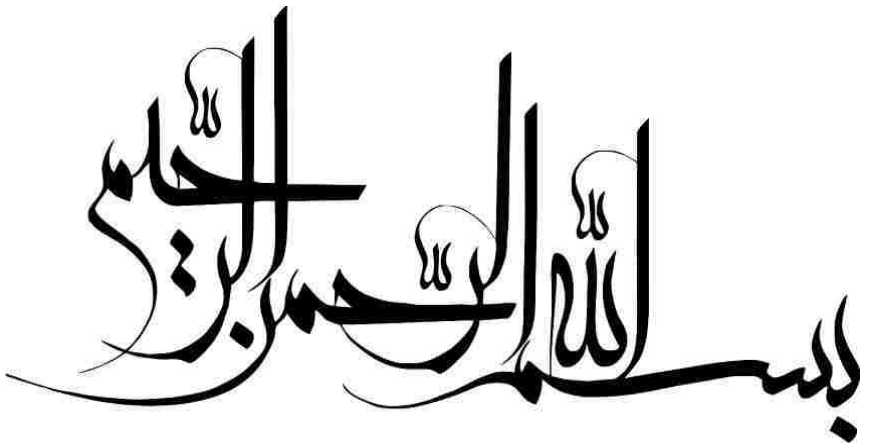

بسم الله الرحمن الرحيم

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

تاثیر زلزله بر ظرفیت جاده‌های کشور

مجری:

مقصود پوریاری

همکاران:

مهران غلامی – مریم حیدرزاده

شماره نشر: گ- ۸۹۹

چاپ اول: مرداد ۱۳۹۹

شناسنامه صفحه

سخن مرکز

سیستم حمل و نقل به عنوان یکی از نیازهای اولیه جوامع انسانی مطرح می‌باشد. حمل و نقل به عنوان یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های مجموعه‌های شهری و بین شهری و نیز به عنوان یکی از کارآمدترین پارامترهای کنترل و مهار بحران، هم می‌تواند روند مدیریت بحران را بهبود بخشیده یا باعث افت آن شود. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در راستای انجام پژوهش‌های کاربردی و تولید دانش برای حل مسایل کشور و پاسخ‌گویی به نیازهای جامعه مهندسی، پروژه‌های پژوهشی، تهیه دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های مصوب ملی، بازنگری مجموعه مقررات ملی ساختمان و مدارک فنی پشتیبان، استانداردهای ملی و سایر مدارک علمی را در دستور رسیدگی قرار داده است تا بیش از گذشته در جهت حل مشکلات ملی و توسعه کشور اقدام نماید.

در این طرح پژوهشی تلاش گردیده است عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران بررسی گردد. پس از تعریف موضوع پژوهش و کلیات آن، ادبیات داخلی و جهانی مرتبط با این موضوع بررسی شده و نتایج آن ارائه گردید. سپس طراحی بسته نرم‌افزاری و سیستم تصمیم‌یار مورد توجه قرار گرفت و نمونه‌ای موردی از شرایط بحران با استفاده از متدولوژی و بسته نرم‌افزاری طراحی‌شده پیاده‌سازی شد. لازم به ذکر است که این کتاب براساس نتایج تحقیقی که در سال ۱۳۹۰ انجام شده است تدوین گردید و در این میان آمار حوادث و ادبیات موضوع به دلیل ارزش مستندسازی آن و همچنین عدم دسترسی به امار جدید متناظر دست نخورده باقی مانده است. در انتشار این مجموعه، افراد بسیاری همکاری داشته اند، از جمله آقایان امیررضا ممدوحی، علیرضا ماهپور، مهدی مخبر، حسین قهرمانی و آقای مقصود پوریاری رئیس بخش لجستیک، مدیریت سیستمها و بحران که از همه این بزرگواران صمیمانه تشکر و قدر دانی می شود. همچنین از شما خواننده ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هر گونه ایراد شکلی و محتوایی و یا ابهام در مفاهیم بکار رفته مراتب را به این مرکز اعلام فرمایید.

محمد شکرچی‌زاده

رئیس مرکزتحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: بیان مساله و ادبیات موضوع ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- اهداف و پرسش‌های پژوهش ۵

۱-۳- ضرورت و اهمیت پژوهش ٦

۱-٤-پیشینه پژوهش ٦

۱-۵- محدودیت‌های پژوهش ۹

۱-٦- سیاهه خروجی‌های پژوهش ۱۰

۱-۷- انواع و اصول طبقه‌بندی راه‌ها ۱۱

۱-۷-۱- طبقه‌بندی عملکردی راه‌ها ۱۲

۱-۷-۲- طبقهبندی راهها از نظر موقعیت توپوگرافی ۱٦

۱-۷-۳- طبقه بندی براساس حجم رفت و آمد و سرعت مبنا (سرعت طرح) (هیئت فنی موسسه فرانسوی، ۱۳۷۰) ۱۷

۱-۸- روشهای تعیین ظرفیت انواع راه‌ها در شرایط عادی ۱۹

۱-۸-۱- ظرفیت جاده ۱۹

۱-۸-۲- حجم سرویس ۲۰

۱-۸-۳- ظرفیت آزادراهها ۲٦

۱-۸-٤- ظرفیت بزرگراهها ۳۹

۱-۸-۵- روشهای دیگر تخمین ظرفیت راه‌ها ٤۲

۱-۸-٦- تخمین ظرفیت براساس سرفاصله ٤۵

۱-۸-۷- تخمین ظرفیت براساس حجم ترافیک ٤۹

۱-۸-۸ تخمین ظرفیت براساس حدهای مشاهده شده ٤۹

۱-۸-۹- تخمین ظرفیت براساس حداکثر حجم ترافیک مورد انتظار ۵۲

۱-۸-۱۰- تخمین ظرفیت براساس حجم و سرعت ترافیک ۵٤

۱-۹- شناسایی و تحلیل عوامل تاثیرگذار بر ظرفیت انواع راه‌ها در شرایط عادی ٦۰

۱-۹-۱- عرض خط ٦۰

۱-۹-۲- جدول و موانع کناری ٦۱

۱-۹-۳- شیب ٦۱

۱-۹-٤- مسافت دید ٦۲

۱-۹-۵- مقاطع تغییر خط ٦٦

۱-۱۰- شناسایی و تحلیل عوامل تاثیرگذار بر عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای در شرایط عادی و روش‌های ... ٦۸

۱-۱۰-۱ واژههای نظریه شبکه ٦۹

۱-۱۰-۲- مساله کوتاهترین مسیر ۷٤

۱-۱۰-۳- مساله کوتاهترین درخت دربرگیرنده ۷۵

۱-۱۰-٤- مساله بیشترین جریان ۷٦

۱-۱۱- شناسایی و تحلیل برآوردهای بین‌المللی از میزان تاثیر بحران بر ظرفیت راه‌ها و روش‌های مربوطه ۷۹

۱-۱۱-۱- تاثیر حوادث بر ظرفیت راهها ۷۹

۱-۱۱-۲- روش دوم تعیین تاخیر ناشی از حوادث ۸۱

۱-۱۲- شناسایی و تحلیل برآوردهای بین‌المللی از میزان تاثیر بحران بر عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای و ... ۸٦

۱-۱۳- جمع‌بندی ۱۳۲

فصل دوم: گردآوری اطلاعات، متدولوژی و مدل‌سازی ۱۳٤

۲-۱- مقدمه ۱۳٤

۲-۱-۱- مفاهیم شبکه ۱۳۵

۲-۲- شبکه راه‌های جاده‌ای ایران ۱۳۸

۲-۲-۱- شبکه IRAN250 ۱۳۹

۲-۲-۲- شبکه شریانی ۱٤۰

۲-۳-ارتباط بین عناصر شبکه ۱٤۲

۲-۳-۱- طرح جامع حمل و نقل کشور ۱٤۳

۲-۳-۲- ناحیه‌بندیکشور ۱٤۷

۲-۳-۳-نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ۱٤۹

فصل سوم: ساخت مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی از نوع جریان در شبکه (مسئله حداقل... ۱۵۲

۳-۱-مقدمه ۱۵۲

۳-۲-مفاهیم مدل ۱۵۳

۳-۳-ضرورت مدل‌سازی ۱۵۳

۳-٤-نتایج (فواید) مدل‌سازی ۱۵۵

۳-۵-انواع مدل‌ها ۱۵۵

۳-٦-ماهیت مدل‌های این مسئله ۱۵۸

۳-۷-معرفی مدل‌های این مطالعه ۱٦۱

۳-۸-آشنایی با نرم‌افزار WINQSB ۱٦۲

۳-۹-نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ۱٦٦

فصل چهارم: سناریوهای پیشنهادی پژوهش جاری ۱٦۹

٤-۱- مقدمه ۱٦۹

٤-۲- رویکردها و سطوح مطالعه ۱۷۰

٤-۲-۱- رویکرد سیستمی (سطح کلان) و رویکرد مهندسی (سطح خرد) ۱۷۰

٤-۲-۲- رویکرد پیش و پس از بحران ۱۷۱

٤-۳-بررسی تاثیر تغییر ظرفیت کمان‌ها بر نتایج مدل‌ها در شرایط پیش و پس از بحران ۱۷۲

٤-٤-سطوح مختلف عملکردی شبکه ۱۷۷

٤-۵-رویکرد شبکه کشوری، قطب‌های امدادرسانی، استانی و ناحیه‌ای ۱۷۸

٤-٦-سناریوسازی ۱۷۹

٤-٧- چگونگی در نظر گرفت ظرفیت در مطالعهی جاری **١٨٥**
٤-٧-١-مروری بر سناریوهای پروژه ١٨٦
٤-٧-٢-چگونگی در نظر گرفتن ظرفیت ١٨٦
٤-٨- مقایسه تطبیقی نتایج **١٩٨**
٤-٩ - تعیین تابع هزینه کمان و تابع قابلیت اعتماد کمان **١٩٩**
٤-٩-١ - قابلیت اعتماد ١٩٩
٤-٩-٢هزینه ٢٠١
٤-٩-٣ - رویکرد ابتکاری ٢٠٢
٤-١٠-اجرای مدل های منتخب برای سناریو بدون بار **٢٠٢**
٤-١١-نتایج اجرای مدل حداقل درخت دربرگیرنده به تفکیک استان‌ها **٢٠٤**
٤-١١-١- مقدمه ٢٠٤
٤-١٢-جمع‌بندی اجرای مدل حداقل درخت دربرگیرنده برای استان‌ها **٢٠٧**
٤-١٣- تحلیل و ارزیابی نتایج **٢١٣**
٤-١٣-١-خلاصه‌ای از نتایج ٢١٣
٤-١٣-٢-تحلیل و تفسیر نتایج ٢١٣
فصل پنجم: طراحی و تدوین بسته نرم‌افزاری (سیستم تصمیم‌یار) **٢١٦**
٥-١- نرم افزارها **٢١٦**
٥-١-١- نرم‌افزار WINQSB ٢١٦
٥-١-٢- مولفه‌های یک سیستم اطلاعات جغرافیایی ٢٢٠
٥-١-٣- نرم‌افزار VISUM ٢٢٢
٥-١-٤- نرم‌افزار TRANSCAD ٢٢٧
٥-٢- ویژگی‌های مدنظر نرم‌افزار در این پروژه **٢٣٢**
٥-٣- مقایسه نرم‌افزارها و انتخاب نرم‌افزار منتخب **٢٣٤**
٥-٤- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری **٢٣٦**
٥-٤-١-ارائه پیشنهاد برای اجرایی نمودن تحقیق ٢٣٦
پیوست ١- راهنمای نصب نرمافزار TRANSCAD **٢٤٠**
پیوست ٢: برنامهی ماکرو **٢٧٤**
پیوست ٣: پیاده‌سازی یک نمونه موردی **٢٨٢**
پیوست٤: برآورد داده‌ها و اطلاعات لازم برای نمونهٔ فرضی **٢٩٠**

چکیده:

موضوع کتاب، بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران با تاکید بر ظرفیت راه‌ها است. بدین منظور باید توجه داشت که نحوه برنامه‌ریزی برای مواجهه و مدیریت بحران با توجه به برهه‌های زمانی گوناگون با یکدیگر متفاوت است. به علاوه از مشخصه‌های بحران که باعث مشکل شدن مواجهه با آن می‌شود، ماهیت احتمالی آن است؛ بنابراین، یکی از موارد مهم، بررسی رویکردها و سطوح مختلف مطالعه برای مواجهه با بحران می‌باشد.

در این مطالعه تلاش شده است که با آمیزه‌ای از رویکردهای سیستمی (کلان و جامع‌نگر) و مهندسی (خرد)، عملکرد شبکه در شرایط بحران مورد بررسی قرار گیرد. لذا با بررسی اطلاعات شبکه راه‌های کشور، ماتریس تقاضای مبدا- مقصد و اطلاعات ناحیه‌بندی کشور جمع‌آوری شده و متدولوژی بررسی عملکرد شبکه ارائه گردید. سپس اقدام به طراحی و تدوین بسته نرم‌افزاری کاربرپسند شد که هدف آن ارائه یک بسته نرم‌افزاری برای بررسی وضعیت شبکه در زمان بحران است. بدین معنی که یک سیستم تصمیم‌یاری ارائه شود که طی آن کاربر بتواند عملکرد شبکه را مورد بررسی قرار دهد. در نهایت با توجه به تمهیدات به‌عمل‌آمده در مراحل پیشین، اقدام به حل یک نمونهٔ موردی با تمام جزئیات و برای تمام سناریوها گردید. طی این فرآیند، سناریوهای پیش و پس از بحران برای نمونهٔ موردی راه‌های شریانی استان تهران (ناحیهٔ شماره ۱ در کشور) مورد بررسی قرار گرفته و مسائل کوتاه‌ترین درخت گسترش و کوتاه‌ترین مسیر برای سناریوهای گوناگون حل و نتایج با هم مقایسه شدند.

فصل اول: بیان مساله و ادبیات موضوع

۱-۱- مقدمه

تجربه نشان داده است که پس از وقوع یک سانحه همانند زلزله، سیل، آتش¬سوزی، یا تغییرات شدید جوی، علاوه بر حبس شدن در محل سانحه، مشکلات متفاوتی چون آسیب و انهدام مناطق مسکونی، ساختمان‌ها، سازه‌ها و تاسیسات زیربنایی، مخصوصاً پل‌ها و جاده‌ها، خطوط راه‌آهن و مخازن آب و خطوط انتقال برق به وقوع می‌پیوندد. وقوع چنین حوادثی معمولاً اثرات قابل ملاحظه‌ای را بر کاهش عملکرد شبکه دسترسی مجاور خود خواهند داشت. امروزه سیاست کلی اکثر سازمان¬های حمل و نقل و ترافیک در دنیا، ایجاد شبکه¬ای ایمن، با کیفیت بالا، مقرون به‌صرفه برای انتقال مسافر و بار است. حوادث و بلایای طبیعی، آثار بسیار زیان‌باری در زمینه¬های گوناگون (اقتصادی، اجتماعی و...) برای انسان دارند. عملکرد زیرساخت¬های مهمی چون شبکه¬های راه¬، آب، برق، گاز و تلفن می¬تواند در اثر وقوع حوادث گوناگون طبیعی و غیرطبیعی تحت تاثیر قرار گیرد. زلزله¬های سال¬های اخیر در دنیا، آسیب¬پذیری لرزه¬ای سیستم¬های حمل و نقل را نمایان کرده است. بخش عمده¬ای از خسارات اقتصادی ناشی از زلزله، در اثر آسیب دیدن سیستم حمل و نقل است. برای مثال، از ٦/٥ میلیارد دلار

خسارات برآورد شده ناشی از زلزله سال ۱۹۹٤ در Northridge در لس¬آنجلس، تقریبا ۱/۵ میلیارد دلار از آن به سیستم حمل و نقل نسبت داده شده است.

حمل و نقل به عنوان یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های مجموعه‌های شهری و بین¬شهری و نیز به عنوان یکی از کارآمدترین پارامترهای کنترل و مهار بحران، هم می‌تواند روند مدیریت بحران را بهبود بخشیده یا باعث افت آن شود .بررسی شرایطی که منجر به چنین نتایجی می‌شود، بخش عمده علم مدیریت بحران در حمل و نقل را در شرایط اضطراری تشکیل می‌دهد. شبکه حمل و نقل جاده‌ای در مناطق مختلف ایران به خصوص شهرهای بزرگ یا شهرهای متوسط دارای ویژگی‌هایی است که بررسی این مشخصه‌ها از جهات مختلف به منظور آمادگی برای مواجهه با شرایط اضطراری مفید است.

تجارب زلزله‌های اخیر دنیا ازجمله زلزله ۱۹۹٤ درکوبه ژاپن بیانگر آسیب‌پذیری شدید شبکه¬های ارتباطی در برابر وقوع زلزله می‌باشد. در این میان، شبکه حمل و نقل نیز به نحو قابل توجهی از زلزله و پیامدهای آن مصون نمانده و عملکرد آن در شرایط اضطراری کاهش می‌یابد. آنچه باعث می‌گردد شبکه حمل و نقل جاده‌ای در بین تاسیسات فوق اهمیت بیشتری یابد، نقش آن به عنوان بستری برای اکثر اقدامات امداد و نجات است.

شبکه راه¬ها در معرض آسیب¬های متعددی قرار دارند که می¬توان آن¬ها را به دو دسته کلی زیر تقسیم کرد:

۱. آسیب¬ها و بحران¬های طبیعی: زلزله، شرایط بد جوی (سیل، طوفان، برف و یخ¬بندان)

۲. آسیب¬های غیرطبیعی: تعمیرات راه¬ها و همچنین تصادفات شدیدی که باعث مسدود شدن راه¬ها می¬شوند.

مدیریت بحران روندی چند مرحله‌ای است که با اقدامات قبل از وقوع بحران به‌منظور کاهش خسارات وارده شروع شده و به اقدامات پس از وقوع بحران و بازسازی ختم می‌شود.

برنامه‌ریزی مدیریت بحران در چهار مرحله پیشگیری، آمادگی، مقابله و بازسازی نیازمند پیش‌بینی نیازها و اقداماتی است که برای پاسخگویی به این نیازها طراحی شده است. بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور و پیش‌بینی توان و پتانسیل این شبکه می‌تواند در زمان بحران در تدوین برنامه جامع مدیریت بحران و طراحی سناریوهای مقابله و سناریوهای لازم در سه مرحله دیگر مفید واقع شده و مورد استفاده قرار گیرد. شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور و عملکرد آن به عنوان شریان‌های حیاتی کشور در زمان بحران از اهمیت مضاعف برخوردار می‌شود که ضروری است برای برنامه‌ریزی‌های مربوطه مورد مداقه، تحلیل کمی و مدل‌سازی ریاضی قرار گیرد. آسیب‌های وارده به این شبکه در زمان بحران با توجه به ماهیت تصادفی و عدم قطعیت آن می‌تواند با شدت‌های مختلف در کمان‌های مختلف باشد که طبیعتا قابل پیش‌بینی نیست. طبیعی است که کمان‌های مختلف از ارزش یکسان برخوردار نبوده و با توجه به مواردی مانند وجود یا عدم وجود مسیر موازی و جمعیت تحت پوشش از ارزش و حساسیت متفاوتی برخوردار خواهند بود. به خصوص، تعدد ترکیب‌های مختلف آسیب‌ها به شبکه به راحتی توسط ذهن انسانی به خصوص در زمان بحران قابل پردازش و برنامه‌ریزی نخواهد بود. هدف اصلی پروژه جاری مدل‌سازی شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور به شکل ریاضی و با استفاده از مفاهیم بهینه‌سازی در زمینه مساله جریان در شبکه جهت تحلیل عملکرد شبکه در شرایط آسیب‌های متفاوت و به خصوص برای سناریوهای مختلف آسیب‌ها و همچنین، اولویت‌بندی کمان‌های آسیب دیده جهت ترمیم و بازسازی با توجه به منابع محدود (زمان، مصالح، ماشین‌آلات و نیروی انسانی) با هدف پیوسته بودن شبکه به معنی ایجاد دسترسی به تمام کانون‌های جمعیتی مهم (حداقل از طریق یک مسیر) در وهله اول (مساله حداقل درخت گسترش)، و کاهش زمان دسترسی به

این کانون‌ها با توجه به اولویت آنها براساس جمعیت تحت پوشش و افزایش دسترسی در وهله دوم (مساله کوتاه‌ترین مسیر) است.

وقوع بلایای طبیعی، نظیر سیل، زلزله، توفان و گردباد در اغلب موارد، تأثیرات مخربی از جمله بر شبکه راه¬ها برجا گذاشته و به‌تبع آن با قطع شبکه ارتباطی، خدمت‌رسانی پس از حادثه را با مشکل مواجه می‌کند. علاوه بر خدمت‌رسانی، یکی از مراحل مدیریت بحران، مرحله برون‌بری است که در این مرحله، ساکنان شهرها به سمت محل‌هایی در بیرون شهر جهت اسکان موقت انتقال داده می‌شوند. در هر دو عملیات خدمت‌رسانی و برون‌بری، شبکه جاده‌ای برون‌شهری از اهمیت بالایی برخوردار است و تخریب آن می‌تواند تأثیرات منفی غیرقابل جبرانی را برای ساکنان شهرها فراهم آورد. از این‌رو، بررسی این موضوع و پیش‌بینی¬های لازم می‌تواند تا حدودی از این عواقب جلوگیری نماید.

برنامه‌ریزی مدیریت بحران در چهار مرحله پیشگیری، آمادگی، مقابله و بازسازی نیازمند پیش‌بینی نیازها و اقداماتی است که برای پاسخگویی به این نیازها طراحی شده است. بخش حمل و نقل نیز به عنوان یکی از پاسخ‌گویان به بحران باید با پیش‌بینی توان و پتانسیل شبکه راه‌های خود در زمان بحران به ارائه ظرفیت پاسخ‌گویی خود بپردازد تا طراحان برنامه جامع مدیریت بحران بتوانند براساس این ظرفیت، به طراحی سناریوی مقابله و سناریوهای لازم در سه مرحله دیگر بپردازند. مهمترین شاخص بخش حمل و نقل توان ظرفیتی شبکه حمل و نقل و راه‌ها در پاسخ‌گویی به تقاضا در زمان بحران است که مساله اصلی این پروژه است. در شبکه راه¬های موجود برای کنترل بحران در طی مراحل مدیریت بحران، تحقیقات جهت بررسی ظرفیت راه‌ها و تعیین مسیرها پس از زلزله جهت برون¬رفت از مسائل و مشکلات مربوطه ضروری است.

پژوهش جاری به بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده¬ای کشور در زمان بحران با تاکید بر ظرفیت راه¬ها می¬پردازد.

۱-۲- اهداف و پرسش‌های پژوهش

هدف اصلی این پژوهش عبارت است از بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده¬ای کشور در زمان بحران با تاکید بر ظرفیت راه¬ها. سایر اهداف این پژوهش جهت نیل به هدف اصلی عبارتند از:

۱. بررسی ادبیات جهانی در مورد رویکردها و روش‌های مختلف برای بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای در صورت (پس از) وقوع بحران (زلزله)

۲, بررسی و تعیین عوامل مؤثر بر ظرفیت یک کمان به طور کلی (وضعیت موجود) و پس از وقوع بحران

۳. ساخت مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی از نوع جریان در شبکه (حداقل درخت گسترش و کوتاه‌ترین مسیر)

٤, شناسایی و تحلیل عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای در شرایط عادی (وضعیت موجود) و پس از وقوع بحران

۵, طراحی و تدوین بسته نرم‌افزاری (سیستم تصمیم‌یار)

٦. اجرای روش پیشنهادی و بسته نرم‌افزاری طراحی شده برای یک نمونه¬ی فرضی و تحلیل و تفسیر نتایج

پرسش‌های پژوهش نیز به شرح زیر هستند:

۱, رویکردها و روش‌های مختلف جهانی برای بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای در صورت (پس از) وقوع بحران (زلزله) چه هستند؟

۲. عوامل مؤثر بر ظرفیت یک کمان به طور کلی (وضعیت موجود) و پس از وقوع بحران چه هستند؟

۳, ساختار و جزییات مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی از نوع جریان در شبکه (حداقل درخت گسترش و کوتاه‌ترین مسیر) برای مساله خاص این پروژه چه هستند؟

٤, شبکه حمل و نقل جاده‌ای در شرایط عادی (وضعیت موجود) و پس از وقوع بحران دارای چه عملکردی هستند؟

۵. بسته نرم‌افزاری (سیستم تصمیم‌یار) مناسب برای این پروژه دارای چه ویژگی‌هایی است؟

٦. روش پیشنهادی و بسته نرم‌افزاری طراحی شده چگونه برای یک نمونه¬ی فرضی قابل اجراست؟ تحلیل و تفسیر نتایج چه هستند؟

۱-۳- ضرورت و اهمیت پژوهش

چنانچه یک شبکه حتی در زمان عادی عملکرد مطلوب و قابل قبولی داشته باشد به دلایل مختلف عملکرد مطلوب آن قابل تسری به وضعیت پس از بحران نخواهد بود. لذا یکی از راه‌کارهای اصولی برای پیشگیری از آسیب شبکه حمل و نقل و مدیریت اصولی در برابر وقوع بلایای مختلف و از جمله زلزله، مطالعه و بررسی دلایل تنزل عملکرد شبکه حمل و نقل است.

