در عمل همه اثرات متقابل بین عابران پیاده و وسایل نقلیه هنگامی اتفاق می‌افتد که عابران پیاده در تقاطعها و یا بین دو تقاطع از عرض خیابان عبور می‌کنند. در تقاطعهای دارای چراغ راهنمایی فراهم ساختن عبور ایمن عابر پیاده به اندازه برقراری یک الگوی زمان بندی مناسب برای عبور وسایل نقلیه دارای اهمیت است. سرعت قدم زدن عابر پیاده بر روی عرض خط کشی شده خیابان مهمترین عامل برای در نظر گرفتن عابران پیاده در زمان‌بندی چراغ راهنمایی می‌باشد. یکی دیگر از ملاحظات مهم در عبور از تقاطعهای فاقد چراغ راهنمایی، نحوه اتخاذ فاصله توسط عابران پیاده می‌باشد. اتخاذ فاصله به فواصل زمانی خالی بین زمانهای اشغال عرض مسیر توسط وسایل نقلیه و رفتار عابران پیاده در پذیرش این فواصل برای عبور از میان وسایل نقلیه اشاره دارد.

« سرعتهای پیاده‌روی:

جدول (۲-۴) سرعتهای پیاده‌روی ۵۰ درصد را برای عابران پیاده دارای سنین مختلف نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این سرعتها به عنوان بخشی از یک آزمایش تحت کنترل اندازه‌گیری شد [۱۲] و به طور دقیق مربوط به پیاده‌روی از عرض تقاطع و یا عرض بین دو تقاطع نمی‌باشد.

با این وجود، نتایج جالب توجه است. سرعت پیاده روی استاندارد که در زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی مورد استفاده قرار می‌گیرد ۱/۲ m/s است، لیکن برای مکانهایی که بیشتر عابران پیاده مسن هستند سرعت ۱ m/s توصیه می‌شود. اغلب مطالعات نشان می‌دهند که این استانداردها قابل قبول هستند و با نیاز ۸۵ درصد از جمعیت عابران پیاده مطابقت دارند.

یکی از مشکلات مربوط به سرعتهای پیاده‌روی استاندارد، عابران دارای آسیب بدنی را در بر می‌گیرد. انجام مطالعه ای بر روی عابران دارای آسیب و وسایل کمکی مختلف نشان داد که تقریباً برای همه گروهها، متوسط سرعت پیاده‌روی کمتر از استاندارد ۱/۲ m/s مورد استفاده در زمان‌بندی چراغ راهنمایی بود [۱۳]. جدول (۳-۴) برخی از نتایج این مطالعه را ارائه می‌دهد. این نتایج و نتایج مشابه سایر مطالعات حاکی از آن است که نیازهای عابران دچار نارسایی جسمی نیازمند توجه بیشتری می‌باشد.

جدول (۴-۲): سرعتهای پیاده روی ۵۰ درصد برای عابران پیاده دارای سنین مختلف [۱۲]

سرعت پیاده روی ۵۰ درصد (m/s)		سن (سال)
مردان	زنان	
۰/۸۵	۱/۰۴	۲
۱/۰۷	۱/۰۴	۳
۱/۲۵	۱/۲۵	۴
۱/۴	۱/۳۷	۵
۱/۴۶	۱/۵۲	۶
۱/۵۲	۱/۵۲	۷
۱/۵۲	۱/۶۲	۸
۱/۵۵	۱/۶۵	۹
۱/۶۸	۱/۶۵	۱۰
۱/۵۸	۱/۵۸	۱۱
۱/۷۷	۱/۷۴	۱۲
۱/۶۲	۱/۷۱	۱۳
۱/۵۵	۱/۶۲	۱۴
۱/۷۱	۱/۶۲	۱۵
۱/۵۸	۱/۶۵	۱۶
۱/۵۸	۱/۶۵	۱۷
۱/۴۹	N/A	۱۸
۱/۷۴	۱/۶۵	۲۰-۲۹
۱/۶۵	۱/۶۵	۳۰-۳۹
۱/۵۵	۱/۶۲	۴۰-۴۹
۱/۴۹	۱/۵۲	۵۰-۵۹
۱/۲۵	۱/۲۵	۶۰+

جدول (۴-۳): سرعتهای پیاده روی برای عابران دارای آسیب بدنی [۱۳]

آسیب / وسیله کمکی	متوسط سرعت پیاده روی (m/s)
عصا / چوب زیر بغل	۰/۸
گام یار	۰/۶۳
صندلی چرخدار	۱/۰۸
زانوی گچ گرفته شده	۱/۰۷
قطع پا از زیر زانو	۰/۷۵
قطع پا از بالای زانو	۰/۶
ورم مفاصل ران	۰/۷۴ - ۱/۱۲
ورم رماتیسمی مفصل (زانو)	۰/۷۵

« اتخاذ فاصله:

هنگامی که عابر پیاده در تقاطع و یا بین دو تقاطع از عرض یک مکان فاقد کنترل (بدون چراغ راهنمایی، تابلوی ایست یا تابلوی احتیاط) عبور می‌نماید، باید فاصله‌ای مناسب را برای عبور از بین جریان ترافیک انتخاب کند. فاصله در ترافیک به صورت تأخیر زمانی بین عبور دو وسیله نقلیه از هر خط اشغال کننده مسیر عبور عابر اندازه‌گیری می‌شود. هنگامی که عابر پیاده منتظر عبور از عرض خیابان می‌باشد، فواصل را مشاهده می‌کند و پیرامون پذیرش یا عدم پذیرش یک فاصله برای تأمین عبوری ایمن تصمیم می‌گیرد. در برخی از مطالعات، فاصله به صورت مسافت بین عابر و وسیله نقلیه نزدیک شونده در زمان شروع حرکت عابر تعریف شده است. یک مطالعه قدیمی با استفاده از روش دوم، فاصله ۸۵ درصد را حدود ۳۸/۱ متر بدست آورد [۱۴].

هر چند نحوه اتخاذ فاصله توسط افراد کاملاً پیچیده است و تحت تأثیر عوامل دیگری نظیر سرعت وسایل نقلیه نزدیک شونده، عرض خیابان، توزیع فراوانی فاصله‌ها در جریان ترافیک، زمان انتظار و ... تغییر می‌کند، با این وجود به دلیل پیامدهای مشهود آن در ایمنی، باید این خصوصیت مهم مورد توجه قرار گیرد. برای مثال در فصلهای بعد مجوزهایی برای (توجیه موقعیت) نصب چراغهای راهنمایی ارائه می‌گردد. یکی از این مجوزها به طور کامل به ایمنی عبور عابران و تکرار فواصل کافی در جریان ترافیک برای فراهم ساختن عبورهای ایمن اختصاص داده می‌شود.

