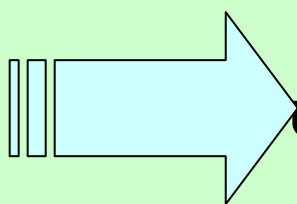


**عنوان : منتخب ترافیک و ترابری دکتر آذرکیش**



**از سری پروژه های مهندسی عمران**

**منبع: پرتال جامع دانشجویان و مهندسين عمران**

**www.icivil.ir**

پایگاه تخصصی دانشجویان و مهندسين عمران

اتاق گفتگو جامعه مجازی دانشجویان و مهندسين عمران

دانلود رایگان جزوات و نمونه سوالات و کتابها و مقالات روز علم عمران

اولین فروشگاه اینترنتی مهندسی عمران و معماری



## پرتال بامع دانشجویان و مهندسين عمران

انجمن های تخصصی مهندسی عمران

ارائه دهنده برترین و بروزترین مطالب علم عمران

دانلود کتابها و جزوات آموزشی مهندسی عمران

دانلود پروژه و گزارشهای کارآموزی نمونه

دانلود برنامه های کاربردی عمران

## فصل چهارم مهندسی ترابری

## برنامه‌ریزی حمل و نقل

[Azarkish@iust.ac.ir](mailto:Azarkish@iust.ac.ir)

## ۴-۱- تعریف برنامه‌ریزی حمل و نقل:

برنامه‌ریزی حمل و نقل فرآیندی است که به تصمیم‌گیری پیرامون سیاستها و برنامه‌های حمل و نقل منجر می‌شود و اقدامات احتمالی آینده را برای سوق دادن سیستم به جهت دلخواه بررسی می‌نماید.

## ۴-۲- هدف برنامه‌ریزی حمل و نقل :

هدف از فرآیند برنامه‌ریزی حمل و نقل، تهیه اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری درباره زمان و مکان اصلاحاتی است که باید در سیستم حمل و نقل ایجاد گردد تا سفر و الگوهای کاربری زمین هماهنگ با اهداف، نیازها و اولویت‌های جامعه ارتقا و بهبود یابند.

## ۴-۳- انواع برنامه‌ریزی حمل و نقل :

الف - برنامه‌ریزی کوتاه مدت یا میان مدت یا مدیریت سیستم‌های حمل و نقل (TSM)

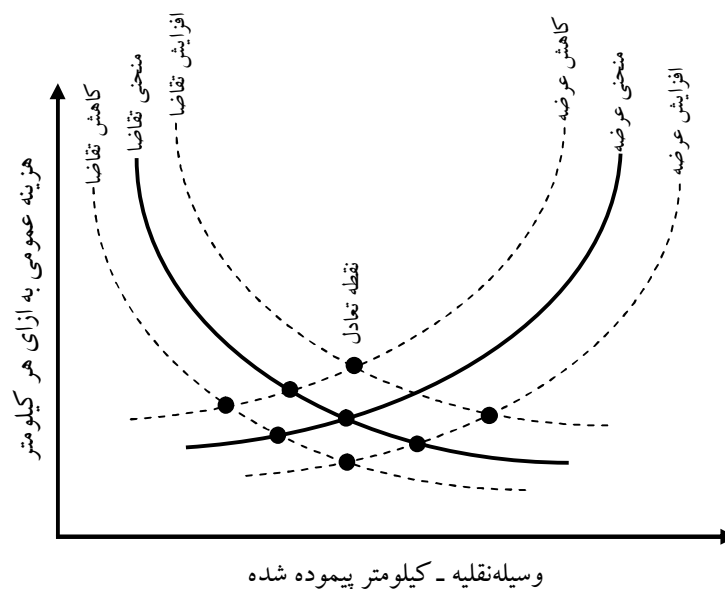
ب - برنامه‌ریزی بلند مدت یا استراتژیک یا جامع

## ۴-۳-۱- برنامه‌ریزی کوتاه مدت یا مدیریت سیستم‌های حمل و نقل (TSM) :

هدف از انجام این نوع برنامه‌ریزی دستیابی به ظرفیت حداکثر و بهره‌برداری بهینه از تسهیلات موجود حمل و نقل می‌باشد. مشخصات این نوع برنامه‌ریزی عبارتند از:

- مدت زمان انجام و اجرای آن کوتاه (بین ۱ تا ۳ سال) می‌باشد.
- نیازمند سرمایه گذاری کلان و ساخت و سازهای وسیع نمی‌باشد.
- پیشنهاد راه حل‌ها و راهکارها بر اساس بودجه تخصیص داده شده انجام می‌شود.
- تعداد راهکارها و راه حل‌های پیشنهادی محدود خواهد بود.
- در مرحله بررسی و ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی با تعداد محدودی معیار سروکار دارد، لذا از پیچیدگی کمتری برخوردار است.

در برخی از مراجع از این برنامه‌ریزی تحت عنوان مدیریت سیستمهای حمل و نقل (TSM)<sup>۱</sup> یا ساماندهی سیستمهای حمل و نقل یاد شده است. مدیریت سیستمهای حمل و نقل مجموعه اقداماتی است که نقطه تعادل بین عرضه و تقاضای سیستم حمل و نقل را تغییر می‌دهد. تغییر در نقطه تعادل را می‌توان از طریق تغییر در منحنی تقاضا، تغییر در منحنی عرضه و یا تغییر در هر دو منحنی به طور همزمان ایجاد کرد.



<sup>۱</sup> - Transportation System Management

#### ۴-۳-۲- انواع روشهای ساماندهی سیستم‌های حمل و نقل (انواع اقدامات TSM):

به لحاظ تئوری روشهای ساماندهی سیستمهای حمل و نقل را می‌توان به صورت اقداماتی تعریف نمود که با جابجایی سطوح عرضه و تقاضای حمل و نقل، تغییرات نقطه تعادل را بوجود می‌آورند. این اقدامات در چهار قالب زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- اقداماتی که باعث کاهش تقاضا می‌شوند.
- اقداماتی که باعث افزایش عرضه می‌شوند.
- اقداماتی که باعث کاهش توام تقاضا و عرضه می‌شوند.
- اقداماتی که باعث کاهش تقاضای توام با افزایش عرضه می‌شوند.

الف) اقداماتی که باعث کاهش تقاضا می‌شوند: اقدامات متعددی را می‌توان انجام داد تا بدون تغییر در میزان عرضه حمل و نقل، مسافران را به استفاده از وسایل نقلیه با ضریب سرنشین بیشتر، استفاده از مدهای غیر موتوری و کاهش فراوانی یا طول متوسط سفر ترغیب نماید. برخی از این اقدامات عبارتند از:

- همپیمایی یا سهم شدن در سفر با استفاده از خودروی اشتراکی یا تاکسی
- بهبود خدمات اتوبوسرانی با افزایش تراکم شبکه، افزایش فراوانی خدمات، ایجاد خطوط سریع‌السیر، بهبود طراحی و راحتی داخل اتوبوسها، اصلاح مشخصه‌های بهره‌برداری از سیستم.
- ایجاد تسهیلات پارک - سوار
- ایجاد سیستمهای شبه عمومی (پاراترانزیت) شامل تاکسی‌های خطی، تاکسی تلفنی، اتوبوس تلفنی، مسافربرهای شخصی.
- بهبود تسهیلات پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری
- استفاده از سرویسهای پستی و مخابراتی به جای حمل و نقل شامل تلفن، نمابر، اینترنت، پست.
- کوتاه نمودن هفته‌کاری و افزایش ساعات کار، برای مثال از ۶ به ۵ روز و از ۶ به ۸ ساعت.

ب) اقداماتی که باعث افزایش عرضه می‌شوند: افزایش عرضه حمل و نقل که با کاهش زمان سفر وسایل نقلیه در یک تراز معین از مسافت پیموده شده صورت می‌گیرد را می‌توان با اجرای برخی اقدامات کم‌هزینه مهندسی و کنترل ترافیک تحقق بخشید. برخی از این اقدامات عبارتند از:

- بهبود مهندسی ترافیک خیابانها (اصلاحات هندسی جزئی، ساماندهی تجهیزات کنترلی و اعمال مقررات برای سرعت بخشیدن به جریان ترافیک معابر)
- مدیریت ترافیک آزادراهها و بزرگراهها (اطلاع رسانی به رانندگان، کنترل ورودی و خروجی‌ها)
- اعمال محدودیت برای کامیونها با هدف کاهش تقابل بین وسایل نقلیه سبک و سنگین
- تغییر ساعات شروع و خاتمه کار با هدف انتقال سفرها به ساعات با ترافیک کمتر

ج) اقداماتی که باعث کاهش توام عرضه و تقاضا می‌شوند: اعمال محدودیت برای استفاده از وسایل نقلیه کم‌سرنشین در بخشی از تسهیلات شبکه معابر باعث افزایش کلی زمان سفر و تنزل سطح عرضه سیستم حمل و نقل می‌شود. اگر در چنین شرایطی به وسایل نقلیه پر سرنشین (HOV)<sup>۲</sup> اولویت داده شود، مقدار شاخص وسیله‌نقلیه - کیلومتر پیموده شده نیز کاهش می‌یابد. زیرا اشخاص زیادی از وسایل نقلیه کم‌سرنشین به وسایل نقلیه پر سرنشین انتقال می‌یابند و به عبارتی سطح تقاضا کاهش می‌یابد. به طور کلی تمامی اقدامات قابل انجام در این راستا مبتنی بر تغییر الگوی سفر از وسایل نقلیه کم‌سرنشین به وسایل نقلیه پر سرنشین می‌باشد و عبارتند از:

- اولویت دادن به وسایل نقلیه پر سرنشین (با ایجاد خطوط اختصاصی اتوبوس در آزادراهها، خطوط ویژه اتوبوس در خیابانها، اولویت دان به اتوبوس در ورودی آزادراهها)
- ایجاد محدودیت منطقه‌ای برای وسایل نقلیه شخصی (با تعریف محدوده طرح ترافیک، ممنوعیت پارک در حاشیه خیابان و ایجاد گذرگاههای عابر پیاده با دسترسی اتوبوس در آن)
- ایجاد محدودیت و کاهش عرضه پارکینگهای غیر حاشیه‌ای (پارکینگ عمومی و طبقاتی)

<sup>۱</sup> - High Occupancy Vehicle

همانطور که ملاحظه می‌شود در همه اقدامات مذکور، وسایل نقلیه کم سرنشین حق استفاده از برخی تسهیلات موجود را ندارند و در نتیجه با کاهش سرعت سفر، زمان سفر آنها افزایش می‌یابد (در مواردی راننده برای پارک خودرو باید در فاصله‌ای دورتر از محل کار توقف نماید و پیاده به محل مورد نظر برود، این عامل نیز مترادف با افزایش زمان سفر می‌باشد). به موازات این مسئله با تشویق استفاده از وسایل نقلیه پر سرنشین تقاضای کلی بر حسب وسیله نقلیه - کیلومتر پیموده شده کاهش یافته است.

(د) اقداماتی که باعث افزایش عرضه توام با کاهش تقاضا می‌شوند: با انجام برخی اقدامات می‌توان ضمن افزایش سطح عرضه خدمات حمل و نقل برای وسایل نقلیه پر سرنشین، زمان سفر متناظر با این گونه وسایل نقلیه را کاهش داد تا مسافران مد سفر خود را به این قبیل وسایل تغییر داده و در نتیجه تقاضای کلی بر حسب وسیله نقلیه - کیلومتر پیموده شده کاهش یابد. برخی از این اقدامات عبارتند از:

- ایجاد خطوط ویژه اضافی برای اتوبوس با انتقال رفوژ میانی
- ایجاد خطوط حرکت برای وسایل نقلیه پر سرنشین در جهت مخالف جریان
- احداث خط ویژه اتوبوس در مناطق پارک حاشیه‌ای کنار مسیر پیاده‌رو

#### ۳-۳-۴- برنامه‌ریزی بلند مدت (استراتژیک یا جامع):

هدف از انجام این نوع برنامه‌ریزی تحقق اهداف و مقاصد جامعه در مسائل مربوط به جابجایی می‌باشد، به گونه‌ای که محدودیت‌هایی نظیر امکان‌پذیری، منابع و تأثیرات متقابل آنها در نظر گرفته شود. مشخصات این نوع برنامه‌ریزی عبارتند از:

- مدت برنامه‌ریزی (مدت انجام و اجرا) طولانی است (حدود ۲۰ سال).
- نیازمند سرمایه‌گذاری کلان و ساخت و سازهای وسیع می‌باشد.
- تا حدودی یک مسئله پیچیده است و در مرحله ارائه، بررسی و ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی باید تأثیرات متقابل مسائلی همچون اقتصاد، محیط زیست و وضعیت اجتماعی محدوده مورد مطالعه را در نظر گرفت.

این نوع از برنامه‌ریزی پس از اینکه در سال ۱۹۶۲ میلادی، اداره راه‌های فدرال ایالت متحده اعلام نمود که همه شهرهای با جمعیت بیش از ۵۰ هزار نفر می‌بایست دارای طرح‌های حمل و نقل جامع باشند، کاربرد فراوانی یافت و تا سال ۱۹۷۵، تنها شیوه برنامه‌ریزی حمل و نقل محسوب می‌شد. از سال ۱۹۷۵ به بعد، برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت و میان مدت نیز در کنار برنامه‌ریزی‌های بلند مدت، جایگاه خاصی در برنامه‌ریزی‌های حمل و نقل یافتند. در ادامه روند انجام رایج‌ترین شکل برنامه‌ریزی حمل و نقل بلند مدت ارائه می‌شود.

#### ۴-۴- برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری

برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری، رایج‌ترین شکل برنامه‌ریزی حمل و نقل بلند مدت است. این فرآیند تلاشی گسترده، پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد که با وجود شکل‌های مختلفی که در حین اجرا دارد، مراحل اصلی انجام آن مشابه می‌باشد. این مراحل با یکدیگر در ارتباط هستند و ممکن است اطلاعاتی که از یک مرحله بدست می‌آید در مرحله قبل و یا بعد مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که مهندسان و برنامه‌ریزان حمل و نقل در طول دهه‌های گذشته تلاش زیادی در ساده‌سازی این فرآیند داشته‌اند و کماکان رشته برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری به رشد خود ادامه می‌دهد تا روش‌ها و روندهای آن بتواند پاسخگوی مسائل بسیار پیچیده امروزی باشد. با این توضیح مراحل انجام فرآیند برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری عبارتند از:

##### اول : تشکیل سازمان

برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری کار بسیار گسترده‌ای است که با مقامات، سازمانهای دولتی، شهروندان و کادر فنی و تخصصی در تعامل می‌باشد. همچنین این برنامه‌ریزی فرآیندی نیست که یکبار و برای همیشه انجام شود. از اینرو به منظور ایجاد ارتباط بین گروه‌های فوق و فراهم شدن زمینه یک برنامه‌ریزی مداوم و انعطاف‌پذیر، ضرورت ایجاد سازمان مشخص می‌شود. به طور کلی وظایف یک سازمان برنامه‌ریزی عبارت است از :

- تعیین سیاستها و خطوط کلی برنامه‌ریزی و هدایت آن.



- استخدام نیروی انسانی متخصص و تقسیم کار.
- ارتباط با مردم و انعکاس نقطه نظرات آنها.
- بایگانی سوابق، آمار، اطلاعات، و نتایج بصورت مداوم

## دوم : تعیین اهداف و مقاصد

هر برنامه‌ریزی نیاز به یک هدف دارد. این هدف جهت اصلی حرکت از وضع موجود به وضع مطلوب را مشخص می‌کند. برای مثال هدف از برنامه‌ریزی می‌تواند به یکی از صورت های زیر تعریف شود :

- بهبود ترافیک شهری
- تحرک بیشتر در حمل و نقل مسافر و کالا
- بهبود محیط زیست

همانطور که ملاحظه می‌گردد اهداف معمولاً به صورت کلی بیان می‌شوند. لذا برای بیان جزئیات به اجزاء کوچکتری که قابل اندازه‌گیری و شمارش هستند، تقسیم می‌شوند. به این اجزای کوچکتر مقاصد گفته می‌شود. به عنوان مثال برای بهبود ترافیک شهری لازم است :

- زمان سفر در مسیرها به حداقل برسد (معیار اندازه گیری آن ساعت است)
- هزینه سفر در مسیرها به حداقل برسد (واحد آن ریال است)
- ایمنی کافی برای سیستم تامین گردد (ایمنی بر حسب تعداد تصادفات قابل اندازه گیری است)

## سوم : بررسی وضع موجود

این مرحله شامل جمع آوری آمار و اطلاعات لازم برای بدست آوردن عناصری می‌باشد که به درک اساسی پیرامون خصوصیات سفر در منطقه کمک می‌کند. اجرای این مرحله نیاز به مقدماتی دارد تا امکان آمارگیری فراهم شود.

## الف) تعیین محدوده مورد مطالعه (منطقه مطالعاتی)

محدوده مطالعاتی، منطقه‌ای است که مطالعات برنامه‌ریزی حمل و نقل در آن انجام می‌شود. تعیین حدود این منطقه از اهمیت بسیاری برخوردار است و نیازمند مطالعه، تجربه و دقت می‌باشد. اما بطور کلی محدوده تعیین شده باید دارای شرایط زیر باشد:

- تمام مناطق آباد شده شهری را در بر بگیرد.
- تمام مناطقی را که ممکن است در طی زمان پیش‌بینی شده تحت تأثیر برنامه قرار گیرند را نیز شامل شود.
- منطقه مطالعاتی باید با یک خط فرضی که به آن مرز منطقه گفته می‌شود، مشخص گردد. در مطالعات حمل و نقل این مرز به عنوان خط قرنطینه خارجی (**External Cordon**) شناخته می‌شود.

## ب) تعیین نواحی مطالعاتی

پس از تعیین محدوده مورد مطالعه، این محدوده به چند ناحیه (**Zone**) تقسیم می‌شود تا بتوان ایده تعیین مبدأ و مقصد سفرها را پیاده سازی نمود. همچنین به این وسیله می‌توان کمیت برخی متغیرها از قبیل جمعیت و اشتغال را در فضای هر ناحیه تعریف نمود. تقسیم منطقه مطالعاتی به نواحی مطالعاتی معمولاً بر اساس خصوصیات کاربری زمین انجام می‌شود. همچنین از عوارض طبیعی و مصنوعی نظیر رودخانه، خط آهن و یا آزادراهها می‌توان به عنوان مرز نواحی مطالعاتی استفاده نمود. بر این اساس در داخل محدوده مورد مطالعه اصطلاحات دیگری از جمله خط قرنطینه داخلی (به عنوان مثال مرز فرضی ناحیه تجاری مرکز شهر) و خط برش<sup>۳</sup> (عوارضی مانند رودخانه یا ریل راه آهن که از میان شهر می‌گذرند) قابل تعریف می‌باشد.

---

<sup>۱</sup> - Screen line

### ج) تعیین حوزه‌های مطالعاتی

در مواردی تقسیم یک ناحیه مطالعاتی به واحدهای کوچکتر تحت عنوان حوزه‌های مطالعاتی اجرای آمارگیری و تحلیل نتایج در نواحی بزرگ را آسان می‌نماید.

### د) مشخص کردن شبکه حمل و نقل (خیابانها و حمل و نقل عمومی)

پس از تعریف محدوده مورد مطالعه و ناحیه‌بندی آن (و در مواردی تعیین حوزه‌های مطالعاتی)، نوبت به تعریف شبکه حمل و نقل (بخش عرضه) در فضای محدوده مورد مطالعه می‌رسد. معمولاً شبکه حمل و نقل بصورت مجموعه‌ای از گره‌ها، به همراه کمان‌هایی که آنها را به هم متصل می‌سازند مدل می‌شود. در شبکه حمل و نقل شهری گره‌ها اکثراً بیانگر تقاطع‌های موجود در شبکه و کمان‌ها، امتداد راه‌ها یا خیابان‌هایی هستند که بین تقاطع‌ها وجود دارند. لازم به ذکر است که شبکه حمل و نقل عمومی به دلیل ویژگی‌های خاصی که دارد، جدا از شبکه حمل و نقل شهری مدل می‌شود. در این شبکه ایستگاه‌ها به عنوان گره در نظر گرفته می‌شوند.

### ه) جمع‌آوری آمار و اطلاعات لازم در هر حوزه از نواحی مربوط به منطقه مطالعاتی.

امکان شروع آمارگیری و جمع‌آوری اطلاعات لازم، پس از مشخص کردن حوزه‌ها و شبکه‌های حمل و نقل فراهم می‌شود. مطالعات جامع حمل و نقل شهری که عموماً افق دیدی در حدود ۲۰ سال دارند، علاوه بر اطلاعات مربوط به تعداد و ویژگی‌های سفر (مبدأ، مقصد، هدف، زمان، وسیله و مسیر) نیازمند اطلاعات گسترده دیگری نیز می‌باشند. اطلاعات مورد نیاز در اینگونه مطالعات را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

۱. اطلاعات مربوط به زیرساخت‌ها و سیستم‌های خدماتی موجود مانند شبکه حمل و نقل عمومی و

خصوصی، تجهیزات و علائم ترافیکی و غیره.