۱-٤-پیشینه پژوهش

حوادث به صورت کلی کمیاب و تصادفی هستند و تاثیرات آن¬ها بر راه¬ها بسته به شدت آن¬ها متفاوت خواهد بود. از یک دیدگاه احتمالی در جهت تخمین تاثیر آن¬ها بر تاخیر متوسط استفاده می¬شود. حاصل¬ضرب میزان تاخیر مربوط به حادثه (در صورت رخداد یک حادثه) در حین هر ساعت از سال ضرب در احتمال رخداد حادثه در حین آن ساعت می¬تواند مقدار مورد انتظار تاخیر را برای هر ساعت تعیین کند (TRB, 2000).

به طور کلی، کاهش ظرفیت ناشی از حوادث به صورت غیرخطی با انسداد فیزیکی خطوط تغییر می¬کند (HCM2000). تفاوت تاخیر غیرعادی محاسبه شده و تاخیر عادی، میزان تاخیری است که با توجه به نوع حادثه در حین هر ساعت مورد

مطالعه اتفاق می‌افتد. این نتیجه در احتمال رویداد آن حادثه با توجه به نوع آن ضرب شده تا میزان تاخیر مورد نظر به دلیل بروز حادثه مربوطه بدست آید.

روش جایگزینی برای محاسبه تاخیر ناشی از حوادث با استفاده از روش شبیه‌سازی ماکروسکوپیک و مشخصات حوادث در جهت توسعه مدل‌های جدیدی انجام گرفته که تاخیر ناشی از حوادث را به عنوان تابعی از پارمترهای ذیل محاسبه می‌کند:

۱, تعداد خطوط آزادراه،

۲. تراکم اولیه (AADT/C)،

۳, نرخ حادثه،

٤, نرخ تصادف،

۵. طول زمان حادثه، و وجود شانه.

مدل ماکروسکوپیک صف‌بندی که برای توسعه و پیشبرد اطلاعات و بکارگیری آنها در مدل استفاده شده است، ساختاری تصادفی دارد و با آزمایش یک کمان آزمایشی، امکان رویداد حادثه و مشخصات آن‌ها را با توجه به توزیعات داده‌های بکاررفته نشان می‌دهد. در این شرایط، مدل تاثیر تجمعی وقوع حوادث و نه تاثیر وقوع تنها یک حادثه را شبیه‌سازی می‌کند. این مطالعه، اساس معادلات تاخیر حوادث که توسط مدل سیستم اقتصادی بزرگراهی FHWA بکار می‌رود را تشکیل می‌دهد. این روش همچنین شامل معادلاتی برای تاخیر گلوگاه‌های ترافیک است. این روش بجای مقاطع جزیره‌ای برای استفاده در آزادراه‌ها بکار برده می‌شود. بنابراین برای ارزیابی عملکرد مقاطع آزادراه‌ها مناسب هست (Cambridge Systematics, 1998)

در تحقیق حاجی‌حسینلو و هدایت (۱۳۸۵)، میزان کاهش ظرفیت راه‌ها پس از وقوع زلزله‌ای فرضی در پنج شهر بدست آمده است. فرض براین است که این شهرها همگی در مناطق کوهستانی واقع شده‌اند و پس از وقوع زلزله، به‌علت ریزش سنگ، جاده‌های بین این شهرها دچار خرابی و کاهش ظرفیت می‌گردند.

شبکه ارتباطی این پنج شهر از آزادراه و بزرگراه تشکیل شده‌است. آزادراه مذکور دارای چهار باند با سرعت مجاز ٦٠ مایل در ساعت دارای دوباند در هرطرف به‌عرض ١٢ فوت، شانه به‌عرض ٦ فوت و فاصله گاردریل با لبه آسفالت ٢ فوت در هر سوی رفت و برگشت است و همچنین بزرگراه دوبانده با سرعت مجاز ٥٠ مایل در ساعت، دارای یک باند در هر طرف به‌عرض ١٢ فوت و شانه به‌عرض ٦ فوت در هر دوسوی رفت و برگشت است و در هیچ‌کدام از این مسیرها پل و تونل وجود ندارد. میزان شدت خرابی پس از وقوع زلزله بعد از تطبیق نوع خرابی‌ها تعیین و سپس با استفاده از نرم‌افزار HCS١/٤ میزان ظرفیت راه‌ها و همین‌طور میزان کاهش ظرفیت آن‌ها بدست آورده شده است.

با توجه به اثرات تخریبی چندین زلزله شدید اخیر دنیا شامل زلزله لوماپریتا (١٩٨٩)، زلزله نورتریج (١٩٩٤) و زلزله کوبه (١٩٩٥) با تاثیرات تخریبی عمده بر شبکه حمل و نقل، ضرورت بررسی دقیق سیستم حمل و نقل به منظور بررسی کارآمدی عملکرد و شناسایی نقاط ضعف آن در هنگام زلزله مشخص می¬شود. از جمله تلاش‌های انجام شده در این زمینه می¬توان به کارهای انجام شده توسط Wakabayashiو Kameda در سال ١٩٩٢ بر روی تحلیل ایمنی شبکه حمل و نقل و مدل¬سازی جریان ترافیک در منطقه (Loma Pertia) اشاره نمود.

باغ‌وند و همکاران در سال ١٣٨٥ با مطالعه تحقیقات انجام گرفته به بررسی عمده مخاطراتی که عملکرد شبکه‌های دسترسی را پس از وقوع زلزله تهدید می‌نمایند، پرداختند و پس از بررسی زلزله‌ها در مناطق مختلف دنیا و ایران مهمترین مؤلفه‌هایی که بر عملکرد شبکه پس از وقوع بحران (به‌ویژه زلزله) تأثیر می‌گذارند، شناسایی نمودند و سپس راه‌کارهایی جهت افزایش کارآمدی شبکه معابر، پس از وقوع یک سانحه ارائه نمودند.

در سال ١٩٩٥، Basoz و Kiremidjian با ارائه شیوه¬ای نوین به بررسی مساله الویت در مقاوم¬سازی پل¬ها و ایجاد یک معیار جدید برای آن پرداختند. Nojima در سال ١٩٩٧ با روشی تحلیلی بیان نمود که ظرفیت جاده برای پذیرش ترافیک

می¬تواند پایه‌ای برای تعریف یک معیار بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل قرار گیرد و با استفاده از آن می¬توان عملکرد شبکه حمل و نقل را در شرایط بحران بررسی نمود. کاظمی و شریعت در ۱۳۸۸ به‌منظور ارزیابی شبکه راه‌های بین‌شهری در برابر حوادث طبیعی، یک شاخص خطرپذیری ارائه کردند که با استفاده از آن تصمیم‌گیری در مراحل مختلف مدیریت بحران میسر می¬گردید. در سال¬های ۱۹۹۸ و Nojima،۱۹۹۹ و Changمطالعاتی را جهت ارزیابی سیستم حمل و نقل بعد از زلزله انجام دادند که در آن¬ها ارزیابی سیستم شریان‌ها با توجه به خرابی¬های ایجاد شده در بزرگراه‌ها در اثر ۳ زلزله در آمریکا و ژاپن مورد بررسی قرار گرفته¬است. بررسی کارهای انجام گرفته در رابطه با ظرفیت راه¬ها و تاثیر بلایای طبیعی بر عملکرد آن¬ها هم در شرایط عادی و هم در شرایط بحرانی و همچنین بررسی عوامل موثر بر ظرفیت و عملکرد شبکه حمل و نقل جاده¬ای چه در حالت عادی و چه در شرایط بحرانی بصورت مفصل و کلی در بند ۲ آورده شده است.

۱-۵- محدودیت‌های پژوهش

با توجه به اینکه پژوهش با فرض وقوع زلزله انجام می‌شود و یک پژوهش کاملاً مرتبط، با موضوع پژوهش انجام نشده است، لذا موارد زیر از جمله محدودیت‌های این پژوهش به‌حساب می‌آیند.

۱, عدم وجود داده‌های دقیق و منسجم پس از بحران به خصوص در کشورهای در حال توسعه مانند ایران

۲. تحقیقات اندک انجام شده در این زمینه

۳. نبود آمار و بانک اطلاعاتی مناسب در زمینه حوادث طبیعی و بحران‌های جاده¬ای و میزان خرابی‌های ناشی از آن

۱-٦- سیاهه خروجی‌های پژوهش

هدف از این مطالعه، بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران است. بدین منظور ابتدا باید داده‌ها و ورودی‌های مطالعه مشخص شوند؛ سپس با استفاده از مدل‌سازی، بر روی این داده‌ها تحلیل‌های مورد نظر انجام شده و در نهایت، نتیجه حاصل از مدل‌سازی را مورد استفاده قرار داد. دو ورودی مهم این مطالعه عبارتند از شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور و مطالعات جامع حمل و نقل کشور که در فصل سوم به تفصیل در مورد آن‌ها بحث خواهد شد. مدل‌های مورد استفاده برای این مسئله، مدل‌های ریاضی هستند؛ زیرا اولا بعلت تعداد حالات زیاد محتمل قابل وقوع در اثر بحران، ذهن انسان قادر به نتیجه‌گیری سریع نیست و هم‌چنین سایر مدل‌ها نیز به‌همین علت، کارایی مدل‌های ریاضی را ندارند؛ دوما دستکاری کردن مدل یعنی همان تغییر در عناصر مدل در مدل‌های ریاضی بسیار ساده‌تر از دستکاری کردن سایر مدل‌ها است. به عبارت دیگر، این نوع مدل آزمایش سیستم را ساده‌تر و امکان‌پذیرتر می‌سازد.

مسئله مورد بررسی در این مطالعه در سطوح گوناگونی مانند سطوح خرد و کلان، سطوح پیش و پس از بحران قابل بررسی است. طبیعی است که برای همه‌ی این سطوح نمی‌توان فقط از یک مدل استفاده نمود. از میان سطوح خرد و کلان، بدلیل اثرپذیری کمان‌های شبکه از یکدیگر، بحث مهم‌تر، بحث سطح کلان (عملکرد کل شبکه حمل و نقل) می‌باشد. این مسئله دربرگیرنده مفاهیم شبکه است؛ بنابراین، مدل‌هایی می‌توانند مناسب باشند که این مفاهیم در آن‌ها مدنظر قرار گرفته شده باشد؛ درنتیجه باید بر روی مدل‌های بیان کننده‌ی مفاهیم جریان در شبکه متمرکز شد. مدل مناسب برای قبل از وقوع بحران مسئله حداقل درخت دربرگیرنده و برای پس از وقوع بحران، مسئله کوتاه‌ترین مسیر است. بر این اساس، سیاهه خروجی‌های پژوهش به شرح زیر است:

۱, جواب بهینه مسئله حداقل درخت دربرگیرنده به تفکیک استان‌های کشور، شامل کمان‌های قرار گرفته در حداقل درخت هر استان.

۲. جواب بهینه مسئله کوتاه‌ترین مسیر به تفکیک استان‌های کشور؛ بدین صورت که با اطلاع از ترکیب کمان‌های مسدود شده پس از بحران، کوتاهترین مسیر بین هر دو گره دلخواه بدست خواهد آمد.

۳. نرم‌افزار: با استفاده از نرم‌افزار Visum، فایل‌های جداگانه‌ای به تفکیک شبکه‌ی هر استان ایجاد می‌کنیم. پس از انتقال مشخصات شبکه‌ی هر استان از نرم‌افزار Visum به WinQSB، حداقل درخت دربرگیرنده برای هر استان بدست خواهد آمد. برای یافتن کوتاهترین مسیر نیز از امکانات موجود در نرم‌افزار Visum برای این کار استفاده شده است.

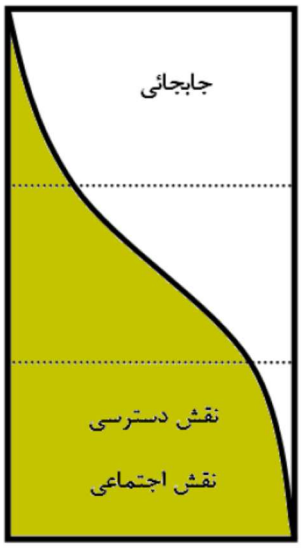
۱-۷- انواع و اصول طبقه‌بندی راه‌ها

طبقه‌بندی روشی است که با استفاده از آن می‌توان یک شبکه پیچیده از راه‌ها را به گروه‌ها و یا سیستم‌هایی با خصوصیات مشابه تقسیم نمود. طبقه‌بندی راه‌های یک کشور می‌تواند بر اساس سیستم سازمانی برای نگهداری و ساخت، سیستم وظیفه‌ای یا عملکردی، سیستم شماره‌گذاری برای شناسایی و تهیه نقشه راهنما، توپوگرافی، سیستم تخصیص بودجه، یا بر اساس معیارها و استانداردهای طراحی باشد. در طبقه بندی حاضر، شبکه معابر بین‌شهری براساس شرایط عملکردی و نیز میزان حجم رفت و آمد تقسیم‌بندی می‌شود.

در قسمت شرایط عملکردی، سهم معبر در تأمین دسترسی، جابجایی و نقش اجتماعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. راه‌ها معمولاً بیش از یک نقش به‌عهده می‌گیرند و بعضی از این نقش‌ها با یکدیگر در تعارض هستند. طراح به‌هنگام تعیین گروه بندی و همچنین تعیین اجزای راه، باید به همه نقش‌های مختلف معبر توجه کند. نقش جابجایی را می‌توان با سرعت و میزان ترافیک موتوری سنجید. هرچه تعداد زیادتری خودرو بتواند با سرعت بیشتری جابجا شوند، نقش جابجایی راه بیشتر است. نقش دسترسی را می‌توان بر حسب تعداد دسترسی‌ها و امکانات جانبی سنجید. جابجایی و دسترسی با هم در تقابل هستند و با افزایش نقش یکی، از نقش

دیگری کاسته می‌شود. نقش اجتماعی خیابان را می‌توان براساس میزان جداکنندگی آن سنجید. هرچه پیاده‌ها و دوچرخه‌سواران بتوانند به راحتی از عرض خیابان عبور کنند، نقش اجتماعی بیشتر است.

شکل (۱-۱) رابطه بین نقش‌های جابجایی، دسترسی و اجتماعی را در طبقه‌بندی عملکردی معابر شهری و بین‌شهری نمایش می‌دهد (سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، ۱۳۸٦).



شکل۱-۱ رابطه بین نقش‌های جابجایی، دسترسی و اجتماعی (سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، ۱۳۸٦)

۱-۷-۱- طبقه‌بندی عملکردی راه‌ها

طبقه‌بندی راه‌های برون‌شهری با توجه به اهمیت عملکرد و وظیفه آنها در شبکه راه‌های کشور دارای درجات مختلفی است که به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

الف : راه‌های سریع‌السیر (آزادراه و بزرگراه)

ب : راه‌های اصلی

ج: راه‌های فرعی

راه‌های سریع‌السیر: هدف اصلی از احداث راه‌های سریع‌السیر ایجاد ارتباط سریع بین مناطق مهم بوده و خود به دو دسته آزادراه (شاهراه) و بزرگراه تقسیم می شود.

آزادراه‌ها: در طراحی و بهره‌برداری از این معابر به جابجایی وسایل نقلیه موتوری برتری داده می‌شود و در همین راستا، دسترسی‌ها در این معابر کنترل می‌گردد. علاوه براین، در این راه‌ها هیچ‌گونه جایگاهی برای نقش اجتماعی درنظر گرفته نمی‌شود. جریان ترافیک در این معابر بدون وقفه و آزاد است. لذا، وسایل نقلیه موتوری جز در تصادف‌ها و راه‌بندها ناچار به توقف نمی‌شوند. عملکرد اصلی این معابر برقرای ارتباط سریع بین شهرهاست و به واسطه همین امر اکثراً نقش معابر برون‌شهری را دارند. به‌طورکلی، آزادراه‌ها دارای ویژگی‌های زیر هستند:

۱. نقش اصلی آن‌ها جابجایی یا حرکتی است و نقش دسترسی در آن‌ها صفر است.
۲. ترافیک متقابل آن‌ها توسط جزایر میانی از یکدیگر جدا می‌شود.
۳. تقاطع‌های این نوع راه‌ها غیر هم‌سطح هستند.
٤. ورود و خروج به این نوع راه‌ها به کمک خطوط افزایش و کاهش سرعت تنظیم می‌گردد.
۵. سرعت طرح بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر در ساعت و سرعت مجاز بین ۷۰ تا ۱۲۰ کیلومتر در ساعت است.
٦. محدودیت انتخاب باند برای وسائط نقلیه سنگین وجود دارد.
۷. حداقل دارای دو خط عبور و یک شانه آسفالته به عرض ۲ متر است.
۸. حداقل عرض پوسته ۷٦ متر است.
۹. حداقل فاصله تقاطع‌ها از یکدیگر ۲/۵ کیلومتر است.
۱۰. امکان دسترسی مستقیم به کاربری‌های اطراف وجود ندارد.
۱۱. حداقل عرض جزیره میانی ۵ متر است.

بزرگراه‌ها: در طراحی و بهره‌برداری از این معابر به جابجایی وسایل نقلیه موتوری برتری داده شده (۱۰۰٪) و نقش دسترسی و اجتماعی به طور کامل کنترل می‌گردد. اکثر

تقاطعات در این معابر غیر هم‌سطح هستند و در طول‌های قابل ملاحظه‌ای می‌توان جریان ترافیک را در آن‌ها پیوسته فرض کرد. در صورتی‌که در این معابر تقاطع هم سطح وجود داشته‌باشد، باید فاصله آنها بیش از ۲/۵ کیلومتر باشد. وظیفه اصلی این معابر جابجایی سفرهای طولانی و برقراری ارتباط سریع بین نواحی عمده جمعیتی است. در کل، بزرگراه راهی است همانند آزادراه با تفاوت‌های زیر:

۱. تقاطع‌ها می‌توانند هم‌سطح باشد.
۲. حداقل فاصله تقاطع‌ها از یکدیگر ۱۵۰۰ متر است.
۳. سرعت طرح بیشتر از۸۰ و سرعت مجاز بین ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتر در ساعت است.
٤. حداقل عرض جزیره میانی ۳ متر است.

راه‌های اصلی : راه اصلی عبارت است از راه سراسری یا مسیری که در مقیاس ملی قرار دارد و معمولاً دو خطه دو طرفه یا چهار خطه (دو خط برای رفت و دو خط برای آمد) بوده و هدف ازآن برقراری جریان رفت و آمد وسائط نقلیه بین دو شهر بزرگ در ناحیه و یا دو مرکز انتفاعی مهم است. مجموعه راه‌های اصلی شبکه راه های ملی را تشکیل می‌دهند. معمولا جریان عبور و مرور راه‌های اصلی از طریق راه های فرعی دریافت شده و جریان فراهم آمده را به آزادراه‌ها یا بزرگراه‌ها منتقل می-کنند. تقاطع‌ها در این نوع راه‌ها معمولاً هم‌سطح هستند. این نوع راه‌ها خود به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند.

۱- راه اصلی تفکیک شده

راهی است با روسازی آسفالت یا بتن برای عبور سریع وسایل نقلیه موتوری که دارای معابر رفت و برگشت جدا از هم بوده و هر یک از جهت‌های رفت و برگشت شامل حداقل دو خط عبور است. در این نوع راه‌ها به‌خاطر اینکه دسترسی‌ها کاملاً کنترل شده نبوده یا عرض جزیره میانی کم یا فاصله تقاطع‌ها کمتر از ۱/۵ کیلومتر می‌باشد، نمی‌تواند بعنوان بزرگراه تلقی گردد.

۲- راه اصلی عریض

راهی است با عرض کلی ۱۳/۳۰ متر دو طرفه با بیش از دو خط عبور (سه یا چهار خط عبور) تفکیک نشده و با شانه‌هایی در طرفین به عرض حداقل ۲ متر.

۳- راه اصلی معمولی

راه‌های دوخطه دوطرفه با سواره‌رو به عرض کلی ۱۱ متر که ساختمان آن طبق نقشه و مشخصات راه اصلی انجام شده است. عرض آسفالت ۷/۳۰ متر و عرض شانه‌ها حداقل ۱/۸۰ متر است.

راه‌های فرعی: راه‌های فرعی عبارت است از راه‌های دوخطه دوطرفه یا در بعضی نقاط چهارخطه که به منظور رفت و آمد بین شهرها، مراکز تولیدات صنعتی، کشاورزی و بالاخره مراکز تجارت واقع در داخل یک ناحیه، در فواصل نسبتاً اندک به کار می‌رود، راه‌های فرعی جزیی از شبکه داخلی یک منطقه است. راه فرعی عموماً به‌صورت دوطرفه عمل می‌کند و دارای سه درجه گوناگون است.

۱- راه‌های فرعی درجه یک

راه‌های فرعی درجه یک عبارت است از راه‌های استانی که مراکز جمعیت یا مراکز اقتصادی مهم داخل یک استان را بهم می‌پیوندد. راه‌های فرعی درجه یک، نقش مکمل راه‌های اصلی را ایفا می‌کنند. این نوع راه دارای حداقل دو خط عبور با سواره‌روی روسازی شده به عرض حداقل ۳/۲۵ متر برای هر خط عبور به اضافه شانه‌های طرفین است. تفاوت اساسی بین راه‌های اصلی و فرعی درجه یک در طول مسیر و مقصد آن است نه از لحاظ مقدار آمد و شد.

۲- راه‌های فرعی درجه دو

راه‌هایی که ارتباط مراکز تولید (معدن ، کشاورزی ، صنعتی یا تجارتی) و مراکز جمعیت با اهمیت متوسط را که ارتباط آن‌ها از طریق راه‌های فرعی درجه یک تأمین نشده است تأمین می‌نماید، راه‌های فرعی درجه دو نام دارد. این نوع راه‌ها معمولاً شامل دو خط عبور سواره‌رو به عرض ۵/۵ متر به اضافه شانه‌های طرفین هستند.

۳- راه‌های فرعی درجه سه (یا راه‌های روستایی)

راه‌های فرعی درجه سه همان راه‌های روستایی هستند که ارتباط مراکز تولید روستایی را به‌یکدیگر و اتصال آن‌ها را به راه‌های فرعی و اصلی کشور برقرار می‌نمایند. این نوع راه‌ها اساساً دارای منافع منحصراً محلی، عبور و مرور نسبتاً کم و دارای سرعت طرح پائین می‌باشند.

این راه‌ها باید به دسترسی و ارتباط روستاها و مراکز اقتصادی کم‌اهمیت اختصاص یابد و ارتباط مراکز تولید روستایی و اتصال آن‌ها به راه‌های فرعی و اصلی کشور را برقرار نماید. کم بودن ترافیک و پایین بودن هزینه اجرا شاخص‌های مهم این راه است (TRB, 2000، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، ۱۳۸٦، آیین‌نامه طرح هندسی راه، ۱۳۷۵ و کتاب جامع آماری، ۱۳۸٦).

۱-۷-۲- طبقه‌بندی راه‌ها از نظر موقعیت توپوگرافی

براساس آیین‌نامه طرح هندسی راه (۱۳۷۵)، راه‌های کشور از نظر موقعیت توپوگرافی به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شود.

الف: راه هموار یا دشتی

در این نوع راه، زمین محدوده عبور راه، هموار (دشت) است. شیب عمومی محدوده و شیب طولی راه حداکثر به ۳ درصد می‌رسد. راه دارای خاک ریزهایی به بلندی تا ۲/۵ متر و گاهی برش‌های کم عمق می‌باشد.

ب: راه تپه ماهوری

زمین محدوده عبور این راه، پستی و بلندی ملایمی دارد. بزرگترین شیب عموماً حدود شیب ۳ تا ۷ درصد است. بلندی خاکریزها گاهی از ۲/۵ متر تجاوز می‌کند و عمق برش‌ها معمولاً کمتر از ۹ متر است. شیب طول راه عموماً از حداکثر مجاز کمتر است.

ج: راه کوهستانی

این نوع راه از دامنه کوه، تپه‌های بلند و دره‌های گود می‌گذرد و گاهی دارای برش‌های عمیق و پل‌های بزرگ یا خاکریزهای بلند است. میزان سربالایی یا

سرازیری خط بزرگترین شیب زمین، بیش از ۷ درصد است. شیب طولی راه، در موارد متعدد و در طول‌های قابل ملاحظه، به حداکثر مجاز می‌رسد.

د: راه هموار، تپه ماهوری یا کوهستانی با مانع

اگر در محدوده عبور راه، موانعی از قبیل مرداب، شالیزار و جنگل وجود داشته باشد، بسته به مورد، راه از طبقه «هموار با مانع» یا « تپه ماهوری با مانع» یا «کوهستانی با مانع» خواهد بود.

۱-۷-۳- طبقه بندی براساس حجم رفت و آمد و سرعت مبنا (سرعت طرح) (هیئت فنی موسسه فرانسوی، ۱۳۷۰)

در این نوع طبقه‌بندی، منظور از حجم رفت و آمد، عبارت است از متوسط روزانه یک‌ساله تعداد وسیله نقلیه‌ای که می‌تواند با برخورداری از نظم و ایمنی مطلوب از راه عبور کند.