« درک عابر پیاده از تجهیزات کنترل:

یکی از مسائل موجود در طراحی تجهیزات کنترل برای عابران پیاده این واقعیت است که به طور کلی شناخت و تبعیت از چنین تجهیزاتی ضعیف می‌باشد. پرسش‌نامه‌ای که بین ۴۷۰۰ عابر پیاده توزیع گردید [۱۵] بسیاری از مسائل مربوط به برداشت نادرست را به تفصیل بررسی نمود. برای مثال ۵۰ درصد از کاربران راه عکس‌العمل مناسب به چراغ چشمک زن "DON'T WALK" را نمی‌دانستند و گمان می‌کردند که باید به لبه پیاده‌رویی که از آنجا شروع به حرکت نموده‌اند، بازگردند. در حالی که منظور این چراغ این است که به هنگام چشمک زدن آن اقدام به شروع حرکت از عرض خیابان نکنید و در ضمن اگر عابری قبلاً چنین اقدامی را شروع نموده است، ایمنی برای عبور کامل او فراهم می‌باشد. از اینرو وظیفه فراهم کردن یک محیط ایمن برای عابران پیاده کار ساده‌ای نیست. مدیریت و کنترل ناسازگاریهایی بین وسایل نقلیه و عابران پیاده مسئولیت سختی را به دنبال دارد.

۴-۳- وسایل نقلیه

در سال ۲۰۰۰ میلادی، ۲۱۷۲۹۳۰۰۰ وسیله نقلیه ثبت شده در ایالات متحده وجود داشت، آماری که بیانگر بیش از یک وسیله نقلیه به ازاء رانندگان دارای گواهینامه بود. خصوصیات این وسایل نقلیه به اندازه خصوصیات رانندگان آنها متنوع می‌باشد.

به طور کلی [۵] AASHTO وسایل نقلیه موتوری را به ۴ گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌کند:

- خودروهای سواری (اتومبیلهای شخصی، SUVs، اتومبیلهای کاروان، مینی‌بوسها و وانت‌بارها)
- اتوبوسها (اتوبوسهای بین شهری، اتوبوسهای شهری، اتوبوسهای مدرسه و اتوبوسهای آکاردئونی)
- کامیونها (کامیونهای تک پارچه، کامیونهای ترکیبی یکدک کش و نیمه یکدک کش)
- خودروهای تفریحی (خانه موتوری، اتومبیل با یکدک قایق، اتومبیل با یکدک اتاقک تفریحی، اتومبیل با یکدک موتور سیکلت و ...)

موتورسیکلت‌ها و دوچرخه‌ها نیز از تسهیلات جاده‌ای و خیابانی استفاده می‌کنند، اما از آنجایی که معمولاً خصوصیات آنها نیازهای طراحی و کنترل را محدود یا تعیین نمی‌کنند به صورت گروهی جداگانه تفکیک نمی‌شوند.

برخی از ویژگی‌های بسیار مهم وسیله نقلیه که باید در طراحی جاده‌ها و تجهیزات کنترل مد نظر قرار گیرد، عبارتند از:

- تمرزگیری و کاهش سرعت
- شتاب
- خصوصیات گردش با سرعت کم
- خصوصیات گردش با سرعت زیاد

در بیشتر موارد، پیامدها و مسائل مربوط به وسایل نقلیه که به طور وسیعی در اندازه، وزن، و خصوصیات عملکردی دارای تفاوت هستند نیز باید بوسیله مهندسان ترافیک مورد توجه و رسیدگی قرار گیرند.

۴-۳-۱- مفهوم وسیله نقلیه طرح

با توجه به دامنه وسیع انواع وسایل نقلیه‌ای که از تسهیلات جاده‌ای و خیابانی استفاده می‌کنند، انتخاب مشخصات یک وسیله نقلیه استاندارد برای اهداف طراحی و کنترل ضروری می‌باشد. آیین‌نامه AASHTO برای طراحی هندسی، ۲۰ نوع وسیله نقلیه طرح با مشخصات معین را تعریف نموده است. این ۲۰ وسیله نقلیه طرح عبارتند از:

P=خودروی سواری

SU= کامیون تک پارچه

BUS-40= اتوبوس بین شهری با ۴۰ فوت (۱۲/۲ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

BUS-45= اتوبوس بین شهری با ۴۵ فوت (۱۲/۷ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

CITY-BUS= اتوبوس شهری

S-BUS 36= اتوبوس معمولی مدرسه با ظرفیت ۶۵ نفر

S-BUS 40= اتوبوس بزرگ مدرسه با ظرفیت ۸۴ نفر

A-BUS= اتوبوس مفصلی یا آکاردئونی

WB-40= نیم تریلر متوسط با ۴۰ فوت (۱۲/۲ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-50= نیم تریلر متوسط با ۵۰ فوت (۱۵/۲ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-62= نیم تریلر بین ایالتی با ۶۲ فوت (۱۸/۹ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-65= نیم تریلر بین ایالتی با ۶۵ فوت (۱۹/۸ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-67D= تریلر دو واحدی با ۶۷ فوت (۲۰/۴ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-100T= تریلر/ نیمه تریلر سه واحدی با ۱۰۰ فوت (۳۰/۴ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

WB-109D= تریلر/ نیمه تریلر دو واحدی با ۱۰۹ فوت (۳۳/۲ متر) فاصله بین محور جلو و محور عقب

MH= خانه موتور

P/T= خودروی سواری با یدک اتاقک تفریحی

P/B= خودروی سواری با یدک قایق

MH/B= خانه موتوری با یدک قایق

TR/W= تراکتور کشاورزی با یدک بارکش

فاصله بین محور جلو و عقب، از جلوترین محور تا عقب‌ترین محور اندازه‌گیری می‌شود و در وسایل نقلیه ترکیبی هر دو قسمت کشنده و یدک را شامل می‌شود.

وسایل نقلیه طرح اصولاً در طراحی پیچ جاده‌ها و جدول گذاری لبه تقاطعهای شهری، کمک به تعیین عرض مناسب خطوط عبور، و مشخصات خاص طراحی به هنگام تعریض خط در قوسهای افقی مورد استفاده قرار می‌گیرند. لیکن نکته مهم

برای استفاده، انتخاب وسیله نقلیه طرح مناسب برای انواع مختلف تسهیلات و مکانها می‌باشد. به طور کلی طراحی باید برای بزرگترین وسیله نقلیه‌ای انجام شود که دفعات استفاده آن از تسهیلات مورد نظر دارای فراوانی قابل قبول باشد.

در ملاحظات مربوط به انتخاب وسیله نقلیه طرح، باید به خاطر داشت که تمام قسمتهای خیابان و شبکه بزرگراهی باید برای وسایل نقلیه اضطراری شامل ماشین‌های آتش‌نشانی، آمبولانسها، وسایل نقلیه تخلیه اضطراری، وسایل نقلیه تعمیر اضطراری و نظایر آن قابل دستیابی باشد. از اینرو معمولاً برای اکثر کاربردهای خیابانهای محلی، کامیون تک پارچه به عنوان کوچکترین وسیله نقلیه طرح انتخاب می‌شود. قدرت مانور ماشینهای آتش‌نشانی حامل قلاب و نردبان با داشتن فرمان محور عقب ارتقا می‌یابد و این وسایل قادر می‌باشند پیچهای تندتری را نسبت به توانایی معمول وسایل نقلیه ترکیبی طی نمایند. بنابراین به نظر نمی‌رسد استفاده از کامیون تک پارچه به عنوان وسیله نقلیه طرح برای خیابانهای محلی منجر به تأخیر وسایل نقلیه اضطراری شود.