۲. اطلاعات مربوط به کاربری زمین شامل نواحی مسکونی (با تعیین تراکم جمعیت)، نواحی تجاری

و صنعتی (با تعیین نوع مؤسسات)، فضاهای پارکینگ و غیره.

۳. اطلاعات اقتصادی - اجتماعی شامل میزان اشتغال، درآمد، مالکیت وسیله نقلیه، بعد و ساختار خانوار و غیره.

برای دستیابی به اطلاعات فوق‌الذکر معمولاً از روشهای مختلف آمارگیری استفاده می‌شود. این روشها عبارتند از:

۱. آمارگیری از ویژگی‌های سفرها و ساختار خانواده که از طریق مراجعه مستقیم به منازل صورت می‌گیرد. (آمارگیری در منازل)

۲. آمارگیری از رفت و آمدهای خاص که از طریق ایجاد ایستگاه‌های مخصوص آمارگیری در کنار مسیرها انجام می‌شود. (آمارگیری در کنار جاده‌ها)

۳. آمارگیری استخدامی

۴. آمارگیری از وسایل حمل و نقل تجاری

۵. آمارگیری از وسایل حمل و نقل عمومی

۶. آمارگیری از جزئیات شبکه ترافیک

۷. آمارگیری از توقفگاهها و پارکینگ‌ها

بدیهی است که علاوه بر این آمارگیری‌ها کار دفتری سنگینی لازم است تا اطلاعات مربوط به حوزه‌های مختلف موجود در ناحیه مطالعاتی بازبینی و اصلاح شود.

#### چهارم: تجزیه و تحلیل اطلاعات و مدلسازی

بر اساس آمارگیری‌های انجام شده اطلاعاتی بدست می‌آید که پس از تجزیه و تحلیل آنها می‌توان از وضعیت سفر و وضع موجود ترابری مدلسازی کرد و بر اساس آن فرمولها و روابطی بدست آورد که هم پیش‌بینی وضعیت آینده ترابری را ممکن می‌سازد و هم امکان یافتن راه‌های مناسبی که پاسخگوی نیازهای آینده باشد را فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که این مرحله شامل ارائه، کنترل و واسنجی مدلها و فرمول‌هایی است که از طریق آنها بتوان بر اساس وضعیت موجود ترابری، وضعیت آینده ترابری را پیش‌بینی نمود. بعضی از مدل‌هایی که در مطالعات حمل و نقل شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از :

- مدل پیش‌بینی جمعیت
- مدل پیش‌بینی فعالیت‌های اقتصادی
- مدل پیش‌بینی کاربری زمین
- مدل تولید سفر (تعداد سفرهایی که در هر حوزه تولید و یا به هر حوزه ختم می‌شود، بر حسب خصوصیات کاربری زمین آن حوزه محاسبه و پیش‌بینی می‌شود)
- مدل توزیع سفر (تبادل سفر بین حوزه‌ها یا تعداد سفرهایی که از یک مبدا معین به یک مقصد معین انجام می‌شود، محاسبه و پیش‌بینی می‌گردد)
- مدل تفکیک سفر (نوع وسیله‌نقلیه مورد استفاده برای انجام سفر پیش‌بینی می‌شود و مشخص می‌گردد که سفرهای توزیع شده بین حوزه‌ها با چه نوع وسیله‌نقلیه‌ای انجام خواهد گرفت)
- مدل تخصیص سفر (مسیر سفرهای پیش‌بینی شده بین حوزه‌های مختلف تعیین شده و حجم ترافیک شبکه حمل و نقل معین می‌گردد)

#### پنجم: پیشنهاد و ارزیابی راه‌حلهای مختلف

در این مرحله از فرآیند برنامه‌ریزی به دنبال ارائه راه‌حلهای مختلف برای تطبیق سیستم حمل و نقل با سفرهای پیش‌بینی شده برای سال حد‌هستیم. برای این منظور انواع شبکه‌های حمل و نقل و الگوهای کاربری زمین که در راستای اهداف و مقاصد تعیین شده و منطبق با آنها هستند مورد بررسی قرار می‌گیرند.

#### ششم: انتخاب و اجرای گزینه نهایی

پس از ارزیابی گزینه‌های مختلف، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین گزینه که به بهترین وجه اهداف و مقاصد بیان شده را برآورده می‌کند به عنوان راه‌حل نهایی انتخاب و اجرا می‌شود.

#### هفتم: انجام برنامه‌ریزی ممتد

ممکن است طرح و یا گزینه‌ای که امروز به عنوان بهترین راه‌حل پیشنهاد شده است، در آینده بطور کامل معتبر نباشد. بنابراین لازم است تا با انجام برنامه‌ریزی ممتد و کنترل مداوم عکس‌العمل‌های محدوده

مطالعاتی نسبت به طرح، در صورت تشخیص اختلاف عمده بین شرایط پیش‌بینی شده و شرایط پیش آمده نسبت به اصلاح و بروز رسانی طرح اقدام شود.

#### ۴-۵- اصول موفقیت برنامه‌ریزی حمل و نقل

در فرآیند تحلیل سیستم حمل و نقل و برنامه‌ریزی‌های جامع با سه گروه مختلف از افراد که دیدگاه‌های متفاوتی در خصوص سیستم حمل و نقل دارند، مواجه می‌باشیم. این سه گروه عبارتند از:

الف) اداره کنندگان (Operators)

ب) استفاده کنندگان (Users)

ج) غیراستفاده کنندگان (Non-users)

اداره‌کنندگان به دنبال مسائلی همچون هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های عملیاتی، درآمدهای عملیاتی و... هستند. استفاده‌کنندگان یا مسافران در حقیقت مشتریان حمل و نقل هستند و بدنبال فاکتورهای نظیر هزینه‌های پولی سفر، زمان سفر، ایمنی سفر و راحتی و آسایش آن هستند. اما علاوه بر دو گروه فوق عده زیادی از مردم هستند که از بخش خاصی از سیستم حمل و نقل برای سفر یا جابجایی کالا استفاده نمی‌کنند اما ممکن است از هر پیشنهاد حمل و نقلی در رابطه با آن تحت تاثیر قرار گیرند. این اثرات را می‌توان در فاکتورهای چون آلودگی هوا، آلودگی صوتی، تغییر کاربری زمین، در معرض دید عموم قرار گرفتن، کاهش ایمنی، گسیختگی‌های اجتماعی، اثرات اقتصادی (گاه ضرر و گاه منفعت) جستجو نمود.

یک برنامه‌ریزی حمل و نقل موفق برنامه‌ریزی است که بین خواسته‌های استفاده‌کنندگان و اداره کنندگان تعادل ایجاد نماید و در مقابل منافع و ضررهای تحمیل شده به غیراستفاده کنندگان را نیز در نظر داشته باشد.

همچنین لازمه موفقیت یک برنامه‌ریزی حمل و نقل رعایت اصول E۳ و C۳ می‌باشد. اصل E۳ به معنی رعایت سه مشخصه زیر در فرآیند برنامه‌ریزی می‌باشد:

(۱) Engineering یا رعایت اصول مهندسی

۲) **Education** یا رعایت آموزش همگانی و فرهنگ‌سازی

۳) **Enforcement** یا رعایت اجرا و اعمال قانون

همچنین اصل ۳C به معنی رعایت سه مشخصه زیر در فرآیند برنامه‌ریزی می‌باشد:

۱) **Comprehensive** یا جامعیت (بررسی تاثیر همه پارامترهای اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و ...)

۲) **Continuous** یا استمرار و تداوم

۳) **Cooperative** یا همکاری و تشریک مساعی (هماهنگی و همکاری تمام زیرمجموعه‌های شهر و کشور

نظیر شهرداری، راهنمایی و رانندگی، نیروی انتظامی و ...)

## فصل دوم مهندسی ترافیک

## مقدمه‌ای بر برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری

[Azarkish@iust.ac.ir](mailto:Azarkish@iust.ac.ir)

## ۲-۱- تعریف برنامه‌ریزی حمل و نقل:

برنامه‌ریزی حمل و نقل فرآیندی است که به تصمیم‌گیری پیرامون سیاستها و برنامه‌های حمل و نقل منجر می‌شود و اقدامات احتمالی آینده را برای سوق دادن سیستم به جهت دلخواه بررسی می‌نماید.

## ۲-۲- هدف برنامه‌ریزی حمل و نقل :

هدف از فرآیند برنامه‌ریزی حمل و نقل، تهیه اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری درباره زمان و مکان اصلاحاتی است که باید در سیستم حمل و نقل ایجاد گردد تا سفر و الگوهای کاربری زمین هماهنگ با اهداف، نیازها و اولویت‌های جامعه ارتقا و بهبود یابند.

## ۲-۳- انواع برنامه‌ریزی حمل و نقل :

الف - برنامه‌ریزی کوتاه مدت یا میان مدت یا مدیریت سیستمهای حمل و نقل (TSM)

ب - برنامه‌ریزی بلند مدت یا استراتژیک یا جامع

## ۲-۳-۱- برنامه‌ریزی کوتاه مدت یا مدیریت سیستمهای حمل و نقل (TSM) :

هدف از انجام این نوع برنامه‌ریزی دستیابی به ظرفیت حداکثر و بهره‌برداری بهینه از تسهیلات موجود حمل و نقل می‌باشد. مشخصات این نوع برنامه‌ریزی عبارتند از:



- مدت زمان انجام و اجرای آن کوتاه (بین ۱ تا ۳ سال) می‌باشد.
- نیازمند سرمایه گذاری کلان و ساخت و سازهای وسیع نمی‌باشد.
- پیشنهاد راه حل‌ها و راهکارها بر اساس بودجه تخصیص داده شده انجام می‌شود.
- تعداد راهکارها و راه حل‌های پیشنهادی محدود خواهد بود.
- در مرحله بررسی و ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی با تعداد محدودی معیار سروکار دارد، لذا از پیچیدگی کمتری برخوردار است.

### ۲-۳-۲- برنامه‌ریزی بلند مدت (استراتژیک یا جامع):

هدف از انجام این نوع برنامه‌ریزی تحقق اهداف و مقاصد جامعه در مسائل مربوط به جابجایی می‌باشد، به گونه‌ای که محدودیت‌هایی نظیر امکان‌پذیری، منابع و تأثیرات متقابل آنها در نظر گرفته شود. مشخصات این نوع برنامه‌ریزی عبارتند از:

- مدت برنامه‌ریزی (مدت انجام و اجرا) طولانی است (حدود ۲۰ سال).
- نیازمند سرمایه گذاری کلان و ساخت و سازهای وسیع می‌باشد.
- تا حدودی یک مسئله پیچیده است و در مرحله ارائه، بررسی و ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی باید تأثیرات متقابل مسائلی همچون اقتصاد، محیط زیست و وضعیت اجتماعی محدوده مورد مطالعه را در نظر گرفت.

### ۲-۴- روند انجام برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری

برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری، رایج‌ترین شکل برنامه‌ریزی حمل و نقل بلند مدت است. این فرآیند تلاشی گسترده، پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد که با وجود شکلهای مختلفی که در حین اجرا دارد، مراحل اصلی انجام آن مشابه می‌باشد. این مراحل با یکدیگر در ارتباط هستند و ممکن است اطلاعاتی که از یک مرحله بدست می‌آید در مرحله قبل و یا بعد مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که مهندسان و برنامه‌ریزان حمل و نقل در طول دهه‌های گذشته تلاش زیادی در ساده‌سازی این فرآیند داشته‌اند و کماکان رشته برنامه‌ریزی

حمل و نقل شهری به رشد خود ادامه می‌دهد تا روشها و روندهای آن بتواند پاسخگوی مسائل بسیار پیچیده امروزی باشد. با این توضیح مراحل انجام فرآیند برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری عبارتند از:

### اول : تشکیل سازمان

برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری کار بسیار گسترده‌ای است که با مقامات، سازمانهای دولتی، شهروندان و کادر فنی و تخصصی در تعامل می‌باشد. همچنین این برنامه‌ریزی فرآیندی نیست که یکبار و برای همیشه انجام شود. از اینرو به منظور ایجاد ارتباط بین گروههای فوق و فراهم شدن زمینه یک برنامه‌ریزی مداوم و انعطاف‌پذیر، ضرورت ایجاد سازمان مشخص می‌شود. به طور کلی وظایف یک سازمان برنامه‌ریزی عبارت است از :

- تعیین سیاستها و خطوط کلی برنامه‌ریزی و هدایت آن.
- استخدام نیروی انسانی متخصص و تقسیم کار.
- ارتباط با مردم و انعکاس نقطه نظرات آنها.
- بایگانی سوابق، آمار، اطلاعات، و نتایج بصورت مداوم

### دوم : تعیین اهداف و مقاصد

هر برنامه‌ریزی نیاز به یک هدف دارد. این هدف جهت اصلی حرکت از وضع موجود به وضع مطلوب را مشخص می‌کند. برای مثال هدف از برنامه‌ریزی می‌تواند به یکی از صورت های زیر تعریف شود :

- بهبود ترافیک شهری
- تحرک بیشتر در حمل و نقل مسافر و کالا
- بهبود محیط زیست

همانطور که ملاحظه می‌گردد اهداف معمولاً به صورت کلی بیان می‌شوند. لذا برای بیان جزئیات به اجزاء کوچکتری که قابل اندازه‌گیری و شمارش هستند، تقسیم می‌شوند. به این اجزای کوچکتر مقاصد گفته می‌شود. به عنوان مثال برای بهبود ترافیک شهری لازم است :

- زمان سفر در مسیرها به حداقل برسد (معیار اندازه گیری آن ساعت است)
- هزینه سفر در مسیرها به حداقل برسد (واحد آن ریال است)
- ایمنی کافی برای سیستم تامین گردد (ایمنی بر حسب تعداد تصادفات قابل اندازه گیری است)

### سوم : بررسی وضع موجود

این مرحله شامل جمع آوری آمار و اطلاعات لازم برای بدست آوردن عناصری می‌باشد که به درک اساسی پیرامون خصوصیات سفر در منطقه کمک می‌کند. اجرای این مرحله نیاز به مقدماتی دارد تا امکان آمارگیری فراهم شود.

### الف) تعیین محدوده مورد مطالعه (منطقه مطالعاتی)

محدوده مطالعاتی ، منطقه‌ای است که مطالعات برنامه‌ریزی حمل و نقل در آن انجام می‌شود. تعیین حدود این منطقه از اهمیت بسیاری برخوردار است و نیازمند مطالعه، تجربه و دقت می‌باشد. اما بطور کلی محدوده تعیین شده باید دارای شرایط زیر باشد:

- تمام مناطق آباد شده شهری را در بر بگیرد.
- تمام مناطقی را که ممکن است در طی زمان پیش‌بینی شده تحت تأثیر برنامه قرار گیرند را نیز شامل شود.
- منطقه مطالعاتی باید با یک خط فرضی که به آن مرز منطقه گفته می‌شود، مشخص گردد. در مطالعات حمل و نقل این مرز به عنوان خط قرنطینه خارجی (**External Cordon**) شناخته می‌شود.

### ب) تعیین نواحی مطالعاتی

پس از تعیین محدوده مورد مطالعه، این محدوده به چند ناحیه (**Zone**) تقسیم می‌شود تا بتوان ایده تعیین مبدأ و مقصد سفرها را پیاده سازی نمود. همچنین به این وسیله می‌توان کمیت برخی متغیرها از قبیل

جمعیت و اشتغال را در فضای هر ناحیه تعریف نمود. تقسیم منطقه مطالعاتی به نواحی مطالعاتی معمولاً بر اساس خصوصیات کاربری زمین انجام می‌شود. همچنین از عوارض طبیعی و مصنوعی نظیر رودخانه، خط آهن و یا آزادراهها می‌توان به عنوان مرز نواحی مطالعاتی استفاده نمود. بر این اساس در داخل محدوده مورد مطالعه اصطلاحات دیگری از جمله خط قرنطینه داخلی (به عنوان مثال مرز فرضی ناحیه تجاری مرکز شهر) و خط برش<sup>۱</sup> (عوارضی مانند رودخانه یا ریل راه آهن که از میان شهر می‌گذرند) قابل تعریف می‌باشد.

#### ج) تعیین حوزه‌های مطالعاتی

در مواردی تقسیم یک ناحیه مطالعاتی به واحدهای کوچکتر تحت عنوان حوزه‌های مطالعاتی اجرای آمارگیری و تحلیل نتایج در نواحی بزرگ را آسان می‌نماید.

#### د) مشخص کردن شبکه حمل و نقل (خیابانها و حمل و نقل عمومی)

پس از تعریف محدوده مورد مطالعه و ناحیه‌بندی آن (و در مواردی تعیین حوزه‌های مطالعاتی)، نوبت به تعریف شبکه حمل و نقل (بخش عرضه) در فضای محدوده مورد مطالعه می‌رسد. معمولاً شبکه حمل و نقل بصورت مجموعه‌ای از گره‌ها، به همراه کمان‌هایی که آنها را به هم متصل می‌سازند مدل می‌شود. در شبکه حمل و نقل شهری گره‌ها اکثراً بیانگر تقاطع‌های موجود در شبکه و کمان‌ها، امتداد راه‌ها یا خیابان‌هایی هستند که بین تقاطع‌ها وجود دارند. لازم به ذکر است که شبکه حمل و نقل عمومی به دلیل ویژگی‌های خاصی که دارد، جدا از شبکه حمل و نقل شهری مدل می‌شود. در این شبکه ایستگاهها به عنوان گره در نظر گرفته می‌شوند.

<sup>۱</sup> - Screen line

ه) جمع آوری آمار و اطلاعات لازم در هر حوزه از نواحی مربوط به منطقه مطالعاتی.

امکان شروع آمارگیری و جمع آوری اطلاعات لازم، پس از مشخص کردن حوزه‌ها و شبکه‌های حمل و نقل فراهم می‌شود. مطالعات جامع حمل و نقل شهری که عموماً افق دیدی در حدود ۲۰ سال دارند، علاوه بر اطلاعات مربوط به تعداد و ویژگیهای سفر (مبدأ، مقصد، هدف، زمان، وسیله و مسیر) نیازمند اطلاعات گسترده دیگری نیز می‌باشند. اطلاعات مورد نیاز در اینگونه مطالعات را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

۱. اطلاعات مربوط به زیرساخت‌ها و سیستم‌های خدماتی موجود مانند شبکه حمل و نقل عمومی و

خصوصی، تجهیزات و علائم ترافیکی و غیره.

۲. اطلاعات مربوط به کاربری زمین شامل نواحی مسکونی (با تعیین تراکم جمعیت)، نواحی تجاری

و صنعتی (با تعیین نوع مؤسسات)، فضاهای پارکینگ و غیره.

۳. اطلاعات اقتصادی - اجتماعی شامل میزان اشتغال، درآمد، مالکیت وسیله نقلیه، بعد و ساختار

خانوار و غیره.

برای دستیابی به اطلاعات فوق‌الذکر معمولاً از روشهای مختلف آمارگیری استفاده می‌شود. این روشها

عبارتند از:

۱. آمارگیری از ویژگی‌های سفرها و ساختار خانواده که از طریق مراجعه مستقیم به منازل صورت

می‌گیرد. (آمارگیری در منازل)

۲. آمارگیری از رفت و آمدهای خاص که از طریق ایجاد ایستگاه‌های مخصوص آمارگیری در کنار

مسیرها انجام می‌شود. (آمارگیری در کنار جاده‌ها)

۳. آمارگیری استخدامی

۴. آمارگیری از وسایل حمل و نقل تجاری

۵. آمارگیری از وسایل حمل و نقل عمومی

۶. آمارگیری از جزئیات شبکه ترافیک

۷. آمارگیری از توقفگاهها و پارکینگ‌ها

بدیهی است که علاوه بر این آمارگیری‌ها کار دفتری سنگینی لازم است تا اطلاعات مربوط به حوزه‌های مختلف موجود در ناحیه مطالعاتی بازبینی و اصلاح شود.