سرعت طرح یا سرعت مبنا، در قطعه معینی از راه عبارت است از سرعتی که بر اساس آن در نقاط مسئله‌دار مسیر، حداقل مشخصات هندسی راه تعیین گردد. لذا با استفاده از دو عامل مهم حجم و سرعت، طبقه‌بندی راه‌های برون شهری مطابق جدول (۱-۲) می‌باشد.

جدول ۱-۱ طبقه‌بندی راه‌های برون‌شهری (هیئت فنی موسسه فرانسوی، ۱۳۷۰)

نوع راه	درجه راه	سرعت طرح	متوسط ترافیک روزانه دوخطه	متوسط ترافیک روزانه چهارخطه
آزادراه	یک	≥۹۰	-	۱۰۰۰۰–۱۵۰۰۰
بزرگراه	یک	≥۸۰	-	۱۲۰۰۰–۲۵۰۰۰
راه‌های اصلی ملی	یک	۶۰–۱۲۰	۳۰۰۰–۷۰۰۰	۱۲۰۰۰–۲۰۰۰۰
راه‌های فرعی استانی	دو	۴۰–۱۰۰	۳۰۰۰–۷۰۰۰	۱۲۰۰۰–۲۰۰۰۰
راه‌های فرعی حوزه ای	سه	۴۰–۸۰	۲۰۰۰–۵۰۰۰	-
راه‌های فرعی روستایی	-	۴۰–۶۰	۱۵۰۰–۳۰۰۰	-

جدول ۱-۲ طبقه‌بندی راه‌های برون‌شهری **(سازمان راهداری)**

نوع راه	توضیحات	کد اژیس
آزادراه	آزادراه، راهی است که حداقل ٤ باند عبوری داشته و جدا شده باشد؛ تقاطع های همسطح و دسترسی مستقیم نداشته و برای عبور عابران و وسایل نقلیه غیر موتوری منع شده باشد.	FREEWAY
بزرگراه	بزرگراه مشابه آزادراه می باشد، با این تفاوت که امکان وجود تقاطع های همسطح و دسترسی در آن وجود دارد.	HIGHWAY-OW
راه اصلی	راه اصلی مسیری است با رویه آسفالتی، دارای تقاطع های همسطح و به سه دسته زیر قابل تقسیم است	
	راه اصلی جدا شده: دارای خطوط عبور جدا در هر طرف، که حداقل دو خط عبوری را دارا باشد.	Highway
	راه اصلی درجه یک: حداقل دارای دو خط عبوری با عرض استاندارد ۳/٦۵ متر و شانه هایی با عرض حداقل ۱/۸۵ متر.	Main-1C
	راه اصلی درجه دو: دارای دو خط عبوری با عرض کلی ۷ متر و شانه های ۱ متری در هر طرف.	Main-2C
راه فرعی	راه فرعی مسیری است که دارای رویه آسفالتی بوده، تقاطع های همسطح داشته و قابل تقسیم بصورت زیر می باشد	
	راه فرعی درجه ۱: حداقل دارای ۲ خط عبوری با عرض هر یک ۳/۲۵ متر بوده و دارای شانه هایی با عرض ۱ تا ۲/٤ متر در هر طرف باشد.	Second-1C
	راه فرعی درجه ۲: دارای عرض آسفالت حداقل ۵/۵ متر بوده و در هر سمت شانه داشته باشد.	Second-2C
	عریض	Second-W

۱-۸- روش‌های تعیین ظرفیت انواع راه‌ها در شرایط عادی

۱-۸-۱- ظرفیت جاده

ظرفیت جاده یا کشش جاده به صور مختلفی تعریف شده است. تعریفی که در کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها[1] بیان شده است بیش از دیگر تعاریف مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطابق این تعریف، ظرفیت جاده عبارت است از حداکثر تعداد وسیله نقلیه‌ای که بتوانند در مدت زمان معین با کیفیتی قابل قبول، در مقطعی مشخص از جاده، از یکی از خطوط یا تمام عرض جاده، در یک جهت یا در هر دو جهت از جاده عبور کنند. در آیین‌نامه طرح هندسی راه (نشریه ۱٦۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور) نیز ظرفیت (گنجایش) بدین صورت تعریف شده است: بیشترین تعداد وسایل نقلیه‌ای که انتظار می‌رود بتواند ظرف مدت یک ساعت، با کیفیت معین ترافیک و راه، از یک مقطع یا طول یکنواختی از یک خط عبور یا راه بگذرد.

ظرفیت جاده تابع عوامل متعددی است چون طرح هندسی، نوع روسازی، عوامل جوی، خصوصیات رانندگان و وضعیت ترافیک. وضعیت ترافیک جاده را از نظر کیفی با سطح سرویس مشخص می‌کنند. سطح سرویس از مناسب‌ترین وضع که در آن رانندگان آزادانه و به راحتی با سرعت دلخواه حرکت می‌کنند و مانور می‌دهند تا حالتی که رانندگی به صورت توقف در می‌آید، تغییر می‌کند (شاهی، ۱۳۸۵).

دوره زمانی متداول برای آنالیز ظرفیت معمولا، ۱۵ دقیقه است. شرایط ترافیکی، کنترلی و متداول در یک جاده باید به طریق معقولانه‌ای برای تحلیل ظرفیت در هر مقطع از جاده به‌کار رود. هر تغییر در این شرایط سبب تغییر در ظرفیت راه می‌شود. در تعریف ظرفیت فرض شده است که شرایط آب و هوایی و وضعیت روسازی جاده خوب است.

شرایط متداول جاده، به خصوصیات هندسی جاده مربوط است و شامل نوع تسهیلات و توسعه محیطی آن، تعداد خطوط در هر جهت، عرض هر خط و شانه

۱- Highway Capacity Manual

راه، موانع حاشیه جاده و فاصله آن‌ها از جاده، سرعت طرح و مشخصات قوس‌های قائم و افقی است.

شرایط ترافیکی به مشخصات جریان ترافیکی که از تسهیلات راه استفاده می‌کنند، مربوط است و به‌وسیله توزیع انواع وسایل نقلیه در جریان ترافیک، مقدار و توزیع ترافیک در خطوط جاده و توزیع ترافیک در جهات مختلف حرکت مشخص می‌شود.

شرایط کنترلی به انواع عمومی و خاص ادوات کنترل و تنظیم ترافیک در یک تسهیلات مربوط است. محل، نوع و زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی از موارد مهم شرایط کنترلی موثر در ظرفیت راه‌ها هستند. از شرایط مهم دیگر علامت‌های ایست، محدودیت گردش، علامت‌های محدودیت استفاده از خطوط و مانند آن‌هاست (عربانی، ۱۳۸۵). در ادامه درباره ظرفیت جاده و روش‌های مختلف تعیین آن بحث خواهد شد.

۱-۸-۲- حجم سرویس

میزان ترددی که هر خط از جاده با سطح سرویس معین می‌تواند داشته باشد، حجم سرویس نامیده می‌شود. سطح سرویس نوعی مقیاس اندازه‌گیری کیفی است که شرایط عملیاتی را در داخل جریان ترافیکی بوسیله رانندگان یا عابران پیاده توصیف می‌کند. عواملی مانند سرعت، زمان سفر و آزادی تحرک بر سطح سرویس تاثیر می‌گذارند (TRB, 2000). هر تسهیلاتی را می‌توان براساس ٦ سطح سرویس از (A) تا (F) ارزیابی کرد.

۱- سطح سرویس A که در آن، جریان ترافیک آزاد، حجم ترافیک و چگالی آن کم، و سرعت وسایل نقلیه زیاد بوده و بستگی به تمایل رانندگان دارد. در این سطح رانندگان می‌توانند سرعت خود را ثابت نگه دارند.

۲- سطح سرویس B که در آن، جریان ترافیک متعادل و نسبتاً آزاد است، ولی سرعت حرکت به علت تراکم وسایل نقلیه محدود می‌شود، هر چند رانندگان از نظر

انتخاب سرعت و خط به طور کلی آزادند. در این سطح، سرعت نسبت به سطح سرویس A کمتر ولی میزان کاهش آن قابل توجه نیست.

۳- سطح سرویس C که در آن، جریان ترافیک هنوز متعادل است ولی در اثر افزایش حجم ترافیک، سرعت و قابلیت مانور در جاده کم می‌شود و بیشتر رانندگان در انتخاب سرعت و خط محدودیت دارند.

٤- سطح سرویس D که در آن، سرعت وسایل نقلیه از حالت یکنواخت و متعادل خارج و بر حسب وضعیت ترافیک کم و زیاد می‌شود. آزادی مانور در این سطح نسبتاً کم است و در نتیجه رانندگی نسبت به سطوح سرویس قبلی ناراحت کننده‌تر است.

۵- سطح سرویس E که در آن، جریان ترافیک به صورت حرکت و توقف در می‌آید و سرعت به ندرت به ۵۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد.

٦- سطح سرویس F که در آن، سرعت وسایل نقلیه کم است و جریان ترافیک گاهی به علت تراکم زیاد متوقف می‌شود. میزان تأخیر در این سطح زیاد و آزادی حرکت و مانور آن بسیار محدود است.

فراهم آوردن شرایطی که در آن بین تمام عوامل مؤثر در سطح سرویس یک مسیر و جریان ترافیک مسیر هماهنگی کامل برقرار باشد دشوار است و از این‌رو امکان در نظر گرفتن پارامترها و عوامل موثر بر سطوح سرویس با استانداردی کاملا معین امکان ندارد. برای مشخص کردن سطح سرویس، به طور کلی دو پارامتر (سرعت سفر و نسبت حجم ترافیک موجود به ظرفیت جاده) را که از پارامترهای تعیین‌کننده و قابل اندازه‌گیری‌اند در نظر می‌گیرند. مقادیر نسبت حجم ترافیک موجود به ظرفیت (V/C) برای راه‌های شریانی درجه ۱ براساس راهنمای ظرفیت راه‌ها و با توجه به ساعات اوج در جدول (۲-۲) ذکر شده است.

برای حفظ سطح سرویسی معین در یک جاده در شرایط خاص، مثلا تغییر وضع جوی، باید حجم سرویس را تغییر داد.

حجم سرویس در حقیقت ظرفیت عملی جاده است و از ترددی که یک جاده می تواند داشته باشد کمتر است. ظرفیت چند نوع جاده در جدول‌های (۲-۳) و (۲-٤) آمده است. ظرفیت‌های نشان داده شده در جدول (۲-۵) برای جاده‌هایی با استاندارد مطلوب است، یعنی جاده‌هایی که عرض خط آنها برابر ۳/٦۵ متر با شانه‌هایی با عرض کافی، دید کافی و بدون هیچ‌گونه محدودیت سبقت گرفتن طرح شده‌اند (شاهی، ۱۳۸۵).

جدول۱-۳-حداکثر حجم سرویس برای اتوبان‌ها و بزرگراه‌ها با توجه به سطح سرویس و وضعیت ترافیک (شاهی، ۱۳۸۵)

سطح سرویس	کیفیت ترافیک	نسبت V/C برای جاده شش خطه(سه خط در هر طرف)	حداکثر حجم سرویس P.C.U/h
A	حرکت عبور آزاد	۰/٤ ≥	۲٤۰۰
B	ترافیک و تردد یکنواخت	۰/۵۸ ≥ P.H.F	۳۵۰۰ ۰/۷۷، ۰/۸۳، ۰/۹۱، ۱/۰۰
C	تردد یکنواخت و متعادل	۰/۸۰ ≥	۳۷۰۰، ٤۰۰۰، ٤۳۵۰، ۸۰۰
D	تردد تقریباً غیریکنواخت و نامتعادل	۰/۹۰ ≥	٤۱۵۰،٤۵۰۰،٤۹۰۰، ٤۰۰
E	تردد نامتعادل و غیریکنواخت	۱/۰۰ ≥	تقریباً ٦۰۰۰
F	تردد وسایل نقلیه تحت فشار	۱/۰۰ ≥	۰ ← ظرفیت (٦۰۰۰)

* ضریب ساعت اوج (P.H.F) = (حداکثر حجم ۵ دقیقه) / (حجم ترافیک ساعت اوج)

جدول ۱-٤- حجم سرویس در یک سمت از جاده‌های شهری (شاهی، ۱۳۸۵)

عرض مؤثر جاده (متر)	/٤٠ ١٤	١٣/٢٠	/٠٠ ١٢	١٠/٣٠	٩/٩٠	٩/٠٠	٧/٢٠	٦/٦٠	٦	ملاحظات
نوع جاده				ظرفیت به P.C.U./h						
اتوبان شهری	٦٠٠٠			٤٥٠٠			٣٠٠٠			برای موارد خاص و با استاندارد بالا
جاده‌های اصلی بدون توقف وسایل نقلیه و تعداد معدودی ترافیک قطع‌کننده	٤٨٠٠	٤٤٠٠	٤٠٠ ٠	٣٥٠٠	٣٣٠٠	٣٠٠ ٠	٢٤٠٠	٢٢٠ ٠	٢٠٠ ٠	جهت توزیع همه نوع ترافیک
جاده‌های توزیع‌کننده اصلی با تقاطعات با ظرفیت بالا ولی بدون توقف مجاز وسایل نقلیه	٣٧٠٠	٣٣٥٠	٣٠٠ ٠	٢٦٥٠	٢٤٠٠	٢١٥ ٠	١٦٠٠	١٤٥ ٠	١٣٠ ٠	به منظور توزیع ترافیک و امکان دسترسی جاده‌های فرعی و غیره به مسیر اصلی
جاده توزیع‌کننده با تقاطعات با ظرفیت‌های نسبتاً کم و امکان توقف برای وسایل نقلیه در جاده	٣٢٠٠	٢٨٠٠	٢٥٠ ٠	٢١٥٠	١٩٠٠	١٤٥ ٠	١١٠٠	٩٥٠	١٣٠ ٦	جاده معمولی با تقاطعات نسبتاً زیاد و ظرفیت کم و امکان توقف وسایل نقلیه در کنار خیابان

جدول ۱-۵- حجم سرویس تقریبی جاده‌های مختلف در شهر (شاهی، ۱۳۸۵)

عرض مؤثر جاده / متر	شش خط			چهار خط		سه خط		دو خط			ملاحظات
	۲۱/٦۰	۱۹/۳۰	۱۸/۰۰	۱٤/٤۰	۱۳/۲۰	۱۲/۰۰	۹/۹۰	۹/۰۰	۷/۲۰	٦/٦۰	٦/۰۰	
نوع جاده	ظرفیت به P.C.U/h برای تردد ازیک طرف			ظرفیت به P.C.U/h برای تردد از هر دو طرف								
اتوبان شهری				۳۰۰۰								فقط برای موارد خاص و به عنوان توزیع‌کننده ترافیک که در آنها وسایل نقلیه سرعت بالایی دارند
جاده‌های اصلی بدون توقف وسایل نقلیه و تعداد بسیار کمی ترافیک قطع‌کننده	۳٦۰۰	۳۳۰۰	۳۰۰۰	۲٤۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱٥٦٦	۱۳٥۰	۱۲۰۰	برای توزیع هر نوع ترافیک

جاده‌های اصلی توزیعی با تقاطعات با ظرفیت بالا و امکان توقف وسایل نقلیه	۲۵۰۰ تا ۲۷۰۰	۲۲۵۰ تا ۲۴۵۰	۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰	۱۵۰۰	۱۳۵۰	۱۲۰۰	۱۸۰۰	۱۶۰۰	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰	به منظور توزیع ترافیک و ورود از جاده‌های دیگر و خروج به جاده‌های مجاور در حالیکه ظرفیت تقاطعات کافی است.
جاده‌های توزیع‌کننده ترافیک با محدودیت ظرفیت تقاطعات و امکان توقف	۱۶۰۰ تا ۲۲۰۰	۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰	۱۳۰۰ تا ۱۷۰۰	۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰	۹۰۰ تا ۱۰۰۰	۸۰۰ تا ۹۰۰	۱۱۰۰ تا ۱۳۰۰	۹۰۰ تا ۱۱۰۰	۶۰۰ تا ۷۵۰	۴۵۰ تا ۶۰۰	۳۰۰ تا ۵۰۰	جاده‌های معمولی که با تقاطعات نسبتاً زیاد و تراکم بالا و توقف‌های متعدد همراه است.

جدول ۱-٦- ظرفیت طرح و ظرفیت عملی برای جاده‌هایی با استاندارد مطلوب (شاهی، ۱۳۸۵)

نوع جاده	ظرفیت عملی	ظرفیت طرح برای سرعت‌های مختلف (km/h)		
		۵۵ تا ٦۵	٦۵ تا ۸۰	۸۰ تا ۹۰
جاده دو خطه دو طرفه	۲۰۰۰	۱۵۰۰	۱۱۵۰	۹۰۰
جاده چند خطه (هر خطه)	۲۰۰۰	۱۵۰۰	۱۳۰۰	۱۰۰۰

۱-۸-۳- ظرفیت آزادراه‌ها

یک آزادراه به‌عنوان جاده‌ای که دارای دو خط یا بیشتر در هر جهت و دارای کنترل دسترسی کامل برای ورود و خروج وسایل نقلیه است، تعریف می‌شود. آزادراه، تنها نوع از تسهیلات راه است که به‌طور کامل، حرکت در آن بصورت جریان ناگسسته انجام می‌شود و هیچ عاملی برای قطع جریان ترافیک، مانند چراغ-های راهنمایی یا علائم متوقف‌کننده وجود ندارد. دسترسی برای ورود و خروج از آزادراه‌ها، فقط با شیب‌راهه‌ها صورت می‌گیرد. طراحی شیب‌راهه‌ها، معمولا به‌گونه-ای است که هم‌گرایی و واگرایی جریان ترافیک هنگام ورود و خروج از آزادراه با سرعت بالایی انجام شود، بنابراین در خط اصلی جریان ترافیک قطع نمی‌شود.

بخاطر مشخصات فوق، شرایط عملکردی یک آزادراه در درجه اول به ارتباط داخلی حرکت وسایل نقلیه در جریان ترافیک و مشخصات هندسی آن بستگی دارد. حرکت وسایل نقلیه در آزادراه همچنین به عوامل محیطی، نظیر آب و هوا و شرایط روسازی بستگی دارد.

بطور کلی آزادراه را می‌توان به سه بخش عمده تقسیم کرد:

۱-قسمت اصلی آزادراه که تحت تاثیر حرکت‌های واگرا و هم‌گرا در نزدیکی شیب-راهه‌ها نیست و در واقع در آن هیچ‌گونه حرکت موجی‌شکل انجام نمی‌شود.

۲–مقاطع حرکت‌های موجی یا مقاطع تغییرخط که در آن دو یا بیشتر از دو جریان حرکت وسایل‌نقلیه یکدیگر را در آن قسمت قطع می‌کنند. مقاطع حرکت‌های موجی، بیشتر در قسمت‌هایی است که در آن‌ها نقاط ورودی (هم‌گرایی) نزدیک به قسمت‌های خروجی (واگرایی) وجود دارد. همچنین مقاطع تغییر خط، مقاطعی را که به‌دنبال یک شیب‌راهه ورودی، یک شیب‌راهه خروجی وجود دارد و بین آن‌ها یک خط محوری پیوسته قرارگرفته، شامل می‌شود.

۳–محل اتصال شیب‌راهه‌ها که شامل محل اتصال شیب‌راهه‌های ورودی و خروجی به آزادراه‌ها هستند. در این نقاط از آزادراه به دلیل حرکت‌های هم‌گرایی و واگرایی (ورودی و خروجی) آشفتگی در جریان حرکت وسایل‌نقلیه روی می‌دهد.

قسمت اصلی آزادراه در منطقه‌ای خارج از تاثیر شیب‌راهه‌ها و حرکت‌های موجی قرار دارد. به‌طور کلی نواحی تحت تاثیر اتصال رمپ‌ها و حرکت‌های موجی به شرح زیر است:

۱–مقاطع شیب‌راهه‌های ورودی، از ۷۵۰ متر مانده به محل اتصال تا ۱۵۰ متر بعد از آن.

۲–مقاطع شیب‌راهه‌های خروجی، از ۱۵۰ متر مانده به محل اتصال تا ۷۵۰ متر بعد از آن.

۳–شروع مقاطع حرکت‌های موجی، ۱۵۰ متر بعد از نقطه همگرایی و خاتمه آن ۱۵۰ متر مانده به نقطه واگرایی است (عربانی، ۱۳۸۵).

قسمت اصلی یک آزادراه، بصورت زیرمجموعه‌ای از راه‌ها که دوباند یا بیشتر در هر جهت و مسیر داشته باشد و دارای کنترل دسترسی کامل باشند، تعریف می‌شود. در این قسمت، جریان بدون تاثیر از اتصال شیب‌راهه‌های ورودی و خروجی است و جریان ترافیک از اضافه شدن و یا کم و حذف شدن تعداد خطوط راه نیز تاثیری

نمی‌پذیرد. توجه به این نکته ضروری است که ظرفیت در جاده‌های مجزا شده براساس میزان تردد، در یک جهت جریان ترافیک محاسبه می‌شود. برای تعیین سطح سرویس راه‌ها بایستی شرایط مطلوب جاده مشخص شود. برای آزادراه‌ها، شرایط مطلوب به عرض باندها، رفع موانع جانبی، اثر ماشین‌های سنگین و خصوصیات رانندگان بستگی دارد. مطالعات نشان داده است که عرض مطلوب یک خط ۳/٦۵ متر است و موانع کنار جاده (مانند دکل برق و یا حصارها) نباید نزدیکتر از ۱/۸۵ متر از کنار جاده باشند. همچنین، تحت شرایط مطلوب در جریان ترافیک، نباید ماشین‌های سنگینی هم‌چون اتوبوس و 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 به‌علت آشنایی نسبی با جریان ترافیک و شرایط جاده، سبب می‌شوند تا جریان ترافیک، افزایش یابد و به حداکثر برسد. با توجه به این نکات برای شرایط مطلوب، حداکثر تردد سرویس (MSF) که بیانگر بیشترین جریان ترافیکی در یک سطح سرویس دلخواه است با استفاده از رابطه (۲-۱) بدست می‌آید. توجه شود که حداکثر تردد سرویس برای سرعت‌های ۸۰، ۹۵ و ۱۱۰ کیلومتر در ساعت و سطح سرویس‌های مختلف آزادراه با استفاده از جدول (۲-٦) بدست می‌آید (عربانی، ۱۳۸۵و خدایی، ۱۳۸۳).

$$MSF_i = C_j \times (V/C)_i \qquad (۱-۲)$$

در این رابطه MSF_i، حداکثر تردد سرویس به ازای یک باند برای سطح سرویس دلخواه i، تحت شرایط مطلوب ودر واحد pc/hr/ln است، $(V/C)_i$ بیشترین نسبت حجم ترافیک به ظرفیت تحت شرایط سرویس دلخواه i، است. C_j برای سرعت‌های طراحی ۹۵ و ۱۰۰ کیلومتر در ساعت برابر pc/hr/ln ۲۰۰۰ و برای سرعت طراحی ۸۰ کیلومتر در ساعت برابر ۱۹۰۰pc/hr/ln است. توجه شود که مقدار C_j برابر حداکثر تردد سرویس E، طبق جدول (۲-٦) است (عربانی، ۱۳۸۵).

