

فصل پنجم مهندسی ترافیک

ظرفیت راهها

Azarkish@iust.ac.ir۵-۱- تعریف ظرفیت^۱

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^۱ 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.



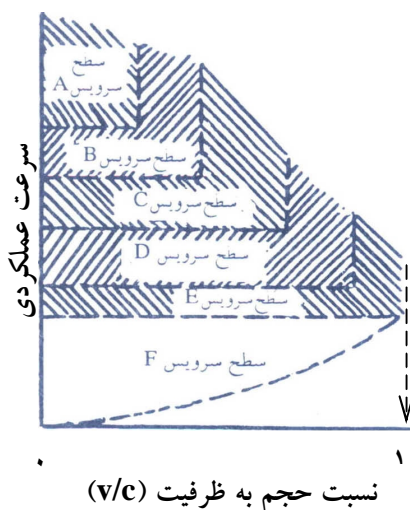
سطح سرویس D: این سطح سرویس دارای چگالی بالاست. اما جریان ترافیک همچنان پایدار و همیشگی است. سرعت و آزادی برای مانور تا حد زیادی محدود می‌شود. اما به طور کلی رانندگان یک سطح سرویس ضعیف را در یک راحتی و آرامش نسبی تجربه می‌کنند. معمولاً در صورتی که تردد کمی افزایش یابد، مشکلات عملکردی در این سطح سرویس 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 می‌رود. این شرایط در جایی به وجود می‌آید که میزان ترافیک آن از میزان حجم ترافیکی که جاده می‌تواند عبور دهد، فراتر رود. صفهای طولانی پشت سرهم، از مشخصات این سطح سرویس است. وسایل نقلیه در چنین سطحی لحظه‌ای در حرکت و لحظه‌ای در توقف هستند و اصطلاحاً حرکت موجی شکل روی می‌دهد. 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

طبقه‌بندی سطح سرویس را می‌توان 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_R) 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^۱ 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.

^۱ - 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^۱ 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

^۱ - 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	≥ 96	۰/۳۵	۷۰۰	—	—	—	—	—	—
B	≥ 91	۰/۵۴	۱۱۰۰	≥ 80	۰/۴۹	۱۰۰۰	—	—	—
C	≥ 86	۰/۷۷	۱۵۵۰	≥ 75	۰/۶۹	۱۴۰۰	≥ 69	۰/۶۷	۱۳۰۰
D	≥ 74	۰/۹۳	۱۸۵۰	≥ 67	۰/۸۴	۱۷۰۰	≥ 64	۰/۸۳	۱۶۰۰
E	≥ 48	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥ 48	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥ 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^۱ 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.

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

^۱ - 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
	۰/۹۴	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)^۱، 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

^۱ - 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 ۳-۴-۵ 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 (۳-۵) درج شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود جمعیت رانندگان غیر آشنا می‌تواند منجر به کاهش ۱۰ تا ۲۵ درصدی ظرفیت شود.

جدول ۳-۵- 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:

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

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:

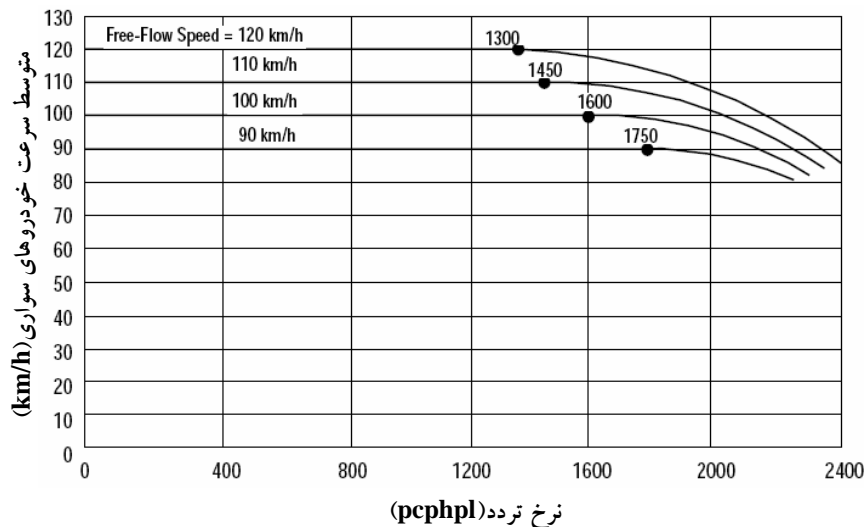
با مراجعه به جدول (۵-۱) و ملاحظه نسبتهای حجم به ظرفیت متناظر با سطوح سرویس مختلف، خواهیم داشت که: $0.93 < 0.878 < 0.77$ ، در نتیجه سطح سرویس آزادراه در شرایط مذکور **D** بدست می‌آید.