خودروی سواری فقط در محوطه پارکینگها به عنوان وسیله نقلیه طرح استفاده می‌شود و در این مورد نیز دسترسی وسایل نقلیه اضطراری باید مورد توجه قرار گیرد. انتخاب وسیله نقلیه برای سایر طبقه‌ها یا انواع بزرگراهها و تقاطعها، باید ترکیب وسایل نقلیه‌ای را که انتظار می‌رود از تسهیلات استفاده کنند، مورد توجه قرار دهد. به طور کلی، وسیله طرح انتخاب شده باید با نیاز بیش از ۹۵ درصد از ترکیب وسایل نقلیه مورد انتظار تطبیق داشته باشد.

ابعاد فیزیکی وسایل نقلیه طرح نیز ملاحظات مهمی هستند. محدوده ارتفاع وسایل نقلیه طرح از ۱/۳ متر برای خودروی سواری تا ۴/۱ متر برای بزرگترین کامیون متغیر است. فاصله آزاد بالاسری در پلهای هوایی، تابلوهای تبلیغاتی، سیمهای برق و دیگر اتصالات و متعلقات بالاسری باید برای ادامه حرکت بزرگترین وسیله نقلیه مورد انتظار کافی باشد. هنگامی که کلیه تسهیلات به صورت بالقوه با تنوع گسترده‌ای از وسایل نقلیه اضطراری مواجه هستند، حداقل فاصله آزاد قابل توصیه برای استفاده در اغلب تسهیلات ۴/۲۵ متر می‌باشد.

محدوده عرض وسایل نقلیه طرح از ۲/۱ متر برای خودروی سواری تا ۲/۶ متر برای بزرگترین کامیون متغیر است (به استثنای وسایل نقلیه مخصوص بارهای عریض مانند تراکتوری که یک خانه پیش ساخته را می‌کشد و یا خانه موتوری). این عامل باید در طراحی مشخصاتی نظیر عرض خط و شانه‌ها تأثیر داده شود. برای اغلب تسهیلات، استفاده از عرض خط استاندارد به میزان ۳/۶۵ متر مطلوب می‌باشد. در صورت لزوم، ممکن است برای برخی از تسهیلات خطوط باریکتری در نظر گرفته شود، اما بر اساس عرض اعلام شده خودروهای جدید، حداقل عرض قابل قبول در کلیه کاربردها عملاً ۳ متر می‌باشد.

۴-۳-۲- خصوصیات گردش وسایل نقلیه:

دو وضعیت برای گردش وسایل نقلیه وجود دارد:

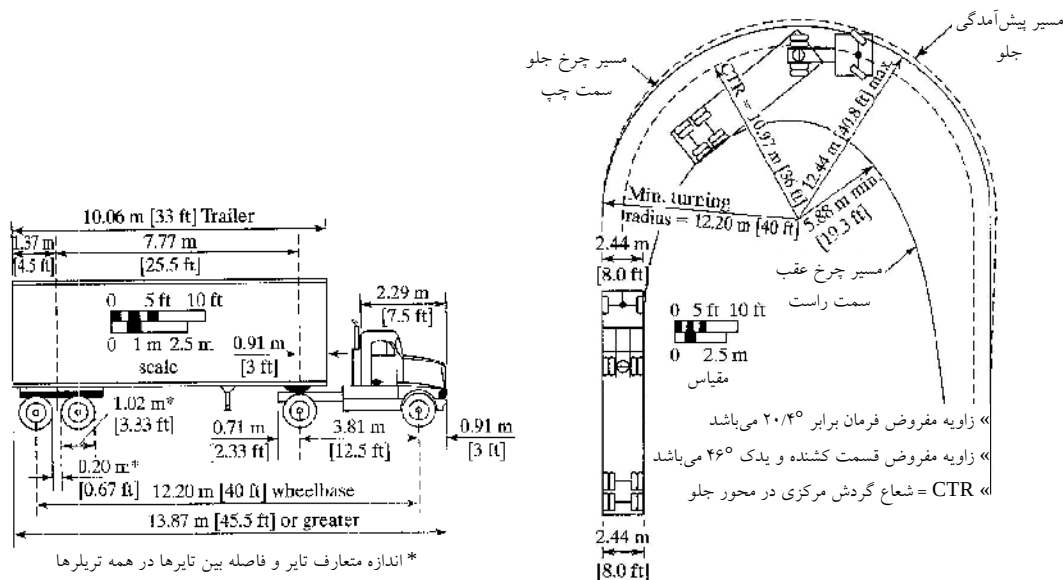
- گردش‌های با سرعت کم ($\leq 16 \text{ km/h}$)
- گردش‌های با سرعت زیاد ($> 16 \text{ km/h}$)

گردشهای با سرعت کم بوسیله خصوصیات وسیله نقلیه محدود می‌شوند، به گونه‌ای که حداقل شعاع گردشی که بوسیله مکانیزم فرمان وسیله نقلیه قابل تنظیم است در چنین سرعتهایی می‌تواند پشتیبانی شود. گردشهای با سرعت زیاد بوسیله اصطکاک جانبی بین سطح رویه جاده و لاستیکها و همچنین مقدار بر بلندی (شیب عرضی) جاده محدود می‌شوند.

« گردشهای با سرعت کم :

آیین‌نامه AASHTO برای هر یک از وسایل نقلیه طرح یک حداقل شعاع طراحی مشخص می‌کند. این پارامتر بر اساس شعاع گردش مرکزی و حداقل شعاع گردش داخلی هر وسیله نقلیه تعریف می‌شود. هنگامی که شعاع گردش واقعی یک وسیله نقلیه توسط چرخهای جلو کنترل می‌شود، چرخهای عقب همان مسیر چرخهای جلو را دنبال نمی‌کنند و در طی حرکت

در پیچ به خارج از مسیر کشیده می‌شوند. مرجع شماره ۵ جزئیات الگوهای گردش با سرعت کم را برای تمام وسایل نقلیه طرح اشتو در بر دارد. شکل (۴-۴) نمونه‌ای از این الگوها را برای یک وسیله ترکیبی WB-40 نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴): الگوی گردش با سرعت کم برای وسیله ترکیبی WB-40

توجه شود که حداقل شعاع گردش بوسیله مسیر خارجی چرخ جلو تعریف می‌شود. با این وجود مسیر داخلی چرخ عقب در وسایل ترکیبی، خروج از مسیر قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد که به طور مؤثر عرض خط اشغال شده توسط وسیله نقلیه به هنگام دور زدن را بیشتر می‌کند. مسیر داخلی چرخ عقب دایره‌ای نیست و یک شعاع متغیر دارد. الگوهای گردش تصاویر بسیاری از ابعاد مختلف مربوط به گردش با سرعت کم را ارائه می‌دهند. در طراحی مربوط به گردشهای با سرعت کم حداقل شعاع گردش طرح برابر با حداقل شعاع محور مرکزی به علاوه نصف عرض جلوی وسیله نقلیه می‌باشد.