جدول ۱-۷ الف. مقادیر حداکثر تردد سرویس و سرعت در سطوح سرویس مختلف برای آزادراه‌ها (عربانی، ۱۳۸۵)

سطح سرویس	سرعت طراحی ۱۱۰km/hr			سرعت طراحی ۹۵km/hr			سرعت طراحی ۸۰km/hr		
	سرعت	حجم به ظرفیت	حداکثر تردد	سرعت	حجم به ظرفیت	حداکثر تردد	سرعت	حجم به ظرفیت	حداکثر تردد
	Km/hr	(V/C)	pc/hr/ln	Km/hr	(V/C)	pc/hr/ln	Km/hr	(V/C)	pc/hr/ln
A	≥۹۶	۰/۳۵	۷۰۰	–	–	–	–	–	–
B	≥۹۱	۰/۵٤	۱۱۰۰	≥۸۰	۰/٤۹	۱۰۰۰	–	–	–
C	≥۸٦	۰/۷۷	۱۵۵۰	≥۷۵	۰/٦۹	۱٤۰۰	≥٦۹	۰/٦۷	۱۳۰۰
D	≥۷٤	۰/۹۳	۱۸۵۰	≥٦۷	۰/۸٤	۱۷۰۰	≥٦٤	۰/۸۳	۱٦۰۰
E	≥٤۸	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥٤۸	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥٤۵	۱/۰۰	۱۹۰۰
F	<٤۸			<٤۸			<٤۵		

جدول۱-۸ گنجایش هر خط عبور آزادراه‌ها بر حسب کیفیت ترافیک و سرعت طرح (نشریه ۱۶۱ سازمان مدیریت)

کیفیت ترافیک	حداکثر تراکم سواری معادل در یک کیلومتر هر خط عبور	سرعت طرح (بیش از ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت)		
		متوسط سرعت حرکت	V/C	گنجایش طراحی MSF
الف	8	≥ 95	۰/۳۵	700
ب	13	≥ 90	۰/۵۷	1100
پ	19	≥ 80	۰/۷۵	1500
ت	26	≥ 70	۰/۹۲	1850
ث	40	≥ 50	1	2000
ج	بیش از 40	< 50	-	-

جدول۱-۹ ادامه-گنجایش هر خط عبور آزادراه‌ها بر حسب کیفیت ترافیک و سرعت طرح (نشریه ۱۶۱ سازمان مدیریت)

کیفیت ترافیک	حداکثر تراکم سواری معادل در یک کیلومتر هر خط عبور	سرعت طرح (۱۰۰ کیلومتر بر ساعت)		
		متوسط سرعت حرکت	V/C	گنجایش طراحی MSF
الف	8	-	-	-
ب	13	≥ 80	۰/۵	1000
پ	19	≥ 75	۰/۷	1400
ت	26	≥ 70	۰/۹	1800
ث	40	≥ 50	1	2000
ج	بیش از 40	< 50	-	-

جدول۱-۱۰ ادامه-گنجایش هر خط عبور آزادراه‌ها بر حسب کیفیت ترافیک و سرعت طرح (نشریه ۱۶۱ سازمان مدیریت)

کیفیت ترافیک	حداکثر تراکم سواری معادل در یک کیلومتر هر خط عبور	سرعت طرح (۸۰ کیلومتر بر ساعت)		
		متوسط سرعت حرکت	V/C	گنجایش طراحی MSF
الف	8	-	-	-
ب	13	-	-	-
پ	19	≥ 70	۰/۶۸	1300
ت	26	≥ 65	۰/۸۷	1650
ث	40	≥ 45	1	1900
ج	بیش از 40	< 45	-	-

۱. میزان تردد سرویس و سطح سرویس

در آزادراه‌ها تردد سرویس تحت شرایط موجود با استفاده از فاکتورهای تصحیح و به‌کمک رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$SF_i = MSF_i \times N \times F_W \times F_{HV} \times F_P \qquad (۲-۲)$$

در این رابطه، SF_i مقدار تردد سرویس i، تحت شر
موجود برای N باند یا خط (در یک جهت از جاده) در واحد وسیله نقلیه سواری در ساعت است. N، تعداد باندها در یک جهت از مس

F_W، فاکتوری برای تصحیح اثر کمبود عرض مطلوب باندها و یا وجود موانع جانبی، F_{HV}، فاکتور تصحیح و اصلاح اثر وسایل نقلیه غیرسواری و F_P فاکتور تصحیح اثر گروه رانندگان غیرآشنا است.

با ترکیب روابط (۲–۱) و (۲–۲)، رابطه کاربردی زیر بدست می‌آید:

$$SF_i = C_j \times (V/C)_i \times N \times F_W \times F_{HV} \times F_P \qquad (۳–۲)$$

روابط بالا اساس آنالیز ظرفیت – تراکم برای آزادراه‌ها هستند (عربانی، ۱۳۸۵و خدایی، ۱۳۸۳و نشریه ۱٦۱، ۱۳۷۵).

۲. اصلاح برای عرض باند و موانع کناری

زمانی که عرض باند باریکتر از عرض مطلوب ۳/٦۵ متر است و یا موانع (هم-چون حصار، تیرک برق و یا تلفن) نزدیکتر از ۱/۸۵ متر از لبه جاده (نسبت به کناره و یا وسط) قرار دارند، فاکتور اصلاح‌کننده F_W برای تصحیح شرایط موجود نسبت به شرایط مطلوب، استفاده می‌شود. زیرا زمانی که موانع به جاده نزدیکتر هستند و یا جاده باریک است، برای کاهش آرامش و محدودیت‌های مانور، جاده به‌نحو مطلوب مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و وجود این عامل سبب کاهش موثر در ظرفیت جاده نسبت به ظرفیتی که در شرایط مطلوب فراهم بود، می‌شود. فاکتور اصلاح‌کننده‌ای که در این شرایط استفاده می‌شود، در جدول (۲–۷) درج شده است.

اگر فاصله از کناره جاده تا موانع کناری و میانی نابرابر باشد برای تعیین F_W از میانگین فاصله‌ها استفاده می‌شود.

جدول ۱–۱۱ ضریب تصحیح برای کاهش عرض خطوط و وجود موانع جانبی (عربانی، ۱۳۸۵)

فاصله از کناره جاده (متر)	ضریب تصحیح Fw							
	موانع در یک‌طرف آزادراه قرار دارند				موانع در هر دوطرف آزادراه قرار دارند			
	عرض خط (متر)							
	۳/٦۵	۳/۳۵	۳/۰۵	۲/۷۵	۳/٦۵	۳/۳۵	۳/۰۵	۲/۷۵
	آزادراه چهارخطه (دو خط در هرجهت)							

≥۱/۸	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۸۱	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۸۱
۱/٦	۰/۹۹	۰/۹٦	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۹	۰/۹٦	۰/۹۰	۰/۸۰
۱/٥	۰/۹۹	۰/۹٦	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۸	۰/۹٥	۰/۸۹	۰/۷۹
۰/۹	۰/۹۸	۰/۹٥	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۹٦	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۷۷
۰/٦	۰/۹۷	۰/۹٤	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۹٤	۰/۹۱	۰/۸٦	۰/۷٦
۰/۳	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۸٥	۰/۷٦	۰/۸۷	۰/۸٥	۰/۸۰	۰/۷۱
۰	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷٤	۰/٦٦
/۸	آزادراه شش یا هشت‌خطه (۳ یا ٤ خط در هرجهت)							
≥۱	۱/۰۰	۰/۹٦	۰/۸۹	۰/۷۸	۱/۰۰	۰/۹٦	۰/۸۹	۰/۷۸
۱/٥	۰/۹۹	۰/۹٥	۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۹۹	۰/۹٥	۰/۸۸	۰/۷۷
۱/۲	۰/۹۹	۰/۹٥	۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۹۸	۰/۹٤	۰/۸۷	۰/۷۷
۰/۹	۰/۹۸	۰/۹٤	۰/۸۷	۰/۷٦	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۸٦	۰/۷٦
۰/٦	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۷٦	۰/۹٦	۰/۹۲	۰/۸٥	۰/۷٥
۰/۳	۰/۹٥	۰/۹۲	۰/۸٦	۰/۷٥	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۷۲
۰	۰/۹٤	۰/۹۱	۰/۸٥	۰/۷٤	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۸۱	۰/۷۰

جدول ۱-۱۲ادامه- ضریب تصحیح برای کاهش عرض خطوط و وجود موانع جانبی (نشریه ۱۶۱ سازمان مدیریت، ۱۳۷۵)

فاصله از کناره جاده (متر)	ضریب تصحیح FW								
	موانع در یک‌طرف آزادراه قرار دارند				موانع در هر دوطرف آزادراه قرار دارند				
	عرض خط (متر)								
	۳/۶۵	۳/۵	/۲۵ ۳	/۰۰ ۳	/۷۵ ۲	/۶۵ ۳	/۵۰ ۳	/۲۵ ۳	/۰۰ ۳	/۷۵ ۲
	آزادراه چهارخطه (دو خط در هرجهت)									
≥۱/۸۵	۱/۰۰	/۹۹ ۰	/۹۷ ۰	/۹۰ ۰	/۸۳ ۰	/۰۰ ۱	/۹۹ ۰	/۹۶ ۰	/۹۰ ۰	/۸۲ ۰
۱/۵	۰/۹۹	/۹۷ ۰	/۹۵ ۰	/۸۸ ۰	/۸۱ ۰	/۹۹ ۰	/۹۷ ۰	/۹۴ ۰	/۸۸ ۰	/۸۰ ۰
۱/۰	۰/۹۸	/۹۶ ۰	/۹۴ ۰	/۸۷ ۰	/۸۰ ۰	/۹۷ ۰	/۹۵ ۰	/۹۲ ۰	/۸۶ ۰	/۷۸ ۰
۰/۵	۰/۹۶	/۹۴ ۰	/۹۱ ۰	/۸۵ ۰	/۷۹ ۰	/۹۴ ۰	/۹۲ ۰	/۸۸ ۰	/۸۳ ۰	/۷۵ ۰
۰	۰/۹۰	/۸۹ ۰	/۸۶ ۰	/۸۰ ۰	/۷۲ ۰	/۸۲ ۰	/۸۰ ۰	/۸۷ ۰	/۷۲ ۰	/۶۶ ۰
	آزادراه شش یا هشت‌خطه (۳ یا ٤ خط در هرجهت)									
≥۱/۸۵	۱/۰۰	/۹۹ ۰	/۹۵ ۰	/۸۸ ۰	/۷۹ ۰	/۰۰ ۱	/۹۹ ۰	/۹۵ ۰	/۸۸ ۰	/۷۹ ۰
۱/۵	۰/۹۹	/۹۷ ۰	/۹۳ ۰	/۸۶ ۰	/۷۷ ۰	/۹۹ ۰	/۹۷ ۰	/۹۳ ۰	/۸۶ ۰	/۷۷ ۰
۱/۰	۰/۹۸	/۹۶ ۰	/۹۲ ۰	/۸۵ ۰	/۷۶ ۰	/۹۷ ۰	/۹۵ ۰	/۹۱ ۰	/۸٤ ۰	/۷۶ ۰
۰/۵	۰/۹۷	/۹۵ ۰	/۹۱ ۰	/۸٤ ۰	/۷۵ ۰	/۹۵ ۰	/۹۳ ۰	/۸۹ ۰	/۸۲ ۰	/۷٤ ۰
۰	۰/۹٤	/۹۲ ۰	/۸۹ ۰	/۸۳ ۰	/۷٤ ۰	/۹۱ ۰	/۹۰ ۰	/۸۶ ۰	/۷۹ ۰	/۷۰ ۰

۳. اصلاح برای وسایل‌نقلیه سنگین

کامیون‌ها، اتوبوس‌ها و وسایل نقلیه تفریحی، دارای خصوصیات مشخص، مانند شتاب کم یا ترمز نامرغوب و دارای ابعادی (طول، ارتفاع و عرض)، بزرگتر از وسایل نقلیه سواری هستند؛ این عوامل اثر نامطلوبی برظرفیت جاده‌ها می‌گذارند. یادآوری می‌شود که تحت شرایط مطلوب، فرض شده بود که هیچ ماشین سنگینی در جریان ترافیک وجود ندارد. فاکتور تصحیح F_{HV} برای تبدیل شرایط مطلوب به شرایط موجود استفاده می‌شود. پیدا کردن عامل تصحیح F_{HV} دارای دو مرحله است.

اولین مرحله، تعریف وسایل نقلیه سواری معادل برای کامیون، اتوبوس و یا ماشین تفریحی در جریان ترافیک است. این مقدار، تعداد وسایل نقلیه سواری را که از نظر ظرفیت جاده، معادل یک کامیون، اتوبوس و یا وسیله نقلیه تفریحی است، بیان می‌کند. تعداد وسیله نقلیه سواری معادل، برای کامیون‌ها با E_T برای اتوبوس‌ها با E_B و برای وسایل نقلیه تفریحی با E_R بیان می‌شود. زمانی‌که شیب جاده زیاد باشد، معایب مشخصه وسایل نقلیه سنگین، همچون مشکلات فاصله دید که به خاطر ابعاد بزرگتر آن‌ها ایجاد می‌شود و یا کاهش قدرت دید رانندگانی که پشت سر وسایل نقلیه سنگین در حرکتند، بیشتر خودنمایی می‌کند. برای آن قسمت از آزادراه که شیب ۳ درصد یا بیشتر را در طولی بیش از ۸۰۰ متر ندارد و یا دارای شیب‌های کمتر از ۳ درصد در طول بیش از ۱/٦ کیلومتر نیست، فاکتور وسایل نقلیه سواری می‌تواند از جدول (۲-۸) براساس نوع زمین تعیین شود (عربانی، ۱۳۸۵).

جدول ۱-۱۳ ضریب تصحیح ظرفیت برای وسایل‌نقلیه سنگین در آزادراه‌ها (عربانی، ۱۳۸۵)

ضریب F_{HV}	نوع عوارض منطقه		
	دشت	تپه‌ماهور	کوهستان
برای کامیون‌ها E_T	۱/۷	٤/۰	۸/۰
برای اتوبوس‌ها E_B	۱/۵	۳/۰	۵/۰
برای وسایل‌نقلیه تفریحی E_R	۱/٦	۳/۰	٤/۰

جدول ۱-۱٤ادامه- ضریب تصحیح ظرفیت برای وسایل‌نقلیه سنگین در آزادراه‌ها (نشریه ۱٦۱، ۱۳۷۵)

ضریب FHV	نوع عوارض منطقه		
	هموار	تپه ماهوری	کوهستانی
برای کامیون‌هاET	۱/۷	٤/۰	۸/۰
برای اتوبوس‌ها EB	۱/۵	۳/۰	۵/۰

نوع عوارض منطقه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

دشت: هر ترکیبی از شیب‌ها و مسیرهای قائم یا افقی که به وسایل‌نقلیه سنگین اجازه می‌دهد تا تقریباً سرعتی برابر وسایل نقلیه سواری داشته باشند. این قسمت عموماً شامل شیب‌های کوچکی است که بیش از ۱ تا ۲ درصد نیستند.

تپه‌ماهور: هر ترکیبی از شیب‌ها و مسیرهای قائم و افقی که باعث می‌شود ماشین‌های سنگین به طور قابل توجهی سرعت خود را کاهش دهند. این امر باعث می‌شود که وسایل نقلیه سواری نتوانند با بیشترین سرعت خود در آزادراه برای زمان قابل توجهی حرکت کنند.

کوهستان: هر ترکیبی از شیب‌ها و مسیرهای قائم و افقی که باعث شود وسایل نقلیه سنگین در فواصل نسبتاً زیاد و با سرعت کم (سرعت خزش) حرکت کنند. اگر جاده شیب‌های بیشتر از ۳ درصد در طول بیش از ۸۰۰ متر و یا شیب‌های کمتر از ۳ درصد در طول بیش از ۱/٦ کیلومتر داشته باشد، مقادیر ضریب تصحیح در جدول بالا وجود ندارد. در این موارد، وسیله نقلیه سواری معادل را می‌توان از جدول‌هایی با جزئیات بیشتر که در کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها ارائه شده است، به‌دست آورد.

برای تعیین فاکتور تصحیح وسایل نقلیه سنگین (F_{HV}) از رابطه زیر استفاده می شود:

$$F_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

در ابن معادله مقادیر P، درصد وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک و E، با اندیس های مختلف، فاکتورهای معادل هستند که از جدول (۲-۸)، تعیین می‌شوند.

اندیس T، برای کامیون، B برای اتوبوس و R، برای وسایل‌نقلیه تفریحی یدک‌دار به‌کار می‌رود (عربانی، ۱۳۸۵).

٤. اصلاح برای جمعیت رانندگان

تحت شرایط مطلوب، فرض می‌شود که جریان ترافیک شامل رانندگان آشنا و همیشگی است که قانون را رعایت می‌کنند. چنین رانندگانی، با سیستم آزادراه و حرکت در آن آشنایی زیادی دارند و به مانور دادن و سبقت گرفتن دیگران پاسخ صحیح و مثبت می‌دهند. به هر حال، در بسیاری از موقعیت‌ها در جریان ترافیک، رانندگان بسیاری هستند که آشنایی کمی با شرایط محلی جاده دارند (برای نمونه، رانندگانی که فقط آخر هفته سفر می‌کنند و یا رانندگانی که به قصد تفریح و به‌طور اتفاقی از آزادراه می‌گذرند)، این مسأله، نسبت به شرایطی که رانندگان آشنا به جاده باشند، باعث کاهش قابل توجهی در ظرفیت جاده می‌شود (عربانی، ۱۳۸۵).

برای در نظر گرفتن ترکیب رانندگان از فاکتور اصلاح‌کننده F_P استفاده می‌شود که مقادیر آن در جدول (۲-۹)، درج شده است. توجه شود که برای جمعیت رانندگان غیر ایده‌آل کاهش ظرفیت می‌تواند بین ۱۰ تا ۲۵ درصد متغیر باشد.

جدول ۱-۱۵. ضریب تصحیح ترکیب رانندگان (عربانی، ۱۳۸۵ و نشریه ۱٦۱، ۱۳۷۵)

نوع ترکیب رانندگان	ضریب تصحیح F_P
رانندگان هر روزه و یا آشنا	۱/۰
رانندگان غیرآشنا (سایر رانندگان)	۰/۷۵-۰/۹۰

این اصلاح برای شرایط غیرمطلوب، به شرایط محلی از قبیل وضعیت جاده و محیط اطراف بستگی دارد. زمانی‌که شرایط رانندگان، غیرایده‌آل باشد باید از قضاوت مهندسی و اطلاعات محلی برای تعیین ضریب تصحیح مناسب ترکیب رانندگان استفاده کرد (عربانی، ۱۳۸۵).

۱-۸-٤- ظرفیت بزرگراه‌ها

بزرگراه‌ها یا جاده‌های چندخطه، آن دسته از جاده‌هایی هستند که نسبت به آزادراه‌ها، استاندارد پایین‌تری دارند، زیرا برخلاف آزادراه کنترل دسترسی کامل در آن‌ها وجود ندارد و در بعضی موارد باندهای خلاف جهت در آن‌ها، با موانع میانی از هم جدا نشده‌اند. در ادامه روش تعیین ظرفیت در جاده‌های چندخطه بین‌شهری و یا در حومه شهرها ارائه گردیده است و برای تعیین ظرفیت جاده‌های چندخطه در مناطق شهری باید به کتاب راهنمای ظرفیت جاده‌ها مراجعه شود. آنالیز سطح سرویس برای جاده‌های چندخطه، شبیه به آزادراه‌ها، با شرایط مطلوب است (عربانی، ۱۳۸۵).

ظرفیت باندها برای سرعت‌های طراحی ۱۱۰، ۹۵ و ۸۵ کیلومتر بر ساعت به‌ترتیب برابر است با: $C_{۹۵} = C_{۱۱۰} =$ ۲۰۰۰ pc/hr/ln و $C_{۸۵} =$ ۱۹۰۰ pc/hr/ln .

همچنین معادلات اساسی در این حالت شبیه به‌یکدیگر است. تنها استثنا قابل‌توجه معادله (۱-۵) است که برای راه‌های چندخطه باید به جای آن از معادله زیر استفاده شود.

$$SF_i = MSF_i \times N \times F_W \times F_{HV} \times F_P \times F_E \qquad (۵-۱)$$

مقادیر پارامترهای این معادله، با استفاده از جدول‌های(۲-۱۰)، (۲-۱۱)، (۲-۱۲)، (۲-۱۳) و (۲-۱٤) که خیلی شبیه به جدول های (۲-٦)، (۲-۷)، (۲-۸) و (۲-۹) هستند، تعیین می‌شوند. به معادلات (۲-۲) و (۲-۳) مشابه یکدیگرند و تنها اختلاف آن‌ها استفاده از یک فاکتور اصلاح‌کننده اضافی برای در نظرگرفتن شرایط و نوع بزرگراه (F_E) در جاده‌های چندخطه است. استفاده از این فاکتور اصلاح‌کننده به دو منظور است. اول برای در نظر گرفتن بازده و کارآیی جریان ترافیک در جاده‌های چندخطه جداشده نسبت به جاده‌های چندخطه جدانشده (در جاده‌های چندخطه جدانشده مزاحمت‌ها و تداخلات از طرف ترافیک جهت مخالف باعث کاهش بازده جریان ترافیک می‌شود.)، دلیل دوم استفاده از فاکتور اصلاح‌کننده F_E براساس این

حقیقت است که هرگاه دسترسی راه کنترل‌نشده باشد، به نظر می‌رسد تداخلات (گردش‌ها، تقاطع‌ها و ...) بیشتری در جریان ترافیک ایجاد شود (عربانی، ۱۳۸۵).

جدول۱-۱۶ مقادیر حداکثر تردد سرویس و سرعت در سطوح سرویس مختلف برای بزرگراه‌ها (عربانی، ۱۳۸۵)

سطح سرویس	سرعت طراحی ۱۱۰km/hr			سرعت طراحی ۹۵km/hr			سرعت طراحی ۸۰km/hr		
	سرعت	حجم به ظرفیت	حداکثر تردد	سرعت	حجم به ظرفیت	حداکثر تردد	سرعت	حجم به ظرفیت	حداکثر تردد
	Km/hr	(V/C)	pc/hr/ln	Km/hr	(V/C)	pc/hr/ln	Km/hr	(V/C)	pc/hr/ln
A	≥۹۱	۰/۳۶	۷۰۰	≥۸۰	–	۶۵۰	–	–	–
B	≥۸۶	۰/۵۴	۱۱۰۰	≥۷۷	۰/۳۳	۱۰۰۰	≥۶۷	۰/۴۵	۸۵۰
C	≥۸۰	۰/۷۱	۱۴۰۰	≥۷۰	۰/۵	۱۳۰۰	≥۶۲	۰/۶۰	۱۱۵۰
D	≥۶۴	۰/۸۷	۱۷۵۰	≥۶۴	۰/۸۰	۱۶۰۰	≥۵۶	۰/۷۶	۱۴۵۰
E	≥۴۸	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥۴۸	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥۴۵	۱/۰۰	۱۹۰۰
F	<۴۸			<۴۸			<۴۵		

جدول۱-۱۷ ضریب تصحیح برای کاهش عرض خطوط و وجود موانع جانبی (عربانی، ۱۳۸۵)

فاصله از کناره جاده (متر)	ضریب تصحیح Fw							
	موانع در یک‌طرف راه				موانع در هر دو طرف راه			
	عرض خط (متر)							
	۳/۶۵	۳/۳۵	۳/۰۵	۲/۷۵	۳/۶۵	۳/۳۵	۳/۰۵	۲/۷۵
جاده چهارخطه مجزاشده (دو خط در هر جهت)								
≥۱/۸	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

٠/٦	٠/٩٧	٠/٩٤	٠/٨٨	٠/٧٩	٠/٩٤	٠/٩١	٠/٨٦	٠/٧٦
٠	٠/٩٠	٠/٨٧	٠/٨٢	٠/٧٣	٠/٨١	٠/٧٩	٠/٧٤	٠/٦٦
جاده شش‌خطه مجزاشده (سه خط در هر جهت)								
≥١/٨	١/٠٠	٠/٩٦	٠/٨٩	٠/٧٨	١/٠٠	٠/٩٦	٠/٨٩	٠/٧٨
١/٢	٠/٩٩	٠/٩٥	٠/٨٨	٠/٧٧	٠/٩٨	٠/٩٤	٠/٨٧	٠/٧٧
٠/٦	٠/٩٧	٠/٩٣	٠/٨٧	٠/٧٦	٠/٩٦	٠/٩٢	٠/٨٥	٠/٧٥
٠	٠/٩٤	٠/٩١	٠/٨٥	٠/٧٤	٠/٩١	٠/٨٧	٠/٨١	٠/٧٠
جاده چهارخطه مجزانشده (دو خط در هر جهت)								
≥١/٨	١/٠٠	٠/٩٥	٠/٨٩	٠/٧٧	–	–	–	–
١/٢	٠/٩٨	٠/٩٤	٠/٨٨	٠/٧٦	–	–	–	–
٠/٦	٠/٩٥	٠/٩٢	٠/٨٦	٠/٧٥	٠/٩٤	٠/٩١	٠/٨٦	–
٠	٠/٨٨	٠/٨٥	٠/٨٠	٠/٧٠	٠/٨١	٠/٧٩	٠/٧٤	٠/٦٦
جاده شش‌خطه مجزانشده (سه خط در هر جهت)								
≥١/٨	١/٠٠	٠/٩٥	٠/٨٩	٠/٧٧	–	–	–	–
١/٢	٠/٩٩	٠/٩٤	٠/٨٨	٠/٧٦	–	–	–	–
٠/٦	٠/٩٧	٠/٩٣	٠/٨٦	٠/٧٥	٠/٩٦	٠/٩٢	٠/٨٥	–
٠	٠/٩٤	٠/٩٠	٠/٨٣	٠/٧٢	٠/٩١	٠/٨٧	٠/٨١	٠/٧٠

مقادیر تقریبی F_E از جدول (١–١٨) انتخاب می‌شود. توجه به این نکته ضروری است که ضریب تصحیح عرض باند و وجود موانع جانبی(F_W) برای جاده‌های چند-خطه به این بستگی دارد که آیا جاده، جداشده یا جدانشده است. همچنین در جداول تعیین این ضریب (جدول (١–١٩)) در جاهایی که عددی درج نشده است باید از مقادیر ضرایب تصحیح مربوط به موانع در یک جهت استفاده کرد (عربانی، ١٣٨٥).

جدول۱-۱۸ ضریب تصحیح ظرفیت برای وسایل‌نقلیه سنگین (عربانی، ۱۳۸۵)

ضریب F_{HW}	نوع عوارض منطقه		
	دشت	تپه‌ماهور	کوهستان
برای کامیون	۱/۷	٤/۰	۸/۰
برای اتوبوس	۱/۵	۳/۰	۵/۰
برای وسایط نقلیه تفریحی یدک‌دار	۱/٦	۳/۰	٤/۰

جدول۱-۱۹ ضریب تصحیح برای شرایط و نوع بزرگراه (عربانی، ۱۳۸۵)

نوع بزرگراه	مجزا شده	مجزا نشده
بین‌شهری	۱/۰۰	۰/۹۵
حومه‌ای	۰/۹۰	۰/۸۰

جدول۱-۲۰ ضریب تصحیح ترکیب رانندگان (عربانی، ۱۳۸۵)

نوع رانندگان	**ضریب تصحیح F_P**
رانندگان همیشگی و یا آشنا	۱/۰۰
رانندگان غیرآشنا (سایر رانندگان)	۰/۷۵ – ۰/۹

برخی از روش‌هایی که برای محاسبه ظرفیت راه بکار می‌روند، عبارتند از:

۱-۸-۵- روش‌های دیگر تخمین ظرفیت راه‌ها

روش‌های زیر می‌تواند برای محاسبه ظرفیت راه‌ها در نقطه بحرانی آن بکار رود (NCHRP, 2008).