#### چهارم: تجزیه و تحلیل اطلاعات و مدلسازی

بر اساس آمارگیری‌های انجام شده اطلاعاتی بدست می‌آید که پس از تجزیه و تحلیل آنها می‌توان از وضعیت سفر و وضع موجود ترابری مدلسازی کرد و بر اساس آن فرمولها و روابطی بدست آورد که هم پیش‌بینی وضعیت آینده ترابری را ممکن می‌سازد و هم امکان یافتن راه‌حلهای مناسبی که پاسخگوی نیازهای آینده باشد را فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که این مرحله شامل ارائه، کنترل و واسنجی مدلها و فرمول‌هایی است که از طریق آنها بتوان بر اساس وضعیت موجود ترابری، وضعیت آینده ترابری را پیش‌بینی نمود. بعضی از مدل‌هایی که در مطالعات حمل و نقل شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از :

- مدل پیش‌بینی جمعیت
- مدل پیش‌بینی فعالیت‌های اقتصادی
- مدل پیش‌بینی کاربری زمین
- مدل تولید سفر (تعداد سفرهایی که در هر حوزه تولید و یا به هر حوزه ختم می‌شود، بر حسب خصوصیات کاربری زمین آن حوزه محاسبه و پیش‌بینی می‌شود)
- مدل توزیع سفر (تبادل سفر بین حوزه‌ها یا تعداد سفرهایی که از یک مبدا معین به یک مقصد معین انجام می‌شود، محاسبه و پیش‌بینی می‌گردد)
- مدل تفکیک سفر (نوع وسیله‌نقلیه مورد استفاده برای انجام سفر پیش‌بینی می‌شود و مشخص می‌گردد که سفرهای توزیع شده بین حوزه‌ها با چه نوع وسیله‌نقلیه‌ای انجام خواهد گرفت)
- مدل تخصیص سفر (مسیر سفرهای پیش‌بینی شده بین حوزه‌های مختلف تعیین شده و حجم ترافیک شبکه حمل و نقل معین می‌گردد)

### پنجم: پیشنهاد و ارزیابی راه‌حلهای مختلف

در این مرحله از فرآیند برنامه‌ریزی به دنبال ارائه راه‌حلهای مختلف برای تطبیق سیستم حمل و نقل با سفرهای پیش‌بینی شده برای سال حد هستیم. برای این منظور انواع شبکه‌های حمل و نقل و الگوهای کاربری زمین که در راستای اهداف و مقاصد تعیین شده و منطبق با آنها هستند مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### ششم: انتخاب و اجرای گزینه نهایی

پس از ارزیابی گزینه‌های مختلف، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین گزینه که به بهترین وجه اهداف و مقاصد بیان شده را برآورده می‌کند به عنوان راه حل نهایی انتخاب و اجرا می‌شود.

### هفتم: انجام برنامه‌ریزی ممتد

ممکن است طرح و یا گزینه‌ای که امروز به عنوان بهترین راه حل پیشنهاد شده است، در آینده بطور کامل معتبر نباشد. بنابراین لازم است تا با انجام برنامه‌ریزی ممتد و کنترل مداوم عکس‌العمل‌های محدوده مطالعاتی نسبت به طرح، در صورت تشخیص اختلاف عمده بین شرایط پیش‌بینی شده و شرایط پیش آمده نسبت به اصلاح و بروز رسانی طرح اقدام شود.

سرعت نقطه‌ای تنها سرعت قابل اندازه‌گیری در جریان ترافیک می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری سرعت‌های نقطه‌ای بر اساس روشهای آماری خاص مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و طی این فرآیند که مطالعات سرعت نقطه‌ای نامیده می‌شود، سایر سرعت‌های مورد نیاز در شرایط محیطی و زمانی خاص استنتاج می‌گردد. مهمترین اهداف مورد نظر از انجام مطالعات سرعت نقطه‌ای را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

۱- تعیین پارامترهای عملکردی و کنترلی

- حدود سرعت (سرعت مجاز یا ۸۵ درصد، سرعت حداقل یا ۱۵ درصد)
- سرعت مجاز ورود به تقاطع برای زمانبندی چراغ راهنمایی
- سرعت مجاز مسیرها و محل‌های عبور دانش آموزان
- محل نصب تابلوها و علائم ترافیکی
- تعیین محدوده سبقت ممنوع

۲- تأمین عناصر طرح هندسی راه

- مشخصات قوسهای افقی و قائم
- میزان برابندی یا دور
- شیب طولی مجاز و حداکثر طول بحرانی هر شیب
- طول خطوط تغییر سرعت
- طول مناطق سبقت ممنوع
- مسافتهای دید

۳- تحلیل ظرفیت راه

۴- ارزیابی ایمنی راه

- شناسایی نقاط حادثه‌خیز
- تحلیل تصادفات
- تحقیق در مورد شکایات

۵- اندازه‌گیری میزان تأثیر وسایل کنترل ترافیک و اعمال مقررات

۳-۶-۱- روش خلاصه‌کردن و تحلیل داده‌های سرعت نقطه‌ای

از آنجا که در مطالعات سرعت، تعداد نسبتاً زیادی سرعت لحظه‌ای اندازه‌گیری می‌شود (جدول ۱)، لازم است که روشهای آماری را برای تجزیه، تحلیل و تعیین توزیع سرعتها بکار بست. مراحل این کار به شرح زیر می‌باشد:

۱- تشکیل جدول توزیع فراوانی



- در ستون ۱ این جدول، سرعتها را با فواصل مساوی و معین به طبقاتی تقسیم می‌کنند. این فاصله را فرجه طبقات می‌نامند و عوامل موثر در تعیین آن عبارتند از: دقت اندازه‌گیری سرعتها، تعداد سرعتهای اندازه‌گیری شده، حداقل و حداکثر سرعت اندازه‌گیری شده
- متوسط سرعت هر طبقه در ستون ۲ جدول یادداشت می‌شود.
- تعداد سرعتهای مشاهده شده در محدوده تغییرات سرعت هر طبقه در ستون ۳ وارد می‌شود.
- درصد فراوانی هر طبقه در ستون ۴ و درصد فراوانی تجمعی در ستون ۵ یادداشت می‌شود.
- دو ستون آخر جدول توزیع فراوانی حاصل ضربهای ساده‌ای هستند که در محاسبه انحراف معیار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول (۱): داده‌های سرعت نقطه‌ای حاصل از یک جاده برون شهری

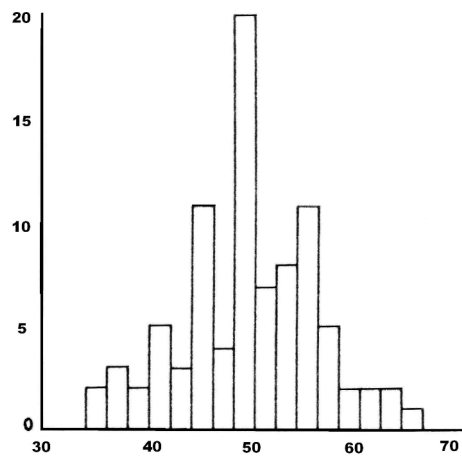
شماره اتومبیل	سرعت mph	شماره اتومبیل	سرعت mph	شماره اتومبیل	سرعت mph	شماره اتومبیل	سرعت mph
۱	۳۵/۱	۲۳	۴۶/۱	۴۵	۴۷/۸	۶۷	۵۶
۲	۴۴	۲۴	۵۴/۲	۴۶	۴۷/۱	۶۸	۴۹/۱
۳	۴۵/۸	۲۵	۵۲/۳	۴۷	۳۴/۸	۶۹	۴۹/۲
۴	۴۴/۳	۲۶	۵۷/۳	۴۸	۵۲/۴	۷۰	۵۶/۴
۵	۳۶/۳	۲۷	۴۶/۸	۴۹	۴۹/۱	۷۱	۴۸/۵
۶	۵۴	۲۸	۵۷/۸	۵۰	۳۷/۱	۷۲	۴۵/۴
۷	۴۲/۱	۲۹	۳۶/۸	۵۱	۶۵	۷۳	۴۸/۶
۸	۵۰/۱	۳۰	۵۵/۸	۵۲	۴۹/۵	۷۴	۵۲
۹	۵۱/۸	۳۱	۴۳/۳	۵۳	۵۲/۲	۷۵	۴۹/۸
۱۰	۵۰/۸	۳۲	۵۵/۳	۵۴	۴۸/۴	۷۶	۶۳/۴
۱۱	۳۸/۳	۳۳	۳۹	۵۵	۴۲/۸	۷۷	۶۰/۱
۱۲	۴۴/۶	۳۴	۵۳/۷	۵۶	۴۹/۵	۷۸	۴۸/۸
۱۳	۴۵/۲	۳۵	۴۰/۸	۵۷	۴۸/۶	۷۹	۵۲/۱
۱۴	۴۱/۱	۳۶	۵۴/۵	۵۸	۴۱/۲	۸۰	۴۸/۷
۱۵	۵۵/۱	۳۷	۵۱/۶	۵۹	۴۸	۸۱	۶۱/۸
۱۶	۵۰/۲	۳۸	۵۱/۷	۶۰	۵۸	۸۲	۵۶/۶
۱۷	۵۴/۳	۳۹	۵۰/۳	۶۱	۴۹	۸۳	۴۸/۲
۱۸	۴۵/۴	۴۰	۵۹/۸	۶۲	۴۱/۸	۸۴	۶۲/۱
۱۹	۵۵/۲	۴۱	۴۰/۳	۶۳	۴۸/۳	۸۵	۶۳/۳
۲۰	۴۵/۷	۴۲	۵۵/۱	۶۴	۴۵/۹	۸۶	۵۳/۴
۲۱	۵۴/۱	۴۳	۴۵	۶۵	۴۴/۷		
۲۲	۵۴	۴۴	۴۸/۳	۶۶	۴۹/۵		

جدول (۲): جدول توزیع فراوانی داده‌های سرعت

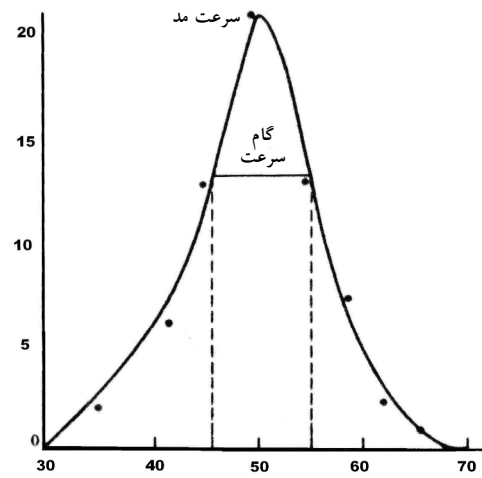
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
دسته سرعت mile/h	متوسط دسته $s$	فراوانی دسته $n$	درصد مشاهدات دسته	درصد تجمعی همه مشاهدات	$n \times s$	$n \times s^2$
۳۴-۳۵/۹	۳۵	۲	۲/۳	۲/۳		
۳۶-۳۷/۹	۳۷	۳	۳/۵	۵/۸		
۳۸-۳۹/۹	۳۹	۲	۲/۳	۸/۱		
۴۰-۴۱/۹	۴۱	۵	۵/۸	۱۳/۹		
۴۲-۴۳/۹	۴۳	۳	۳/۵	۱۷/۴		
۴۴-۴۵/۹	۴۵	۱۱	۱۲/۸	۳۰/۲		
۴۶-۴۷/۹	۴۷	۴	۴/۷	۳۴/۹		
۴۸-۴۹/۹	۴۹	۱۸	۲۱	۵۵/۹		
۵۰-۵۱/۹	۵۱	۷	۸/۱	۶۴		
۵۲-۵۳/۹	۵۳	۸	۹/۳	۷۳/۳		
۵۴-۵۵/۹	۵۵	۱۱	۱۲/۸	۸۶/۱		
۵۶-۵۷/۹	۵۷	۵	۵/۸	۹۱/۹		
۵۸-۵۹/۹	۵۹	۲	۲/۲	۹۴/۲		
۶۰-۶۱/۹	۶۱	۲	۲/۳	۹۶/۵		
۶۲-۶۳/۹	۶۳	۲	۲/۳	۹۸/۸		
۶۴-۶۵/۹	۶۵	۱	۱/۲	۱۰۰		
		۸۶				

## ۲- رسم منحنی توزیع فراوانی و منحنی توزیع فراوانی تجمعی

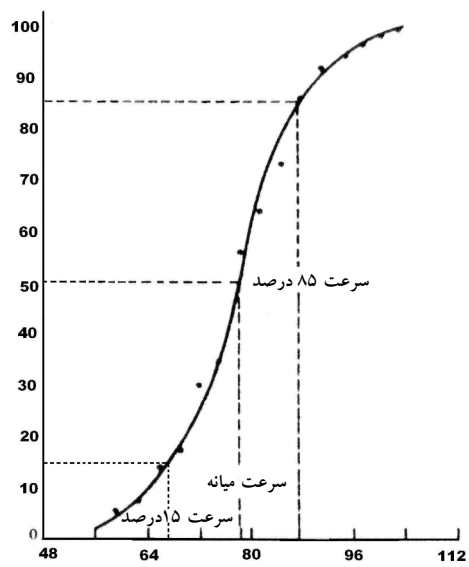
تحلیل‌گران می‌توانند داده‌های سرعت را به شکل‌های گرافیکی مختلفی نشان دهند. شکل (۱) نمودار میله‌ای داده‌های طبقه‌بندی شده در جدول (۲) را نشان می‌دهد. منحنی توزیع فراوانی داده‌ها نیز با استفاده از ستون درصد مشاهدات در شکل (۲) رسم شده است. به طور مشابه، با استفاده از ستون درصد تجمعی مشاهدات و سرعت‌های نظیر آنها می‌توان به منحنی S شکل توزیع تجمعی که در شکل (۳) رسم شده است، دست یافت.



شکل (۱): نمودار میله‌ای داده‌های سرعت نقطه‌ای



شکل (۲): منحنی توزیع فراوانی



شکل (۳): منحنی توزیع فراوانی تجمعی

### ۳- محاسبه پارامترهای آماری

بر اساس منحنی‌های توزیع فراوانی و توزیع تجمعی فراوانی، پارامترهای آماری مهمی را می‌توان محاسبه نمود. این پارامترها شاخصهای مرکزگرایی (سرعت متوسط، سرعت میانه، سرعت مد و گام سرعت<sup>۱</sup>) و شاخصهای پراکندگی (انحراف از معیار، سرعت ۸۵ درصد و سرعت ۱۵ درصد) توزیع سرعت را مشخص می‌کنند. همچنین اگر بر اساس آزمونهای ریاضی بتوان صحت نرمال بودن توزیع ریاضی سرعت را اثبات نمود، می‌توان تحلیل‌های دیگری را نیز بر روی داده‌های سرعت انجام داد که مباحث مربوط به آن در درس مهندسی ترافیک پیشرفته ارائه می‌شود.

---

۱- بازه‌ای از مقادیر سرعت است به طول ۱۰ مایل بر ساعت یا ۱۵ کیلومتر بر ساعت، که سرعت دارای بیشترین فراوانی را در خود جای داده است

## فصل چهارم مهندسی ترافیک

### خصوصیات کاربران راه و وسایل نقلیه

[Azarkish@iust.ac.ir](mailto:Azarkish@iust.ac.ir)

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 ۱/۵ 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 محدوده‌ها قرار گیرند، مشخص می‌کند. با توجه به این تغییر، طراحی سیستم بر اساس میانگین هر مشخصه روشی 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 توجه 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 پیشنیاز 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]:

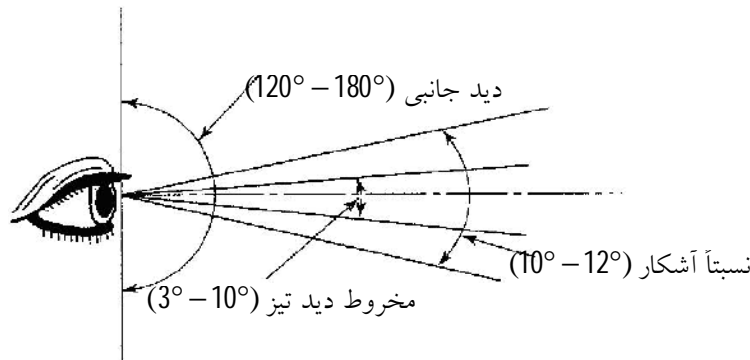
- **مخروط دید تیز یا آشکار:** ۳ تا ۱۰ درجه پیرامون خط دید؛ علائم تنها درون این میدان دید محدود قابل خواندن هستند.
- **مخروط دید نسبتاً آشکار:** ۱۰ تا ۱۲ درجه پیرامون خط دید؛ رنگ و شکل می‌تواند در این میدان تشخیص داده شود.

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 فرایندها 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:

$$\frac{1km \times (\frac{1000m}{km})}{1h \times (\frac{3600s}{h})} = 0.2777 \dots \frac{m}{s} = 0.278 \frac{m}{s}$$

لذا مسافت عکس‌العمل را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$d_r = 0.278 \quad s.t \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

که در آن:

$d_r$  = مسافت عکس‌العمل بر حسب m

$s$  = سرعت اولیه وسیله نقلیه بر حسب km/h

$t$  = 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 پیاده‌روی ۵۰ درصد برای عابران پیاده دارای سنین مختلف [۱۲]

سرعت پیاده‌روی 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 پیاده‌روی برای عابران دارای آسیب بدنی [۱۳]

آسیب / وسیله کمکی	متوسط سرعت پیاده‌روی (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 ناسازگارهایی بین وسایل نقلیه و عابران پیاده مسئولیت سختی را به دنبال دارد.

## ۳-۴- 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:

- ترمزگیری 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 ( $> 16 \text{ km/h}$ )

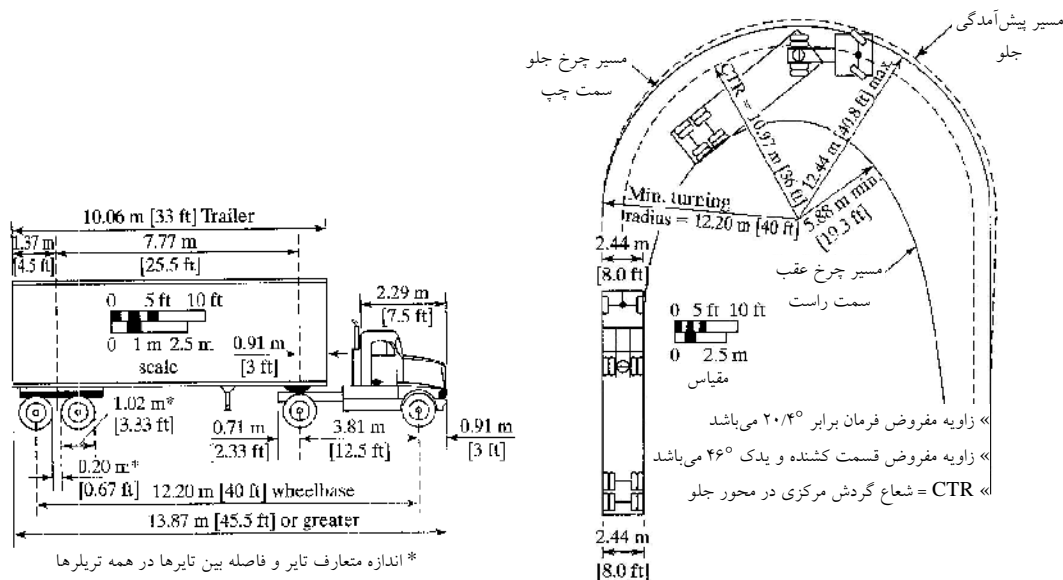
گردشهای با سرعت کم بوسیله خصوصیات وسیله نقلیه محدود می‌شوند، به گونه‌ای که حداقل شعاع گردشی که بوسیله مکانیزم فرمان وسیله نقلیه قابل تنظیم است در چنین سرعتهایی می‌تواند پشتیبانی شود. گردشهای با سرعت زیاد بوسیله اصطکاک جانبی بین سطح رویه جاده و لاستیکها و همچنین مقدار بر بلندی (شیب عرضی) جاده محدود می‌شوند.

#### « 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 برابندی ، (%)

$f$  = ضریب اصطکاک جانبی

$S$  = سرعت وسیله نقلیه، (m/sec)

$R$  = شعاع پیچ، (m)

$g$  = شتاب جاذبه زمین، (۹/۸۱ m/s<sup>2</sup>)

میزان برابندی 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 برابندی را در ضوابط ۲۰۰۱ خود به صورت درصد بیان نموده است، لیکن بسیاری دیگر از نشریات هنوز میزان برابندی را به صورت مقدار اعشاری بیان می‌کنند.

رابطه (۲-۴) را می‌توان ساده نمود با این استدلال که جمله  $0.01e$  خیلی کوچک است و برای مقادیر معمول عوامل برابندی 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 برابندی از حداقلی حدود ۰/۵ درصد برای تأمین زهکش جانبی تا حداکثر ۱۲ درصد می‌باشد. با افزایش سرعت، مقادیر بزرگتر برابندی 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 برابندی 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  $e$  و  $f$  محاسبه می‌شود. برای مثال، اگر جاده‌ای دارای سرعت طرح  $104 \text{ km/h}$  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  $e$  و  $f$  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  $78.8 \text{ km/h}$  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 می باشد. توجه گردد که ضریب ۰/۰۳۸۶ از تبدیل واحد دقیق بین m/s و km/h حاصل می شود. همچنین اغلب بهتر است که این معادله بر حسب ضریب اصطکاک لغزشی یا غلتشی حرکت (F) بیان شود. با

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

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

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

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

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 سرپایینی ها از علامت - استفاده می شود. در سربالایی ها شتاب جاذبه به کاهش سرعت کمک می کند و در نتیجه مسافت ترمز کوتاه تر می شود. همچنین در سرپایینی ها شتاب جاذبه باعث شتاب بیشتر شده و مسافت ترمز طولانی تر می گردد.