حداقل شعاع گردش طرح در محدوده ۷/۳ متر برای خودروی سواری تا بیش از ۱۸/۳ متر برای وسیله نقلیه ترکیبی WB-109D قرار دارد. بر حسب نوع وسیله نقلیه طرح، به دلیل شعاع متغیر مسیر داخلی چرخ عقب، حداقل شعاع لبه داخلی جدول خیابان به طور قابل ملاحظه‌ای کوچکتر از حداقل شعاع گردش طرح می‌باشد. در طراحی تقاطعها خصوصیات خروج از مسیر وسیله نقلیه طرح باید در تعیین فاصله خطوط عبور تا محل جدول کنار خیابان مورد توجه قرار گیرد. در یک طراحی مناسب، چرخ خارجی وسیله نقلیه طرح باید قادر باشد در حین عبور از پیچ، مسیر خود را بدون منحرف شدن به داخل خطوط مجاور طی نماید. برای این منظور لازم است که عقب نشینی لبه جدول خیابان با حداکثر خروج از مسیر وسیله نقلیه طرح منطبق شود.

« گردشهای با سرعت زیاد:

هنگامی که وسیله نقلیه با سرعت زیاد وارد پیچ جاده می‌شود، نیروهای مایل به مرکز گشتاور بر آن وارد می‌شوند تا به حرکت در یک مسیر مستقیم ادامه دهد. برای حفظ حرکت در مسیر منحنی باید بوسیله اصطکاک جانبی و بر بلندی بر این نیروها غلبه شود. بر بلندی عبارت است از شیب عرضی جاده که لبه پایین تر آن همیشه در جهت قوس قرار دارد. شیب جاده یک مؤلفه تکیه گاهی افقی برای وسیله نقلیه بوجود می‌آورد. نیروهای اصطکاک جانبی بیانگر مقاومتی است که در سطح بین

لاستیکهای وسیله نقلیه و جاده در مقابل سر خوردن ایجاد می‌شود. بر اساس قوانین اساسی فیزیک، رابطه تعیین عملکرد وسیله نقلیه بر روی پیچ جاده به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{0.01e + f}{1 - 0.01e.f} = \frac{S^2}{gR} \quad \text{رابطه (۲-۴)}$$

که در آن:

e = میزان بریلندی ، (%)

f = ضریب اصطکاک جانبی

S = سرعت وسیله نقلیه، (m/sec)

R = شعاع پیچ، (m)

g = شتاب جاذبه زمین، (۹/۸۱ m/s²)

میزان بریلندی عبارت است از کل افزایش تراز ارتفاعی از یک لبه تا لبه دیگر خطوط عبور مقطع عرضی (بر حسب متر) تقسیم بر عرض خطوط عبور (بر حسب متر) ، که به صورت درصد بیان می‌شود (یعنی در ۱۰۰ ضرب می‌شود). AASHTO میزان بریلندی را در ضوابط ۲۰۰۱ خود به صورت درصد بیان نموده است، لیکن بسیاری دیگر از نشریات هنوز میزان بریلندی را به صورت مقدار اعشاری بیان می‌کنند.

رابطه (۲-۴) را می‌توان ساده نمود با این استدلال که جمله $0.01e.f$ خیلی کوچک است و برای مقادیر معمول عوامل بریلندی و اصطکاک جانبی می‌تواند صرف نظر شود.

همچنین راحت‌تر است که سرعت وسیله نقلیه بر حسب km/h بیان شود. بنابراین:

$$\frac{0.01e + f}{1} = \frac{(0.278S)^2}{9.81R}$$

$$0.01e + f = \frac{0.00787S^2}{R} = \frac{S^2}{127R}$$

به این ترتیب یک رابطه بسیار سستی که برای بیان عملکرد وسیله نقلیه در پیچ استفاده می‌شود، بدست می‌آید:

$$R = \frac{S^2}{127(0.01e + f)} \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$

که در آن همه مقادیر از قبل مشخص می‌باشند و تنها سرعت S به جای m/s بر حسب km/h بیان می‌شود.

دامنه مقادیر معمول بر بلندی از حداقلی حدود ۰/۵ درصد برای تأمین زهکش جانبی تا حداکثر ۱۲ درصد می‌باشد. با افزایش سرعت، مقادیر بزرگتر بر بلندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مناطقی که احتمال بروز یخبندان پیش بینی می‌شود، برای جلوگیری از سر خوردن یک وسیله نقلیه متوقف به سمت داخل قوس، حداکثر مقدار بریلندی عموماً به ۸ درصد محدود می‌گردد.

ضرایب اصطکاک جانبی مورد استفاده در طراحی، بر مبنای شرایط خیس جاده می‌باشند. این ضرایب به ازای مقادیر مختلف سرعت در جدول (۴-۴) ارائه شده است.

جدول (۴-۴): ضرایب اصطکاک جانبی (f)، برای روسازیهای خیس در سرعتهای مختلف

سرعت km/h	۴۸	۶۴	۸۰	۹۶	۱۱۲
f	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۰

رابطه (۳-۴) می‌تواند در موارد متعددی مورد استفاده قرار گیرد. در طراحی، حداقل شعاع قوس بر مبنای حداکثر مقادیر f و e محاسبه می‌شود. برای مثال، اگر جاده‌ای دارای سرعت طرح 104 km/h و مقادیر حداکثر $e=8\%$ و $f=0.11$ باشند، حداقل شعاع به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{104^2}{127(0.01 \times 8 + 0.11)} = 448 / 24m$$

همچنین این رابطه می‌تواند به ازای مقادیر معلوم شعاع قوس و حداکثر مقادیر f و e برای محاسبه حداکثر سرعت ایمن استفاده شود. در صورتی که قوسی از جاده با شعاع 244 متر دارای یک برابندی به میزان 6% درصد باشد، حداکثر سرعت ایمن را می‌توان برآورد نمود. لیکن برای انجام چنین کاری لازم است رابطه بین ضریب اصطکاک جانبی و سرعت، نظیر جدول (۴-۴) مورد توجه قرار گیرد.