معادله ظرفیت برای آزادراه‌ها:

$$Capacity = IdealCap \times N \times F_{hv} \times PHF$$

IdealCap: ظرفیت ایده‌آل؛ که در آزادراه‌های دارای سرعت جریان آزاد (FFS) 110 Km/h و بیشتر، برابر با 2400 pc/h/ln و در آزادراه‌های دارای سرعت جریان آزاد کمتر از 110 Km/h برابر با 2300 pc/h/ln می‌باشد.

N: تعداد خطوط (صرفنظر از خطوط کمکی و خطوط خروجی)

F_{hv}: فاکتور کالیبراسیون مربوط به میزان وسایل نقلیه سنگین که برابر است با:

منطقه هموار: 100/(100+0/5HV)

منطقه تپه ماهوری: 100/(100+2HV)

منطقه کوهستانی: 100/(100+5HV)

HV: نسبت خودروهای سنگین (شامل کامیون، اتوبوس و وسایل نقلیه تفریحی) در جریان ترافیک. درصورت عدم اطلاع از مقدار HV، مقدار پیش‌فرض ۰/۰۵ را مورد استفاده قرار دهید.

PHF: ضریب ساعت اوج (نسبت جریان در ۱۵ دقیقه‌ی اوج به متوسط جریان ساعتی). مقدار پیش‌فرض آن برابر است با ۰/۹۰

معادله ظرفیت برای راه‌های چندخطه (جریان غیرمنقطع):

$$Capacity = IdealCap \times N \times F_{hv} \times PHF$$

IdealCap: ظرفیت ایده‌آل؛ که برابر است با:

راه‌های چندخطه برون‌شهری با سرعت جریان آزاد 60 mph: 2200 pc/h/ln

راه‌های چندخطه برون‌شهری با سرعت جریان آزاد 55 mph: 2100 pc/h/ln

راه‌های چندخطه برون‌شهری با سرعت جریان آزاد 50 mph: 2000 pc/h/ln

N: تعداد خطوط (صرفنظر از خطوط کمکی و خطوط خروجی)

F_{hv}: فاکتور کالیبراسیون مربوط به میزان وسایل نقلیه سنگین که برابر است با:

منطقه هموار: 100/(100+0/5HV)

منطقه تپه ماهوری: 100/(100+2HV)

منطقه کوهستانی: 100/(100+5HV)

HV: نسبت خودروهای سنگین (شامل کامیون، اتوبوس و وسایل نقلیه تفریحی) در جریان ترافیک. درصورت عدم اطلاع از مقدار HV، مقدار پیش‌فرض ۰/۰۵ را مورد استفاده قرار دهید.

PHF: ضریب ساعت اوج (نسبت جریان در ۱۵ دقیقه‌ی اوج به متوسط جریان ساعتی). مقدار پیش‌فرض آن برابر است با ۰/۹۰

معادله ظرفیت برای راه‌های دوخطه (جریان غیرمنقطع):

(۷-۲)

$$Capacity = IdealCap \times F_w \times F_{hv} \times PHF \times F_{dir} \times F_{nopass}$$

IdealCap: ظرفیت ایده‌آل؛ برابر با 1400 pc/h/ln برای تمامی راه‌های دوخطه‌ی برون‌شهری

F_w: فاکتور کالیبراسیون عرض خط عبور

F_{hv}: فاکتور کالیبراسیون مربوط به میزان وسایل نقلیه سنگین که برابر است با:

منطقه هموار: 1/(1+1HV)

منطقه تپه ماهوری: 100/(100+4HV)

منطقه کوهستانی: 100/(100+11HV)

HV: نسبت خودروهای سنگین (شامل کامیون، اتوبوس و وسایل نقلیه تفریحی) در جریان ترافیک. درصورت عدم اطلاع از مقدار HV، مقدار پیش‌فرض ۰/۰۲ را مورد استفاده قرار دهید.

PHF: ضریب ساعت اوج (نسبت جریان در ۱۵ دقیقه‌ی اوج به متوسط جریان ساعتی). مقدار پیش‌فرض آن برابر است با ۰/۹۰

F_{dir}: فاکتور کالیبراسیون مربوط به توزیع جهتی ترافیک؛ که برابر است با:

0/71 + 0/58(1-peak direction proportion)

نسبت جهت اوج برابر است با نسبت جریان دوجهته در جهت اوج. مقدار پیش‌فرض آن برابر است با ۰/۵۵

F_{nopass}: فاکتور کالیبراسیون مربوط به درصد مقاطع سبقت ممنوع مسیر؛ و برابر است با:

منطقه هموار: ۱

منطقه تپه‌ماهوری: 0/97 – 0/07(No pass)

منطقه کوهستانی: 0/91 – 0/13(No pass)

سبقت ممنوع (No pass) عبارتست از نسبت طولی از راه که در آن سبقت گرفتن ممنوع است. مقدار پیش‌فرض آن برای مناطق تپه‌ماهوری ۰/٦ و برای مناطق کوهستانی ۰/۸ می‌باشد.

۱-۸-٦- تخمین ظرفیت براساس سرفاصله[۱]

مدل‌های ساخته شده براساس سرفاصله همگی از این فرض استفاده می‌کنند که در شرایط ظرفیت، تمامی رانندگان و وسایل نقلیه در وضعیت محدود۲ قرار می‌گیرند. به این ترتیب، سرفاصله‌ها کاهش یافته و به حداقل ممکن رسیده‌اند. بطور کلی دو مدل شناخته شده تخمین ظرفیت براساس سرفاصله و وجود دارد (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤):

مدل صف تعمیم یافته

مدل نیمه پواسون

هر دو رویکرد فوق براساس فرآیند نقطه‌ای پواسون شکل گرفته‌اند، اما در فرضیات مربوط به رفتار رانندگان در جریان ترافیک، تفاوت‌های کوچکی با یکدیگر دارند. این مدل‌ها تنها برای یک خط قابل اعمال است و در مورد آزادراه‌های چندخطه، با فرض تجزیه به خطوط مجزا می‌توان ظرفیت را محاسبه نمود.

---

۱ - Headway

۲ - Constrained

سرفاصله زمانی دو وسیله نقلیه متوالی، به صورت زمانی تعریف می‌شود که طول می‌کشد تا دو نقطه یکسان (مانند سپر عقب) دو وسیله از مقابل یک نقطه در یک خط جریان ترافیک عبور کنند.

مدل‌های فوق براساس این فرض شکل گرفته‌اند که وسایل نقلیه در هر جریان ترافیک را می‌توان به دو دسته دنباله‌رو[۱] و پیشرو[۲] تقسیم نمود. انتظار می‌رود که توزیع سرفاصله‌های وسایل محدود شده در ظرفیت جاده، مساوی این مقدار برای وسایل محدود شده در هر جریان ترافیک پایدار دیگری باشد. بنابراین، برای اندازه-گیری ظرفیت براساس سرفاصله، کافی است متوسط این پارامتر را برای وسایل محدود شده داخل هر جریان ترافیک بدست آورد. سپس با استفاده از رابطه سرفاصله – جریان می‌توان ظرفیت جاده را بدست آورد.

$$C = \frac{3600}{\overline{h}_c} \qquad (٦-١)$$

که در آن:

C : ظرفیت خط عبوری بر حسب وسیله نقلیه بر ساعت، و

$\overline{h}_c$: متوسط سرفاصله زمانی وسایل نقلیه در حالت محدود (ثانیه بر وسیله نقلیه) می‌باشند.

اساساً تفاوت دو مدل فوق در نحوه محاسبه $\overline{h}_c$ است که توضیحات بیشتر مربوط به آن در پی می‌آید.

الف- مدل صف تعمیم یافته

در این مدل، فرض می‌شود سرفاصله‌ای کمتر از یک مقدار معین (مثلاً ۵ ثانیه) نشان دهنده وجود حالت محدود بودن وسیله نقلیه پشتی است. بنابراین، در محاسبه متوسط سرفاصله زمانی وسایل نقلیه در حالت محدود، تنها از سرفاصله‌های مشاهده

---

۱ - Follower

۲ - Leader

شده کمتر از مقدار معین، استفاده شده و به این ترتیب ظرفیت با استفاده از رابطه (۱-٦) محاسبه می‌شود (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤).

ب- مدل نیمه پواسون

این روش که ابتدا توسط باکلی و سپس توسط برانسون پایه‌گذاری شده است از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. این مدل برای تعریف تابع چگالی احتمال سرفاصله‌ها از یک مدل نیمه پواسون استفاده می‌کند. در این مدل، کل تابع چگالی احتمال سرفاصله‌ها برابر مجموعه وزنی دو جزء در نظر گرفته می‌شود، یکی تابع چگالی احتمال وسایل دنباله‌رو و دیگری تابع چگالی احتمال وسایل آزاد (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤).

$$f(h) = \phi \times g(h) + (1-\phi) \times b(h) \qquad (۷۰-۱)$$

که در آن:

f(h) : تابع چگالی احتمال سرفاصله‌ها،

ϕ : نسبت وسایل دنباله‌رو $(0 \le \phi \le 1)$،

g(h) : تابع چگالی احتمال سرفاصله وسایل دنباله‌رو، و

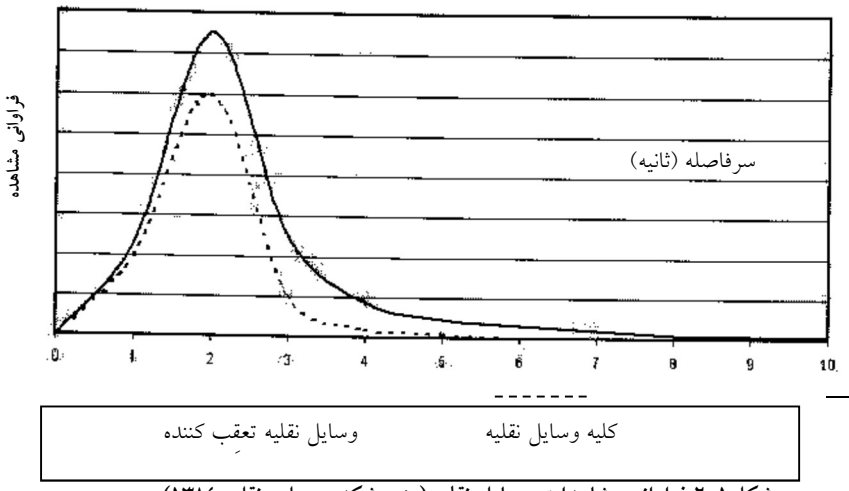
b(h) : تابع چگالی احتمال سرفاصله وسایل آزاد.

همانطور که در شکل (۱-۲) مشاهده می‌شود، فراوانی مشاهدات وسایل دنباله‌رو و کل وسایل هم‌پوشانی دارند و در سرفاصله‌هایی کمتر از مقدار T، یک وسیله ممکن است دنباله‌رو باشد یا نباشد. در توسعه این مدل ابتدا از تابع چگالی احتمال نمایی منفی در حجم‌های خیلی کم استفاده شده است. سپس، با توجه به این حقیقت که رانندگان، این سرفاصله‌های کوچک را قبول نخواهند کرد، چگالی مربوطه مورد تصحیح واقع شد.

اسم نیمه‌پواسون در اینجا به این حقیقت اشاره دارد که بخشی از تابع چگالی احتمال، برای سرفاصله‌های بیش از مقدار T، نمایی منفی است. برانسون از تئوری صف برای دستیابی به رابطه نهایی استفاده می‌کند و رفتار ترافیکی بیشتری را نسبت

به باکلی در مدل پیشنهادی خود وارد می‌نماید (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤). رابطه نهایی برانستون به صورت زیر است:

$$f(h) = \phi \times g(h) + (1-\phi)\mu e^{\mu h} \int_{\infty}^{T} g(h) e^{\mu x} dx \qquad (۷-۱)$$



شکل ۱-۲ فراوانی مشاهدات وسایل نقلیه (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤)

رابطه‌ای که باکلی بدست می‌آورد البته با رابطه فوق متفاوت است. اما همانطور که اتما و همکاران[۱] نشان داده‌اند، در هر دو رابطه، مقادیر واقعی پارامترهای استفاده شده چندان تفاوتی در نتایج ندارند. پارامترهای رابطه (۲-۳) را می‌توان توسط تجزیه تخمین زد و هر دو جزء را تعیین نمود. ظرفیت تخمینی بدست آمده از این مدل برابر معکوس متوسط سرفاصله مربوط به توزیع g(h) است.

توجه به این نکته حائز اهمیت است که این مدل وسایل را از نظر دنباله‌رو و پیشرو بودن به طور مشخص دسته‌بندی نمی‌کند، بلکه تنها چگالی احتمال این حالات را در سرفاصله‌های متفاوت تعیین می‌نماید.

بطور کلی، بررسی‌های مختلفی که با استفاده از مدل‌های تخمین ظرفیت به وسیله سرفاصله انجام شده، غالباً نشان داده است که این مدل‌ها ظرفیت را بیش از

۱ -Etma et al

مقدار واقعی تخمین می‌زنند. با این وجود، به دلیل عدم لزوم رسیدن به حالت نزدیک به ظرفیت در موقع برداشت، روش‌های تخمین ظرفیت با استفاده از سرفاصله، در هر شرایطی قابل استفاده و بهره‌برداری هستند.

۱-۸-۷- تخمین ظرفیت براساس حجم ترافیک

روش‌های تخمین ظرفیت براساس حجم ترافیک را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم نمود (پژوهشکده حمل ونقل، ١٣٨٤).

۱.روش‌های تخمین براساس حدهای مشاهده شده[۱]

۲.روش‌های تخمین براساس حدهای مورد انتظار[۲]

روش‌های تخمین ظرفیت، براساس حدهای مشاهده شده، کار تخمین را تنها با استفاده از حداکثر حجم ترافیک عبوری از مقطع جاده در طول زمان معین انجام می‌دهند. در حالی که روش‌های تخمین براساس حدهای مورد انتظار با وجود استفاده از حداکثر حجم عبور کرده به عنوان ورودی، حداکثر نرخ جریان‌های مشاهده شده در فواصل میانگین‌گیری را نیز برای پیش‌بینی مقدار ظرفیت بیشتر (مشاهده نشده) توسط روش‌های آماری مورد استفاده قرار می‌دهند. در ادامه به تشریح روش‌های عمده تخمین ظرفیت در هر یک از گروه‌های فوق پرداخته می-شود.

۱-۸-۸ تخمین ظرفیت براساس حدهای مشاهده شده

- روش توزیع دو شیوه‌ای[۳]

توزیع چگالی احتمال جریان ترافیک در معابری که در سطحی نزدیک به ظرفیت کار می‌کنند، نشان‌دهنده یک توزیع دو رژیمی خواهد بود (پژوهشکده حمل و نقل، ١٣٨٤). شکل (۲-۳) نمونه‌ای از توابع توزیع چگالی احتمال جریان ترافیک را در

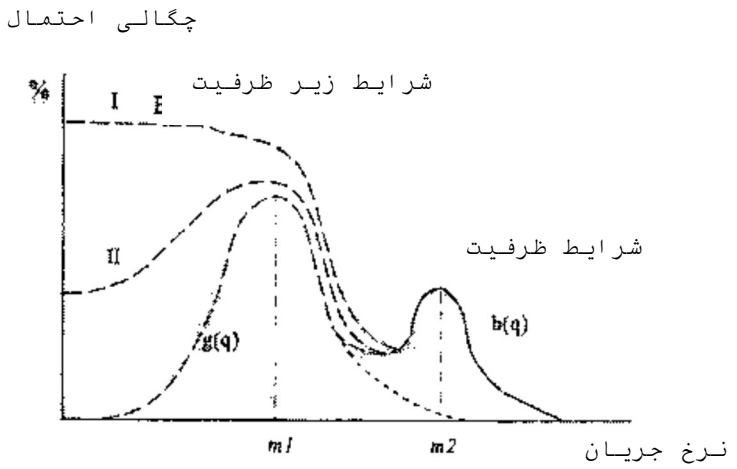
---

۱ - Observed Extremes

۲ - Expected Extremes

۳ - Bimodal Distribution Method

حالات مختلف نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، توزیع مربوطه نشانگر وجود دو حالت مختلف ترافیک است. در نرخ‌های کمتر، میزان تقاضا بر نوع توزیع حاکم است که با افزایش نرخ از میزان تأثیر آن کاسته شده و با نزدیکتر شدن به ظرفیت جاده، تأثیر ظرفیت بر نرخ جریان‌های مشاهده شده به صورت رژیمی جدید ظاهر می‌شود. بنابراین، می‌توان دو توزیع جداگانه برای نمایش توزیع ترکیبی نرخ جریان مشاهده شده فرض نمود. در این شکل، توجه به رابطه میان شکل توزیع تقاضای ترافیک و دوره مشاهده حائز اهمیت است. منحنی (I) در شکل (۱-۳) نشان‌دهنده دوره مشاهداتی با فراوانی زیاد نرخ جریان‌های کم (مثلاً در طول شب) است. منحنی (II) از سوی دیگر نشان‌دهنده مشاهده در روز و عصر است که هم نرخ جریان‌های کم و هم نرخ جریان‌های متوسط در آن به حد کافی مشاهده شده است.



شکل ۱-۳ توزیع دو رژیمی نرخ جریان (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤)

فرم عمومی تابع چگالی احتمال مرکب، در این روش تخمین ظرفیت به شکل زیر است:

$$f(q) = \phi \times g(q) + (1-\phi) \times b(q) \qquad (۱۲-۲)$$

که در آن:

F(q): تابع چگالی احتمال مرکب تخمین ظرفیت

ϕ : نسبت تابع چگالی احتمال نمایشگر تقاضای کمتر از ظرفیت،

g (q) : تابع چگالی احتمال نمایشگر تقاضای کمتر از ظرفیت، و

b(q) : تابع چگالی احتمال نمایشگر حالت ظرفیت.

به این ترتیب، مقدار ظرفیت حاصل از این روش برابر امید ریاضی تابع چگالی احتمال b(q) خواهد بود. مشکل اصلی روش توزیع دو رژیمی، انتخاب تابع چگالی احتمال مربوط به حالت کمتر از ظرفیت است. فرض تخمین ظرفیت g(q) توسط یک تابع گوسی مشکل زیادی ایجاد نمی‌کند، اما فرض پیروی توزیع تقاضای ترافیک در حالت جریان آزاد از یک توزیع گوسی شکل، تا حدودی بحث‌برانگیز است و به دوره مشاهده وابسته است. همچنین، در این روش لازم است به مدت نسبتاً طولانی مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها صورت بگیرد و علاوه بر آن مدت زمان نسبتاً زیادی (نسبت به کل دوره مشاهده) جریان ترافیک روی جاده در حدود ظرفیت آن باشد.

- روش حداکثر منتخب

این روش از حداکثر نرخ جریان‌های اندازه‌گیری شده در طول دوره مشاهده، برای تخمین ظرفیت استفاده می‌کند. در این روش، ظرفیت جاده برابر توزیع حداکثر نرخ جریان‌های منتخب مشاهده شده در طی دوره مشاهده فرض می‌شود. مشاهده نرخ‌های جریان در این روش باید طی چندین روز (سیکل) تا زمان جمع‌آوری داده لازم برای انجام تحلیل صورت پذیرد (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤).

داده‌های مورد استفاده در روش حداکثر منتخب، شامل حجم‌ها یا نرخ‌های جریان ترافیک مشاهده شده در یک فاصله زمانی میانگین‌گیری کمتر از یک ساعت است. در طول هر سیکل مشاهده، حداقل باید یک بار جاده به حالت ظرفیت خود برسد. دوره مشاهده ممکن است از یک مطالعه به مطالعه دیگر متفاوت باشد.

ظرفیت جاده (q_c) را می‌توان برابر متوسط حداکثرهای مشاهده شده در هر سیکل در طول دوره مشاهده در نظر گرفت.

$$q_c = \frac{\sum_i q_1}{n} \qquad (۸-۱)$$

که در این رابطه:

q_c : مقدار ظرفیت (وسیله نقلیه بر ساعت)،

q_1 : حداکثر نرخ جریان مشاهده شده در طول دوره i،

n : تعداد سیکل‌ها، و

i : طول سیکل (دوره‌ای که در آن حداکثر نرخ جریان تعیین می‌شود) می‌باشد.

به این ترتیب، کل دوره مشاهده T به تعداد n سیکل به طول i تقسیم شده است.

تعداد مشاهدات ظرفیت به شدت بر قابلیت اطمینان ظرفیت محاسبه شده از این روش تأثیر می‌گذارد. به علاوه، انتخاب مقدار متوسط توجیه خاصی ندارد و می‌توان از نقطه صدک ۹۰-ام، به عنوان مثال، برای انتخاب نقطه ظرفیت بهره برد.

۱-۸-۹- تخمین ظرفیت براساس حداکثر حجم ترافیک مورد انتظار

- روش‌های حداکثر مقدار مورد انتظار

با فرض پیروی حجم‌های ترافیک از یک مدل تئوریک، مانند مدل پواسون و با استفاده از روش احتمال مستقیم، می‌توان حداکثر مقدار یک متغیر تصادفی را تخمین زد. روش احتمال مستقیم را زمانی می‌توان بکار برد که جاده به ظرفیت خود رسیده باشد. تخمین ظرفیت حاصل از این روش را می‌توان به عنوان یک مقدار استثنایی حداکثر جریان در نظر گرفت. بدین‌منظور، باید در مورد فرآیند رسیدن وسایل نقلیه به مقطع مورد نظر فرضیاتی صورت پذیرد. یک شرط اساسی، در این زمینه آن است که مشاهدات صورت گرفته در تمام دوره‌های زمانی نمونه‌گیری مستقل از یکدیگر (نرخ‌های جریان در دوره‌های مختلف به هم نامربوط هستند) و در عین حال دارای

توزیع مشابه می‌باشند (تمام شمارش‌ها، عناصر تابع توزیع یکتایی هستند). برای حصول این شرط لازم است که متوسط جریان در طول دوره مشاهده ثابت باشد.

نتایج مطالعات دیگری نشان می‌دهد که مقدار ظرفیت پیش‌بینی شده توسط این روش، شدیداً به طول دوره زمانی متوسط‌گیری وابسته است و این که تخمین ظرفیت براساس متوسط حجم ترافیک در یک دوره مشاهده معین، روش پایدارتری است که نتیجه‌ای مستقل از طول زمان متوسط‌گیری بدست خواهد داد (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤).

- روش مجانب

این روش، رویکردی دیگر برای حل مسأله تخمین مقدار حدی است. در این روش فرض بر این است که رفتار مقادیر حدی از هر فرآیند طبیعی را می‌توان به صورت یک مدل آماری ساده نوشت. در اینجا هم فرض می‌شود که حجم‌های ترافیک مشاهده شده در تمام دوره‌های متوسط‌گیری به صورت مستقل ولی یکسان توزیع شده‌اند. ظرفیت، به عنوان حداکثر نرخ جریان مورد انتظار پیش‌بینی شده حاصل از توزیع حدهای مشاهده شده در دوره‌های زمانی منتخب محاسبه می‌شود.

از آنجا که تخمین ظرفیت با استفاده از این روش به طول دوره زمانی متوسط-گیری بسیار وابسته است، به نظر می‌رسد که روش‌های حداکثر قابل انتظار (هر چند از لحاظ ریاضی جذاب هستند) ارزش عملی چندانی برای طراحی یا مدل کردن آزادراه‌ها ندارند. دلیل عمده تغییرات زیاد در مقادیر ظرفیت مشاهده شده، در این حقیقت نهفته است که تنها حجم‌های ترافیک زیاد در محاسبات بکار برده می‌شوند و واضح است که با کاهش دوره زمانی متوسط‌گیری، جریان‌های بزرگتری مشاهده می‌شوند. البته جریان‌های خیلی کوچک هم در چنین فواصلی بدست می‌آیند که البته در محاسبات حد بالایی مورد استفاده واقع نمی‌شوند (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤).

۱-۸-۱۰- تخمین ظرفیت براساس حجم و سرعت ترافیک

این روش‌ها وضعیت ترافیک را نیز در محاسبه ظرفیت به حساب می‌آورند. فرض اصلی در این روش‌ها آن است که تنها زمانی می‌توان تخمین خوبی از مقدار ظرفیت داشت که وضعیت ترافیک در بالادست نقطه اندازه‌گیری برای مشاهده‌گر معین باشد. به این منظور، در این روش‌ها از سرعت نیز برای برآورد ظرفیت استفاده می‌شود.