در نسخه های قدیمی مرجع شماره ۵، مسافتهای ترمز بر مبنای ضرایب اصطکاک لغزشی حرکت بر روی روسازیهای خیس محاسبه می شد. 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 می شود که این نرخ می تواند بوسیله اکثر وسایل نقلیه بر روی روسازیهای خیس محقق شود. همچنین انتظار می رود که ۹۰ درصد از رانندگان با نرخهای بیشتری کاهش سرعت دهند. لذا این نرخ یک ضریب اصطکاک استاندارد برای محاسبات مسافت ترمز پیشنهاد می دهد و معادله (۴-۶) به صورت زیر بازنویسی می شود:

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

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

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

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

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 (۴-۶) 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  $32 \text{ km/h}$  به کنار پل برخورد نموده است. بر اساس شواهد محل تصادف، خط قرمزی به طول  $30 \text{ m}$  بر روی روسازی ( $F=0/35$ ) و  $23 \text{ m}$  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 (۴-۶) 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 (۴-۵) 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  $32 \text{ km/h}$  را در نظر بگیرید. با تبدیل واحد سرعت از  $\text{m/s}$  به  $\text{km/h}$  خواهیم داشت:

$$d_a = \left( \frac{0/278S}{a} \right) \left( \frac{0/278S}{2} \right) = 0/0386 \left( \frac{S^2}{a} \right) \quad \text{رابطه (۴-۸)}$$

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/s<sup>2</sup> 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/s<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> ) 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 :

$$d = \text{مسافت توقف کل، (m)}$$

$$S_i = \text{سرعت اولیه، (km/h)}$$

$$S_f = \text{سرعت نهایی، (km/h)}$$

$$t = \text{زمان عکس العمل، (s)}$$

$$G = \text{شیب جاده، (\%)}$$

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		
رابطه(۲-۱۰)	رابطه(۲-۱۰)	رابطه(۲-۱۰)	رابطه(۲-۹)	رابطه(۲-۹)		
۱۴/۵	۱۲/۹	۱۱/۲	۹/۱	۳	زمان عکس‌العمل (s)	
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:

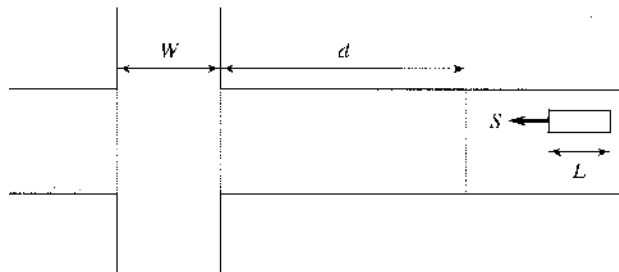
علاوه بر مسافت مطمئن دید توقف و مسافت دید تصمیم، آیین نامه AASHTO ضوابطی نیز برای مسافت دید سبقت در جاده‌های دو خطه بین شهری و مسافتهای دید تقاطع برای گزینه‌های مختلف کنترل، وضع نموده است. پیرامون این مباحث در فصلهای بعد صحبت می‌شود.

#### 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  $64 \text{ km/h}$  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  $64/1$  متری را با سرعت  $64 \text{ km/h}$  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.

### مسائل:

۴-۱- راننده‌ای که با سرعت  $88 \text{ km/h}$  در حرکت است برای واکنش به یک وضعیت پیچیده زمان  $3/2 \text{ s}$  را نیاز دارد. قبل از اینکه راننده عکس‌العمل فیزیکی نسبت به این وضعیت را آغاز نماید (یعنی پای خود را بر روی ترمز بفشارد)، وسیله نقلیه چه مسافتی را طی می‌کند؟

۴-۲- راننده‌ای با سرعت  $96 \text{ km/h}$  در حال دور زدن یک پیچ در شیب هموار می‌باشد که در فاصله  $122 \text{ m}$  متری خود متوجه یک کامیون واژگون در عرض جاده می‌شود. در صورتی که راننده قادر باشد با نرخ  $3 \text{ m/s}^2$  کاهش سرعت دهد، سرعت برخورد وسیله با کامیون چقدر خواهد بود؟ نتایج را برای زمان عکس‌العمل بین  $5 \text{ s} - 0/5 \text{ s}$  به ازاء هر  $0/5 \text{ s}$  رسم نموده و پیرامون آن بحث نمایید.

۴-۳- در یک سرازیری به شیب  $3\%$ ، یک وسیله نقلیه با سرعت تخمینی  $56 \text{ km/h}$  به یک درخت برخورد می‌کند. در صورتی که طول خط ترمز مشاهده شده بر روی روسازی خشک ( $F=0/45$ ) برابر  $30 \text{ m}$  و ادامه آن بر روی چمن شانه ( $F=0/2$ ) برابر  $76 \text{ m}$  باشد، سرعت اولیه وسیله نقلیه دقیقاً قبل از شروع خط ترمز روی روسازی چقدر بوده است؟

۴-۴- رانندگان برای عبور از یک پیچ خطرناک در جاده بین شهری باید سرعت را از  $112 \text{ km/h}$  به  $96 \text{ km/h}$  کاهش دهند. یک تابلوی هشدار دهنده برای پیچ از فاصله  $30 \text{ m}$  متری به وضوح قابل رویت است. برای اطمینان از اینکه وسایل نقلیه فاصله کافی برای کاهش سرعت مطمئن را داشته باشند، موقعیت تابلو در چه فاصله‌ای از پیچ باید قرار داده شود؟ از زمان عکس‌العمل استاندارد و نرخ کاهش سرعت توصیه شده بوسیله AASHTO برای مانورهای ترمز استفاده نمایید.

۴-۵- زمان زرد چراغ راهنمایی برای وسایل نقلیه‌ای که بر روی یک سرازیری با شیب  $2\%$  و با سرعت  $56 \text{ km/h}$  به یک چراغ راهنمایی نزدیک می‌شوند، چقدر می‌باشد؟ از زمان عکس‌العمل استاندارد  $1 \text{ s}$  و نرخ کاهش سرعت استاندارد AASHTO استفاده نمایید.

۴-۶- مسافت مطمئن توقف برای مقطعی از یک آزاد راه بین شهری با سرعت طرح  $128 \text{ km/h}$  و بر روی سربالایی با شیب  $4\%$  چقدر می‌باشد؟

۴-۷- حداقل شعاع قوس برای عملکرد مطمئن وسایل نقلیه در سرعت  $112 \text{ km/h}$ ، با حداکثر برابندی  $6\%$  و ماکزیمم ضریب اصطکاک جانبی برابر  $0/1$  چقدر می‌باشد؟

مراجع:

- [1] Dewar, Robert, "Road Users," *Traffic Engineering Handbook*, 5th Edition, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, 1999.
- [2] Ogden, K.W., *Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering*, University Press, Cambridge, England, 1996.
- [3] Allen, Merrill, *et al.*, *Forensic Aspects of Vision and Highway Safety*, Lawyers and Judges Publishing Co., Inc., Tucson, AZ, 1996.
- [4] Olson, Paul, *Forensic Aspects of Driver Perception and Response*, Lawyers and Judges Publishing Co., Inc., Tucson, AZ, 1996.
- [5] *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 4th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC. 2001.
- [6] Johansson, G. and Rumar, K., "Driver's Brake Reaction Times," *Human Factors*, Vol. 13, No. 1, Human Factors and Ergonomics Society, February 1971.
- [7] *Report of the Massachusetts Highway Accident Survey*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1935.
- [8] Norman, O.K., "Braking Distances of Vehicles from High Speeds," *Proceedings of the Highway Research Board*, Vol. 22, Highway Research Board, Washington DC, 1953.
- [9] Fambro, D.B., *et al.*, "Determination of Safe Stopping Distances," *NCHRP Report 400*, Transportation Research Board, Washington DC, 1997.
- [10] *Determination of Vehicle Signal Change and Clearance Intervals*, Publication IR-073, Institute of Transportation Engineers, Washington DC, 1994.
- [11] *Human Factors*, Vol. 28, No. 1, Human Factors and Ergonomics Society, 1986.
- [12] Eubanks, J.J. and Hill, P.L., *Pedestrian Accident Reconstruction and Litigation*, 2nd Edition, Lawyers and Judges Publishing Co, Inc., Tucson, AZ, 1998.
- [13] Perry, J., *Gait Analysis*, McGraw-Hill, New York, NY, 1992.
- [14] Sleight, R.B., "The Pedestrian," *Human Factors in Traffic Safety Research*, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1972.
- [15] Tidwell, J.E. and Doyle, D., *Driver and Pedestrian Comprehension of Pedestrian Laws and Traffic Control Devices*, AAA Foundation for Traffic Safety, Washington DC, 1993.
- [16] Herms, B.F., "Pedestrian Crosswalk Study: Accidents; in Painted and Unpainted Crosswalks," *Pedestrian Protection*, Highway Research Record 406, Transportation Research Board, Washington DC, 1972.
- [17] "Transportation in an Aging Society," *Special Report 218*, Transportation Research Board, Washington DC, 1988.

## فصل پنجم مهندسی ترافیک

## ظرفیت راهها

[Azarkish@iust.ac.ir](mailto:Azarkish@iust.ac.ir)۵-۱- تعریف ظرفیت<sup>۱</sup>

به طور کلی، ظرفیت یک راه عبارت است از حداکثر تعداد وسایل نقلیه‌ای (یا افرادی) که می‌توانند طی مدت زمان مشخص، تحت شرایط هندسی، ترافیکی و کنترلی یک جاده، با کیفیت معین از مقطع یک خط آن عبور کنند.

دوره زمانی متداول برای تحلیل ظرفیت راه معمولاً ۱۵ دقیقه است. شرایط هندسی، ترافیکی و کنترلی متداول به طور قابل توجهی در تحلیل ظرفیت هر مقطع از جاده تاثیرگذار می‌باشد. هر تغییر بوجود آمده در این شرایط سبب تغییر در ظرفیت راه می‌شود. لازم به ذکر است که در تعریف ظرفیت فرض شده است که شرایط آب و هوایی و وضعیت روسازی جاده مطلوب می‌باشد. در این تعریف :

- شرایط هندسی جاده شامل نوع تسهیلات و کاربری اطراف آن، تعداد خطوط عبور در هر جهت، عرض هر خط عبور و شانه راه، وضعیت موانع حاشیه‌ای جاده و فاصله آنها از لبه جاده، سرعت طرح (یا سرعت آزاد) و مشخصات قوسهای قائم و افقی است.
- شرایط ترافیکی به مشخصات جریان ترافیک استفاده کننده از تسهیلات مربوط می‌شود و شامل تفکیک انواع وسایل نقلیه در جریان ترافیک، توزیع ترافیک در جهات مختلف حرکت و نسبت توزیع ترافیک در هر خط عبور می‌باشد.
- شرایط کنترلی به انواع عمومی و یا خاص ادوات کنترل و تنظیم ترافیک مربوط است. محل، نوع و زمانبندی چراغهای راهنمایی یکی از شرایط کنترلی مؤثر در ظرفیت راهها می‌باشد. شرایط کنترلی دیگر شامل علائم ایست، علائم

ممنوعیت گردش، علائم محدودیت استفاده از خطوط و نظایر آن هستند.

- کیفیت استفاده از جاده با معیار سطح سرویس<sup>۱</sup> بیان می‌شود که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

## ۵-۲- سطح سرویس

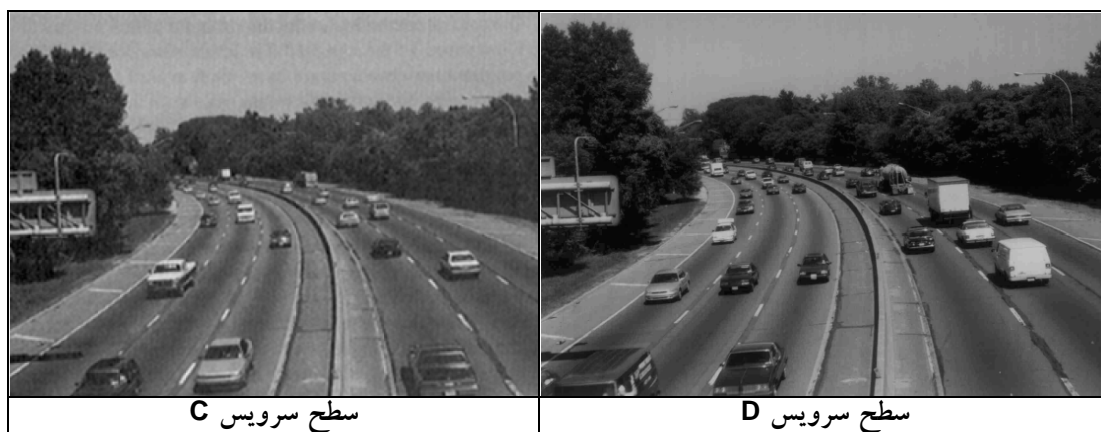
سطح سرویس یک معیار سنجش کیفی است که شرایط عملی ترافیک و میزان رضایت رانندگان از این شرایط را توصیف می‌کند. این معیار به عواملی نظیر سرعت، زمان سفر، آزادی مانور و ایمنی جاده بستگی دارد. سطوح سرویس در شش دسته از **A** تا **F** طبقه‌بندی می‌شوند، به نحوی که سطح سرویس **A** بیانگر بهترین شرایط و سطح سرویس **F** نشان دهنده بدترین شرایط ترافیکی است.

**سطح سرویس A**: این سطح سرویس بیانگر تردد آزاد است و حرکت هر یک از وسایل نقلیه در جریان ترافیک مستقل از حضور سایر وسایل نقلیه می‌باشد. آزادی برای انتخاب سرعت دلخواه و مانور دادن بدون هیچ گونه مزاحمت از سوی جریان ترافیک، از شرایط ممکن در این سطح سرویس می‌باشد. به عبارت دیگر در این طبقه یک سطح راحت و مورد رضایت مسافران و وسایل نقلیه موتوری تامین شده است.



**سطح سرویس B**: در سطح سرویس **B**، تردد پایدار و همیشگی است. اما حضور وسایل نقلیه در جریان ترافیک تا حدودی قابل توجه است. آزادی برای انتخاب سرعت دلخواه، نسبتاً مستقل از جریان ترافیک است. اما نسبت به سطح سرویس **A** کاهش نسبتاً کمی در آزادی مانور وسایل نقلیه در جریان ترافیک وجود

دارد. در این سطح، آرامش و راحتی در مقایسه با سطح سرویس A نسبتاً کاهش می‌یابد. سطح سرویس C: در این سطح سرویس نیز تردد پایدار و همیشگی است اما حرکت هر وسیله نقلیه به طور قابل توجهی تحت تأثیر رفتارهای سایر وسایل نقلیه حاضر در جریان ترافیک قرار می‌گیرد. انتخاب سرعت برای هر وسیله نقلیه وابسته به حضور سایر وسایل نقلیه است و مانور وسایل نقلیه در جریان ترافیک مستلزم چالاکی و مهارت زیاد رانندگان می‌باشد. سطح آرامش و راحتی به طور قابل ملاحظه‌ای در این سطح کاهش می‌یابد.



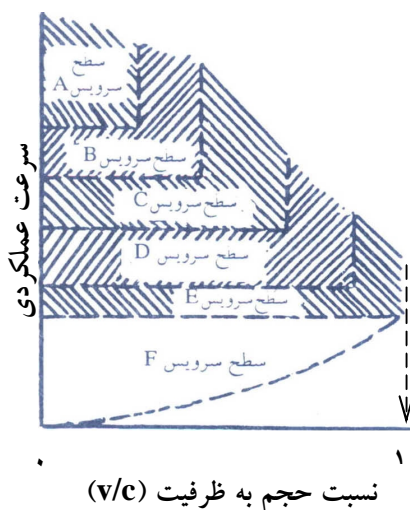
سطح سرویس D: این سطح سرویس دارای چگالی بالاست. اما جریان ترافیک همچنان پایدار و همیشگی است. سرعت و آزادی برای مانور تا حد زیادی محدود می‌شود. اما به طور کلی رانندگان یک سطح سرویس ضعیف را در یک راحتی و آرامش نسبی تجربه می‌کنند. معمولاً در صورتی که تردد کمی افزایش یابد، مشکلات عملکردی در این سطح سرویس ایجاد می‌شود.

سطح سرویس E: در این سطح سرویس شرایط عملی تردد ترافیک نزدیک به ظرفیت سیستم است. سرعت همه وسایل نقلیه کاهش می‌یابد، اما این کاهش نسبتاً غیریکنواخت است. آزادی برای مانور و انجام سبقت، بدون در نظر گرفتن جریان جمعی ترافیک بسیار مشکل است و عموماً این کار با مجبور کردن ماشینها به "راه دادن" صورت می‌گیرد. سطح آرامش و راحتی بسیار تنزل می‌یابد و آرامش فکری رانندگان به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به دلیل کاهش قابل توجه تردد و یا از آنجایی که بروز اختلال بسیار جزئی در جریان ترافیک باعث ازکار افتادن تردد و توقف جریان می‌شود، در این سطح تردد عموماً ناپایدار و غیردائم

خواهد بود.



**سطح سرویس F:** سطح سرویس F برای تعریف یک تردد از کار افتاده به کار می رود. این شرایط در جایی به وجود می آید که میزان ترافیک آن از میزان حجم ترافیکی که جاده می تواند عبور دهد، فراتر رود. صفهای طولانی پشت سرهم، از مشخصات این سطح سرویس است. وسایل نقلیه در چنین سطحی لحظه ای در حرکت و لحظه ای در توقف هستند و اصطلاحاً حرکت موجی شکل روی می دهد. جریان حرکت وسایل نقلیه شدیداً ناپایدار و غیردائم است. همچنین وسایل نقلیه ممکن است برای چند صد متر و یا بیشتر با سرعت قابل قبولی حرکت کنند و سپس مجبور شوند یک توقف نسبتاً طولانی داشته باشند.



شکل ۵-۱- ارتباط بین سطح سرویس، سرعت و نسبت حجم به ظرفیت

طبقه بندی سطح سرویس را می توان به وسیله نمودار سرعت - تردد که در فصل سوم بیان شد، توضیح داد. در شکل بالا نموداری مشابه که به جای تردد در محور افقی آن نسبت حجم ترافیک به ظرفیت جایگزین



شده، نشان داده شده است. مطابق شکل، شرایط سطح سرویس یک اصل مهم را در آنالیز ترافیک بیان می‌کند و آن این است که جاده ظرفیت خود ( $Q_{max}$  یا  $C_d$ ) را زمانی به دست می‌آورد که مطابق شکل در سطح سرویس E عمل می‌کند. به بیان دیگر جاده‌ای که با ظرفیت کامل خود عمل می‌کند از دیدگاه رانندگان دارای یک سطح مطلوب نیست و در طراحی جاده‌ها باید از ایجاد چنین شرایطی جلوگیری و اجتناب نمود.

### ۵-۳- ظرفیت آزادراه‌ها

یک آزادراه به عنوان جاده‌ای تعریف می‌شود که در هر جهت حداقل دو خط عبور داشته باشد و همچنین دارای کنترل کامل دسترسی برای ورود و خروج وسایل نقلیه باشد. آزادراه، تنها نوع از تسهیلات راه است که به طور کامل، حرکت در آن به صورت جریان غیر منقطع انجام می‌شود و عوامل قطع حرکت جریان ترافیک، مانند چراغهای راهنمای یا علائم توقف در آن وجود ندارد. دسترسی برای ورود و یا خروج از آزادراهها، فقط از طریق شیب‌راهه‌ها<sup>۱</sup> صورت می‌گیرد. طراحی شیب راهه‌ها، معمولاً به گونه‌ای است که هم‌گرایی و واگرایی جریان ترافیک هنگام ورود و خروج از آزادراه با سرعت بالایی انجام شود و جریان ترافیک در خطوط اصلی قطع نشود.

به طور کلی یک آزادراه را می‌توان به سه بخش عمده تقسیم کرد:

۱ - قسمت اصلی آزادراه که تحت تأثیر حرکت‌های واگرا و همگرایی نزدیک شیب راهه‌ها قرار ندارد و در واقع هیچ گونه حرکت موجی شکلی در آن انجام نمی‌شود.

۲ - مقاطع حرکت‌های موجی شکل یا مقاطع تغییر خط که در این قسمت‌ها دو (یا بیش از دو) جریان حرکتی مختلف یکدیگر را قطع می‌کنند. مقاطع حرکت‌های موجی، بیشتر در قسمت‌هایی است که در آنها نقاط ورودی (هم‌گرایی) نزدیک به قسمت‌های خروجی (واگرایی) قرار دارد. مقاطع تغییر خط، شامل مقاطعی می‌باشد که به دنبال یک شیب راهه ورودی، یک شیب راهه خروجی وجود دارد و بین آنها یک مسیر محوری پیوسته قرار گرفته است.