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:

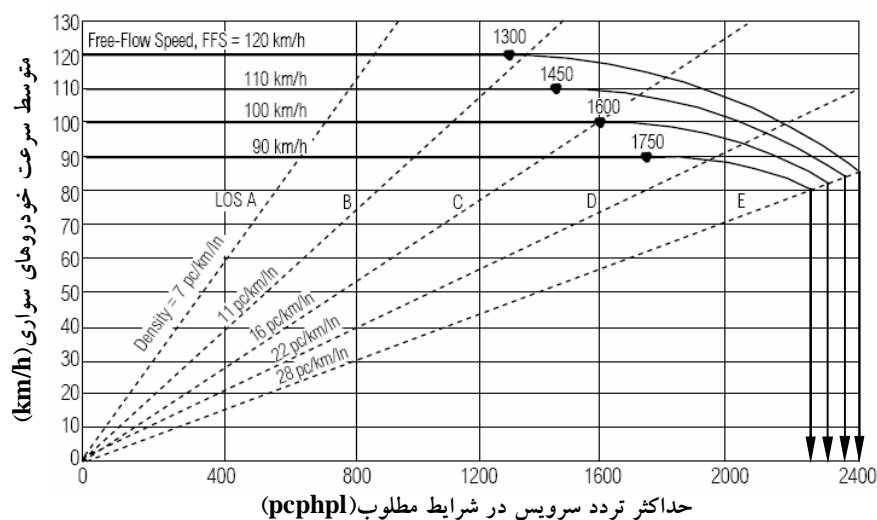
LOS	Density Range (pc/km/ln)
A	0-7
B	7-11
C	11-16
D	16-22
E	22-28
F	> 28

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 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 و سایلنقلیه، 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 (۵-۳) 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 km/h برابر 2250 pcphpl ، برای سرعت آزاد 100 km/h برابر 2300 pcphpl ، برای سرعت آزاد 110 km/h برابر 2350 pcphpl و برای سرعت آزاد 120 km/h و بالاتر برابر 2400 pcphpl می‌باشد. جدول (۵-۴) نیز مشابه جدول (۵-۱) 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 (۵-۱) در این جدول نیز صادق است و اختلاف جزئی که در بعضی موارد مشاهده می‌شود ناشی از گرد کردن اعداد می‌باشد.

جدول ۵-۴- 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 (۵-۳) 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 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 km/h

$BFFS$ = سرعت آزاد پایه که در آزادراههای درون شهری برابر 110 km/h و در آزادراههای برون شهری برابر 120 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	≥ 5
≥ 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)
≥ 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)
≤ 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
≤ 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	≤ 6.4	1.5	1.5	1.5	1.5
4-5	> 6.4	2.0	2.0	2.0	1.5
> 5-6	≤ 6.4	1.5	1.5	1.5	1.5
> 5-6	> 6.4	5.5	4.0	4.0	3.0
> 6	≤ 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