- روش حد محصول

در این روش مشاهدات براساس وضعیت بالادست به دو بخش، یکی نماینده تقاضای ترافیک (اندازه‌گیری جریان آزاد) و دیگری نماینده وضعیت ظرفیت جاده (شلوغی در بالادست) تفکیک می‌شوند. این دسته‌بندی مشاهدات از نکات عمده در روش حد محصول است که اجازه تخمین تابع توزیع ظرفیت، F(q)، را توسط هر دو مشاهدات جریان آزاد و در سطح ظرفیت می‌دهد. ایده اصلی آن است که اندازه-گیری‌های جریان آزاد را می‌توان برای بهبود تخمین ظرفیت که تنها براساس مشاهدات ظرفیت صورت گرفته است، مورد استفاده قرار داد. زیرا این اطلاعات در تعیین محل و شکل توزیع ظرفیت می‌توانند مفید واقع شوند. به عبارت دیگر، توزیع تجربی مشاهدات ظرفیت، در این روش با استفاده از اطلاعات بدست آمده از مشاهدات جریان آزاد در حجم‌های بالا تصحیح می‌شود (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤).

برای رسیدن به تحلیلی قابل اطمینان از این داده‌ها، اندازه‌گیری‌های حجم و سرعت باید در دوره‌هایی بیش از یک روز صورت بگیرد. به علاوه، برای انجام برداشت‌ها یک نقطه گلوگاه انتخاب می‌شود تا بتوان از وضعیت ظرفیت جاده بوسیله شلوغی در بالادست مطمئن بود.

در این روش و در در حالت، ساده تنها براساس داده‌های حجم ترافیک و سرعت در حالت ظرفیت بالادست، تابع توزیع تجربی ظرفیت بدست می‌آید. این تابع گسسته را می‌توان به راحتی توسط رابطه زیر تعیین نمود:

$$F(q) = prob(q_c \le q_i) \qquad (۹-۱)$$

یا با استفاده از معادله مستقیم زیر:

$$F(q) = \frac{N_c}{N} \qquad (۱۰-۱)$$

که در آن‌ها:

F(q) : تابع توزیع تجمعی مقادیر ظرفیت،

q_c: مقدار ظرفیت،

q_i: جریان مشاهده شده در دوره زمانی i– ام،

N_c: تعداد مشاهدات از مجموعه $\{C\}$ با جریان qi کوچکتر یا مساوی q،

N: تعداد کل مشاهدات در مجموعه $\{C\}$،

$\{C\}$: مجموعه مشاهدات اندازه‌گیری جریان در وضعیت شلوغی.

با استفاده از توزیع تجمعی بدست آمده می‌توان یک مقدار ظرفیت را تعیین نمود. بطور مثال، با انتخاب میانه $[F(q)=0/5]$ می‌توان مقدار q_c مربوطه را بدست آورد.

در رویکرد عمومی روش حد محصول، اندازه‌گیری‌های بدست آمده در حالت جریان آزاد نیز وارد محاسبات می‌شوند. تابع G(q) به عنوان احتمال بزرگتر بودن مقدار ظرفیت q_c از هر مقدار دیگر q تعریف می‌شود.

$$F(q) = 1 - G(q) \qquad (۱۱-۱)$$

روابط زیر بیان کلی روش حد محصول هستند:

$$G(q) = prob(q_c > qi) \qquad (۱۲-۱)$$

$$G(q) = \prod_{qi} \frac{K_{qi} - 1}{K_{qi}} \qquad q_i \in \{C\} \qquad (۱۳-۱)$$

که در این روابط:

K_{qi}: تعداد مشاهدات در مجموعه $\{S\}$ با جریان q_i بزرگتر یا مساوی q،

$\{C\}$: مجموعه جریان‌های شلوغ مشاهده شده،

$\{Q\}$: مجموعه جریان‌های آزاد مشاهده شده، و

$\{Q\}\cup\{C\}=\{S\}$: مجموعه تمام مشاهدات است.

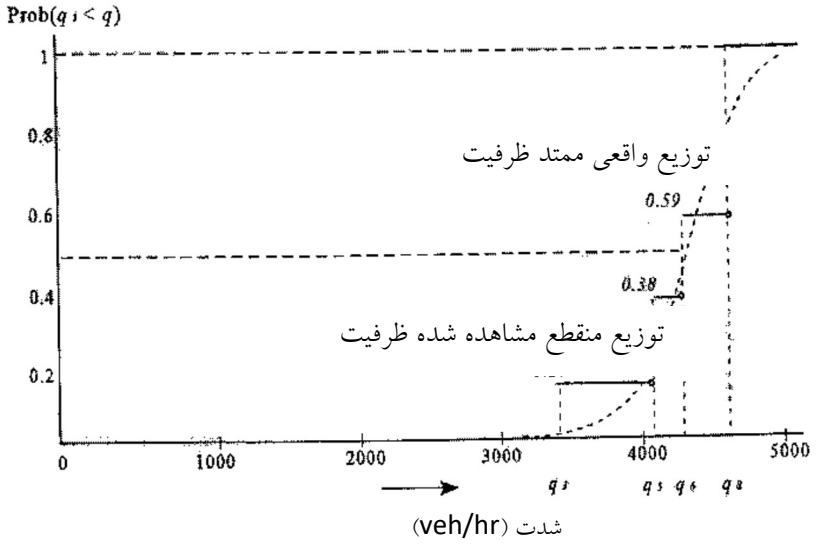
جدول (۲-۱۵) نمونه محاسبات یک مثال ساده تخمین ظرفیت براساس روش حد محصول را نشان می‌دهد. در این مثال، تعداد هشت دوره زمانی مشاهده هر یک به طول ۱۵ دقیقه مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر جریان به واحد وسیله نقلیه بر ساعت داده شده است. در تقسیم‌بندی مشاهدات به مجموعه‌های $\{C\}$ یا $\{Q\}$از اطلاعات سرعت استفاده شده است که نتیجه آن در ستون سوم جدول مشاهده می-شود. به علاوه، رتبه هر کدام از مقادیر جریان در ستون چهارم آمده است. در نهایت توابع گسسته G(q) و F(q) محاسبه شده‌اند.

جدول ۱-۲۱. نمونه محاسبات مثال روش حد محصول (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤)

۷	٦	۵	٤	۳	۲	۱	
F (q)	**G (q)**	$K_q, q_i \in \{C\}$	**مرتبه i**	**مجموعه**	**q_i**	**دوره زمانی**	
		--	۲	Q	۳۰۰۰	-٤۵ ۱۵:۳۰	۱
۰	۱	--	(کمترین)۱	Q	۲۵۰۰	-۰۰ ۱۵:٤۵	۲
۰/۱۷	۰/۸۳	٦	۳	C	۳۵۰۰	-۱۵ ۱٦:۰۰	۳
		--	٤	Q	٤۰۰۰	-۳۰ ۱٦:۱۵	٤
۰/۵۹	۰/٤۱	۳	٦	C	٤۳۰۰	-٤۵ ۱٦:۳۰	۵
		--	۷	Q	٤۵۰۰	-۰۰	٦

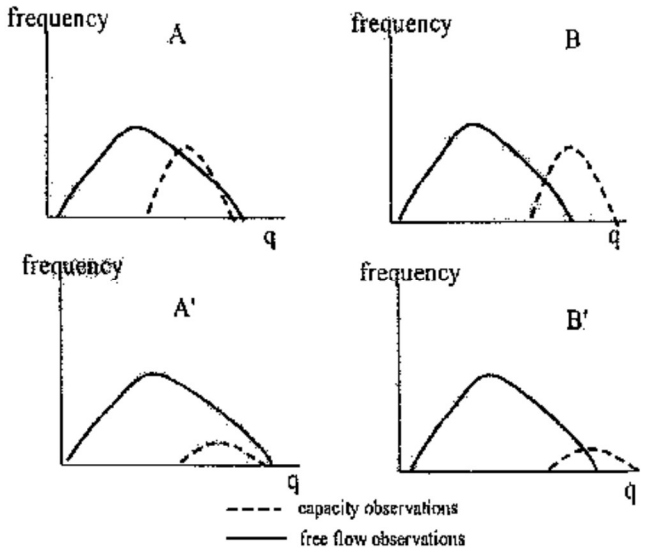
	۱۶:۴۵						
۷	۱۵- ۱۷:۰۰	۴۶۰۰	C	(بیشترین) ۸	۱	۰	۱
۸	۳۰- ۱۷:۱۵	۴۱۰۰	C	۵	۴	۰/۶۲	۰/۳۸
مجموع ۲ ساعت		متوسط جریان ۳۸۱۲	مجموع i=۸				
			i در $\{Q\}$ =۴				
			i در $\{C\}$ =۴				

شکل (۱-۴) تابع توزیع احتمال گسسته بدست آمده را به همراه یک تابع توزیع احتمال پیوسته محتمل نشان می‌دهد. در این مثال، با تعریف ظرفیت در میانه، ظرفیت جاده برابر ۴۲۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت در دو خط حاصل می‌شود. چنانچه تنها مشاهدات ظرفیت بکار برده شده بود، میانگین ۴۱۲۵ وسیله نقلیه بر ساعت در دو خط بدست می‌آمد.



شکل ۱-۴ توزیع ظرفیت بر اساس روش حد محصول (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸۴)

شکل (۲-۵) نشان می‌دهد که جریان مشاهده شده می‌تواند عضو مجموعه $\{Q\}$ یا $\{C\}$ باشد و در عین حال نسبت تعداد اندازه‌گیری عضو هر مجموعه ممکن است متفاوت باشد. در حالت A، تعدادی از جریان‌های آزاد مشاهده شده بزرگتر از حداکثر مشاهدات در حالت ظرفیت هستند. این در حالی است که در وضعیت B اغلب اندازه‌گیری‌های ظرفیت بزرگتر از حداکثر جریان‌های آزاد مشاهده شده هستند. همین قضیه در موارد 'A و 'B هم صادق است، با این تفاوت که نسبت دو نوع اندازه‌گیری در این موارد کلاً متفاوت است، زیرا در 'A و 'B نسبتاً تعداد اندازه-گیری‌های در حالت ظرفیت کمتر بوده است. در دو حالت اخیر، استفاده از این روش مورد تردید است، زیرا اطلاعی از کیفیت (دقت و قابلیت اطمینان) مقدار تخمین ظرفیت وجود نخواهد داشت.



شکل ۱-۵ حالت‌های محتمل جریان‌های مشاهده شده

۱-۸-11- تخمین ظرفیت براساس حجم، سرعت و تراکم ترافیک

این روش براساس رابطه موجود مابین سه متغیر جریان ترافیک، سرعت متوسط هارمونیک، و تراکم (یا تراکم موضعی یا اشغال) که به آن نمودار پایه‌ای جریان

ترافیک گفته می‌شود، اقدام به تعیین ظرفیت جاده می‌نماید. برای ساخت این نمودار تنها اندازه‌گیری دو متغیر کافی است.

یک مزیت عمده این روش آن است که برای تخمین ظرفیت لازم نیست اطلاعات در یک گلوگاه ترافیکی برداشت شده باشد. اما برای ساختن یک منحنی قابل اعتماد، لازم است که مشاهدات در حجم‌های مختلف صورت گرفته باشد. همچنین، اگر وضعیت ترافیک مشاهده شده ناپایدار یا شلوغ باشد، نتایج برازش منحنی خیلی به نوع منحنی انتخاب شده بستگی خواهد داشت. زیرا در این حالات، مقادیر مشاهده شده تغییرات زیادی خواهند داشت.

حداکثر جریان ممکن در جاده (ظرفیت)، در این روش معادل جریان متناظر با تراکم بحرانی k_c است. رابطه مربوط به سه متغیر اصلی جریان ترافیک به صورت زیر است (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤).

$$k = \frac{q}{u} \qquad (۱٤-۱)$$

که در آن:

k: تراکم جریان ترافیک (وسیه نقلیه بر کیلومتر)

q: نرخ تردد (وسیله نقلیه در ساعت)

u: سرعت (کیلومتر بر ساعت)

به سادگی می‌توان دید که ظرفیت جاده را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$q_c = k_c.u_c \qquad (۱۵-۱)$$

که در آن:

q_c: نرخ تردد حداکثر (وسیله نقلیه در ساعت)

k_c: تراکم در حداکثر نرخ جریان ترافیک (وسیه نقلیه بر کیلومتر)

u_c: سرعت در حداکثر نرخ جریان ترافیک (کیلومتر بر ساعت)

اما، باید دانست که تعیین تراکم کاری مشکل است، زیرا نیازمند مشاهده یک قطعه راه کامل و یکنواخت است. برای تعیین این متغیر باید تعداد تمام وسایل نقلیه

حاضر روی این قطعه راه در تمام لحظات شمرده شود. به این دلیل، معمولاً تراکم موضعی (اشغال) در محاسبات مورد استفاده واقع می‌شود.

مدل‌های مختلفی برای برازش داده‌ها وجود دارند که از آن جمله مدل‌های درجه دوم و نمایی حائز اهمیت بیشتری هستند. باید توجه داشت که ظرفیت بدست آمده از این روش به نوع مدل انتخاب شده وابسته است. این خود یکی از نقاط ضعف این روش به شمار می‌رود. بعلاوه پارامترهای مدل انتخابی باید در هر محل مجدداً تعیین شوند، زیرا شرایط حاکم در هر محل متفاوت است. همچنین، برای انجام یک برازش قابل اعتماد احتیاج به جمع‌آوری تعداد کافی مشاهده در محدوده نسبتاً وسیعی از نرخ جریان ترافیک وجود خواهد داشت، که هزینه تخمین را بالا خواهد برد (پژوهشکده حمل ونقل، ۱۳۸٤).

۱-۹- شناسایی و تحلیل عوامل تاثیرگذار بر ظرفیت انواع راه‌ها در شرایط عادی

در عمل امکان طرح جاده‌هایی با شرایط کاملا مطلوب به ندرت فراهم می‌شود و در غالب موارد، سطح و حجم سرویس را باید در شرایط موجود سنجید. مهمترین عوامل فیزیکی جاده، که در کیفیت ترافیک و کمیت ظرفیت جاده مؤثرند (عوامل جاده) عبارت‌اند از عرض خط، جدول و موانع کناری جاده، شیب مسیر، مسافت دید و بالاخره طول و عرض مقاطع تغییر خط، که در ادامه مورد بررسی قرار می-گیرند (شاهی، ۱۳۸۵).

۱-۹-۱- عرض خط

راهنمای ظرفیت راه‌ها، مبنای حجم سرویس با کیفیتی مشخص را بر مبنای عرضی برابر ۳/٦۵ متر می‌سنجد و اگر عرض خط کمتر از این باشد ظرفیت جاده مطابق جدول (۲-۱٦) کاهش پیدا می‌کند.

جدول ۱-۲۲ اثر کاهش عرض خط برظرفیت (شاهی، ۱۳۸۵)

عرض خط (متر)	جاده دوخطه، ظرفیت نسبت به حالت مطلوب (درصد)	جاده چندخطه، ظرفیت نسبت به حالت مطلوب (درصد)
۳/٦٥	۱۰۰	۱۰۰
۳/۵۰	۸۸	۹۷
۳/۰۰	۸۱	۹۱
۲/۷۵	۷٦	۸۱

۱-۹-۲- جدول و موانع کناری

اگر جدول کنار جاده کمتر از ۱۵ سانتی‌متر ارتفاع داشته باشد بر ظرفیت جاده اثر چندانی ندارد، ولی اگر ارتفاع آن بیش از این باشد اثر منفی بر ظرفیت جاده خواهد گذاشت. همچنین دیواره‌های کناری جاده نظیر دیوار حائل یا تیر چراغ و نظایر آن، اگر در فاصله‌ای کمتر از ۱/۸۰ متر نسبت به کنار جاده قرار داشته باشند، ظرفیت جاده را کاهش می‌دهند. در جدول (۲-۱۷)، تأثیر موانع کنار جاده بر ظرفیت آن با توجه به عرض جاده، نشان داده شده است.

برای جاده‌ای با عرض خطوط ۳/٦٥ متر و شانه‌ای با حداقل عرض ۱/۲۲ متر توصیه می‌شود که اثر این شانه برابر ۰/۳۰ متر روی عرض جاده منظور شود (شاهی، ۱۳۸۵).

۱-۹-۳- شیب

شیب طولی جاده بر حسب آنکه سرازیر یا سربالا باشد چند تأثیر بر ظرفیت جاده دارد. مثلا در سربالایی معمولا سرعت وسایل نقلیه و در نتیجه ظرفیت جاده کم می‌شود. اما در سرازیری اثر شیب بر سرعت، به طور کلی مثبت است و در اکثر موارد بر سرعت وسایل نقلیه افزوده می‌شود.

اثر شیب از نظر نوع وسایل نقلیه‌ای که در جاده در حرکت‌اند نیز متفاوت است. اتومبیل‌های سواری به راحتی می‌توانند، در حدی که بر ظرفیت جاده تأثیری نداشته باشد، سرعت خود را در سربالایی‌ها با شیب کمتر از شش درصد حفظ کنند، اما

وسایل نقلیه سنگین، نظیر کامیون‌ها، بخصوص در موقع حمل بار، در سربالایی‌ها با سرعتی به مراتب کمتر حرکت می‌کنند.

شیب مسیر بر روی عوامل دیگر جاده، که به نحوی در ظرفیت مسیر و کیفیت ترافیک مؤثرند (نظیر مسافت دید یا فاصله عبور) نیز اثر می‌گذارد. مثلا فاصله عبور لازم بین وسایل نقلیه، از نظر ایمنی، در سربالایی کمتر و در سرازیری بیشتر از حالتی است که جاده بدون شیب باشد (شاهی، ۱۳۸۵).

۱-۹-٤- مسافت دید

یکی از مهمترین عوامل مؤثر در ایمنی و ظرفیت جاده، وضعیت دید مسیر جلو برای رانندگان است. وضعیت کاملاً مطلوب آن است که وسیله نقلیه از دید راننده پشت خود، در حد مسافت دید چشم او، به هیچ وجه خارج نشود. بدیهی است که به علل مختلف، نظیر وضع توپوگرافی زمین، از نظر اقتصادی و گاهی به دلیل مشکلات فنی رعایت و حفظ این وضعیت مقدور نیست؛ ولی به هر حال لازم است که در طرح جاده مسافت دید قابل قبولی رعایت شود که ایمنی و ظرفیت جاده را با توجه به شرایط مورد نظر تضمین کند.

دو نوع مسافت دید در مطالعه و طراحی جاده‌ها اهمیت دارد: یکی مسافت دید توقف، و دیگر مسافت دید سبقت. برای افزایش ایمنی باید مسافت دید آنقدر باشد که رانندگان بتوانند وسیلهٔ نقلیه خود را در هر لحظه که بخواهند، قبل از برخورد به یک مانع غیرمنتظره متوقف کنند. این مسافت را مسافت دید توقف می‌نامند. از طرفی، با توجه به کشش ترافیک و ظرفیت جاده، مسافت دید باید آنقدر باشد که رانندگان بتوانند از وسایل نقلیه‌ای که با سرعت کمتری حرکت می‌کنند سبقت بگیرند. این مسافت را مسافت دید سبقت می‌نامند.

مسافت دید سبقت به مراتب از مسافت دید توقف بیشتر است. بنابراین، اگر توپوگرافی زمین مساعد نباشد، رعایت مسافت لازم برای سبقت گرفتن در قسمتی از طول جاده و حتی شاید در تمام طول جاده، مخارج بسیار زیادی داشته باشد و از نظر اقتصادی به‌صرفه نباشد. در این صورت، به اجبار در چنین قسمت‌هایی از طول

جاده، یا در مواردی استثنایی در تمام طول جاده، سبقت گرفتن ممنوع خواهد شد که این ممنوعیت باعث کاهش ظرفیت جاده می‌شود. میزان این کاهش در جدول (۲-۱۸) آمده است.

جدول ۱-۲۳- کاهش ظرفیت جاده در اثر کاهش عرض خط و مانع کناری نسبت به ظرفیت کاملا مطلوب (شاهی، ۱۳۸۵)

نوع جاده	عرض جاده (متر)	مانع در یک طرف جاده، فاصله تا جاده (متر)					مانع در هر دو طرف جاده، فاصله تا جاده (متر)				
		۰	۰/۵	۱/۰	۱/۵	۲ یا بیشتر	۰	۰/۵	۱/۰	۱/۵	۲ یا بیشتر
جاده دوطرفه از هم جدا شده	۱۱	۹٤	۹۷	۹۸	۹۹	۱۰۰	۹۰	۹۵	۹۷	۹۹	۱۰۰
همه خطه در هر طرف	۱۰	۹۱	۹۳	۹٤	۹۵	۹٦	۸۷	۹۱	۳۹	۹۵	۱٦
	۹	۸۵	۸۱	۸۸	۸۸	۸۹	۸۱	۸٤	۸٦	۸۸	۱۹
	۸/۵	۷۷	۷۸	۷۹	۸۰	۸۱	۷۲	۷٦	۷۸	۸۰	۰
جاده دوطرفه از هم جدا شده	۷/۳	۹۰	۹٦	۹۸	۹۹	۱۰۰	۸۱	۹۲	۹۷	۹۹	۱۰۰
دوخطه در هر طرف	٦/۷۵	۸۷	۹۳	۹۵	۹۷	۹۷	۷۹	۸۹	۹٤	۹٦	۹۷
	٦/۰	۸۲	۸۷	۸۹	۹۰	۹۱	۷٤	۸٤	۸۸	۹۰	۹۱
	۵/۵	۷۳	۷۸	۷۹	۸۰	۸۱	٦٦	۷۵	۷۸	۸۰	۸۱
جاده دوخطه	۷/۳۰	۸۵	۹۰	۹۵	۹۸	۱۰۰	۷۰	۷۹	۸۸	۹٦	۱۰۰

ساده	٦/٧٥	٧٣	٧٧	٨١	٨٥	٨٦	٦٠	٦٨	٧٦	٨٣	٨٧
	٦/٠	٦٦	٦٩	٧٢	٧٦	٧٧	٥٤	٦١	٦٨	٧٤	٧٨
	٥/٥	٦٠	٦٣	٦٦	٦٩	٧٠	٤٩	٥٥	٦٢	٦٨	٧١

جدول ۱-۲٤ اثر ممنوعیت سبقت بر ظرفیت (شاهی، ۱۳۸۵)

درصد طول جاده که امکان سبقت گرفتن در آن نیست	۰	۲۰	٤۰	٦۰	۸۰	۱۰۰
درصد ظرفیت استاندارد	۱۰۰	۹۰	۸۰	٦۵	۵۰	۳۰
کاهش سرعت (km/h) در جاده‌ای دوخطه با ترددی برابر ۹۰۰P.C.U/h	۰	٦	۱۲	۱۸	۲٤	۳۰

۱-۹-۵- مقاطع تغییر خط

وسایل نقلیه در بسیاری از موارد (در طول جاده، در میدان‌ها و در نزدیک تقاطع-ها) برای رسیدن به محل و مسیر مورد نظر، مجبورند از خطی به خط دیگر بروند که این عمل را در اصطلاح تغییر خط می‌نامند. برای آنکه وسایل نقلیه بتوانند با توجه به سطح سرویس و کیفیت ترافیک به راحتی تغییر خط دهند باید نکاتی را در طرح مقاطعی از جاده که در آن‌ها تغییر خط صورت می‌گیرد رعایت کنند. از جمله این نکات، توجه به پارامترهایی است که از این لحاظ اهمیت ویژه‌ای دارند، همچون طول خطوط لازم برای مقاطع تغییر خط و تعداد آن‌ها.

تغییر خط در تقاطع‌ها و نیز قسمتی از جاده که بین دو تقاطع قرار گرفته‌اند به شکل‌های مختلفی صورت می‌گیرد و ممکن است به یکی از صورت‌های مقاطع تغییر خط ساده، مقاطع تغییر خط مرکب و تغییر خط یک‌کناره و دوکناره صورت پذیرد.

اگر تمام وسایل نقلیه‌ای که از مسیرهای مختلف به مقطع تغییر خط وارد می-شوند، برای رسیدن به مقصد خود مسیرهای دیگر را قطع کنند، یعنی اگر تمام ترافیک تغییر خط دهنده باشد، هر وسیله نقلیه ناچار است خطی را که نوک ورودی را به نوک خروجی وصل می‌کند (اصطلاحاً خط تاج جاده)، قطع کند. در این-

صورت، ظرفیت این قسمت از جاده نمی‌تواند از ظرفیت خطی از جاده مشابه آن، که تغییر خطی ندارد بیشتر یا مساوی باشد.

طرح مقاطع تغییر خط و تسهیلاتی که از نظر تعداد خطوط و طول مقطع در نظر گرفته می‌شود، براساس کیفیت تردد صورت می‌گیرد. کیفیت تردد وسایل نقلیه را به پنج گروه تقسیم کرده‌اند (شاهی، ۱۳۸۵):

کیفیت یک: کیفیت ترافیک در این حالت نظیر وضعیت عبور آزاد است و تغییر خطی در آن صورت نمی‌گیرد. در این کیفیت، سرعت ۸۰km/h به راحتی حاصل می‌شود.

کیفیت دو: وضعیت جاده از نظر ترافیک و سرعت در این حالت محدودیت‌هایی جزئی دارد. در این کیفیت تغییرات جرئی در سرعت مشاهده می‌شود و حرکت با سرعت‌های بین ۷۰ و ۸۰ کیلومتر در ساعت نسبتا راحت است.