<sup>۱</sup> - Ramp

۳ - محل اتصال شیب راهه‌ها، که شامل محل اتصال شیب راهه‌های ورودی و خروجی به آزادراه‌ها هستند. در این نقاط از آزادراه به دلیل حرکت‌های همگرایی و واگرایی (ورودی و خروجی) آشفتگی در جریان حرکت وسایل نقلیه روی می‌دهد.

قسمت اصلی آزادراه در منطقه‌ای خارج از تأثیر شیب راهه‌ها و حرکت‌های موجی قرار دارد و نواحی تحت تأثیر اتصال شیب راهه‌ها و حرکت‌های موجی به شرح زیر می‌باشد :

- ۱ - مقاطع شیب راهه‌های ورودی از ۷۵۰ متر مانده به محل اتصال تا ۱۵۰ متر بعد از آن
- ۲ - مقاطع شیب راهه‌های خروجی، از ۱۵۰ متر مانده به محل اتصال تا ۷۵۰ متر بعد از آن
- ۳ - مقاطع حرکت‌های موجی شکل، ۱۵۰ متر بعد از نقطه هم‌گرایی شروع و ۱۵۰ متر مانده به نقطه واگرایی خاتمه می‌یابد.

#### ۵-۳-۱- ظرفیت یا حداکثر تردد سرویس<sup>۱</sup> در قسمت اصلی آزادراه‌ها

قسمت اصلی یک آزادراه دارای دو جهت کاملاً مجزا می‌باشد و در هر جهت حداقل دو خط عبور دارد. این قسمت دارای کنترل کامل دسترسی برای ورود و خروج وسایل نقلیه بوده و جریان ترافیک تحت تأثیر شیب راهه‌های ورودی و خروجی قرار ندارد. به این ترتیب با فرض برقراری شرایط مطلوب در یک قطعه اصلی آزادراه، می‌توان حداکثر تردد سرویس (MSF) را از جداول کتاب راهنمای ظرفیت راهها (HCM) استخراج نمود. لازم به ذکر است که در صورت عدم برقراری شرایط مطلوب، مقادیر استخراج شده باید اصلاح شوند. در ادامه ضمن ارائه دو روش برای تعیین حداکثر تردد سرویس در قطعات اصلی آزادراه، شرایط مطلوب و ضرایب اصلاحی هر روش جداگانه مورد بحث قرار می‌گیرد.

#### ۵-۳-۲- روش قدیمی HCM برای تعیین ظرفیت یا حداکثر تردد سرویس در قسمت اصلی آزادراه‌ها

در ویرایش سال ۱۹۸۵ کتاب راهنمای ظرفیت راهها (HCM1985) حداکثر تردد سرویس یا ظرفیت یک خط

<sup>۱</sup> - Maximum Service Flow

عبور آزادراه در سطح سرویس دلخواه  $i$  و شرایط مطلوب جاده از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$MSF_i = C_j \times \left( \frac{V}{C} \right)_i \quad \text{رابطه (۵-۱)}$$

در این رابطه:

$MSF_i$  = حداکثر تردد سرویس یک خط عبور آزادراه در سطح سرویس دلخواه  $i$  و شرایط مطلوب جاده، که معمولاً بر حسب واحد **pcphpl** (خودروی سواری در یک ساعت و در یک خط عبور) بیان می‌شود.

$C_j$  = ظرفیت اشباع یا حداکثر تردد در سطح سرویس  $E$  که برای سرعت‌های طراحی ۹۵ و ۱۱۰ کیلومتر در ساعت برابر با **pcphpl** ۲۰۰۰ و برای سرعت طراحی ۸۰ کیلومتر در ساعت برابر با **pcphpl** ۱۹۰۰ می‌باشد.

$$\left( \frac{V}{C} \right)_i = \text{بیشترین نسبت حجم ترافیک به ظرفیت، تحت شرایط سطح سرویس دلخواه } i$$

جدول (۵-۱) حداکثر تردد را برای سطوح سرویس مختلف آزادراه‌ها و برای سرعت‌های طراحی ۸۰، ۹۵ و ۱۱۰ کیلومتر در ساعت ارائه می‌دهد. همچنین در این جدول مقادیر سرعت عملی برای هر سطح سرویس و بیشترین نسبت حجم ترافیک به ظرفیت که با مقدار حداکثر تردد رابطه مستقیم دارد، درج شده است.

جدول ۵-۱- حداکثر تردد سرویس برای سطوح سرویس مختلف در آزادراه‌ها (روش قدیمی)

سطح سرویس	سرعت طراحی $110 \frac{\text{km}}{\text{h}}$			سرعت طراحی $95 \frac{\text{km}}{\text{h}}$			سرعت طراحی $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$		
	سرعت ( $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ )	ظرفیت ( $\frac{V}{C}$ )	حداکثر تردد سرویس (pcphpl)	سرعت ( $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ )	ظرفیت ( $\frac{V}{C}$ )	حداکثر تردد سرویس (pcphpl)	سرعت ( $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ )	ظرفیت ( $\frac{V}{C}$ )	حداکثر تردد سرویس (pcphpl)
A	$\geq 96$	۰/۳۵	۷۰۰	—	—	—	—	—	—
B	$\geq 91$	۰/۵۴	۱۱۰۰	$\geq 80$	۰/۴۹	۱۰۰۰	—	—	—
C	$\geq 86$	۰/۷۷	۱۵۵۰	$\geq 75$	۰/۶۹	۱۴۰۰	$\geq 69$	۰/۶۷	۱۳۰۰
D	$\geq 74$	۰/۹۳	۱۸۵۰	$\geq 67$	۰/۸۴	۱۷۰۰	$\geq 64$	۰/۸۳	۱۶۰۰
E	$\geq 48$	۱/۰۰	۲۰۰۰	$\geq 48$	۱/۰۰	۲۰۰۰	$\geq 45$	۱/۰۰	۱۹۰۰
F	$< 48$			$< 48$			$< 45$		

نکته: جدول موجود در آیین‌نامه طرح هندسی راههای ایران (نشریه ۱۶۱) نیز تقریباً از جدول (۵-۱) تبعیت می‌کند و اندک اختلاف موجود بین اعداد این دو جدول ناشی از خطای تقریب در تبدیل واحدها می‌باشد.

لازم به ذکر است که در این روش، شرایط مطلوب آزادراه به عرض خطوط، فاصله موانع جانبی، اثر وسایل نقلیه سنگین و خصوصیات رانندگان بستگی دارد. مطالعات نشان داده است که عرض مطلوب یک

خط ۳/۶۵ متر است و موانع کنار جاده (مانند دکل برق و یا حصارها) نباید نزدیکتر از ۱/۸ متر باشند. همچنین، تحت شرایط مطلوب در جریان ترافیک، نباید ماشین‌های سنگینی همچون اتوبوس یا کامیون وجود داشته باشند و جمعیت رانندگان باید از نوع رانندگان آشنا یا رانندگانی باشند که همواره در مسیر رفت و آمد می‌کنند. این رانندگان افرادی هستند که به علت آشنایی نسبی با جریان ترافیک و شرایط جاده، سبب می‌شوند تا تردد جریان ترافیک افزایش یابد و به حداکثر برسد.

اما از آنجا که شرایط مطلوب در عمل به ندرت ایجاد می‌شود، استفاده از روش‌هایی برای تبدیل مقدار حداکثر تردد سرویس به مقدار واقعی تردد سرویس که برای شرایط متداول و شایع به کار می‌رود، ضروری به نظر می‌رسد. در روش قدیمی HCM، تردد سرویس تحت شرایط موجود با استفاده از فاکتورهای اصلاحی و به کمک رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$SF_i = MSF_i \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_p \quad \text{رابطه (۲-۵)}$$

در این رابطه:

$SF_i$  = مقدار تردد سرویس برای سطح سرویس  $i$  تحت شرایط موجود و برای  $N$  خط عبور (در یک جهت از جاده) می‌باشد. واحد این پارامتر خودروی سواری در ساعت می‌باشد.

$N$  = تعداد خطهای عبور جاده در یک جهت از مسیر می‌باشد.

$f_w$  = فاکتور اصلاحی برای تصحیح اثر کمبود عرض خطهای عبور و یا وجود موانع جانبی در فواصل کمتر از ۱/۸ متر.

$f_{HV}$  = فاکتور اصلاحی برای تصحیح اثر وسایل نقلیه سنگین<sup>۱</sup> و غیرسواری (مانند اتوبوس، کامیون و وسایل نقلیه تفریحی).

$f_p$  = فاکتور اصلاحی برای تصحیح اثر رانندگان غیر دائمی و نا آشنا به مسیر است.

از ترکیب روابط (۱-۵) و (۲-۵)، رابطه کاربردی زیر که اساس تحلیل عملکرد و آنالیز ظرفیت آذراهها در روش قدیمی HCM می‌باشد، به دست می‌آید.

$$SF_i = C_j \times \left( \frac{V}{C} \right)_i \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_p \quad \text{رابطه (۳-۵)}$$

<sup>۱</sup> - Heavy Vehicle Factor

## الف) فاکتور اصلاحی برای عرض باند و موانع کناری

زمانی که عرض خط عبور جاده باریکتر از عرض مطلوب ۳/۶۵ متر است و یا موانع (همچون حصار، تیرک برق و یا تلفن) نزدیکتر از ۱/۸ متر از لبه جاده (نسبت به کناره یا وسط) قرار دارند، فاکتور اصلاح کننده  $f_w$  برای تصحیح شرایط موجود نسبت به شرایط مطلوب، مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا زمانی که موانع به جاده نزدیک هستند و یا جاده باریک است، با کاهش آرامش و محدودیت‌های مانور، جاده به نحو مطلوب مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و وجود این عوامل سبب کاهش مؤثر در ظرفیت جاده نسبت به ظرفیت شرایط مطلوب می‌شود. فاکتور اصلاحی مورد استفاده در این شرایط در جدول (۵-۲) ارائه شده است. باید توجه داشت که منظور از موانع، اجسامی است که در کنار یا وسط جاده به صورت پیوسته (مانند دیوار حایل و یا نرده و حصار) و یا در فواصل منظم (مانند تیرک برق و یا تلفن) قرار دارند. در جدول (۵-۲) ضرایب تصحیح برای موانع در یک جهت و یا در هر دو جهت جاده (چه در وسط و چه در کنار) ارائه شده است.

جدول ۵-۲- ضرایب اصلاحی برای کاهش عرض خطوط و وجود موانع جانبی در آزادراه‌ها (روش قدیمی)

فاصله از کناره جاده (m)	ضریب تصحیح $F_w$							
	موانع در یک طرف آزاد راه قرار دارند				موانع در هر دو سمت آزاد راه قرار دارند			
	عرض خط (m)							
	۳/۶۵	۳/۳۵	۳/۰۵	۲/۷۵	۳/۶۵	۳/۳۵	۳/۰۵	۲/۷۵
(m)	آزاد راه چهار خطه (دو خط در هر جهت)							
$\geq 1/8$	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۸۱	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۸۱
۱/۵	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۸۰
۱/۶	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۷۹
۰/۹	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۷۷
۰/۶	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۸۶	۰/۷۶
۰/۳	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۷۶	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۷۱
۰	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۶۶
$\geq 1/8$	آزاد راه شش یا هشت خطه (۳ یا ۴ خط در هر جهت)							
	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۷۸	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۷۸
	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۷۷
	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۸۷	۰/۷۷
	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۷۶
	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۷۵
	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۸۶	۰/۷۵	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۷۲
۰	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۷۴	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۸۱	۰/۷۰

لازم به ذکر است که اگر فاصله لبه جاده تا موانع کناری و میانی نابرابر باشد برای تعیین  $f_w$  از میانگین فاصله‌ها استفاده می‌شود. به عنوان مثال، یک آزادراه ۶ خطه را با عرض خطوط ۳/۳۵ متر و موانعی که از لبه جاده ۱/۶ متر و از وسط جاده ۰ متر (مانند نرده‌ها یا گاردریل وسط راه) فاصله دارد، در نظر بگیرید. فاکتور  $f_w$  طبق جدول (۵-۲) برابر ۰/۹۲ است که بیانگر کاهش ۸ درصد از ظرفیت مطلوب جاده، به خاطر شرایط نامطلوب عرض جاده و وجود موانع جانبی است.

### ب- فاکتور اصلاحی برای وسایل نقلیه سنگین

کامیون‌های بزرگ، اتوبوس‌ها و وسایل نقلیه تفریحی (RVs)<sup>۱</sup>، دارای خصوصیات عملکردی (شتاب کم و قابلیت ترمزگیری پایین) و ابعادی (طول، عرض و ارتفاع) هستند که اثر نامطلوبی بر ظرفیت جاده‌ها می‌گذارند. همانطور که قبلاً اشاره شد تحت شرایط مطلوب فرض می‌شود که هیچ ماشین سنگینی در جریان ترافیک وجود ندارد، اما اگر در شرایط موجود جاده چنین وسایل نقلیه‌ای حضور داشته باشند از فاکتور اصلاحی  $f_{HV}$  برای تبدیل شرایط موجود به شرایط مطلوب استفاده می‌شود. فرآیند تعیین فاکتور اصلاحی  $f_{HV}$  در دو مرحله انجام می‌شود. اولین مرحله، شامل تعیین ضریب خودروی سواری معادل (PCU) برای کامیون، اتوبوس و یا وسایل نقلیه تفریحی است. این مقادیر بیانگر تعداد خودروهای سواری است که از نظر ظرفیت جاده، معادل یک کامیون، اتوبوس و یا وسیله تفریحی می‌باشد. تعداد خودروی سواری معادل، برای کامیونها با  $E_T$ ، برای اتوبوسها با  $E_B$  و برای وسایل نقلیه تفریحی با  $E_R$  بیان می‌شود. پس از تعیین ضرایب خودروی سواری معادل، با معلوم بودن درصد هر یک از انواع وسایل نقلیه ( $P_R$ ،  $P_B$ ،  $P_T$ ) فاکتور اصلاحی  $f_{HV}$  از رابطه (۵-۴) محاسبه می‌شود:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{رابطه (۵-۴)}$$

مقادیر  $E$  ارتباط نزدیکی با شیب طولی راه و حداکثر طول شیب آن دارند، زیرا زمانی که شیب جاده زیاد

<sup>۱</sup> - Recreational Vehicles

باشد، ضعف عملکردی وسایل نقلیه سنگین تشدید می‌شود و علاوه بر این با توجه به بزرگ بودن ابعاد آنها و ایجاد اختلال در قدرت دید یا فاصله دید سبقت رانندگان پشت سر، عملکرد سایر وسایل نقلیه نیز کاهش می‌یابد. از اینرو مقادیر **E** معمولاً بر حسب شیب طولی راه و حداکثر طول شیب آن در جداول جداگانه‌ای برای انواع وسایل نقلیه سنگین ارائه شده است. لازم به ذکر است که با توجه به بهبود عملکرد وسایل نقلیه سنگین در سالهای اخیر، جداول موجود در مراجع جدید اعداد کوچکتری را برای مقادیر **E** ارائه نموده‌اند. با ذکر این نکته، در این بخش از ارائه جداول موجود در ویرایش قدیمی **HCM** که آیین نامه طرح هندسی راههای ایران نیز از آن تبعیت نموده‌است، خودداری می‌شود و در بخش ۵-۳-۴ ضمن ارائه جدیدترین جداول موجود در **HCM2000**، روشهای مختلف تعیین ضرایب خودروی سواری معادل (**E**) بیان می‌گردد.

### ج) فاکتور اصلاحی برای تصحیح اثر رانندگان غیر دائمی و نا آشنا به مسیر

تحت شرایط مطلوب، فرض می‌شود که جریان ترافیک شامل رانندگان آشنا و همیشگی است. چنین رانندگانی با سیستم آزاد راه و حرکت در آن آشنایی کامل دارند و به مانور دادن و سبقت گرفتن دیگران پاسخ صحیح و مناسب می‌دهند. لیکن در بسیاری از مواقع جریان ترافیک شامل رانندگانی می‌شود که آشنایی کمی با شرایط محلی جاده دارند (برای مثال، رانندگانی که فقط آخر هفته سفر می‌کنند و یا رانندگانی که به قصد تفریح و به طور اتفاقی از آزاد راه می‌گذرند). این مسئله در مقایسه با شرایطی که کلیه رانندگان عبوری آشنا به جاده هستند، کاهش قابل توجهی را در ظرفیت جاده ایجاد می‌نماید. لذا به منظور در نظر گرفتن ترکیب مختلف رانندگان از فاکتور اصلاحی  $f_p$  استفاده می‌شود. مقادیر این فاکتور در جدول (۵-۳) درج شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود جمعیت رانندگان غیر آشنا می‌تواند منجر به کاهش ۱۰ تا ۲۵ درصدی ظرفیت شود.

جدول ۵-۳- ضرایب اصلاحی برای تصحیح اثر رانندگان غیر دائمی و نا آشنا به مسیر

نوع ترکیب رانندگان	ضریب تصحیح رانندگان
اکثر رانندگان آشنا و دائمی	۱
اکثر رانندگان نا آشنا و غیر دائمی	۰/۷۵ - ۰/۹

لازم به ذکر است که مقدار ضریب اصلاحی  $f_p$ ، به شرایط هندسی جاده، شرایط محیط اطراف و عواملی که باعث آشفته‌گی و حواس پرتی راننده می‌شود، بستگی دارد. زمانی که اکثر رانندگان غیر آشنا و غیر دائمی باشند، لازم است تا بر اساس اطلاعات محلی و بر پایه قضاوت مهندسی ضریب اصلاحی مناسب را انتخاب نمود.

به این ترتیب تمامی پارامترهای موجود در روابط (۵-۱)، (۵-۲) و (۵-۳) تعریف شدند و اکنون می‌توان از این روابط برای تحلیل عملکرد (تعیین سطح سرویس) و یا تعیین تعداد خطوط بر مبنای ظرفیت واقعی آزادراه استفاده نمود.

مثال ۱: یک آزادراه شهری شش خطه (سه خط در هر جهت) را با مشخصات زیر در نظر بگیرید:

شرایط زمینهای اطراف تپه ماهوری، سرعت طراحی ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت، فاصله موانع از کنار جاده و از وسط آن ۶۰ سانتی‌متر، عرض هر خط ۳/۰۵ متر، حجم ترافیک ساعت اوج برای یک جهت ۲۲۰۰ وسیله نقلیه در ساعت، حجم ترافیک در پرتراکم ترین دوره ۱۵ دقیقه‌ای برابر ۷۰۰ وسیله نقلیه، ترافیک عبوری شامل ۱۲ درصد کامیون، ۱۰ درصد اتوبوس و ۲ درصد وسایل نقلیه تفریحی. سطح سرویس این آزادراه را تعیین نمایید.

حل: برای تعیین سطح سرویس باید نسبت حجم ترافیک به ظرفیت را تعیین کرد. لذا بر اساس رابطه (۵-۳)

$$\left(\frac{V}{C}\right)_i = \frac{SF_i}{C_j \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_p}$$

خواهیم داشت:

$$SF = 4 \times V_{15\max} = 4 \times 700 = 2800 \text{ veh/hr}$$

مقدار SF برابر است با :

$$C_j = 2000 \text{ pcphpln}$$

برای سرعت طراحی ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت مقدار ظرفیت اشباع برابر است با :

$$N = 3$$

تعداد خطوط عبور در هر جهت معلوم می‌باشد و برابر است با:

$$f_w = 0/85$$

فاکتور اصلاحی عرض خطوط و فاصله موانع برابر است با:

فاکتور اصلاحی وسایل نقلیه سنگین بر اساس منطقه تپه ماهور و با استخراج ضرایب E از جدول (۵-۱۰)

$$f_{HV} = \frac{1}{1+0/12(4-1)+0/1(3-1)+0/02(3-1)} = 0/625$$

برابر است با:



فاکتور اصلاحی ترکیب رانندگان با فرض رانندگان دائمی برابر است با:  $f_p = 1$

$$\left(\frac{V}{C}\right)_i = \frac{2800}{2000 \times 3 \times 0.85 \times 0.625 \times 1} = 0.878$$

لذا خواهیم داشت:

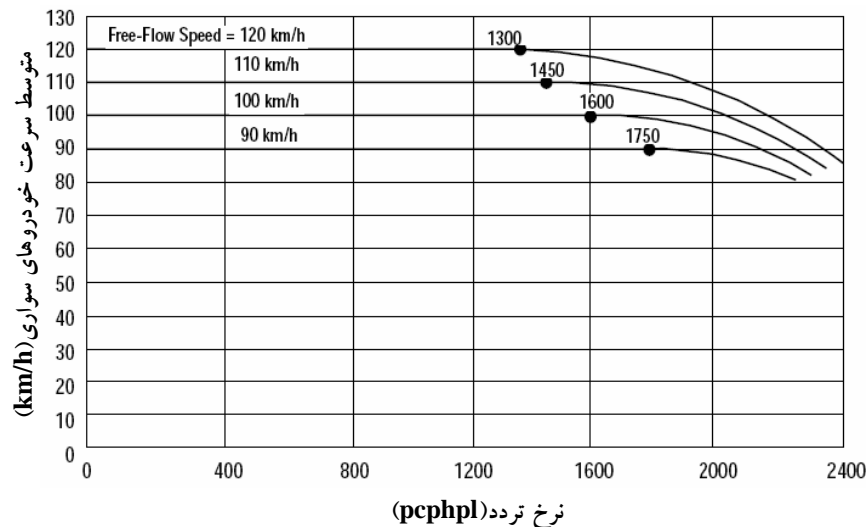
با مراجعه به جدول (۵-۱) و ملاحظه نسبتهای حجم به ظرفیت متناظر با سطوح سرویس مختلف، خواهیم داشت که:  $0.93 < 0.878 < 0.77$ ، در نتیجه سطح سرویس آزادراه در شرایط مذکور **D** بدست می‌آید.