با حل رابطه (۳-۴) برای S خواهیم داشت:

$$S = \sqrt{127R(0.01e + f)} \quad \text{رابطه (۴-۴)}$$

برای مثال ارائه شده، رابطه به ازای مقادیر معلوم $e(6\%)$ و $R(244m)$ و مقادیر مختلف f از جدول (۴-۴) حل می‌شود. محاسبات تا زمانی ادامه می‌یابد که اختلاف بین سرعت محاسبه شده و سرعتی که بر اساس آن ضریب اصطکاک جانبی انتخاب شده است، بر طرف گردد. از اینرو:

$$S = \sqrt{127 \times 244 \times (0.06 + f)}$$

$$S = \sqrt{127 \times 244 \times (0.06 + 0.1)} = 70.4 \text{ km/h} \quad (\text{فرض } 11 \text{ km/h})$$

$$S = \sqrt{127 \times 244 \times (0.06 + 0.12)} = 76.7 \text{ km/h} \quad (\text{فرض } 96 \text{ km/h})$$

$$S = \sqrt{127 \times 244 \times (0.06 + 0.14)} = 78.7 \text{ km/h} \quad (\text{فرض } 80 \text{ km/h})$$

$$S = \sqrt{127 \times 244 \times (0.06 + 0.15)} = 80.7 \text{ km/h} \quad (\text{فرض } 64 \text{ km/h})$$

بدیهی است که جواب صحیح بین 78.7 و 80.7 کیلومتر بر ساعت می‌باشد. در صورتی که درونیابی خطی مورد استفاده قرار گیرد:

$$S = 78.7 + (80.7 - 78.7) \times \left[\frac{(80 - 78.7)}{(80.7 - 78.7) + (80.7 - 64)} \right] = 78.8 \text{ km/h}$$

از اینرو برای پیچ تعریف شده، سرعت 78.8 km/h حداکثر سرعت ایمنی می‌باشد که باید در آن عبور نمود. لازم به ذکر است که این سرعت بر مبنای شرایط طراحی یک روسازی خیس بدست آمده است و در شرایط خشک سرعت‌های بالاتری بدست خواهد آمد.

۳-۳-۴- خصوصیات ترمز گیری وسایل نقلیه

یکی دیگر خصوصیات بسیار مهم وسایل نقلیه توانایی توقف (یا کاهش سرعت) به هنگام فشرده شدن ترمزها می‌باشد. مجدداً روابط اساسی فیزیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. مسافت حرکت در طی یک توقف عبارت است از متوسط سرعت در طی توقف ضرب در زمانی که برای توقف به طول می‌انجامد، و یا:

$$d_b = \left(\frac{S}{2} \right) \times \left(\frac{S}{a} \right) = \frac{S^2}{2a} \quad \text{رابطه (۵-۴)}$$

که در آن:

$$d_b = \text{مسافت ترمز، (m)}$$

$$S = \text{سرعت اولیه، (m/s)}$$

$$a = \text{نرخ کاهش سرعت، (m/s}^2\text{)}$$

بهتر است که سرعت بر حسب km/h بیان شود، لذا خواهیم داشت:

$$d_b = \frac{(0/278S)^2}{2a} = \frac{0/0386S^2}{a}$$

که در آن سرعت S بر حسب km/h می‌باشد. توجه گردد که ضریب ۰/۰۳۸۶ از تبدیل واحد دقیق بین m/s و km/h حاصل می‌شد. همچنین اغلب بهتر است که این معادله بر حسب ضریب اصطکاک لغزشی یا غلتشی حرکت (F) بیان شود. با

$$\text{توجه به اینکه } F = \frac{a}{g} \text{ و } g \text{ شتاب جاذبه زمین برابر } 9/81 \text{ m/s}^2 \text{ می‌باشد، لذا:}$$

$$d_b = \frac{\left(\frac{0/0386S^2}{9/81} \right)}{\left(\frac{a}{9/81} \right)} = \frac{S^2}{254F}$$

که در آن F ضریب اصطکاک لغزشی یا غلتشی حرکت می‌باشد. وقتی که اثر شیب مورد توجه قرار گیرد و در مواردی که در چرخه ترمز، سرعت کاهش یافته‌ای غیر از صفر مد نظر باشد، معادله به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$d_b = \frac{S_i^2 - S_f^2}{254(F \pm 0/01G)} \quad \text{رابطه (۴-۶)}$$

که در آن:

$$G = \text{شیب (٪)}$$

$$S_i = \text{سرعت اولیه، km/h}$$

$$S_f = \text{سرعت نهایی، km/h}$$

در سربالایی از علامت + و در سربالایی‌ها از علامت - استفاده می‌شود. در سربالایی‌ها شتاب جاذبه به کاهش سرعت کمک می‌کند و در نتیجه مسافت ترمز کوتاه‌تر می‌شود. همچنین در سربالایی‌ها شتاب جاذبه باعث شتاب بیشتر شده و مسافت ترمز طولانی‌تر می‌گردد.

در نسخه‌های قدیمی مرجع شماره ۵، مسافتهای ترمز بر مبنای ضرایب اصطکاک لغزشی حرکت بر روی روسازیهای خیس محاسبه می‌شد. لیکن در آخرین استانداردها، یک نرخ کاهش سرعت استاندارد به میزان $3/41 \text{ m/s}^2$ به عنوان نرخ طراحی مورد پذیرش قرار گرفته است. مشاهده می‌شود که این نرخ می‌تواند بوسیله اکثر وسایل نقلیه بر روی روسازیهای خیس محقق شود. همچنین انتظار می‌رود که ۹۰ درصد از رانندگان با نرخهای بیشتری کاهش سرعت دهند. لذا این نرخ یک ضریب اصطکاک استاندارد برای محاسبات مسافت ترمز پیشنهاد می‌دهد و معادله (۴-۶) به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$F = \frac{3/41}{9/81} = 0/348$$

$$d_b = \frac{S_i^2 - S_f^2}{254(0/348 \pm 0/01G)} \quad \text{رابطه (۴-۷)}$$

به مثال زیر توجه کنید: یک وسیله نقلیه با سرعت ۹۶ km/h بر روی یک سربالایی به شیب ۳٪ در حرکت می‌باشد.

پس از فشرده شدن ترمزها و قبل از توقف کامل ($S_f = 0 \text{ km/h}$) این وسیله چه مسافتی را طی می‌کند؟

با استفاده از رابطه (۴-۷) خواهیم داشت:

$$d_B = \frac{96^2 - 0^2}{254(0/348 - 0/01 \times 3)} = 114/1 \text{ m}$$

رابطه مسافت ترمز ابزار مناسبی نیز برای کارشناسان تصادف می‌باشد. با اندازه‌گیری اثرات خط ترمز و برآورد یک سرعت نهایی بر مبنای بررسی میزان خسارت، می‌توان سرعت اولیه یک وسیله نقلیه را از این رابطه برآورد نمود. در چنین مواردی از مقادیر برآورد شده واقعی F و رابطه $(F=4-6)$ استفاده می‌شود و مقدار استاندارد طراحی که بوسیله AASHTO توصیه شده است مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

به مثال زیر توجه کنید: یک کارشناس تصادف بر مبنای بررسی میزان خسارت، برآورد می‌نماید که یک وسیله نقلیه با سرعت 32 km/h به کنار پل برخورد نموده است. بر اساس شواهد محل تصادف، خط قرمزی به طول 30 متر بر روی روسازی $(F=0/35)$ و 23 متر بر روی چمن شانه $(F=0/25)$ مشاهده می‌شود. مسیر دارای شیب نمی‌باشد. مطلوب است برآورد سرعت وسیله نقلیه در شروع خط ترمز؟