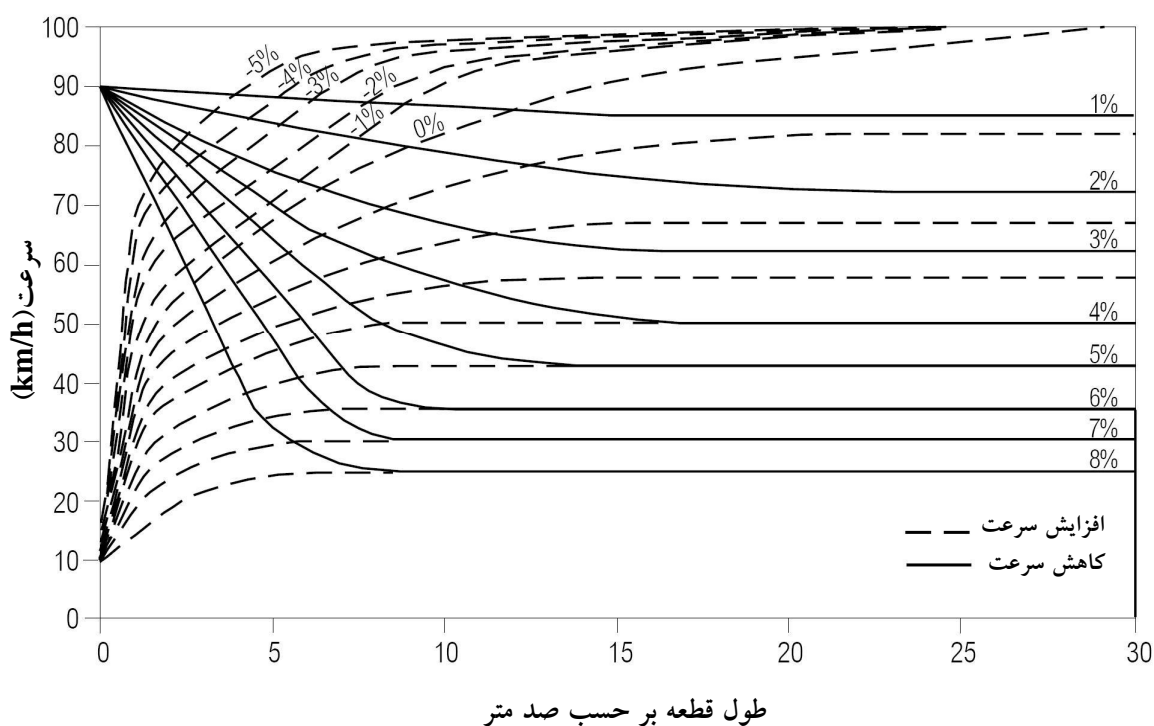
ضرایب هم‌ارز خودروی سواری در جداول (۵-۱۱) تا (۵-۱۳) بر اساس شیب و طول ثابت ارائه شده‌اند. اما در بیشتر مواقع طول جاده ترکیبی از شیبهای مختلف سربالایی و سرپایینی می‌باشد و با یک شیب ثابت مواجه نیستیم. در چنین مواردی اگر کلیه شیبهای یک قطعه کمتر از ۴ درصد و طول کل شیبها کمتر از ۱۲۰۰ متر باشد، برای تعیین 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.

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

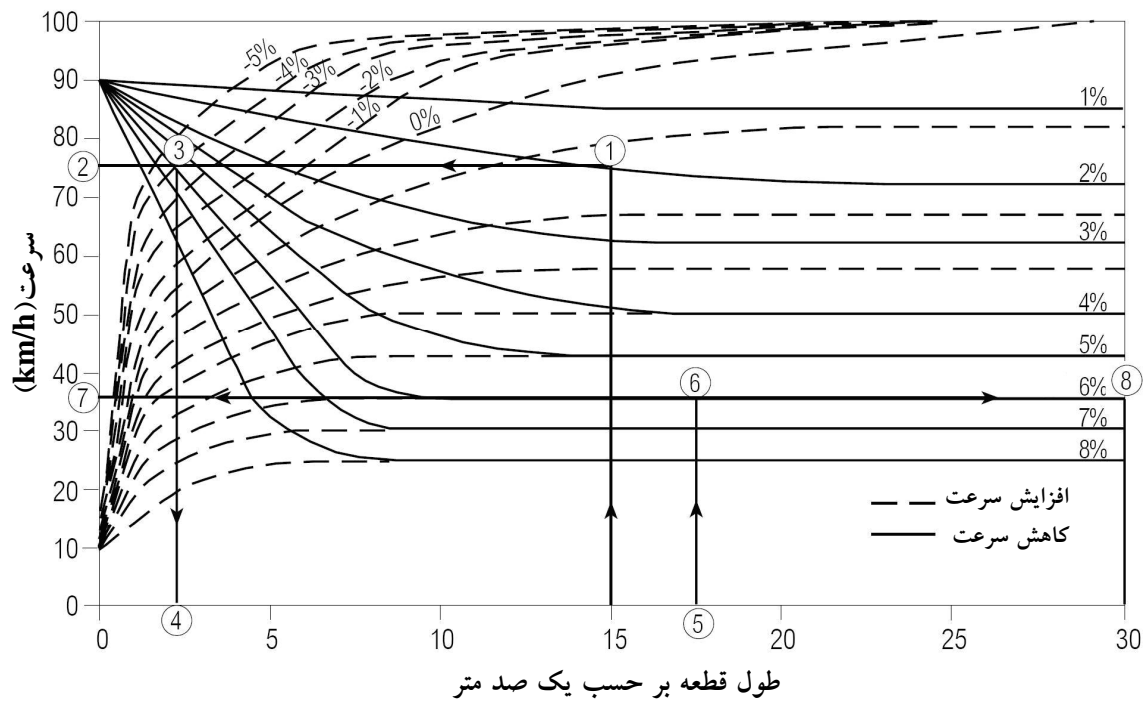
د) تعیین ضرایب خودروی سواری معادل بر اساس شیب ترکیبی