### ۵-۳-۳- روش جدید HCM برای تعیین حداکثر تردد سرویس در قسمت اصلی آزادراه ها

پس از اعمال اصلاحات جزئی در ویرایش سال ۱۹۹۴ کتاب راهنمای ظرفیت راهها، آخرین نسخه این کتاب (**HCM2000**) جدیدترین روش را برای تعیین ظرفیت قسمتهای اصلی آزادراه ارائه نموده است. در این ویرایش نیز از میان سه شاخص عملکردی شامل چگالی، سرعت و نسبت حجم به ظرفیت که می‌تواند برای توصیف نحوه سرویس‌دهی قسمت اصلی آزادراه مورد استفاده قرار گیرد، چگالی به عنوان معیار اصلی تعیین سطح سرویس معرفی شده است. بر این اساس سطوح سرویس شش‌گانه در قسمت اصلی یک آزادراه برحسب میزان چگالی به صورت زیر تعریف می‌شوند:

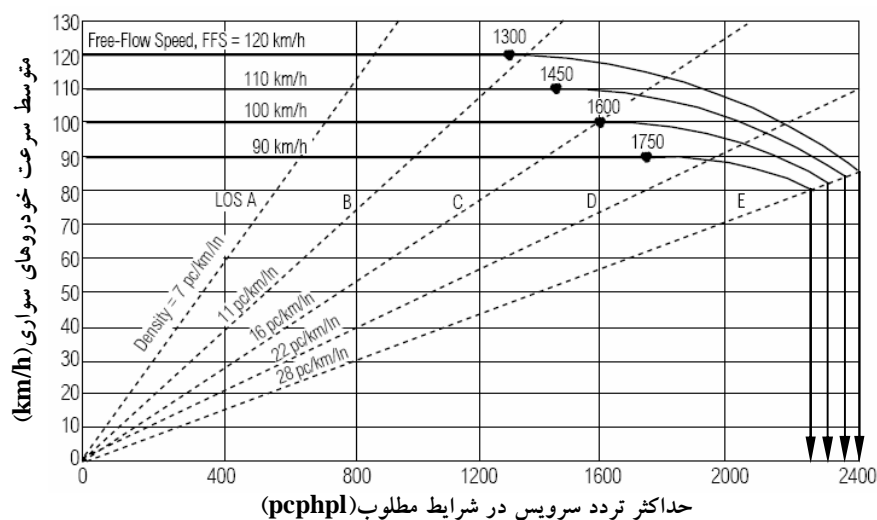
LOS	Density Range (pc/km/ln)
A	0-7
B	7-11
C	11-16
D	16-22
E	22-28
F	> 28

از طرفی بر اساس نتایج اکثر مطالعات جدید، نمودار سرعت - تردد مربوط به قسمتهای اصلی یک آزادراه در دو بخش قابل تفسیر می‌باشد. مطابق شکل (۵-۲) در بخش سمت چپ نمودار که تا سقف مشخصی از جریان ادامه دارد، متوسط سرعت وسایل نقلیه در مقدار سرعت آزاد ثابت می‌ماند و اصطلاحاً سرعت نسبت به تغییرات تردد غیر حساس است. سقف جریان مذکور بستگی به میزان سرعت آزاد دارد و ملاحظه می‌شود که با کاهش سرعت آزاد از ۱۲۰ به ۹۰ کیلومتر بر ساعت، این مقدار برای هر خط عبور از ۱۳۰۰ به ۱۷۵۰ وسیله‌نقلیه سواری در ساعت افزایش می‌یابد. نکته حائز اهمیتی که از تفسیر این بخش نمودار می‌توان به آن دست یافت این است که در عمل برای اندازه‌گیری سرعت آزاد باید سرعت متوسط وسایل نقلیه را هنگامی که نرخ تردد کمتر از  $1300 \text{ pc/hr/ln}$  باشد، اندازه‌گیری نمود.



شکل ۵-۲- منحنیهای سرعت - تردد برای سرعتهای آزاد مختلف در قطعات اصلی آزادراهها

اما در بخش سمت راست نمودار، افزایش نرخ تردد موجب افت سرعت می شود. از اینرو انتظار می رود تا در هر یک از منحنیهای سرعت - تردد، به ازای یک افت مشخص در سرعت وسایل نقلیه، میزان تردد به حداکثر مقدار خود برسد. برای دستیابی به حداکثر میزان تردد در سطوح مختلف سرعت آزاد، باید حدود مجاز افت سرعت را مشخص نمود. برای این منظور از رابطه عمومی بین سرعت، تردد و چگالی استفاده نموده و مطابق شکل (۵-۳) مقادیر چگالی متناظر با سطوح سرویس شش گانه آزادراه را به نمودار فوق اضافه می کنیم. به این ترتیب در صورت معلوم بودن مقدار سرعت آزاد، مقادیر حداکثر تردد و حداقل سرعت عملی در سطح سرویس دلخواه  $i$  از شکل (۵-۳) قابل استخراج می باشد.



شکل ۵-۳- منحنیهای سرعت - تردد و معیارهای سطح سرویس در قطعات اصلی آزادراهها

مطابق شکل (۳-۵) ظرفیت اشباع ( $C_i$ ) یک خط عبور آزادراه که به صورت حداکثر تردد در سطح سرویس E تعریف می‌شود، بستگی به سرعت آزاد جریان (FFS) دارد و برای سرعت آزاد  $90 \text{ km/h}$  برابر  $2250 \text{ pcphpl}$  ، برای سرعت آزاد  $100 \text{ km/h}$  برابر  $2300 \text{ pcphpl}$  ، برای سرعت آزاد  $110 \text{ km/h}$  برابر  $2350 \text{ pcphpl}$  و برای سرعت آزاد  $120 \text{ km/h}$  و بالاتر برابر  $2400 \text{ pcphpl}$  می‌باشد. جدول (۴-۵) نیز مشابه جدول (۱-۵) علاوه بر میزان حداکثر تردد سرویس، مقدار حداکثر چگالی، حداقل سرعت عملی و بیشترین نسبت حجم به ظرفیت را برای سطح سرویس دلخواه i ارائه می‌دهد. لازم به ذکر است که رابطه (۱-۵) در این جدول نیز صادق است و اختلاف جزئی که در بعضی موارد مشاهده می‌شود ناشی از گرد کردن اعداد می‌باشد.

جدول ۴-۵- حداکثر تردد سرویس برای سطوح سرویس مختلف در آزادراهها (HCM2000)

معیارهای سطح سرویس	LOS				
	A	B	C	D	E
FFS = 120 km/h					
Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
Minimum speed (km/h)	120.0	120.0	114.6	99.6	85.7
Maximum v/c	0.35	0.55	0.77	0.92	1.00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	840	1320	1840	2200	2400
FFS = 110 km/h					
Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
Minimum speed (km/h)	110.0	110.0	108.5	97.2	83.9
Maximum v/c	0.33	0.51	0.74	0.91	1.00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	770	1210	1740	2135	2350
FFS = 100 km/h					
Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
Minimum speed (km/h)	100.0	100.0	100.0	93.8	82.1
Maximum v/c	0.30	0.48	0.70	0.90	1.00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	700	1100	1600	2065	2300
FFS = 90 km/h					
Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
Minimum speed (km/h)	90.0	90.0	90.0	89.1	80.4
Maximum v/c	0.28	0.44	0.64	0.87	1.00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	630	990	1440	1955	2250

مقادیر حداقل سرعت ارائه شده در این جدول علاوه بر شکل (۳-۵) از روابط زیر نیز قابل محاسبه هستند:

$$\text{for } 90 \leq FFS \leq 120 \text{ and } (3100 - 15FFS) < MSF \leq (1800 + 5FFS)$$

$$S = FFS - \left[ \frac{1}{28} (23FFS - 1800) \left( \frac{MSF + 15FFS - 3100}{20FFS - 1300} \right)^{2/6} \right] \quad \text{رابطه (۵-۵)}$$

$$\text{for } 90 \leq FFS \leq 120 \text{ and } MSF \leq (3100 - 15FFS)$$

$$S = FFS \quad \text{رابطه (۶-۵)}$$

بر اساس توضیحات ارائه شده پیرامون اصول اولیه روش جدید HCM، مراحل تعیین تردد سرویس (ظرفیت) در شرایط موجود قطعات اصلی آزادراهها به صورت زیر خلاصه می شود:

### الف) تعیین سرعت جریان آزاد یا FFS

همانطور که قبلاً اشاره شد، سرعت آزاد در آزادراهها به صورت متوسط سرعت وسایل نقلیه هنگامی که نرخ تردد کمتر از  $1300 \text{ pc/hr/ln}$  باشد، تعریف می شود. برای تعیین این سرعت، دو روش را می توان بکار برد:

- اندازه گیری میدانی سرعت با انجام مطالعه سرعت نقطه ای بر روی یک جامعه آماری مناسب.
  - برآورد غیرمستقیم سرعت با استفاده از مشخصات فیزیکی قطعه راه تحت مطالعه شامل عرض خطوط، تعداد خطوط، فاصله آزاد جانبی در شانه سمت راست و تعداد تقاطعهای غیرهمسطح.
- مسلم است که همیشه امکان اندازه گیری مستقیم سرعت آزاد وجود ندارد و در مواردی که یک آزادراه در دست ساخت بوده و یا هزینه و زمان اندازه گیری مستقیم سرعت توجیه نداشته باشد، از روش غیر مستقیم استفاده می شود. مقدار سرعت آزاد در این روش از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID} \quad \text{رابطه (۵-۷)}$$

در این رابطه:

$FFS$  = سرعت آزاد برآورد شده بر حسب  $\text{km/h}$

$BFFS$  = سرعت آزاد پایه که در آزادراههای درون شهری برابر  $110 \text{ km/h}$  و در آزادراههای برون شهری برابر  $120 \text{ km/h}$

در نظر گرفته می شود.

$f_{LW}$  = تعدیل سرعت برای اصلاح عرض خطوط (عرض خط پایه بزرگتر یا مساوی  $3/6$  متر می باشد و برای مقادیر کمتر

باید سرعت آزاد پایه را طبق مقادیر اصلاحی جدول (۵-۵) تعدیل نمود. لازم به ذکر است که برای خطوط با عرض کمتر از ۳

متر اطلاعاتی در اختیار نیست)

Lane Width (m)	Reduction in Free-Flow Speed, $f_{LW}$ (km/h)
3.6	0.0
3.5	1.0
3.4	2.1
3.3	3.1
3.2	5.6
3.1	8.1
3.0	10.6

$f_{LC}$  = تعدیل سرعت برای اصلاح فاصله آزاد جانبی در شانه سمت راست (حداقل فاصله آزاد جانبی در سمت راست خط

عبور ۱/۸ متر و در میانه یا سمت چپ خط عبور ۰/۶ متر می‌باشد. برای مقادیر فاصله آزاد کمتر از ۱/۸ متر در سمت راست باید سرعت آزاد پایه را طبق مقادیر اصلاحی جدول (۵-۶) تعدیل نمود. برای فاصله آزاد جانبی کمتر از ۰/۶ متر در سمت چپ که به ندرت با آن مواجه می‌شویم، مقادیر اصلاحی ارائه نشده است)

Right-Shoulder Lateral Clearance (m)	Reduction in Free-Flow Speed, $f_{LC}$ (km/h)			
	Lanes in One Direction			
	2	3	4	$\geq 5$
$\geq 1.8$	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	1.0	0.7	0.3	0.2
1.2	1.9	1.3	0.7	0.4
0.9	2.9	1.9	1.0	0.6
0.6	3.9	2.6	1.3	0.8
0.3	4.8	3.2	1.6	1.1
0.0	5.8	3.9	1.9	1.3

$f_N$  = تعدیل سرعت برای اصلاح تعداد خطوط در هر جهت (تعداد خطوط پایه در هر جهت مساوی یا بیشتر از ۵ می‌باشد و برای مقادیر کمتر باید سرعت آزاد پایه را طبق مقادیر اصلاحی جدول (۵-۷) تعدیل نمود. لازم به ذکر است که این تعدیل فقط برای آزادراههای درون‌شهری انجام می‌شود و میزان تعدیل اخیر برای آزادراههای برون‌شهری صفر در نظر گرفته می‌شود. همچنین خطوط ویژه حرکت وسایل نقلیه سنگین در شمارش تعداد خطوط آزادراه لحاظ نمی‌گردد).

Number of Lanes (One Direction)	Reduction in Free-Flow Speed, $f_N$ (km/h)
$\geq 5$	0.0
4	2.4
3	4.8
2	7.3

Note: For all rural freeway segments,  $f_N$  is 0.0.

$f_{ID}$  = تعدیل سرعت برای اصلاح تعداد تبادلهای یا تراکم تقاطعهای غیرهمسطح (میزان تراکم پایه برای تقاطعهای غیر همسطح ۰/۳ در هر کیلومتر است. به عبارت دیگر فاصله دو تقاطع در شرایط پایه ۳/۳ کیلومتر می‌باشد. لذا برای تراکمهای بیشتر باید سرعت آزاد پایه را طبق مقادیر اصلاحی جدول (۵-۸) تعدیل نمود. لازم به ذکر است که تراکم تقاطعهای غیر همسطح در طولی از آزادراه به اندازه ۱۰ کیلومتر (۵ کیلومتر بالادست و ۵ کیلومتر پایین‌دست مقطع مورد نظر) تعیین می‌شود و تقاطعی در محاسبات لحاظ می‌گردد که حداقل یک شیب‌راه ورودی به آزاد راه داشته باشد).

Interchanges per Kilometer	Reduction in Free-Flow Speed, $f_{ID}$ (km/h)
$\leq 0.3$	0.0
0.4	1.1
0.5	2.1
0.6	3.9
0.7	5.0
0.8	6.0
0.9	8.1
1.0	9.2
1.1	10.2
1.2	12.1

### ب) تعیین حداکثر تردد سرویس در شرایط مطلوب یا MSF

پس از تعیین سرعت جریان آزاد، با استفاده از شکل (۳-۵) و یا درونیابی در جدول (۴-۵) می‌توان حداکثر تردد سرویس را برای قطعه آزادراه مورد نظر بدست آورد.

### ج) تعیین تردد سرویس در شرایط موجود یا SF

بر اساس روش جدید HCM شرایط مطلوب در قطعات اصلی آزادراهها به صورت زیر بیان می‌شود:

- حداقل عرض خطوط عبور ۳/۶ متر می‌باشد.
- حداقل فاصله آزاد جانبی در شانه سمت راست و یا فاصله مانع از لبه خط عبور ۱/۸ متر می‌باشد.
- حداقل فاصله آزاد جانبی در قسمت میانه و یا فاصله مانع از لبه خط عبور ۰/۶ متر می‌باشد.
- کلیه وسایل نقلیه موجود در جریان ترافیک خودروی سواری می‌باشند.
- در هر جهت راه حداقل ۵ خط عبور و یا بیشتر وجود دارد (فقط برای آزادراههای درون شهری)
- فاصله بین تقاطعهای غیرهمسطح ۳ کیلومتر و یا بیشتر می‌باشد.
- زمین محدوده عبور راه هموار بوده و شیبهای آن از ۲ درصد تجاوز نمی‌کند.
- بیشتر ترکیب جمعیت رانندگان استفاده کننده از راه شامل رانندگان آشنا و دائمی می‌باشد.

در چنین شرایطی آزادراه بالاترین سطح عملکرد را ارائه می‌نماید و مقادیر سرعت جریان آزاد به بیش از ۱۱۰ km/h خواهد رسید. لیکن همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، در عمل شرایط مطلوب آزادراه به ندرت فراهم می‌شود و از اینرو لازم است تا ظرفیت یا حداکثر تردد سرویس برای شرایط واقعی تعدیل گردد. برای این منظور در روش جدید HCM می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$SF_i = MSF_i \times N \times f_{HV} \times f_p \quad \text{رابطه (۵-۸)}$$

تعریف پارامترهای این رابطه مشابه روش قدیمی می‌باشد و باید توجه داشت که اصلاحات مربوط به عرض خطوط، تعداد خطوط، فاصله آزاد جانبی در شانه سمت راست و تراکم تقاطعهای غیرهمسطح قبلاً به هنگام تعیین سرعت آزاد اعمال شده است.

در ادامه روشهای مختلف تعیین ضرایب خودروی سواری معادل که برای محاسبه  $f_{HV}$  کاربرد دارند، ارائه می‌شود. اصول این روشها در ویرایش قدیم و جدید HCM مشابه می‌باشد و تنها مقادیر مندرج در جداول کاربردی آن با توجه به افزایش توان و قدرت عملکرد وسایل نقلیه در سالهای اخیر تغییر کرده است.

### ۵-۳-۴- روشهای تعیین ضرایب خودروی سواری معادل در آزادراهها و بزرگراهها

#### الف) تعیین ضرایب خودروی سواری معادل در قطعات ممتد و کلی

چنانچه طولی از جاده شامل قطعات سربالایی، سرازیری و بخشهای هموار را بتوان به عنوان یک قطعه یکنواخت در نظر گرفت (به عبارتی شبیهها به اندازه‌ای طولانی یا زیاد نباشند که بر عملکرد ترافیک در قطعه مورد نظر تاثیر بگذارند)، می‌توان ضریب خودروی سواری معادل را از جدول (۵-۹) و بر اساس نوع عوارض منطقه تعیین نمود. بنا به توصیه کتاب راهنمای ظرفیت راهها (HCM2000) آن قسمت از جاده که در آن همه شیبهای مساوی یا بزرگتر از ۳ درصد، طولی کمتر از ۵۰۰ متر و یا همه شیبهای کمتر از ۳ درصد، طولی کمتر از ۱ کیلومتر دارند را می‌توان بصورت یک قطعه ممتد و کلی تحلیل نمود.

جدول ۵-۹- ضرایب معادل ظرفیت برای وسایل نقلیه سنگین در قطعات ممتد و کلی مطابق با HCM2000

نوع عوارض منطقه			ضرایب خودروی سواری معادل
کوهستان	تپه ماهور	دشت	
۴/۵	۲/۵	۱/۵	برای کامیون ( $E_T$ )
۴/۵	۲/۵	۱/۵	برای اتوبوس ( $E_B$ )
۴	۲	۱/۲	برای وسایل نقلیه تفریحی ( $E_R$ )

ذکر این نکته الزامی است که مراجع قدیمی، تعاریف دیگری را برای قطعه یکنواخت ارائه نموده‌اند و ضرایب خودروی سواری معادل برای قطعات یکنواخت نیز در این مراجع با مقادیر مندرج در جدول (۵-۹) متفاوت است. برای مثال مرجع HCM1985 که آیین‌نامه راهسازی ایران (نشریه ۱۶۱ سازمان مدیریت) نیز بر اساس آن تنظیم شده است، قطعه یکنواخت را بصورت قسمتی از جاده که همه شیبهای مساوی یا بزرگتر از ۳ درصد، طولی کمتر از ۸۰۰ متر و یا همه شیبهای کمتر از ۳ درصد، طولی کمتر از ۱/۶ کیلومتر دارند، تعریف نموده است. ضرایب خودروی سواری معادل نیز در این مرجع بصورت جدول (۵-۱۰) در نظر گرفته شده است. علت این اختلاف را می‌توان در پیشرفت قابل توجه عملکرد وسایل نقلیه سنگین ناشی از افزایش توان موتورهای طراحی شده در طی سالهای اخیر دانست.