در این مثال، با استفاده از رابطه $(F=4-6)$ بر مبنای یک سرعت نهایی معلوم (یا تخمینی) می‌توان سرعت اولیه را محاسبه نمود. هر خط ترمز باید به صورت جداگانه تحلیل شود. با توجه به اینکه سرعت نهایی برخورد معلوم می‌باشد، با خط ترمز روی چمن شروع می‌کنیم، لذا:

$$d_b = 23 = \frac{S_i^2 - 32^2}{254(0/25)}$$

$$S_i = \sqrt{(23 \times 254 \times 0/25) + 32^2} = 49/8 \text{ km/h}$$

این مقدار برآورد سرعت وسیله نقلیه در شروع خط ترمز روی چمن می‌باشد و با سرعت وسیله نقلیه در انتهای خط ترمز روی روسازی برابر است. لذا:

$$d_b = 30 = \frac{S_i^2 - 49/8^2}{254(0/35)}$$

$$S_i = \sqrt{(30 \times 254 \times 0/35) + 49/8^2} = 71/8 \text{ km/h}$$

بنابراین برآورد می‌شود که سرعت وسیله نقلیه درست قبل از ترمز بر روی روسازی $71/8 \text{ km/h}$ بوده است. البته این مقدار را می‌توان با محدودیت سرعت مقایسه نمود تا مشخص شود که آیا سرعت بیش از حد عامل تصادف بوده است یا خیر.

۴-۳-۴- خصوصیات شتاب

شتاب جنبه معکوس کاهش سرعت می‌باشد. خودروهای سواری قادر هستند با نرخهای بسیار بیشتری نسبت به وسایل نقلیه سنگین شتاب بگیرند. جدول $(4-5)$ نمونه‌ای از مقادیر حداکثر شتاب را برای یک خودروی سواری با نسبت وزن اسب بخار $13/6 \text{ kg/hp}$ و برای یک تریلر یدک کش با نسبت $90/7 \text{ kg/hp}$ نشان می‌دهد.

در سرعتهای پایین، شتاب دارای بیشترین مقدار است و با افزایش سرعت، شتاب کاهش می‌یابد. اختلاف موجود بین خودروهای سواری و کامیونها دارای اهمیت است. مسافت مورد نیاز برای افزایش شتاب یک خودروی سواری و یک کامیون برای رسیدن به سرعت 32 km/h را در نظر بگیرید. با تبدیل واحد سرعت از m/s به km/h خواهیم داشت:

$$d_a = \left(\frac{0/278S}{a} \right) \left(\frac{0/278S}{2} \right) = 0/0386 \left(\frac{S^2}{a} \right) \quad \text{رابطه (4-8)}$$

که در آن:

$$d_a = \text{مسافت شتاب} , (m)$$

$$S = \text{سرعت در انتهای شتاب (از حالت توقف)}, (km/h)$$

$$a = \text{نرخ شتاب}, (m/s^2)$$

مجدداً یادآوری می‌شود که ضریب ۰/۳۸۶ از تبدیل واحد دقیق m/s به km/h حاصل می‌شود. بنابراین:

برای اینکه یک خودروی سواری با نرخ شتاب ۲/۳ m/s² به سرعت ۳۲ km/h برسد:

$$da = 0/0386 \left(\frac{32^2}{2/3} \right) = 17/2 \quad m$$

برای اینکه یک کامیون با نرخ شتاب ۰/۴۹ m/s² به سرعت ۳۲ km/h برسد:

$$da = 0/0386 \left(\frac{32^2}{0/49} \right) = 80/7 \quad m$$

اختلاف موجود چشمگیر می‌باشد. در چراغ قرمز در صورتی که یک خودرو پشت سر یک کامیون قرار گیرد. کامیون به میزان قابل توجهی باعث تأخیر خودرو خواهد شد. همچنین اگر یک کامیون به دنبال یک خودرو در صفی متوقف قرار گیرد، به هنگام شتاب‌گیری فاصله زیادی بین آن دو ایجاد می‌شود.

متأسفانه این اختلاف به اندازه‌ای نیست که بتوان بر حسب آن طراحی و کنترل انجام داد. با این وجود در تحلیلهای HCM اختلاف بین کامیونها و خودروهای سواری بر حسب شتاب و بر حسب توانایی آنها در حفظ سرعتها در سربالایی‌ها به مفهوم "خودروی سواری معادل" منتهی شده است. برحسب نوع تسهیلات، شدت و طول شیب، و سایر عوامل، ممکن است یک کامیون ظرفیتی بیش از ۶ تا ۷ خودروی سواری را در جاده اشغال نماید. از اینرو، اختلاف در خصوصیات عملکردی مهم کامیونها و خودروهای سواری به صورت فراهم کردن ظرفیت اضافی مورد نیاز، در طراحی لحاظ می‌گردد.

جدول (۴-۵): مشخصات شتاب یک خودروی سواری نمونه در مقابل یک کامیون نمونه در زمین مسطح

نرخ شتاب (m/s ²) برای :		حدود سرعت (km/h)
کامیون نمونه (۹۰/۷ kg/hp)	خودروی سواری نمونه (۱۳/۶ kg/hp)	
۰/۴۹	۲/۲۹	۰ - ۳۲
۰/۴	۱/۹۸	۳۲ - ۴۸
۰/۲۱	۱/۸	۴۸ - ۶۴
۰/۲۱	۱/۵۸	۶۴ - ۸۰
۰/۰۹	۱/۴	۸۰ - ۹۶

۴-۴- مسافت توقف کل و کاربردهای آن

کل مسافت طی شده تا لحظه توقف کامل یک وسیله نقلیه شامل مجموع مسافت طی شده در زمان مشاهده و عکس‌العمل (d_r) و مسافت ترمز (d_b) می‌باشد. در صورتی که رابطه (۴-۱) برای d_r و رابطه (۴-۷) برای d_b با هم ترکیب شوند، کل مسافت توقف برابر می‌شود با:

$$d = 0/278 \quad S_i \cdot t + \frac{S_i^2 - S_f^2}{254(0/348 \pm 0/01G)} \quad \text{رابطه (۴-۹)}$$

که در آن :

d = مسافت توقف کل، (m)

S_i = سرعت اولیه، (km/h)

S_f = سرعت نهایی، (km/h)

t = زمان عکس العمل، (s)

G = شیب جاده، (%)

مفهوم مسافت کل توقف در بسیاری از کاربردهای مهندسی ترافیک از اهمیت بسیاری برخوردار است. پیرامون سه مورد از مهمترین کاربردهای آن در بخشهای زیر بحث می شود.

۴-۴-۱- مسافت مطمئن دید توقف

به عنوان یکی از مهمترین اصول اساسی طرح هندسی راه، راننده باید توانایی رویت مسافت کافی در جلوی وسیله نقلیه را داشته باشد تا از وقوع یک خطر یا تصادف بالقوه پرهیز گردد. از اینرو، در کلیه قسمتهای جاده، راننده باید از یک مسافت دید که حداقل برابر کل مسافت توقف مورد نیاز در سرعت طرح می باشد، برخوردار گردد.