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 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 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 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 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 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	≥ 91	۰/۳۶	۷۰۰	≥ 80	۰/۳۳	۶۵۰	—	—	—
B	≥ 86	۰/۵۴	۱۱۰۰	≥ 77	۰/۵۰	۱۰۰۰	≥ 67	۰/۴۵	۸۵۰
C	≥ 80	۰/۷۱	۱۴۰۰	≥ 70	۰/۶۵	۱۳۰۰	≥ 62	۰/۶۰	۱۱۵۰
D	≥ 74	۰/۸۷	۱۷۵۰	≥ 64	۰/۸۰	۱۶۰۰	≥ 56	۰/۷۶	۱۴۵۰
E	≥ 48	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥ 48	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥ 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 می‌شود، برای سایر فاکتورهای اصلاحی از همان جداول مربوط به آزادراهها استفاده می‌شود. 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 می‌گردد.

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 می‌شود.

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.
- مسلّم 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 ^a (m)	Reduction in FFS (km/h)	Total Lateral Clearance ^a (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

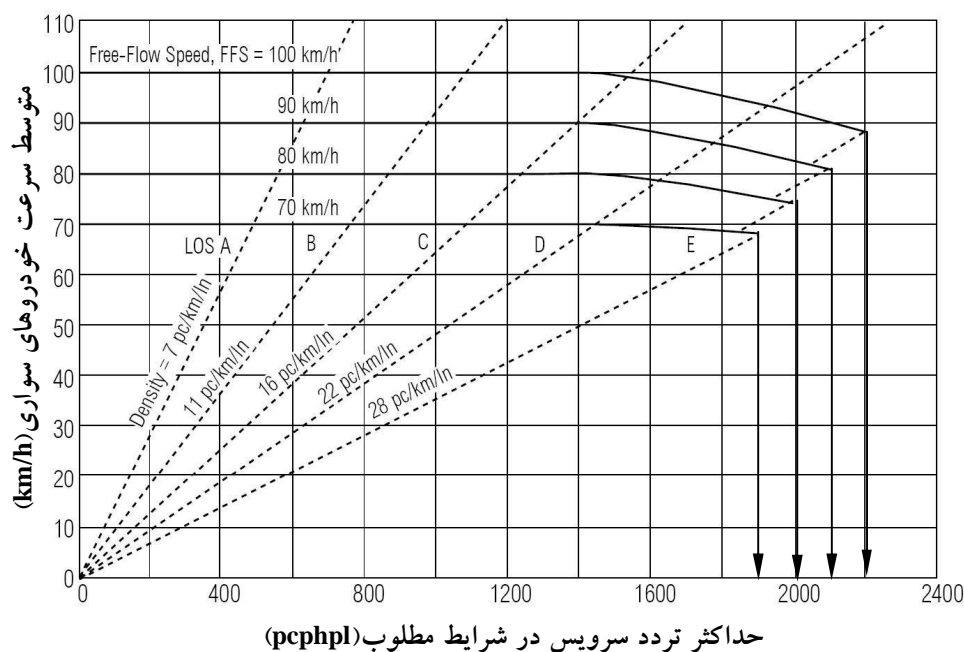
پس از تعیین سرعت جریان آزاد، با استفاده درونیابی در جدول (۵-۲۰) و یا شکل (۵-۶) می توان حداکثر تردد سرویس را برای بزرگراه مورد نظر بدست آورد.

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.