جدول ۵-۱۰- ضرایب معادل ظرفیت برای وسایل نقلیه سنگین در قطعات ممتد و کلی مطابق با HCM1985

نوع عوارض منطقه			ضرایب خودروی سواری معادل
کوهستان	تپه ماهور	دشت	
۸	۴	۱/۷	برای کامیون ( $E_T$ )
۵	۳	۱/۵	برای اتوبوس ( $E_B$ )
۴	۳	۱/۶	برای وسایل نقلیه تفریحی ( $E_R$ )

لازم به ذکر است که در تحلیل یک قطعه یکنواخت برای تعیین نوع عوارض منطقه، خود جاده مورد بررسی قرار می‌گیرد و از شرایط زمینهای اطراف آن صرف‌نظر می‌شود. در چنین شرایطی انواع عوارض منطقه‌ای به صورت زیر تعریف می‌شود:

- (۱) منطقه دشت یا هموار: ترکیبی از شیب‌ها و مسیرهای افقی وقائم که به وسایل نقلیه سنگین اجازه می‌دهد تا تقریباً سرعتی برابر خودروهای سواری داشته باشند. این منطقه عموماً دارای شیبهای کوچکی است که بین ۱ تا ۲ درصد هستند.
- (۲) منطقه ناهموار یا تپه ماهوری: ترکیبی از شیب‌ها و مسیرهای افقی وقائم که باعث می‌شود وسایل نقلیه سنگین کاهش سرعت قابل توجهی نسبت به خودروهای سواری داشته باشند. اما این امر باعث نمی‌شود که آنها برای مدت طولانی و یا در فواصل زمانی نزدیک با سرعتی معادل سرعت خزش حرکت کنند.
- (۳) منطقه کوهستانی: ترکیبی از شیب‌ها و مسیرهای افقی وقائم که باعث می‌شود وسایل نقلیه سنگین در مسافتهای طولانی و یا در فواصل زمانی نزدیک به هم با سرعتی معادل سرعت خزش حرکت کنند.

#### ب) تعیین ضرایب خودروی سواری معادل برای شیبهای خاص

اگر جاده دارای شیب بزرگتر از ۳ درصد با طول بیش از ۵۰۰ متر و یا شیب کمتر از ۳ درصد با طول بیش از ۱ کیلومتر باشد، ضرایب خودروی سواری معادل از جداول (۵-۹) یا (۵-۱۰) قابل استخراج نیست. در چنین شرایطی هر یک از شیبهای جاده بصورت یک شیب خاص، جداگانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. کتاب راهنمای ظرفیت جاده (HCM2000) ضرایب خودروی سواری معادل را برای شیبهای خاص در حالت‌های زیر ارائه نموده است:



جدول ۵-۱۱- ضرایب معادل ظرفیت برای کامیون و اتوبوس در سربالایی‌ها با شیب خاص

شیب سربالایی (%)	طول شیب (km)	$E_T, E_B$								
		درصد کامیونها و اتوبوسها								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
< 2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$\geq 2-3$	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.8-1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.2-1.6	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.6-2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 2.4	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
> 3-4	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.8-1.2	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 1.2-1.6	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 1.6-2.4	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 2.4	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
> 4-5	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.8-1.2	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 1.2-1.6	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.6	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
> 5-6	0.0-0.4	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.5	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.5-0.8	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 0.8-1.2	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.2-1.6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.6	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
> 6	0.0-0.4	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.4-0.5	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.5-0.8	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.8-1.2	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
	> 1.2-1.6	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5
	> 1.6	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0

جدول ۵-۱۲- ضرایب معادل ظرفیت برای وسیله نقلیه تفریحی در سربالایی‌ها با شیب خاص

شیب سربالایی (%)	طول شیب (km)	$E_R$								
		درصد وسایل نقلیه تفریحی								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
$\leq 2$	All	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
> 2-3	0.0-0.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 0.8	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2
> 3-4	0.0-0.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 0.4-0.8	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.8	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5
> 4-5	0.0-0.4	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	4.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.8	4.5	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0
> 5	0.0-0.4	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5
	> 0.4-0.8	6.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0
	> 0.8	6.0	4.5	4.0	4.5	3.5	3.0	3.0	2.5	2.0

جدول ۵-۱۳- ضرایب معادل ظرفیت برای کامیون و اتوبوس در سربالایی‌ها با شیب خاص

شیب سربالایی (%)	طول شیب (km)	$E_T, E_B$			
		درصد کامیونها و اتوبوسها			
		5	10	15	20
< 4	All	1.5	1.5	1.5	1.5
4-5	$\leq 6.4$	1.5	1.5	1.5	1.5
4-5	> 6.4	2.0	2.0	2.0	1.5
> 5-6	$\leq 6.4$	1.5	1.5	1.5	1.5
> 5-6	> 6.4	5.5	4.0	4.0	3.0
> 6	$\leq 6.4$	1.5	1.5	1.5	1.5
> 6	> 6.4	7.5	6.0	5.5	4.5

لازم به ذکر است که عملکرد وسایل نقلیه سنگین در سرازیری به این عامل بستگی دارد که آیا برای کنترل نیاز به استفاده از دنده سنگین دارند و یا خیر. این نیاز برای کامیونها و اتوبوسها در سرازیریهای بالای ۴ درصد عمومیت دارد و از اینرو جدول (۵-۱۳) ضرایب معادل سواری را برای این حالتها ارائه نموده است. در سایر حالتها یعنی برای اتوبوس و کامیون در سرازیریهای کمتر از ۴ درصد و همچنین برای وسایل نقلیه تفریحی می‌توان از ضرایب معادل حالت شیب سربالایی کمتر از ۲ درصد (یا منطقه هموار) استفاده نمود.

### ج) تعیین ضرایب خودروی سواری معادل بر اساس شیب متوسط

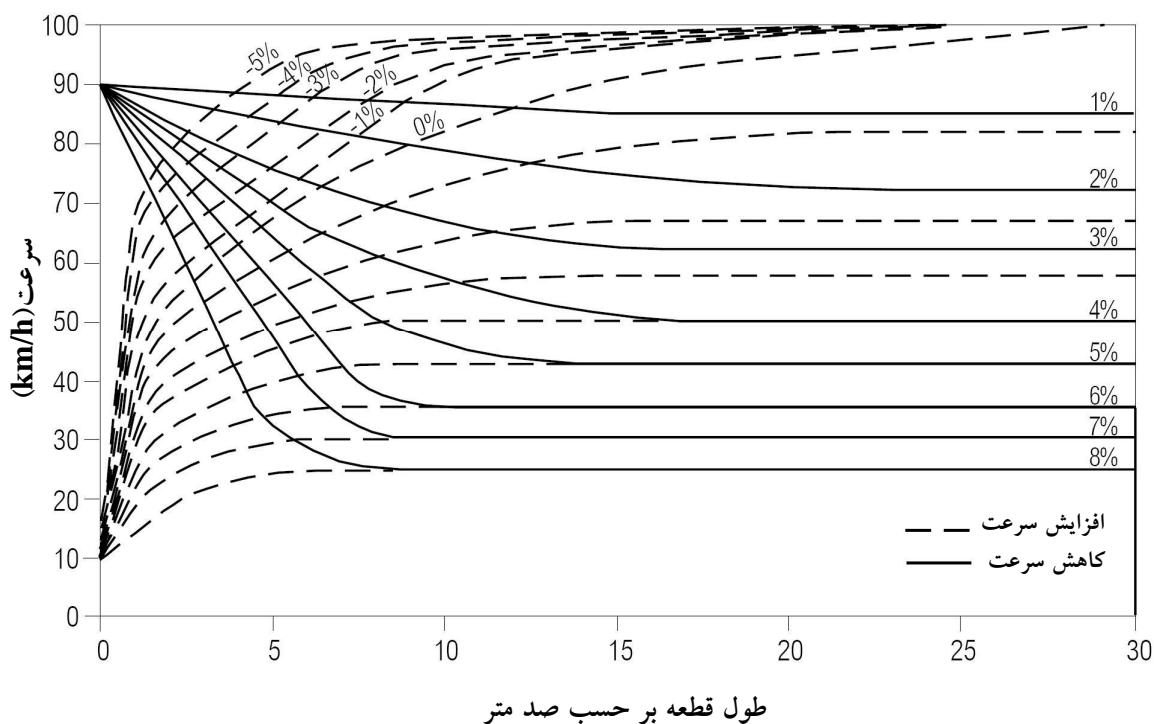
ضرایب هم‌ارز خودروی سواری در جداول (۵-۱۱) تا (۵-۱۳) بر اساس شیب و طول ثابت ارائه شده‌اند. اما در بیشتر مواقع طول جاده ترکیبی از شیبهای مختلف سربالایی و سرپایینی می‌باشد و با یک شیب ثابت مواجه نیستیم. در چنین مواردی اگر کلیه شیبهای یک قطعه کمتر از ۴ درصد و طول کل شیبها کمتر از ۱۲۰۰ متر باشد، برای تعیین ضرایب خودروی سواری معادل در این قطعه می‌توان از شیب متوسط استفاده نمود. برای مثال اگر در قطعه‌ای سه شیب متوالی ۴ درصد، ۲ درصد و ۳ درصد به ترتیب در طول ۲۰۰ متر، ۵۰۰ متر و ۳۰۰ متر امتداد داشته باشد، ضرایب هم‌ارز خودروی سواری را می‌توان برای شیب متوسط ۲/۷ درصد و طول ۱۰۰۰ متر از جداول (۵-۱۱) و (۵-۱۲) استخراج نمود.

$$\bar{i} = \frac{4 \times 200 + 2 \times 500 + 3 \times 300}{200 + 500 + 300} = 2/7$$

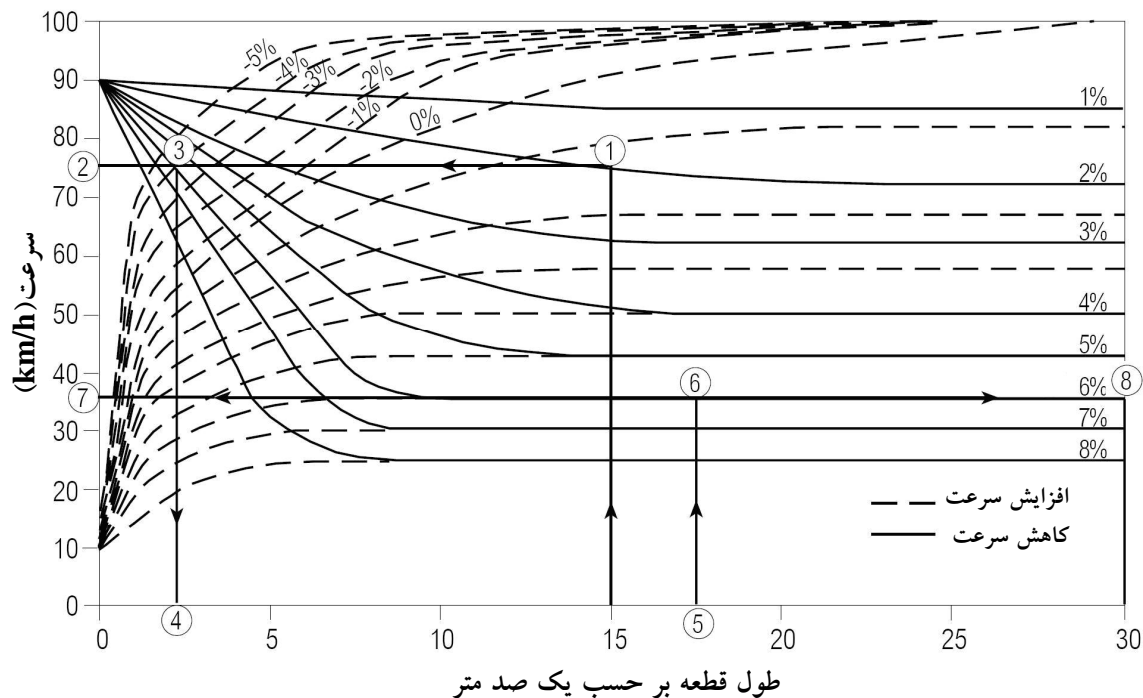
### د) تعیین ضرایب خودروی سواری معادل بر اساس شیب ترکیبی

در مواردی که تعدادی از شیبهای موجود در یک قطعه بیشتر از ۴ درصد و یا طول کل آنها بزرگتر از ۱۲۰۰ متر باشد، روش شیب متوسط دقت کافی را نخواهد داشت. همچنین ممکن است شیبهای متوالی یک قطعه همه از یک نوع (سربالایی یا سرپایینی) نباشند. در چنین شرایطی برای تعیین ضرایب خودروی سواری معادل می‌توان از روش شیب ترکیبی استفاده نمود. به لحاظ مفهومی شیب ترکیبی عبارت است از یک شیب معادل که کامیون نمونه در پایان حرکت در آن شیب سرعتی برابر با سرعت پایانی حرکت در چند شیب متوالی را دارد. برای تعیین شیب ترکیبی از روش ترسیمی و منحنی‌های عملکرد وسایل نقلیه سنگین استفاده می‌شود. شکل (۵-۴) یک نمونه از منحنی‌های عملکرد را که برای کامیون نمونه با نسبت وزن به توان  $120 \text{ kg/kw}$  ترسیم شده است، نشان می‌دهد. برای آشنایی با نحوه تعیین شیب ترکیبی، فرض کنید یک قطعه از جاده دارای دو سربالایی ۱۵۰۰ متری با شیب ۲ درصد و ۶ درصد باشد. روی محور افقی طول ۱۵۰۰ متر اول را مشخص کرده از آن عمودی استخراج می‌کنیم تا منحنی ۲ درصد سربالایی را در نقطه ۱ قطع کند. از این نقطه خطی به موازات محور افقی رسم می‌کنیم تا محور قائم را در نقطه ۲ قطع کند. این نقطه سرعت کامیون را در هنگام خروج از شیب اول و ورود به شیب دوم برابر  $75 \text{ km/h}$  تخمین می‌زند.

خط افقی واصل بین نقاط ۱ و ۲ منحنی معرف شیب ۶ درصد سربالایی را در نقطه ۳ قطع کرده است. عمود استخراج شده از نقطه ۳ محور افقی را در نقطه ۴ که بیانگر طول ۲۲۵ متر می‌باشد، قطع می‌کند. به عبارت دیگر ۱۵۰۰ متر حرکت بر روی سربالایی ۲ درصدی به لحاظ عملکرد معادل ۲۲۵ متر حرکت بر روی سربالایی ۶ درصدی می‌باشد و در پایان هر یک از این دو حرکت، سرعت کامیون به  $75 \text{ km/h}$  خواهد رسید. حال از آنجایی که کامیون در بخش دوم مسیر ۱۵۰۰ متر دیگر بر روی شیب ۶ درصدی بالا می‌رود، مجموع مسافتهای ۲۲۵ و ۱۵۰۰ متری نقطه ۵ یا طول ۱۷۷۵ متری را بر روی محور افقی معرفی می‌کند. از نقطه ۵ عمودی استخراج می‌کنیم تا منحنی ۶ درصد سربالایی را در نقطه ۶ قطع کند. خطی که از نقطه ۶ به موازات محور افقی رسم شود، محور عمودی را در نقطه ۷ یا سرعت  $36 \text{ km/h}$  قطع می‌کند. این سرعت بیانگر سرعت نهایی کامیون در انتهای مسیر می‌باشد. به این ترتیب شیب معادل در این مثال از تقاطع عمود عبوری از نقطه ۷ و عمود عبوری از طول ۳۰۰۰ متر بدست می‌آید (نقطه ۸ یا شیب ۶ درصد سربالایی).



شکل ۴-۵- منحنی‌های عملکرد برای کامیون نمونه با نسبت وزن به توان  $120 \text{ kg/kw}$



شکل ۵-۵- حل ترسیمی مثال

لازم به ذکر است که در تحلیل جاده تعیین نقطه‌ای که کامیون به کمترین سرعت برسد، حائز اهمیت می‌باشد. زیرا در چنین نقطه‌ای شدت تاثیر کامیون بر جریان ترافیک به اوج خواهد رسید. این نقطه همواره در انتهای قطعه تحت مطالعه واقع نمی‌شود و ممکن است در پایان طول یکی از شیبهای آن قرار داشته باشد. برای مثال اگر یک شیب سربالایی ۴ درصدی به طول دو کیلومتر قبل از یک شیب سربالایی ۲ درصدی به طول یک کیلومتر قرار داشته باشد، پایان شیب ۴ درصدی نقطه دستیابی کامیون به کمترین سرعت خواهد بود و در این نقطه کامیون بیشترین اختلال را در جریان ترافیک ایجاد می‌کند.

همچنین باید توجه داشت که روش شیب ترکیبی در همه موارد کاربردی نیست و بویژه هنگامی که در ابتدای قطعه یک سرازیری طولانی قرار داشته باشد و یا در مواردی که طول شیبهای یک قطعه خیلی کوتاه باشد نمی‌توان از این روش استفاده کرد. در کلیه این موارد، کاربر به هنگام استفاده از منحنی‌های عملکرد متوجه می‌شود که خطوط یکدیگر را قطع نمی‌کنند و یا نقاط تقاطع خارج از محدوده منحنی واقع می‌شوند.

## ۴-۵- ظرفیت بزرگراهها و جاده‌های چند خطه

بزرگراهها یا جاده‌های چند خطه، آن دسته از جاده‌هایی هستند که نسبت به آزادراه‌ها، استاندارد و درجه اهمیت پایین‌تری دارند. برخلاف آزادراهها، در بزرگراهها کنترل کامل دسترسی وجود ندارد و در بعضی موارد خطوط عبور رفت و برگشت از هم جدا نشده‌اند. در این قسمت، روش تحلیل عملکرد و تعیین ظرفیت بزرگراههای چند خطه بین‌شهری و حومه شهری ارائه می‌شود. برای تعیین ظرفیت بزرگراههای چند خطه در مناطق شهری که جریان ترافیک در آنها از نوع منقطع می‌باشد باید به کتاب راهنمای ظرفیت راهها (HCM) مراجعه شود.

## ۴-۵-۱- روش قدیمی HCM برای تعیین ظرفیت یا حداکثر تردد سرویس در بزرگراههای چند خطه

این روش مشابه توضیحات ارائه شده (بخش ۳-۵-۲) برای آزادراهها می‌باشد. اختلاف جزئی موجود را می‌توان در برخی از جداول کاربردی و افزوده شدن یک فاکتور اصلاحی برای اعمال شرایط و نوع بزرگراه جستجو نمود. لذا خواهیم داشت :

$$MSF_i = C_j \times \left( \frac{V}{C} \right)_i \quad \text{رابطه (۴-۵)}$$

جدول ۴-۵- حداکثر تردد سرویس برای سطوح سرویس مختلف در بزرگراهها (روش قدیمی)

سطح سرویس	سرعت طراحی ۱۱۰			سرعت طراحی ۹۵			سرعت طراحی ۸۰		
	سرعت ( $\frac{km}{h}$ )	ظرفیت ( $\frac{V}{C}$ )	حداکثر تردد سرویس (pcphpl)	سرعت ( $\frac{km}{h}$ )	ظرفیت ( $\frac{V}{C}$ )	حداکثر تردد سرویس (pcphpl)	سرعت ( $\frac{km}{h}$ )	ظرفیت ( $\frac{V}{C}$ )	حداکثر تردد سرویس (pcphpl)
A	$\geq 91$	۰/۳۶	۷۰۰	$\geq 80$	۰/۳۳	۶۵۰	—	—	—
B	$\geq 86$	۰/۵۴	۱۱۰۰	$\geq 77$	۰/۵۰	۱۰۰۰	$\geq 67$	۰/۴۵	۸۵۰
C	$\geq 80$	۰/۷۱	۱۴۰۰	$\geq 70$	۰/۶۵	۱۳۰۰	$\geq 62$	۰/۶۰	۱۱۵۰
D	$\geq 74$	۰/۸۷	۱۷۵۰	$\geq 64$	۰/۸۰	۱۶۰۰	$\geq 56$	۰/۷۶	۱۴۵۰
E	$\geq 48$	۱/۰۰	۲۰۰۰	$\geq 48$	۱/۰۰	۲۰۰۰	$\geq 45$	۱/۰۰	۱۹۰۰
F	$< 48$			$< 48$			$< 45$		

$$SF_i = MSF_i \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_P \times f_E \quad \text{رابطه (۴-۵)}$$

تعریف پارامترهای این رابطه نیز مشابه تعاریف قبلی در رابطه (۳-۵) می‌باشد و به استثنای  $f_w$  که از جدول

جدید (۵-۱۵) استخراج می شود، برای سایر فاکتورهای اصلاحی از همان جداول مربوط به آزادراهها استفاده می شود. همچنین با توجه به مجزا بودن خطوط عبور رفت و برگشت در آزادراهها، اصلاح تردد سرویس و تعدیل آن بواسطه تاثیرپذیری از ترافیک جهت روبرو ضرورت ندارد. اما در بزرگراهها این نیاز با استفاده از فاکتور اصلاحی  $f_E$  که در جدول (۵-۱۶) ارائه شده است، برطرف می گردد.