این نیاز در واقع یک موضوع بسیار مهم را مورد توجه قرار می دهد. راننده ای در حال دور زدن یک قوسی افقی و یا عبور از یک قوس قائم با یک درخت افتاده، یک کامیون واژگون یا برخی وضعیتهای دیگر مواجه می شود که بطور کامل جاده را مسدود کرده اند. توقف تنها راهکار موجود برای پرهیز از وقوع تصادف می باشد. طراحی باید به نحوی انجام شود که در امتداد طول هر نقطه، راننده از خط دید واضحی به اندازه حداقل مسافت توقف کامل برخوردار باشد. با اطمینان خاطر از این موضوع، راننده هرگز با توقفی که فاصله کافی برای انجام آن در اختیار ندارد، مواجه نمی گردد.

مقطعی از یک آزاد راه بین شهری با سرعت طرح ۱۱۲ km/h را در نظر بگیرید. در یک منطقه با زمین هموار، مسافت مطمئن توقف باید چقدر لحاظ شود؟ رابطه (۴-۹) با یک سرعت نهایی $S_f = 0$ و زمان عکس العمل استاندارد AASHTO برابر $s = 2/5$ مورد استفاده قرار می گیرد، لذا:

$$d = 0/278 \times 112 \times 2/5 + \frac{112^2 - 0}{254(0/348)} = 77/84 + 141/91 = 219/75 \quad m$$

به عبارت دیگر در تمام طول این مقطع از جاده رانندگان باید قادر باشند حداقل ۲۱۹/۷۵ متر در جلوی وسیله نقلیه را ببینند. فراهم نمودن مسافت مطمئن دید توقف، اجزای مختلف (قائم و افقی) مسیر را محدود خواهد کرد. پیرامون این موضوع در درس راهسازی بحث می شود.

حال برای مثال، اگر در یک مقطع از این جاده فقط ۱۵۲ متر فاصله دید فراهم شود، چه اتفاقی روی می دهد؟ در این صورت امکان دارد که یک راننده در لحظه ای متوجه وجود مانع شود که فقط ۱۵۲ متر از آن فاصله دارد. لذا اگر راننده با سرعت طراحی ۱۱۲ km/h در حال نزدیک شدن باشد، یک تصادف اتفاق خواهد افتاد. با فرض مجدد مقادیر طرح برای زمان عکس العمل و اصطکاک لغزشی حرکت و با استفاده از یک مسافت معلوم برای کاهش سرعت، رابطه (۴-۹) می تواند برای محاسبه سرعت تصادف (یعنی سرعت پایانی دوره کاهش سرعت) بکار رود:

$$152 = 0/278 \times 112 \times 2/5 + \frac{112^2 - S_f^2}{254(0/348)}$$

$$152 - 77/84 = 74/16 = \frac{112^2 - S_f^2}{88/39}$$

$$6555 = 12544 - S_f^2$$

$$S_F = \sqrt{12544 - 6555} = 77 / 39 \text{ km/h}$$

اگر شرایط مفروض فراهم باشد، تصادفی با سرعت ۷۷/۳۹ km/h اتفاق خواهد افتاد. البته در صورتی که آب و هوا خشک بود و راننده از زمان عکس‌العمل سریع‌تری نسبت به مقدار طراحی برخوردار بود، احتمال داشت تصادف در سرعت کمتری رخ دهد و حتی ممکن بود به طور کامل از وقوع آن پرهیز شود. نکته اینجاست که اگر مسافت دید به ۱۵۲ متر محدود می‌شد، چنین تصادفی می‌توانست رخ دهد.

۲-۴-۴- مسافت دید تصمیم

علی‌رغم اینکه تمام نقاط و مقاطع یک جاده باید به نحوی طراحی شود که حداقل مسافت مطمئن دید توقف را فراهم سازد، در برخی از مقاطع باید مسافت دید بیشتری فراهم گردد تا به رانندگان اجازه دهد به وضعیتهای بالقوه پیچیده‌تر از یک توقف ساده واکنش نشان دهند. قبلاً در مورد زمانهای عکس‌العمل برای وضعیتهای پرهیز از تصادف صحبت شد [۵].

مسافت‌های دید که بر مبنای زمانهای عکس‌العمل پرهیز از تصادف حاصل می‌شوند به مسافت‌های دید تصمیم موسوم می‌باشند. آیین‌نامه AASHTO توصیه می‌نماید که مسافت دید تصمیم در محلهای زیر تأمین شوند:

- تبادلهای یا تقاطعهایی که در آنجا مانورهای حرکتی غیر منتظره و غیر عادی مورد نیاز می‌باشد.
- تغییرات در مقطع عرضی نظیر کاهش یا افزایش خطوط عبور
- محلهای اخذ عوارض راه
- مناطق ازدحام تقاضا که در آنجا اختلال دید به سبب تقابل منابع اطلاعات (نظیر تجهیزات کنترل، تابلوهای تبلیغاتی و اجزای جاده) قابل توجه است.

مسافت دید تصمیم با استفاده از رابطه (۴-۹) و یک زمان عکس‌العمل مناسب برای پرهیز از تصادف در وضعیت مورد نظر به جای زمان عکس‌العمل استاندارد ۲/۵ s مربوط به مانورهای توقف، محاسبه می‌شود.

مسافت مورد نیاز دید تصمیم برای یک مقطع آزاد راه با سرعت طرح ۹۶ km/h که به یک تبادل شلوغ شهری با تعداد زیادی از منابع اطلاعاتی متقابل وارد می‌شود را در نظر بگیرید. مسیر دارای شیب سرازیری ۳٪ است. برای این وضعیت AASHTO یک زمان عکس‌العمل ۱۴/۵ s را برای لحاظ پیچیدگی مسیر و تغییرات سرعت متناسب با شرایط توصیه می‌نماید. در این مرحله مسافت دید تصمیم هنوز با این فرض محاسبه می‌شود که در بدترین حالت به یک توقف کامل نیاز خواهد بود. از اینرو، مسافت دید تصمیم برابر خواهد شد با:

$$d = 0/278 \times 96 \times 14/5 + \frac{96^2 - 0^2}{254(0/348 - 0/01 \times 3)} = 378 + 114/1 = 501/1 \text{ m}$$

ضوابط مربوط به مسافت‌های دید تصمیم در AASHTO، برای تغییرات سرعت، مسیر یا جهت که در اغلب وضعیتهای پیچیده مورد نیاز می‌باشد، یک مانور در نظر نمی‌گیرد. این ضوابط که در جدول (۴-۶) نشان داده شده است، یک مسافت مانور متناسب با زمان مانور بین ۳/۵ تا ۴/۵ ثانیه را جایگزین مسافت ترمز در این وضعیتهای می‌نماید. سرعت مؤثر در طی زمان مانور برابر سرعت اولیه فرض می‌شود. از اینرو، برای مانورهای شامل تغییر سرعت، مسیر یا جهت در جاده‌های بین شهری، برون شهری، یا شهری، رابطه (۴-۱۰) برای محاسبه مسافت دید تصمیم مورد استفاده قرار گیرد:

$$d = 0/278(t_r + t_m)S_i \quad \text{رابطه (۴-۱۰)}$$

که در آن:

t_r = زمان عکس‌العمل برای مانور مناسب پرهیز از تصادف، (s)

t_m = زمان مانور، (s)

از اینرو، در مثال قبل، AASHTO فرض نخواهد کرد. که یک توقف مورد نیاز می‌باشد، بلکه در سرعت ۹۶ km/h، یک زمان مانور برابر ۴ s همراه با ۱۴/۵ s زمان عکس‌العمل مورد استفاده قرار می‌گیرد، و

$$d = 0/278(14/5 + 4) \times 96 = 493/7 \quad m$$

ضوابط مسافت دید که در جدول (۴-۶) ارائه شده است از بسط روابط (۴-۹) و (۴-۱۰) برای زمانهای عکس‌العمل تصمیم که به ۵ مانور معین پرهیز از تصادف اشاره دارد، حاصل شده است.