کیفیت سه: در این کیفیت، وضع ترافیک قابل قبول است و امکان حرکت با سرعتی حدود ۷۰km/h وجود دارد. در این حالت، بعضی از وسایل نقلیه بر حرکت و رانندگی آزاد و راحت سایر وسایل نقلیه اثر می‌گذارند.

کیفیت چهار: در این کیفیت، کندی حرکت و کاهش سرعت، در بعضی مواقع، به اجبار صورت می‌گیرد. سرعت در این حالت حدود ٦۰km/h است.

کیفیت پنج: در این حالت، حداکثر سرعت به ۵۰km/h می‌رسد و میزان تردد گاهی از ظرفیت جاده تجاوز می‌کند، در نتیجه، سفر توام با تاخیر نسبتا زیاد صورت می‌گیرد که در اثر تراکم ترافیک است.

رابطه بین حداکثر حجم سرویس و کیفیت تردد در مقاطع تغییر خط در جدول (۲-۱۹) آمده است.

جدول ۱-۲۵ رابطه بین کیفیت تردد و حداکثر حجم سرویس در مقاطع تغییر خط (شاهی، ۱۳۸۵)

کیفیت تردد	حداکثر حجم سرویس یک خط (P.C.U/h)
یک	۲۰۰۰
دو	۱۹۰۰
سه	۱۸۰۰
چهار	۱۷۰۰
پنج	۱۶۰۰

۱-۱۰- شناسایی و تحلیل عوامل تاثیرگذار بر عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای در شرایط عادی و روش‌های مربوطه

تحلیل شبکه‌ها[۱] از سال‌های قبل نقش مهمی در مهندسی برق داشته است. در چند دهه اخیر، به‌تدریج این شناخت به‌وجود آمد که برخی از مفاهیم و ابزارهای نظریه شبکه‌ها در زمینه‌های دیگر نیز کاربرد دارند. برای نمونه- مفهوم شبکه‌ها در نظریه اطلاعات[۲]، سایبرنتیک[۳]، حمل و نقل، برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌های تحقیقات و توسعه[۴] به طرز چشمگیری به‌کار گرفته شد. از جمله کاربردهای دیگر آن، بررسی ساختار گروه‌های اجتماعی، سیستم‌های مخابرات، برنامه‌زمانبندی تولید[۵]، و ساختار زبان[۶] است. در نتیجه، برخی از مفاهیم نظریه شبکه‌ها (که عموما نظریه جریان در

۱ Network Analysis

۲ Information Theory

۳ Cybernetics

۴ Research and developement

۵ Production Scheduling

۶ Language Structure

شبکه‌ها[1] خوانده می‌شود) به‌عنوان ابزاری کارآمد در تحقیق در عملیات توسعه یافت.

یکی از مسائل اصلی نظریه شبکه‌ها، که بخصوص در بررسی سیستم‌های حمل‌ونقل مطرح می‌شود، به‌دست آوردن کوتاه‌ترین فاصله[2] در یک شبکه است. مساله دیگر، انتخاب مجموعه خطوط رابط بین نقاط شبکه است به‌طوری‌که ارتباط بین همه نقاط برقرار گردد و در عین حال مجموع طول این خطوط رابط نیز حداقل باشد. مساله دیگر به تخصیص جریان در شاخه‌های شبکه مربوط می‌گردد. به‌نحوی که مجموع جریانی که از مبدا به مقصد انتقال می‌یابد حداکثر گردد. برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌ها چهارمین مضمونی است که در چهارچوب نظریه شبکه‌ها بررسی می‌شود. در این رابطه، به‌ویژه پرت (فن ارزیابی و مرور برنامه)[3] و سی‌پی‌ام (روش مسیر بحرانی)[4] اهمیت زیادی دارند.

۱-۱۰-۱ واژه‌های نظریه شبکه

مجموعه‌ای از نقاط اتصال (موسوم به گره[5]) و همچنین مجموعه خطوطی که هر دو گره را به‌هم متصل می‌سازند (موسوم به شاخه[6]) یک گراف[7] خوانده می‌شود. شبکه، گرافی است که در شاخه‌های آن نوعی جریان برقرار باشد. سیستم‌های زیادی را می‌توان نام برد که تعریف شبکه در مورد آن‌ها صادق است. برخی از این نمونه‌ها در جدول (۲-۲۰) ارائه گردیده است.

---

۱ Network Flow Theory

۲ Shortest Route

۳ PERT (Program Evaluation and Review Technique)

٤ C.P.M (Critical Path Method)

٥ Node

٦ Branch

٧ Graph

جدول ۱-۲۶ اجزاء شبکه‌های شیوه‌ای

گره‌ها	شاخه‌ها	جریان
تقاطع‌ها	جاده‌ها	وسائل‌نقلیه
فرودگاه‌ها	خطوط هوایی	هواپیما
مراکز مخابرات	سیم‌ها و کانال‌ها	پیام‌های مخابراتی
تلمبه‌خانه‌ها	لوله‌ها	سیالات
ایستگاه‌های کار	مسیرهای حرکت مواد	کارها

واژه‌های دیگری نیز برای تشریح گراف توسعه یافته‌اند. رشته‌ای از شاخه‌ها که دو گره را به‌هم متصل می‌کنند یک زنجیره[۱] نامیده می‌شوند. مسیر[۲] عبارت از زنجیره‌ای است که جهت حرکت در آن معلوم باشد. چرخه[۳]، زنجیره‌ای است که گرهی را به‌خودش مرتبط می‌سازد.

هرگاه بتوان هر دو گره دلخواه یک گراف را با زنجیره‌ای به‌هم متصل ساخت، آن‌را گراف متصل[٤] می‌گویند. براساس یکی از قضایای نظریه گراف، گرافی با n گره در صورتی متصل است که دارای (n-1) شاخه و فاقد هرگونه چرخه‌ای باشد (که در این‌صورت یک درخت است). گرافی با این مشخصات را درخت دربرگیرنده می‌نامند.

یک شاخه گراف در صورتی جهت‌دار[٥] خوانده می‌شود که مفهوم جهت را در بطن خود داشته باشد، به‌طوری‌که یک گره آن‌را بتوان به‌عنوان مبدا و گره دیگر را به‌عنوان مقصد منظور نمود. یک گراف جهت‌دار گرافی است که تمام شاخه‌های آن جهت‌دار باشد. اگر گراف جهت‌دار یک شبکه باشد، جهت شاخه‌ها نشان دهنده

---

۱ Chain

۲ Path

۳ Cycle

٤ Connected graph

٥ Directed or Oriented

جهت موجه[۱] جریان در شاخه است. لیکن، هر شبکه‌ای لزوما یک گراف جهت‌دار نیست، زیرا ممکن است که جریان دوطرفه نیز در شاخه‌ها میسر باشد. ظرفیت جریان[۲] یک شاخه در یک جریان معین، عبارت از بیشترین مقدار جریان یا نرخ جریانی[۳] است که در آن شاخه و در همان جهت می‌تواند عبور کند. ظرفیت جریان یک شاخه می‌تواند هر عدد غیرمنفی، و از جمله بی‌نهایت باشد. شاخه‌ای را جهت-دار می‌گویند که ظرفیت جریان در یک جهت آن برابر صفر باشد. گاهی یک گره نیز ظرفیتی محدود دارد، ولی از بحث درباره آن صرفنظر می‌کنیم.

در یک شبکه، گرهی چشمه[٤] خوانده می‌شود که در تمام شاخه‌های متصل به آن گره، جریان در جهت دور شدن باشد. به‌طریق مشابه، چنانچه جهت همه شاخه‌های متصل به گرهی به طرف آن گره باشد، آن را چاه[٥] می‌نامند. بنابراین– چشمه‌ها مولد جریان و چاه‌ها جاذب آن هستند.

آسیب پذیری[٦] شبکه راه‌ها: می‌توان از دیدگاه‌های متفاوتی آسیب‌پذیری شبکه را بررسی نمود. یک دیدگاه، از نظر ایمنی شبکه بوده و دیدگاه دیگر، از نظر دسترسی شبکه است. در دیدگاه دوم می‌توان بجای ظاهر فیزیکی شبکه، بر عملکرد آن تاکید بیشتری داشت، اگرچه بسیاری از عدم دسترسی‌ها بعلت قطع فیزیکی راه است. آسیب‌پذیری شبکه حمل‌ونقل عبارتست از قابلیت وقوع حوادثی که می‌تواند باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در خدمت‌پذیری شبکه گردد. این حوادث می‌توانند قابل پیش‌بینی و یا غیرقابل پیش‌بینی، عمدی و یا سهوی، طبیعی و یا توسط بشر باشند.

---

۱ Feasible

۲ Flow Capacity

۳ Flow Rate

٤ Source

٥ Sink

٦ Vulnerability

دسترسی[۱] شبکه: از واژه دسترسی، مفهوم "سهولت رسیدن" برداشت می‌شود و مربوط است به میزان شانس فراهم شده توسط شبکه برای استفاده‌کننده، بمنظور رفتن از مبدا به مقصد مورد نظر.

خدمت‌پذیری[۲] شبکه: خدمت‌پذیری شبکه/ مسیر/ کمان بیان‌کننده میزان احتمال قابلیت استفاده از یک شبکه/ مسیر/ کمان در زمانی خاص است.

ریسک: هر ریسکی شامل دو بخش است:

۱. احتمال رخ دادن یک حادثه[۳]

۲. نتایج حاصل از وقوع حادثه

یک حادثه، رویدادی است که می‌تواند بطور مستقیم و یا غیرمستقیم باعث کاهش یا قطع خدمت‌پذیری یک شبکه/ مسیر/ کمان شود. همچنین، ارزیابی عوامل گوناگون موثر بر احتمال رخ دادن یک حادثه و نتایج حاصل از آن، به نوع دیدگاه بستگی دارد؛ بدین معنی که تصمیم‌گیران و استفاده‌کنندگان از شبکه، درک متفاوتی از ریسک دارند. جنبه زمان و مکان ریسک نیز اهمیت زیادی دارد؛ بطوری‌که ریسک‌های زمان نزدیک و در محل نزدیک مهم‌تر هستند.

قابلیت اعتماد[٤] شبکه: مفهوم کلی قابلیت اعتماد این است که وسیله مورد نظر، وظیفه خود را بطور مناسب و کافی برای برهه زمانی مورد نظر، تحت شرایطی که با آن مواجه می‌شود انجام دهد. قابلیت اعتماد شبکه بعنوان مکمل آسیب‌پذیری

---

۱ Accessibility

۲ Serviceability

۳ Incident

٤ Reliability

شبکه می‌باشد. قابلیت اعتماد شبکه این است که شبکه بتواند خدمت‌پذیری مناسبی را در برهه زمانی مناسب و تحت شرایط مواجه شده با آن ارائه دهد.

تنومندی[۱] شبکه: عبارتست از قابلیت یک شبکه برای مقاومت در برابر حادثه. این تعریف، دقیقا عکس تعریف آسیب پذیری شبکه است.

قابلیت ارتجاعی[۲] (بازگشت پذیری) شبکه: عبارتست از توانایی یک شبکه برای بازگشت به حالت عادی پس از وقوع حادثه. بنابراین، این واژه با پایداری مرتبط بوده و دوعامل مهم دارد:

۱. مقدار حداکثر تغییراتی که پس از وقوع آنها، سیستم امکان بازیابی خود را هنوز داشته باشد.

۲. سرعت بازیابی.

نامعینی[۳] شبکه: وجود تعداد زیادی مسیر و یا امکانات حمل و نقلی بین مبدا–مقصدهای گوناگون می‌تواند باعث کاهش نتایج نامطلوب حاصل از وقوع حادثه در بخشی از شبکه گردد. این مسئله، عامل بسیار مهمی در ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل است. اگر در شرایط عادی نیز از این نامعینی استفاده شود (ترافیک در مسیرهای گوناگون در روزهای مختلف پخش باشد)، این نامعینی فعال بوده و اگر در شرایط عادی از آن‌ها استفاده نشود و فقط در مواقع بحران از آن‌ها بهره برده شود، نامعینی منفعل است.

---

۱ Robustness

۲ Resilience

۳ Redundancy

۱-۱۰-۲- مساله کوتاهترین مسیر

شبکه‌ای را در نظر بگیرید که طول شاخه‌های آن غیرمنفی و معلوم باشد. مساله کوتاهترین مسیر در این چنین شبکه‌ای به‌منظور تعیین بهترین مسیری که کوتاهترین مسافت بین دو گره مبدا و مقصد را در یک شبکه ارائه می‌کند، بکار گرفته می‌شود. هرچند روش‌ها و الگوریتم‌های متعددی برای حل این مساله پیشنهاد شده ولی شاید ساده‌ترین روش این باشد که بایستی از مبدا شروع نموده، سپس به‌ترتیب گره‌هایی که به مبدا نزدیک‌ترند مشخص شوند. پس از رسیدن به گره مقصد، جواب مساله به‌دست می‌آید. C_{ij} برای هر شاخه بیانگر میزان مسافت، هزینه و یا زمان طی‌شده، بین دو گره i تا j می‌باشد.

مساله کوتاهترین مسیر در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی به‌صورت زیر فرموله می‌شود:

$$Minimize\ Z = \sum_i \sum_{j \neq i} C_{ij} X_{ij} \qquad (۱-۱۶)$$

اگر j مبدا باشد.

$$s.t.:\ \sum_{k \neq j} X_{ij} - \sum_{k \neq j} X_{kj} = 1 \qquad (۱-۱۷)$$

اگر j نه مبدا و نه مقصد باشد.

$$\sum_{k \neq j} X_{ij} - \sum_{k \neq j} X_{kj} = 0 \qquad (۱-۱۸)$$

اگر j مقصد باشد.

$$St: \sum_{k \neq j} X_{ij} - \sum_{k \neq j} X_{kj} = -1$$

$$0 \leq X_{ij}$$

مدل فوق بدون درنظر گرفتن جهت شاخه‌ها، ارائه گردیده است. در هر شاخه، جریان از j به k و از k به j می‌تواند منتقل شود. اگر برگشت جریان از k به j میسر

نباشد آن‌گاه X_{kj} مساوی صفر خواهد شد (مهرگان، ۱۳۸٤ و مدرس و آصف‌وزیری، ۱۳۷۰).

۱-۱۰-۳- مساله کوتاهترین درخت دربرگیرنده

در اینجا شکل دیگری از مساله کوتاهترین مسیر، موسوم به کوتاهترین درخت دربرگیرنده بررسی می‌شود. "شبکه درختی" مجموعه‌ای از گره‌ها و فواصل بین آن-هاست که شاخه‌های متصل‌کننده بین گره‌ها مشخص نیست. بنابراین، بجای پیدا کردن کوتاهترین مسیر در شبکه‌ای کاملا مشخص، هدف انتخاب شاخه‌های متصل-کننده گره‌ها به‌منظور ایجاد مسیری که مجموع طول شاخه‌ها را حداقل نموده و فاقد حلقه بوده (درخت تشکیل دهد)، می‌باشد. هدف در این مساله عبارتست از ساختن شبکه‌ای متصل شده که در برگیرنده تمامی گره‌ها بوده و مجموع فاصله (هزینه‌ها، زمان‌ها،...) را در شبکه حداقل نماید.

تفاوت مساله کوتاهترین مسیر و حداقل درخت دربرگیرنده این است که در مساله کوتاهترین مسیر، بعضی از گره‌های شبکه در مسیر قرار می‌گیرند که نهایتا کوتاهترین مسیر در شبکه را معین می‌نمایند، در صورتی که در مساله حداقل درخت دربرگیرنده، درخت کلیه گره‌های شبکه را می‌پوشاند.

مسئله کوتاهترین درخت دربرگیرنده را می‌توان با روشی ساده حل کرد. در حل این مساله یکی از گره‌ها برای شروع حرکت انتخاب می‌شود. در اولین قدم، کوتاهترین شاخه‌ای انتخاب می‌شود که این گره را به یکی دیگر از گره‌ها متصل نماید. در هنگام انتخاب چنین شاخه‌ای، نباید از تاثیر این انتخاب بر تصمیم‌های دیگر نگران بود، زیرا حرکت از هر کجا که شروع شود، جواب بهینه تغییر نخواهد کرد. در قدم بعدی، یکی از گره‌هایی که هنوز مرتبط نشده و دارای نزدیکترین فاصله به یکی از گره‌های مرتبط شده است را مشخص کرده، آن‌را با افزودن شاخه‌ای به شبکه متصل می‌نماییم. این عمل به ترتیبی که در زیر خلاصه شده است، آنقدر

تکرار می‌شود تا همه گره‌ها مرتبط گردند. شبکه حاصل یقینا همان کوتاهترین درخت دربرگیرنده مورد نظر است.

خلاصه الگوریتم مساله کوتاهترین درخت دربرگیرنده

۱- یک گره را به‌طور دلخواه انتخاب و آن‌را به نزدیکترین گره مجاور متصل کنید.

۲- از بین گره‌های غیرمرتبط، نزدیک‌ترین آن‌ها را به گره‌های مرتبط مشخص کرده و این دو گره را به‌هم متصل کنید. این عمل آن‌قدر تکرار می‌شود تا همه گره‌ها به‌هم مرتبط گردند (مهرگان، ۱۳۸٤ و مدرس و آصف‌وزیری، ۱۳۷۰).

۱-۱۰-٤- مساله بیشترین جریان

با بهره‌گیری از واژه‌هایی که قبلا ارائه گردید، مساله بیشترین جریان را می‌توان به‌ترتیب زیر تشریح کرد. شبکه مرتبطی را در نظر بگیرید که در آن تنها یک چشمه و یک چاه وجود دارد. فرض کنید که بقای جریان[۱] در همه گره‌ها به استثنای گره-های چشمه و چاه برقرار باشد (یعنی مجموع جریان ورودی گره با مجموع جریان خروجی آن مساوی باشد). مقدار جریان در شاخه (i,j)، از گره i به گره j، را مقداری غیر منفی درنظر بگیرید که از ظرفیت مجاز این شاخه، c_{ij}، بیشتر نباشد. هدف مساله تعیین الگوی عبور جریان از شبکه است به‌طوری که بیشترین جریان ممکن، از مبدا به مقصد بگذرد.

مساله بیشترین جریان را می‌توان در قالب یک مساله برنامه‌ریزی خطی فرموله کرد و جواب آن‌را به‌کمک روش سیمپلکس به‌دست آورد. لیکن، رویه حلی وجود دارد که کارائی آن در مورد این مساله بیش از روش سیمپلکس است. اجمالاً، در این

۱ Conservation of Flow

رویه یک مسیر از مبدا به مقصد انتخاب می‌شود، و حداکثر جریان ممکن به آن اختصاص می‌یابد. این عمل تا آنجا ادامه پیدا می‌کند که دیگر ظرفیت مثبت برای هیچ مسیری باقی نماند (ظرفیت جریان در هر مسیر، برابر است با کمترین ظرفیت باقی‌مانده در هریک از شاخه‌های آن مسیر، و در واقع حداکثر جریان موجهی که می‌تواند به آن مسیر اختصاص یابد را نشان می‌دهد). از آنجا که این نوع انتخاب مسیرها و تخصیص جریان به آن‌ها، از ضابطه مشخصی پیروی نمی‌کند، ممکن است مانع رسیدن به جواب‌های بهتر گردد، لذا بایستی اصلاحاتی در آن به‌عمل آورد، بدین معنی که بتوان در صورت لزوم، تخصیص‌های قبلی را ملغی کرد تا برای تخصیص‌های بهتر جا باز شود. این عمل با فراهم آوردن امکان حرکت در جهت غلط شاخه‌ها (یعنی جهت‌هایی که ظرفیت جریانی آن‌ها مساوی صفر است) انجام می‌گردد، و نتیجه این می‌شود که از قسمتی، یا تمام جریانی که قبلاً در جهت صحیح ایجاد شده است صرفنظر گردد. برای فراهم آوردن این امکان، هرگاه به شاخه‌ای مقداری جریان اختصاص داده شود (که ظرفیت جریان در آن کاهش می‌یابد)، در همان حال ظرفیت جریان آن شاخه در جهت مخالف به همان مقدار افزایش داده می‌شود. بنابراین، رویه تکرار حل این مساله شامل سه قدم است که در زیر خلاصه می‌گردد.

خلاصه الگوریتم مساله بیشترین جریان

۱- مسیری را از مبدا به مقصد پیدا کنید که ظرفیت جریان در آن مثبت باشد. چنانچه چنین مسیری وجود نداشته باشد، جریان خالص فعلی همان الگوی بهینه جریان است.

۲- در طول این مسیر شاخه‌ای را بیابید که دارای حداقل ظرفیت باقیمانده باشد، این ظرفیت را با c^* مشخص کنید. میزان جریان در آن مسیر را به‌اندازه c^* افزایش دهید.

۳- از ظرفیت باقمانده شاخه‌های آن مسیر به‌اندازه *c بکاهید و در مقابل، ظرفیت شاخه‌ها را در جهت مخالف به اندازه *c افزایش دهید. به قدم ۱ بازگردید (مدرس و آصف‌وزیری، ۱۳۷۰).

عملکرد مناسب شبکه در ارتباط مستقیم با میزان دسترسی و امکان برقرای ارتباط با فعالیت‌های مختلف است. لذا برای بررسی دقیق‌تر نحوه عملکرد شبکه، درنظر گرفتن پارامترهای گوناگون مؤثر بر عملکرد آن ضروری است.

از شاخصه‌های مهم عملکردی یک شبکه می‌توان به مسائل کوتاهترین مسیر، کوتاهترین درخت دربرگیرنده و بیشترین جریان در شبکه اشاره نمود. در شرایط بحرانی، برخی از کمان‌ها حذف شده و یا با افت ظرفیت روبرو می‌شوند، و لذا دسترسی به برخی نقاط شبکه ممکن است بطور کامل از بین برود و در این حالت شاخصه‌های مهم عملکردی و ویژگی‌های اساسی شبکه (شکل و ساختار شبکه، راه-های جایگزین، حجم ترافیک عبوری از مسیرهای شبکه و...) دست‌خوش تغییر و تحول می‌گردد. در این‌چنین شرایطی وجود و یا عدم وجود راه‌های جایگزین نقش بسیار مهمی در ارزیابی کارایی شبکه ایفا می‌کند. اهمیت مسیرهای جایگزین هنگامی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد که مسیر آسیب‌دیده دارای المان‌های سازه‌ای آسیب‌پذیر مانند پل باشد. در این نوع مسیرها، بایستی معبر جایگزین که بتواند بخشی از ترافیک مسیر را در هنگام بحران از خود عبور دهد، مدنظر قرار بگیرد لذا در برخی شرایط حتی ممکن است عملکرد شبکه با مشکل اساسی روبرو شود و شبکه نتواند ارتباط بین نقاط مختلف آسیب‌دیده را فراهم نماید، ولی بهرحال متدولوژی و فرمولاسیون مساله در حالت وقوع چنین شرایطی نیز مشابه شرایط عادی است و تنها داده‌های مساله متفاوت می‌شود.

۱-۱۱- شناسایی و تحلیل برآوردهای بین‌المللی از میزان تاثیر بحران بر ظرفیت راه‌ها و روش‌های مربوطه

بحران در حمل و نقل در واقع حادثه‌ای است که به صورت ناگهانی یا فزاینده بر روی شبکه حمل ونقل رخ می‌دهد و موجب بروز آسیب‌های گسترده مالی و انسانی می‌گردد و یا حادثه‌ای است ناگهانی که در پی آن به علت عملکرد نامطلوب شبکه حمل و نقل زمینه ساز آسیب‌های گسترده مالی یا انسانی می‌گردد و در هر دو حالت نیازمند انجام اقدامات اضطراری می‌باشد.

حوادث به صورت کلی کمیاب و تصادفی هستند و تاثیرات آن‌ها بر راه‌ها بسته به شدت آن‌ها متفاوت خواهد بود. از یک دیدگاه احتمالی در جهت تخمین تاثیر آن‌ها بر تاخیر متوسط استفاده می‌شود. حاصل‌ضرب میزان تاخیر مربوط به حادثه (در صورت رخداد یک حادثه) در حین هر ساعت از سال ضرب در احتمال رخداد حادثه در حین آن ساعت می‌تواند مقدار مورد انتظار تاخیر را برای هر ساعت تعیین کند (TRB, 2000).

۱-۱۱-۱- تاثیر حوادث بر ظرفیت راه‌ها

به طور کلی، کاهش ظرفیت ناشی از حوادث به صورت غیرخطی با انسداد فیزیکی خطوط تغییر می‌کند. جدول (۲-۲۱) نشان‌دهنده میزان کاهش ظرفیت با توجه به آیین‌نامه HCM 2000 است.

جدول ۱-۲۷ میزان کاهش ظرفیت آزادراه با توجه به تعداد خطوط مسدودشده ناشی از حوادث (درصد) (TRB, 2000).