جدول ۵-۱۵- ضرایب اصلاحی برای کاهش عرض خطوط و وجود موانع جانبی در بزرگراهها (روش قدیمی)

فاصله از کناره جاده (m)	ضریب تصحیح $f_w$							
	موانع در هر دو طرف راه				موانع در یک طرف راه			
	عرض خط (m)							
	۲/۷۵	۳/۰۵	۳/۳۵	۳/۶۵	۲/۷۵	۳/۰۵	۳/۳۵	۳/۶۵
جاده چهار خطه مجزا شده (دو خط در هر جهت)								
$\geq 1/8$	۱/۰۰	+۰/۹۷	+۰/۹۱	+۰/۸۱	۱/۰۰	+۰/۹۷	+۰/۹۱	+۰/۸۱
۱/۲	+۰/۹۹	+۰/۹۶	+۰/۹۰	+۰/۸۰	+۰/۹۸	+۰/۹۵	+۰/۸۹	+۰/۷۹
+۰/۶	+۰/۹۷	+۰/۹۴	+۰/۸۸	+۰/۷۹	+۰/۹۴	+۰/۹۱	+۰/۸۶	+۰/۷۶
۰	+۰/۹۰	+۰/۸۷	+۰/۸۲	+۰/۷۳	+۰/۸۱	+۰/۷۹	+۰/۷۴	+۰/۶۶
جاده شش خطه مجزا شده (سه خط در هر جهت)								
$\geq 1/8$	۱/۰۰	+۰/۹۶	+۰/۸۹	+۰/۷۸	۱/۰۰	+۰/۹۶	+۰/۸۹	+۰/۷۸
۱/۲	+۰/۹۹	+۰/۹۵	+۰/۸۸	+۰/۷۷	+۰/۹۸	+۰/۹۴	+۰/۸۷	+۰/۷۷
+۰/۶	+۰/۹۷	+۰/۹۳	+۰/۸۷	+۰/۷۶	+۰/۹۶	+۰/۹۲	+۰/۸۵	+۰/۷۵
۰	+۰/۹۴	+۰/۹۱	+۰/۸۵	+۰/۷۴	+۰/۹۱	+۰/۸۷	+۰/۸۱	+۰/۷۰
جاده چهار خطه مجزا نشده (دو خط در هر جهت)								
$\geq 1/8$	۱/۰۰	+۰/۹۵	+۰/۸۹	+۰/۷۷	NA	NA	NA	NA
۱/۲	+۰/۹۸	+۰/۹۴	+۰/۸۸	+۰/۷۶	NA	NA	NA	NA
+۰/۶	+۰/۹۵	+۰/۹۲	+۰/۸۶	+۰/۷۵	+۰/۹۴	+۰/۹۱	+۰/۸۶	NA
۰	+۰/۸۸	+۰/۸۵	+۰/۸۰	+۰/۷۰	+۰/۸۱	+۰/۷۹	+۰/۷۴	+۰/۶۶
جاده شش خطه مجزا نشده (سه خط در هر جهت)								
$\geq 1/8$	۱/۰۰	+۰/۹۵	+۰/۸۹	+۰/۷۷	NA	NA	NA	NA
۱/۲	+۰/۹۹	+۰/۹۴	+۰/۸۸	+۰/۷۶	NA	NA	NA	NA
+۰/۶	+۰/۹۷	+۰/۹۳	+۰/۸۶	+۰/۷۵	+۰/۹۶	+۰/۹۲	+۰/۸۵	NA
۰	+۰/۹۴	+۰/۹۰	+۰/۸۳	+۰/۷۲	+۰/۹۱	+۰/۸۷	+۰/۸۱	+۰/۷۰

در مواردی که با مقادیر غیر کاربردی (NA) مواجه باشیم از ضرایب اصلاحی مربوط به موانع در یک جهت استفاده می شود.

جدول ۵-۱۶- ضرایب اصلاحی برای تصحیح شرایط و نوع بزرگراه

نوع بزرگراه	مجزا شده	مجزا نشده
بین شهری	۱	+۰/۹۵
حومه شهری	+۰/۹	+۰/۸

از ترکیب روابط (۵-۹) و (۵-۱۰)، رابطه کاربردی زیر که اساس تحلیل عملکرد و آنالیز ظرفیت بزرگراهها در روش قدیمی HCM می باشد، به دست می آید.

$$SF_i = C_j \times \left( \frac{V}{C} \right)_i \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_p \times f_E \quad \text{رابطه (۵-۱۱)}$$

مثال ۲: یک بزرگراه حومه شهری چهارخطه و مجزا نشده را با مشخصات زیر در نظر بگیرید:

شرایط زمینهای اطراف تپه ماهوری، سرعت طراحی ۹۵ کیلومتر بر ساعت، فاصله تیرکهای تلفن از لبه روسازی جاده ۲/۴ متر، عرض هر خط ۳/۳۵ متر، حجم ترافیک ساعت اوج در یک جهت ۱۶۰۰ وسیله نقلیه در ساعت، فاکتور ساعت اوج ۰/۹، ترکیب ترافیک شامل ۱۰ درصد کامیون، ۵ درصد اتوبوس و ۱ درصد وسایل نقلیه تفریحی و اکثر رانندگان آشنا به مسیر. سطح سرویس این بزرگراه را تعیین نمایید.

حل: برای تعیین سطح سرویس باید نسبت حجم ترافیک به ظرفیت را تعیین کرد. لذا بر اساس رابطه (۵-۱۱)

$$\left( \frac{V}{C} \right)_i = \frac{SF_i}{C_j \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_p \times f_E} \quad \text{خواهیم داشت:}$$

$$SF = \frac{DDHV}{PHF} = \frac{1600}{0/9} \cong 1778 \text{ veh/hr} \quad \text{مقدار SF برابر است با:}$$

برای سرعت طراحی ۹۵ کیلومتر بر ساعت مقدار ظرفیت اشباع برابر است با:  $C_j = 2000 \text{ pc/h/ln}$

تعداد خطوط عبور در هر جهت معلوم می باشد و برابر است با:  $N = 2$

فاکتور اصلاحی عرض خطوط و فاصله موانع برابر است با:  $f_w = 0/95$

فاکتور اصلاحی وسایل نقلیه سنگین بر اساس منطقه تپه ماهور و با استخراج ضرایب E از جدول (۵-۱۰)

$$f_{HV} = \frac{1}{1+0/10(4-1)+0/05(3-1)+0/01(3-1)} = 0/704 \quad \text{برابر است با:}$$

فاکتور اصلاحی ترکیب رانندگان با فرض رانندگان دائمی برابر است با:  $f_p = 1$

فاکتور اصلاحی برای اعمال شرایط و نوع بزرگراه:  $f_E = 0/8$

$$\left( \frac{V}{C} \right)_i = \frac{1778}{2000 \times 2 \times 0/95 \times 0/704 \times 1 \times 0/8} = 0/831 \quad \text{لذا خواهیم داشت:}$$



با مراجعه به جدول (۵-۱۴) و ملاحظه نسبت‌های حجم به ظرفیت متناظر با سطوح سرویس مختلف، خواهیم داشت که:  $0/۰۰۱ < ۰/۸۳۱ < ۰/۸$ ، در نتیجه سطح سرویس آزادراه در شرایط مذکور **E** بدست می‌آید.

مثال ۳: جاده مثال قبل به یک جاده شش خطه (سه باند در هر جهت) و جدا شده تغییر کرده است. اما به خاطر محدودیتهای موجود در سمت راست حرکت (تیرکهای تلفن) عرض خطوط عبور به  $۲/۷۵$  متر کاهش یافته است و فاصله موانع در کناره و میانه جاده به  $۶۰$  سانتیمتر رسیده است. اگر سرعت طراحی به  $۸۰$  کیلومتر در ساعت کاهش داده شود و سایر پارامترها مشابه مثال قبل ثابت بماند، سطح سرویس جاده را تعیین کنید.

حل:

برای سرعت طراحی  $۸۰$  کیلومتر بر ساعت مقدار ظرفیت اشباع برابر است با:  $C_j = 1900 \text{ pc/h/ln}$

تعداد خطوط عبور در هر جهت معلوم می‌باشد و برابر است با:  $N = 3$

فاکتور اصلاحی عرض خطوط و فاصله موانع برابر است با:  $f_w = 0/75$

فاکتور اصلاحی برای اعمال شرایط و نوع بزرگراه:  $f_E = 0/9$

$$\left(\frac{V}{C}\right)_i = \frac{1778}{1900 \times 3 \times 0/75 \times 0/704 \times 1 \times 0/9} = 0/656$$

لذا خواهیم داشت:

با مراجعه به جدول (۵-۱۴) و ملاحظه نسبت‌های حجم به ظرفیت متناظر با سطوح سرویس مختلف، خواهیم داشت که:  $۰/۷۶ < ۰/۶۵۶ < ۰/۶$ ، در نتیجه سطح سرویس آزادراه در شرایط مذکور **D** بدست می‌آید.

#### ۵-۴-۲- روش جدید HCM برای تعیین ظرفیت یا حداکثر تردد سرویس در بزرگراههای چند خطه

در روش جدید HCM شرایط مطلوب در بزرگراههای بین‌شهری و حومه‌ای به صورت زیر بیان می‌شود:

- حداقل عرض خطوط عبور  $۳/۶$  متر می‌باشد.
- حداقل فاصله آزاد جانبی در شانه سمت راست و یا فاصله مانع از لبه خط عبور  $۱/۸$  متر می‌باشد.
- حداقل فاصله آزاد جانبی در قسمت میانه و یا فاصله مانع از لبه خط عبور  $۱/۸$  متر می‌باشد.
- کلیه وسایل نقلیه موجود در جریان ترافیک خودروی سواری می‌باشند.

- جهت رفت و برگشت راه مجزا می‌باشد.
  - در طول راه نقاط دسترسی مستقیم وجود ندارد.
  - زمین محدوده عبور راه هموار بوده و شیبهای آن از ۲ درصد تجاوز نمی‌کند.
  - شرایط آب و هوایی و قابلیت دید خوب فرض می‌شود و در طول راه سانحه یا تصادف نداریم.
- در چنین شرایطی بزرگراه بالاترین سطح عملکرد را ارائه می‌نماید و مقادیر سرعت جریان آزاد به بیش از ۱۰۰ km/h خواهد رسید. لیکن همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، در عمل شرایط مطلوب راه به ندرت فراهم می‌شود و از اینرو لازم است تا مقادیر سرعت آزاد و ظرفیت برای شرایط واقعی تعدیل گردد. لذا مشابه توضیحات ارائه شده در روش جدید HCM برای آزادراهها، به منظور تعیین و اصلاح سرعت آزاد در بزرگراهها و محاسبه ظرفیت به صورت زیر عمل می‌شود:

#### الف) تعیین سرعت جریان آزاد یا FFS

- بر اساس مطالعات انجام شده، سرعت آزاد در بزرگراهها به صورت متوسط سرعت وسایل نقلیه هنگامی که نرخ تردد کمتر از ۱۴۰۰ pc/hr/ln باشد، تعریف می‌شود. تعیین این سرعت، به دو روش امکان‌پذیر است:
- اندازه‌گیری میدانی سرعت با انجام مطالعه سرعت نقطه‌ای بر روی یک جامعه آماری مناسب.
  - برآورد غیرمستقیم سرعت با استفاده از مشخصات فیزیکی قطعه راه تحت مطالعه شامل عرض خطوط، فاصله آزاد جانبی کل، نوع میانه و تعداد نقاط دسترسی مستقیم به راه.
- مسلم است که همیشه امکان اندازه‌گیری مستقیم سرعت آزاد وجود ندارد و در مواردی که یک بزرگراه در دست ساخت بوده و یا هزینه و زمان اندازه‌گیری مستقیم سرعت توجیه نداشته باشد، از روش غیر مستقیم استفاده می‌شود. مقدار سرعت آزاد در این روش از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \quad \text{رابطه (۵-۱۲)}$$

در این رابطه:

$FFS$  = سرعت آزاد برآورد شده بر حسب km/h

$BFFS$  = سرعت آزاد پایه بستگی به محدودیتهای سرعت اعمال شده در طول بزرگراه دارد و در بزرگراههای بین‌شهری و

حومه‌ای برابر ۱۰۰ km/h در نظر گرفته می‌شود.

$f_{LW}$  = تعدیل سرعت برای اصلاح عرض خطوط (عرض خط پایه بزرگتر یا مساوی ۳/۶ متر می‌باشد و برای مقادیر کمتر

باید سرعت آزاد پایه را طبق مقادیر اصلاحی ارائه شده برای آزادراهها یا جدول (۵-۵) تعدیل نمود)

$f_{LC}$  = تعدیل سرعت برای اصلاح فاصله آزاد جانبی در طرفین جهت عبور (برای اعمال این تعدیل ابتدا باید بر اساس رابطه (۵-۱۳) و نکات مربوط به آن، فاصله آزاد جانبی کل را محاسبه کرد و سپس برای مقادیر فاصله آزاد کل کمتر از ۳/۶ متر سرعت آزاد پایه را طبق مقادیر اصلاحی جدول (۵-۱۷) تعدیل نمود).

$$TLC = LC_R + LC_L \quad \text{رابطه (۵-۱۳)}$$

در این رابطه:

$$TLC = \text{فاصله آزاد جانبی کل بر حسب متر}$$

$LC_R$  = فاصله آزاد جانبی در سمت راست یا فاصله موانع (دیوار حائل، علائم، درختان و تیرکهای برق) از لبه خط عبور.

$LC_L$  = فاصله آزاد جانبی در سمت میانه یا فاصله موانع (گاردریل یا رفوژ میانی) از لبه خط عبور.

نکات:

۱) اگر مقادیر فاصله آزاد جانبی در سمت شانه و یا سمت میانه بیش از ۱/۸ متر باشد، در رابطه (۵-۱۳) از عدد ۱/۸ متر استفاده می شود و در نتیجه به لحاظ تئوری فاصله آزاد کل همواره کوچکتر یا مساوی ۳/۶ متر خواهد بود.

۲) در راههای جدا نشده فاصله آزاد جانبی سمت میانه معنی ندارد و با توجه به اینکه تاثیر عدم وجود میانه در فاکتور  $f_M$  لحاظ خواهد شد، می توان فاصله جانبی سمت میانه را ۱/۸ متر فرض نمود. این نکته برای راههای جدا نشده ای که دو خط ویژه گردش به چپ دارند (TWLTLs)، نیز صادق است.

Four-Lane Highways		Six-Lane Highways	
Total Lateral Clearance <sup>a</sup> (m)	Reduction in FFS (km/h)	Total Lateral Clearance <sup>a</sup> (m)	Reduction in FFS (km/h)
3.6	0.0	3.6	0.0
3.0	0.6	3.0	0.6
2.4	1.5	2.4	1.5
1.8	2.1	1.8	2.1
1.2	3.0	1.2	2.7
0.6	5.8	0.6	4.5
0.0	8.7	0.0	6.3

$f_M$  = تعدیل سرعت برای اصلاح عدم وجود میانه (سرعت آزاد پایه در جاده های تفکیک نشده و فاقد میانه، طبق مقادیر اصلاحی جدول (۵-۱۸) تعدیل می شود)

Median Type	Reduction in FFS (km/h)
Undivided highways	2.6
Divided highways (including TWLTLs)	0.0

$f_A$  = تعدیل سرعت برای اصلاح تراکم نقاط دسترسی (در شرایط مطلوب تعداد نقاط دسترسی (تقاطعها و کنارگذرها) تاثیرگذار بر جریان ترافیک راه مورد نظر صفر در نظر گرفته می شود. لذا برای تراکمهای بیشتر باید سرعت آزاد پایه را طبق مقادیر اصلاحی جدول (۵-۱۹) تعدیل نمود)

Access Points/Kilometer	Reduction in FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

### ب) تعیین حداکثر تردد سرویس در شرایط مطلوب یا MSF

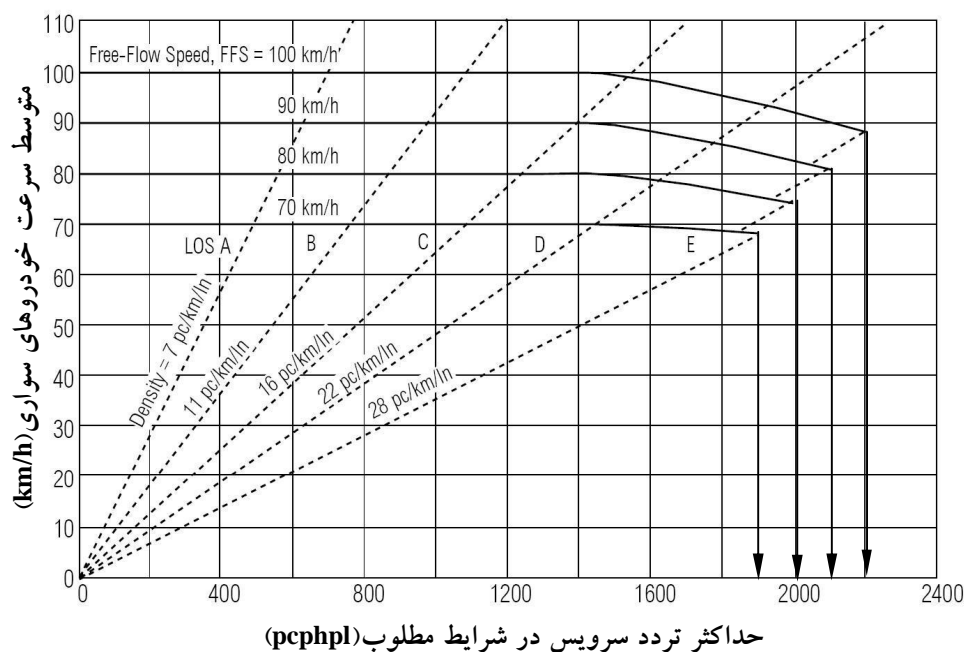
پس از تعیین سرعت جریان آزاد، با استفاده درونیابی در جدول (۵-۲۰) و یا شکل (۵-۶) می توان حداکثر تردد سرویس را برای بزرگراه مورد نظر بدست آورد.

### جدول ۵-۲۰- حداکثر تردد سرویس برای سطوح سرویس مختلف در بزرگراهها (HCM2000)

		LOS				
Free-Flow Speed	Criteria	A	B	C	D	E
100 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	25
	Average speed (km/h)	100.0	100.0	98.4	91.5	88.0
	Maximum volume to capacity ratio (v/c)	0.32	0.50	0.72	0.92	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	700	1100	1575	2015	2200
90 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	26
	Average speed (km/h)	90.0	90.0	89.8	84.7	80.8
	Maximum v/c	0.30	0.47	0.68	0.89	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	630	990	1435	1860	2100
80 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	27
	Average speed (km/h)	80.0	80.0	80.0	77.6	74.1
	Maximum v/c	0.28	0.44	0.64	0.85	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	560	880	1280	1705	2000
70 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
	Average speed (km/h)	70.0	70.0	70.0	69.6	67.9
	Maximum v/c	0.26	0.41	0.59	0.81	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	490	770	1120	1530	1900

Note:

The exact mathematical relationship between density and volume to capacity ratio (v/c) has not always been maintained at LOS boundaries because of the use of rounded values. Density is the primary determinant of LOS. LOS F is characterized by highly unstable and variable traffic flow. Prediction of accurate flow rate, density, and speed at LOS F is difficult.



Note:

Maximum densities for LOS E occur at a v/c ratio of 1.0. They are 25, 26, 27, and 28 pc/km/ln at FFS of 100, 90, 80, and 70 km/h, respectively. Capacity varies by FFS. Capacity is 2200, 2100, 2000, and 1900 pc/h/ln at FFS of 100, 90, 80, and 70 km/h, respectively.

$$\text{For } MSF > 1400 \text{ and } 90 < FFS \leq 100 \text{ then } S = FFS - \left[ \left( \frac{9.3}{25} FFS - \frac{630}{25} \right) \left( \frac{MSF - 1400}{15.7 FFS - 770} \right)^{1.31} \right]$$

$$\text{For } MSF > 1400 \text{ and } 80 < FFS \leq 90 \text{ then } S = FFS - \left[ \left( \frac{10.4}{26} FFS - \frac{696}{26} \right) \left( \frac{MSF - 1400}{15.6 FFS - 704} \right)^{1.31} \right]$$

$$\text{For } MSF > 1400 \text{ and } 70 < FFS \leq 80 \text{ then } S = FFS - \left[ \left( \frac{11.1}{27} FFS - \frac{728}{27} \right) \left( \frac{MSF - 1400}{15.9 FFS - 672} \right)^{1.31} \right]$$

$$\text{For } MSF > 1400 \text{ and } FFS = 70 \text{ then } S = FFS - \left[ \left( \frac{3}{28} FFS - \frac{75}{14} \right) \left( \frac{MSF - 1400}{25 FFS - 1250} \right)^{1.31} \right]$$

$$\text{For } MSF \leq 1400, \text{ then } S = FFS$$

شکل ۵-۶- منحنیهای سرعت - تردد و معیارهای سطح سرویس در بزرگراهها و جادههای چند خطه

ج) تعیین تردد سرویس در شرایط موجود یا SF

در این قسمت نیز مشابه توضیحات ارائه شده برای آزادراهها، با اعمال فاکتورهای اصلاحی  $f_p$  و  $f_{HV}$  تردد سرویس یا ظرفیت بزرگراه در شرایط واقعی بدست می‌آید.