جدول (۴-۶): نتایج مسافت دید تصمیم از روابط (۴-۹) و (۴-۱۰)

مسافت دید تصمیم برای مانور پرهیز از تصادف (m)					زمان مانور مفروض (s)	سرعت طرح (km/h)
E	D	C	B	A	زمان عکس‌العمل (s)	
رابطه (۱۰-۲)	رابطه (۱۰-۲)	رابطه (۱۰-۲)	رابطه (۹-۲)	رابطه (۹-۲)		
۱۴/۵	۱۲/۹	۱۱/۲	۹/۱	۳		
۲۵۴	۲۳۲	۲۱۰	۱۴۸	۶۶	۴/۵	۴۸
۳۳۸	۳۱۰	۲۷۹	۲۰۹	۱۰۰	۴/۵	۶۴
۴۱۱	۳۷۶	۳۳۸	۲۷۵	۱۳۹	۴/۰	۸۰
۴۹۴	۴۵۱	۴۰۶	۳۴۷	۱۸۴	۴/۰	۹۶
۵۶۰	۵۱۱	۴۵۸	۴۲۵	۲۳۵	۳/۵	۱۱۲
۶۴۱	۵۸۴	۵۲۳	۵۰۹	۲۹۲	۳/۵	۱۲۸
A: توقف در یک راه بین شهری						
B: توقف در یک راه شهری						
C: تغییر سرعت/ مسیر/ جهت در یک راه بین شهری						
D: تغییر سرعت/ مسیر/ جهت در یک راه برون شهری						
E: تغییر سرعت/ مسیر/ جهت در یک راه شهری						

۴-۴-۳- کاربردهای دیگر مسافت دید:

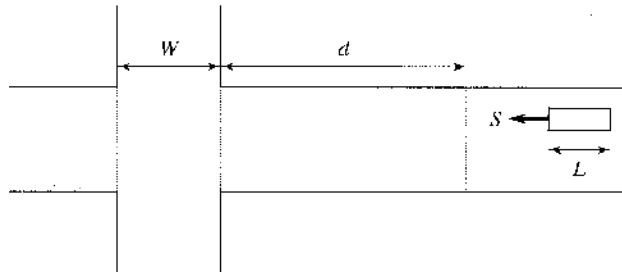
علاوه بر مسافت مطمئن دید توقف و مسافت دید تصمیم، آیین نامه AASHTO ضوابطی نیز برای مسافت دید سبقت در جاده‌های دو خطه بین شهری و مسافتهای دید تقاطع برای گزینه‌های مختلف کنترل، وضع نموده است. پیرامون این مباحث در فصلهای بعد صحبت می‌شود.

۴-۴-۴- زمان تغییر (زرد) و زمان تخلیه (تمام قرمز) در یک چراغ راهنمایی

زمان زرد در یک چراغ راهنمایی طراحی می‌شود تا اجازه دهد وسیله نقلیه‌ای که نمی‌تواند به هنگام اتمام زمان سبز به راحتی توقف کند، به صورت قانونی وارد تقاطع شود. به وضعیت نشان داده شده در شکل (۴-۵) توجه نمایید.

در شکل (۴-۵)، d مسافت مطمئن توقف می‌باشد. هنگامی که زمان سبز به پایان می‌رسد، وسیله نقلیه‌ای که در فاصله d متری و یا کمتر از خط تقاطع قرار دارد، با فرض مقادیر معمول طراحی قادر به توقف نخواهد بود. لیکن وسیله نقلیه دورتر از فاصله d قادر خواهد بود تا بدون تخطی در محدوده تقاطع توقف نماید. چراغ زرد به گونه‌ای زمان بندی می‌شود تا به وسیله نقلیه‌ای که نمی‌تواند توقف کند، اجازه دهد با همان سرعت نزدیک شدن (s) مسافت d را طی کند. لذا یک وسیله نقلیه ممکن

است به صورت قانونی در زمان زرد وارد تقاطع شود. زمان تمام قرمز باید به وسیله نقلیه‌ای که به صورت قانونی وارد تقاطع شده است اجازه دهد از عرض تقاطع (w) عبور کند و انتهای عقب وسیله نقلیه (L) از خط آن سوی تقاطع خارج گردد.



شکل (۴-۵): زمانبندی فواصل زرد و تمام قرمز در یک چراغ راهنمایی

از اینرو، زمان زرد باید به نحوی تعیین شود تا اجازه دهد یک وسیله نقلیه مسافت مطمئن توقف را طی کند. مثالی را در نظر بگیرید که در آن سرعت ورود به یک تقاطع چراغدار برابر ۶۴ km/h می‌باشد. چه مدتی را باید برای زمان زرد لحاظ نمود؟ مسافت مطمئن توقف با استفاده از زمان عکس‌العمل استاندارد برای زمان‌بندی چراغ راهنمایی برابر ۱ ثانیه و شیب صفر محاسبه می‌شود:

$$d = 0/278 \times 64 \times 1 + \frac{64^2 - 0^2}{254(0/348)} = 64/1 \text{ m}$$

زمان چراغ زرد برابر با مدتی است که یک وسیله نقلیه نزدیک شونده، مسافت ۶۴/۱ متری را با سرعت ۶۴ km/h طی می‌کند و یا:

$$y = \frac{64/1}{0/278 \times 64} = 3/6 \text{ s}$$

این مثال نشان می‌دهد که چگونه مفهوم مسافت مطمئن توقف وارد روشهای زمان بندی چراغ راهنمایی می‌شود. جزئیات بیشتر پیرامون این موضوع در فصلهای بعد مورد بحث قرار می‌گیرد.

۴-۵- توضیحات پایانی:

این فصل خلاصه برخی از اجزای بسیار مهم خصوصیات راننده، عابر پیاده و وسیله نقلیه را که در طراحی و کنترل ترافیک تأثیر گذار هستند، بیان نموده است. مجموع این اجزا به همراه خصوصیات جاده، جریانهای ترافیک را بوجود می‌آورند و مشاهده خواهد شد که خصوصیات جریانهای ترافیک نتیجه اثرات متقابل بین اجزا می‌باشد. خصوصیات فردی کاربران راه و وسایل نقلیه آنها تأثیری بنیادی بر جریانهای ترافیک دارد.