نوع حادثه	موقعیت	تعداد خطوط/ جهت				
		۱	۲	۳	۴	۵+
تصادف	شانه	۷ ۹	۸۱	۸۳	۸۵	۸۷
	یک‌خط	۰	۳۵	٤۹	۵۸	٦۵

	چندخطه	–	۰	۱۷	۲۵	٤۰
شکست ترافیکی	شانه	۹ ۲	۹۵	۹۸	۹۸	۹۸
	یک‌خط	۰	۳۵	٤۹	۵۸	٦۵
	چندخطه	–	۰	۱۷	۲۵	٤۰
ضایعات	شانه	۹ ۲	۹۵	۹۸	۹۸	۹۸
	یک‌خط	۰	۳۵	٤۹	۵۸	٦۵
	چندخطه	–	۰	۱۷	۲۵	٤۰

مقادیر ظرفیت در این جدول برای طول مدت زمان حادثه است. برای حوادثی که کمتر از یک ساعت طول می‌کشند، ظرفیت کاهش یافته برای کل ساعت به عنوان متوسط وزنی ظرفیت در زمان حادثه و ظرفیت در شرایط قبل و بعد از آن اتفاق می‌افتد (Cambridge Systematics, 1998).

(۲۱-۲)

$$C(I,S) = C(I=0,S)\times(1-t(I)) + C(I=0,S)\times R(I,S)\times t(I)$$

که در آن:

C(I,S): ظرفیت متوسط یک ساعته یک مقطع برای حادثه نوع I (vph)

C(I=0,S): ظرفیت مقطع تحت شرایط عملکردی نرمال (vph)

t(I): متوسط طول مدت زمان حادثه نوع I

R(I,S): درصد ظرفیت باقی‌مانده در حین حادثه نوع I برای مقطع S

تفاوت تاخیر غیرعادی محاسبه شده و تاخیر عادی، میزان تاخیری است که با توجه به نوع حادثه در حین هر ساعت مورد مطالعه اتفاق می‌افتد. این نتیجه در احتمال رویداد آن حادثه با توجه به نوع آن ضرب شده تا میزان تاخیر مورد نظر به دلیل بروز حادثه مربوطه بدست آید.

(۲۲-۲)

$$D_{dt}(I) = \sum_{H,S}^{24} E(I,H,S)\times VMT(H,S)\times[TT(I,H,S) - TT(I=0,H,S)]$$

که در آن:

E(I,H,S): تعداد قابل انتظار از حوادث نوع I در طول ساعت H روی مقطع S

VMT(H,S): میزان خودرو – مایل طی شده بر روی مقطع S در حین ساعت H

TT(I,H,S): متوسط زمان سفر تخمینی برای مقطع S در طول ساعت H اگر حادثه نوع I واقع شده باشد.

TT(I=0,H,S): متوسط زمان سفر تخمینی برای مقطع S اگر هیچ حادثه‌ای رخ نداده باشد.

۱-۱۱-۲- روش دوم تعیین تاخیر ناشی از حوادث

روش جایگزینی برای محاسبه تاخیر ناشی از حوادث با استفاده از روش شبیه-سازی ماکروسکوپیک و مشخصات حوادث در جهت توسعه مدل‌های جدیدی انجام گرفته که تاخیر ناشی از حوادث را به عنوان تابعی از پارمترهای ذیل محاسبه می‌کند:

۱. تعداد خطوط آزادراه،
۲. تراکم اولیه (AADT/C)،
۳. نرخ حادثه،
٤. نرخ تصادف،
۵. طول زمان حادثه، و
٦. وجود شانه.

مدل ماکروسکوپیک صف‌بندی که برای توسعه و پیشبرد اطلاعات و بکارگیری آنها در مدل استفاده شده است، ساختاری تصادفی دارد و با آزمایش یک کمان آزمایشی، امکان رویداد حادثه و مشخصات آن‌ها را با توجه به توزیعات داده‌های بکاررفته نشان می‌دهد. در این شرایط، مدل تاثیر تجمعی وقوع حوادث و نه تاثیر وقوع تنها یک حادثه را شبیه‌سازی می‌کند. این مطالعه، اساس معادلات تاخیر

حوادث که توسط مدل سیستم اقتصادی بزرگراهی FHWA بکار می‌رود را تشکیل می‌دهد.

این روش همچنین شامل معادلاتی برای تاخیر گلوگاه‌های ترافیک است. این روش بجای مقاطع جزیره‌ای برای استفاده در آزادراه‌ها بکار برده می‌شود. بنابراین برای ارزیابی عملکرد مقاطع آزادراه‌ها مناسب هست (Cambridge Systematics, 1998):

زمان سفر آزادراه در ساعت اوج بدون درنظر گرفتن صف (تعداد ساعت به ازای خودرو – مایل):

$$H_u = 1/Speed = (1/S_{ff})(1 + 1.2E-11 \times X^{10}) \; for X \le 8$$

(۲۳-۲)

میزان تاخیر آزادراهی روزانه بسته به صف ایجاد شده روزمره (ساعت به ازای خودرو به ازای گلوگاه)

میزان تاخیر روزمره

$$H_r = 0$$

(۱۸-۱)

$$H_r = 4.69 \times 10^{-3} \times (X-8) - 1.5 \times 10^{-3} \times (X-8)^2 + 6.99 \times 10^{-4} \times (X-8)^3 \; for X \succ 8$$

تاخیر روزانه آزادراه به دلیل حوادث بر دو خط آزادراه (ساعت به ازای خودرو – مایل)

(۱۹-۱)

$$Hi = IncRate \times DurFac^2 \times (1 + 4.22(1 - Sfac)^{1.05}) \times 3.98 \times 10^{-6} \times X^{4.39E-01} \times e^{5.32E-01X} \; for X \ge 8$$

(۲۰-۱)

$$Hi = IncRate \times DurFac^2 \times (1 + 4.22(1 - Sfac)^{1.05}) \times 1.89 \times 10^{-9} \times X^{6.89} \times e^{-1.89E-1X}$$

که در آن:

X: نسبت AADT/C (۰ تا ۱۸)

AADT: متوسط تردد روزانه در سال

C: ظرفیت آزادراه (بطور ثابت 2400 pc/h/ln در نظر گرفته می‌شود)

S_{ff}: سرعت جریان آزاد (60 mph)

Inc Rate: فاکتور نرخ حادثه (نرخ حادثه هدف/نرخ حادثه مورد نظر)

Sfac: فاکتور شانه (۱ برای شانه‌های مورد استفاده در هر دو طرف، ۰/۵ برای شانه قابل استفاده فقط برای یک طرف، ۰ وقتی که هیچ شانه‌ای مورد استفاده نباشد)

Acc Rate: فاکتور نرخ تصادف (نرخ تصادفات هدف/ نرخ تصادفات درنظر گرفته شده)

تحقیق حاجی‌حسینلو و هدایت: در این تحقیق (حاجی‌حسینلو و هدایت، ۱۳۸۵)، میزان کاهش ظرفیت راه‌ها پس از وقوع زلزله‌ای فرضی در پنج شهر بدست آمده است. فرض براین است که این شهرها همگی در مناطق کوهستانی واقع شده‌اند و پس از وقوع زلزله، به‌علت ریزش سنگ، جاده‌های بین این شهرها دچار خرابی و کاهش ظرفیت می‌گردند. شبکه ارتباطی این پنج شهر از آزادراه و بزرگ‌راه تشکیل شده‌است. آزادراه مذکور دارای چهار باند با سرعت مجاز ٦٠ مایل در ساعت دارای دوباند در هرطرف به‌عرض ۱۲ فوت، شانه به‌عرض ٦ فوت و فاصله گاردریل با لبه آسفالت ۲ فوت در هر سوی رفت و برگشت است و همچنین بزرگراه دوبانده با سرعت مجاز ۵۰ مایل در ساعت، دارای یک باند در هر طرف به‌عرض ۱۲ فوت و شانه به‌عرض ٦ فوت در هر دوسوی رفت و برگشت است و در هیچ‌کدام از این مسیرها پل و تونل وجود ندارد. میزان شدت خرابی پس از وقوع زلزله بعد از تطبیق نوع خرابی‌ها با جدول (۲-۲۲) تعیین و سپس با استفاده از نرم‌افزار HCS۱/٤ میزان ظرفیت راه‌ها و همین‌طور میزان کاهش ظرفیت آن‌ها در جدول‌های (۲-۲۳) و (۲-۲٤) آورده شده است.

جدول ۱-۲۸- شدت خرابی پس از زلزله

شدت خرابی	در آزادراه چهار بانده	در بزرگ‌راه دوبانده
حالت (۰)	شرایط قبل از زلزله و عدم خرابی	شرایط قبل از زلزله و عدم خرابی
حالت (۱)	تخریب کامل شانه‌ها بعد از زلزله	خرابی شانه‌ها به‌اندازه ۳ فوت (تبدیل شانه از ٦ به ۳ فوت) بعد از زلزله
حالت (۲)	تخریب کامل شانه‌ها و نفوذ خرابی به درون جاده و محدود کردن عرض خطوط از ۱۲ به ۱۱ فوت	تخریب کامل شانه‌ها
حالت (۳)	تخریب کامل شانه‌ها و نفوذ خرابی به درون جاده و محدود کردن عرض خطوط از ۱۲ به ۱۰ فوت	تخریب کامل شانه‌ها و نفوذ خرابی به درون جاده و محدود کردن عرض خطوط از ۱۲ به ۱۰ فوت

حالت (٤)	تخریب کامل شانه‌ها و نفوذ خرابی به درون جاده و محدود کردن عرض خطوط از ۱۲ به ۹ فوت	تخریب کامل شانه‌ها و نفوذ خرابی به درون جاده و محدود کردن عرض خطوط از ۱۲ به ۱۰ فوت
حالت (۵)	تخریب کامل شانه‌ها و نفوذ خرابی به درون جاده و تخریب کامل یک خط ۱۲ فوتی	تخریب کامل شانه‌ها و نفوذ خرابی به درون جاده و تخریب کامل یک خط ۱۲ فوتی

جدول ۱-۲۹- ظرفیت آزادراه و کاهش آن پس از زلزله

درصد خرابی	کاهش ظرفیت (pcph)	ظرفیت (pcph)	شدت خرابی
ضمیمه أ - ۰	ضمیمه ب - ۰	ضمیمه ج - ۲ ۷۷۱	ضمیمه د - حالت (۰)
ضمیمه ه - ۱ ۵	ضمیمه و - ٤ ۱۰	ضمیمه ز - ۲ ۳٦۱	ضمیمه ح - حالت (۱)
ضمیمه ط - ۲ ۰	ضمیمه ی - ۵ ۸۵	ضمیمه ک - ۲ ۱۸٦	ضمیمه ل - حالت (۲)
ضمیمه م - ۳ ۰	ضمیمه ن - ۸ ۲۸	ضمیمه س - ۱ ۹٤۳	ضمیمه ع - حالت (۳)
ضمیمه ف - ٤ ۵	ضمیمه ص - ۱ ۲۵۰	ضمیمه ق - ۱ ۵۲۱	ضمیمه ر - حالت (٤)
ضمیمه ش - ٦ ۰	ضمیمه ت - ۱ ٦۷۸	ضمیمه ث - ۱ ۰۹۳	ضمیمه خ - حالت (۵)

جدول ۱-۳۰- ظرفیت بزرگراه و کاهش آن پس از زلزله

درصد خرابی	کاهش ظرفیت (pcph)	ظرفیت (pcph)	شدت خرابی
ضمیمه ذ - ۰	ضمیمه ض - ۰	ضمیمه غ - ۱ ۵۸۸	ضمیمه ظ - حالت (۰)
ضمیمه أأ - ٤	ضمیمه ب‌ب - ۸ ۰	ضمیمه چ‌چ - ۱ ۵۰۸	ضمیمه دد - حالت (۱)
ضمیمه هه - ۱ ۱	ضمیمه وو - ۱ ۹۱	ضمیمه زز - ۱ ۳۹۷	ضمیمه حح - حالت (۲)
ضمیمه طط - ۲ ۵	ضمیمه ی‌ی - ۳ ۹۷	ضمیمه ک‌ک - ۱ ۱۹۱	ضمیمه لل - حالت (۳)
ضمیمه مم - ۳ ٤	ضمیمه نن - ۵ ٤۰	ضمیمه س‌س - ۱ ۰٤۸	ضمیمه ع‌ع - حالت (٤)
ضمیمه ف‌ف - ۵ ۷	ضمیمه ص‌ص - ۹ ۰۵	ضمیمه ق‌ق - ٦ ۸۳	ضمیمه رر - حالت (۵)

۱-۱۲- شناسایی و تحلیل برآوردهای بین‌المللی از میزان تاثیر بحران بر عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای و روش‌های مربوطه

تجربه نشان داده است که پس از وقوع یک سانحه همانند زلزله، سیل، آتش سوزی، یا تغییرات شدید جوی، علاوه بر حبس شدن در محل سانحه، مشکلات متفاوتی چون آسیب و انهدام مناطق مسکونی، ساختمان‌ها، سازه‌ها و تاسیسات زیر بنایی، مخصوصاً پل‌ها و جاده‌ها، خطوط راه‌آهن و مخازن آب و خطوط انتقال برق به وقوع می‌پیوندد. وقوع چنین حوادثی معمولاً اثرات قابل ملاحظه‌ای را بر کاهش عملکرد شبکه دسترسی مجاور خود خواهند داشت. امروزه سیاست کلی اکثر سازمان‌های حمل و نقل و ترافیک در دنیا، ایجاد شبکه‌ای ایمن، با کیفیت بالا، مقرون بصرفه برای انتقال مسافر و بار است. حوادث و بلایای طبیعی، آثار بسیار زیانباری در زمینه‌های گوناگون (اقتصادی، اجتماعی و...) برای انسان دارند. عملکرد

زیرساخت‌های مهمی چون شبکه‌های راه، آب، برق، گاز و تلفن می‌تواند در اثر وقوع حوادث گوناگون طبیعی و غیرطبیعی تحت تاثیر قرار گیرد. زلزله‌های سال‌های اخیر در دنیا، آسیب‌پذیری لرزه‌ای سیستم‌های حمل و نقل را نمایان کرده است. بخش عمده‌ای از خسارات اقتصادی ناشی از زلزله، در اثر آسیب دیدن سیستم حمل و نقل است. برای مثال، از ٦/٥ میلیارد دلار خسارات برآورد شده ناشی از زلزله سال ١٩٩٤ در Northridge در لس‌آنجلس، تقریبا ١/٥ میلیارد دلار از آن به سیستم حمل و نقل نسبت داده شده است.

شبکه راه‌ها در معرض آسیب‌های متعددی قرار دارند که می توان آن‌ها را به دو دسته کلی زیر تقسیم کرد:

١. آسیب‌ها و بحران‌های طبیعی: زلزله، شرایط بد جوی (سیل، طوفان، برف و یخ-بندان)
٢. آسیب‌های غیرطبیعی: تعمیرات راه‌ها و همچنین تصادفات شدیدی که باعث مسدود شدن راه‌ها می‌شوند.

"مدیریت بحران" روندی چند مرحله‌ای است که با اقدامات قبل از وقوع بحران بمنظور کاهش خسارات وارده شروع شده و به اقدامات پس از وقوع بحران و بازسازی ختم می‌شود.

در این بخش به بررسی و مرور کارهای انجام گرفته در رابطه با اثر بحران‌های طبیعی بر عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای پرداخته خواهد شد.

(باغ‌وند و همکاران، ١٣٨٥)، به بررسی عمده مخاطراتی پرداخته شده است که عملکرد شبکه‌های دسترسی را پس از وقوع زلزله تهدید می‌نماید. بدین منظور، با مطالعه تحقیقات انجام گرفته و بررسی زلزله‌ها در مناطق مختلف دنیا و ایران نسبت به شناسایی مهمترین مؤلفه‌هایی که بر عملکرد شبکه پس از وقوع بحران (به‌ویژه زلزله) تأثیر می‌گذارند پرداخته شده و سپس راه‌کارهایی جهت افزایش کارآمدی شبکه معابر، پس از وقوع یک سانحه ارائه گردیده است.

نتایج این مطالعه بیانگر این مطلب است که مهم‌ترین عواملی که عملکرد شبکه را پس از وقوع زلزله تحت تاثیر قرار می‌دهد می‌توان در دو گروه مولفه‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای طبقه‌بندی نمود. همچنین نتایج این تحقیق بیانگر آن است که مجموعه اقداماتی که درجهت کارآمدسازی شبکه می‌تواند صورت گیرد، تحت دو گروه اقدامات سازه‌ای و مدیریتی قابل بحث است. ذیلاً به مهم‌ترین نتایج این مطالعه اشاره می‌گردد.

الف- کاهش کارآمدی شبکه‌های دسترسی

چنانچه یک مسیر حتی در زمان عادی عملکرد مطلوب و قابل قبولی داشته باشد، به دلایل مختلف عملکرد مطلوب آن قابل تسری به وضعیت پس از بحران نخواهد بود. لذا یکی از راه‌کارهای اصولی برای پیشگیری از آسیب شبکه حمل و نقل در برابر وقوع بلایای مختلف، از جمله زلزله، مطالعه مهم‌ترین دلایل تنزل عملکرد شبکه حمل و نقل است. افت عملکرد به دلایل مختلفی از جمله موارد ذیل به وقوع می‌پیوندد.

۱- نوع نگرش طراح و بینش وی در هنگام طراحی یک مسیر

معمولاً طراحی جاده‌ها و خیابان‌ها برای شرایط معمول و بدون در نظر داشتن بحران‌های محتمل صورت می‌پذیرد، بدین‌صورت که عرض جاده‌ها معمولاً برای حالات معمول طراحی گردیده و یا طراح با در نظر داشتن حجم ترافیک عادی یک مسیر اقدام به طراحی آن می‌نماید. هرچند ممکن است که طراح با در نظر گرفتن یک حاشیه اطمینان(از حجم خودروهای عبوری) تا حدی نسبت به پیش‌بینی شرایط بحرانی اقدام نماید، ولی داشتن نگرش طراحی سانحه‌گریز، نقش مهمی در شکل دهی مسیرها و عملکرد آن‌ها به هنگام سانحه خواهد داشت. عامل مهمی که ضرورت نگرش طراحی سانحه‌گریز را نمایان‌تر می‌سازد، توجه به این نکته است که در شرایط اضطرار به علت وقوع بعضی از مسایل پیش‌بینی نشده، انتظارات و فرض های اعمال‌شده درحین طراحی که معمولاً فرض‌های ساده‌کننده یا حداقل درجهت

تسهیل حل بخشی از مساله درنظر گرفته می‌شوند اعتبار خود را جهت ایجاد فاصله و انحراف شدید از شرایط مساله از دست می‌دهند. وقوع چنین عاملی باعث از هم پاشیدگی و عدم کارآیی طرح پیشنهادی برای آن شبکه خواهد شد و به شدت عملکرد شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۲- وقوع آسیب فیزیکی به عناصر تشکیل‌دهنده مسیر

آسیب‌های فیزیکی نیز تاثیر بسیار عمیقی از جهات مختلف بر کارآمدی شبکه خواهند داشت که ذیلاً به آنها اشاره شده است:

الف) تخریب بعضی از عناصر اصلی مسیر

تخریب برخی از عناصر مسیر همانند پل‌ها و تونل‌ها باعث از کارافتادگی کامل و خروج یک مسیر از شبکه دسترسی، یا حداقل باعث کاهش کارآیی آن مسیر نسبت به وضعیت معمول خواهد شد. این در حالی است که معمولاً در شرایط بحران شبکه می‌بایستی درحد فراتر از معمول مورد استفاده قرار گیرد. تجربه‌ها و تحقیقات گسترده به نقش مؤثر پل‌ها در نوع، نحوه و مطلوبیت عملکرد شبکه‌ها اشاره می نماید. تحقیقات گسترده‌ای در زمینه عملکرد لرزه‌ای پل‌ها و چگونگی آسیب‌پذیری آنها تاکنون انجام شده است. همچنین معیارهای مهمی جهت تعریف پارامترهایی برای ارزیابی عملکرد پل‌ها و بررسی کارآیی آن‌ها و تعیین منحنی‌های شکست برای پل‌های مختلف با توجه به ویژگی‌های عمده آنها صورت پذیرفته است. نقش پل‌ها در شبکه معمولاً به صورت سلبی عمل می‌نمایند. بدین معنی که تخریب آن‌ها معمولاً مسیر را از شبکه مدار خارج نموده و مدت زمان زیادی باید در جهت بازگردانی آن به شبکه صرف گردد. اگر تخریب کامل صورت پذیرد، آن مسیر را بایستی به‌طور کامل از شبکه مدار خارج نموده و بررسی مدار را با دیگر گزینه‌های ممکن ادامه داد. با توجه به این عامل، نقش پل‌ها و در مجموع عناصر راه در کارکرد شبکه حیاتی ارزیابی می‌گردد.

ب) تخریب ساختمان‌ها و تاسیسات مجاور مسیر

همانند تخریب خطوط انتقال برق یا شکسته شدن برخی درختان اطراف مسیر، تخریب ساختمان‌ها نیز سبب کاهش ظرفیت یک مسیر و گاه مسدود شدن کل مسیر می‌گردد. در این رابطه به‌طور عمده می‌توان به مشکل ناشی از آوارهای ساختمانی و حجم آنها اشاره نمود. با توجه به اینکه امواج زلزله ممکن است درجهات مختلف اثر نماید، ممکن است جهت تخریب سازه در سمت منتهی به جاده باشد و باعث گردد حجم زیادی از مصالح ساختمانی(به طور کاملاً بی‌نظم) در عرض معبر پراکنده گردد. این مشکل هنگامی بیشتر نمود می‌یابد که عرض معبر کم باشد. در این حالت، می‌توان انتظار داشت که با توجه به عرض معبر، بیشترین سدشدگی در معبر به وقوع بپیوندد.

علاوه بر این باید به نقش ارتفاع سازه مجاور معبر اشاره نمود. چنانچه سازه مرتفعی بدون رعایت اصول و استانداردهای لازمه مندرج در آیین‌نامه‌های ساختمانی طراحی گردد، ممکن است واژگونی کلی سازه، بطور کلی مسیر را مسدود و یا از شبکه خارج نماید.

پ) نشست زمین

تجربه نشان داده است در خاک‌های مستعد، وقوع پدیده روانگرایی باعث نشست درکف جاده یا خیابان می‌گردد. در این شرایط علاوه برخطر فرورفتگی آسفالت و ایجاد حفره، عرض معبر به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد.

گاه شکستگی شبکه انتقال آب یا گاز که از زیر کف معابر عبور کرده‌اند، باعث وقوع اثرات ثانویه می‌شود. این اثرات در مورد خطوط انتقال آب عمدتا باعث نشست مسیر یا آب گرفتگی آن می‌باشد، که به کاهش ایمنی مسیر می‌انجامد. در مورد خطوط انتقال گاز، مشکل اصلی مساله نشت گاز یا شکستگی کامل لوله می باشد، که منجر به انفجارهای شدید و نهایتاً تشدید خرابی می‌گردد. این موضوع اهمیت تامین ایمنی عملکرد مطلوب شبکه انتقال گاز را بیشتر آشکار می‌سازد. در شکل (۲-٦)، نمونه‌ای از نشست و تخریب کف جاده بر اثر زلزله نمایش داده شده است.

شکل ۱-٦ تخریب مسیر به علت تاثیر زلزله

ت) وقوع سنگ افتان‌ها

تجربه نشان داده است که زمین لغزش‌ها و سنگ افتان‌ها از اثرات عمده بروز سوانحی همچون زلزله و سیل هستند. این اثرات نمونه بارز و یکی از مهمترین پیامدهای زلزله محسوب می‌گردند. در مورد سیل نیز سنگ افتان‌ها، به‌صورت یکی از عوامل تخریب‌کننده مهم شبکه حمل و نقل جاده‌ای به شمار می‌آیند. از مهمترین عوامل ایجاد زمین لغزش‌ها، زلزله و ارتعاشات هستند. همچنین، نقش آب و بارندگی به‌عنوان عامل محرک یا تشدیدکننده وقوع زمین لغزش قابل ذکر است. این عامل و همچنین نوع خاک را می‌توان در ایجاد زمینه‌ای برای زمین لغزش یا سنگ افتان‌ها موثر دانست. هرچند معمولاً، وقوع زمین لغزش‌ها به‌طور کلی یک شبکه را مسدود می‌نماید، اما چنانچه این عامل به تنهایی به وقوع بپیوندد و عوامل دیگر با

این عامل جمع نگردند (به‌عنوان مثال، زمین لغزش بر روی پل‌های جاده به وقوع نپیوندد)، می‌توان با ماشین‌آلات سنگین کل مسیر یا حداقل بخشی از آن را مجدداً و در اسرع وقت بازگشایی نمود. اگر این عامل باعث ریزش سنگ‌های بزرگ به مسیر گردد، به دو دلیل می‌تواند مخاطره‌آمیز باشد: نخست اینکه به علت ایجاد ناپایداری در شیب‌ها نمی‌توان انتظار داشت که باز هم شاهد زمین لغزش نباشیم یا حداقل سنگ افتان دیگری نداشته باشیم، و دوم اینکه گاه برای جابجایی سنگ‌ها یا صخره های مسدودکننده مسیر بایستی اقدام به منفجر کردن آنها نمود. این مساله خود احتیاج به در نظر گرفتن برخی تمهیدات ایمنی دارد و نباید موجب گردد که شرایط ناپایدار حاصل از زمین لغزش را تشدید نماید. گرچه، گاه لازم است به طور هدفمند و با شناسایی ناپایداری‌های ایجاد شده به‌صورت موردی و به‌طور کنترل شده اقدام به انفجار دامنه بعضی از کوه‌ها نمود تا شرایط ناپایدار برطرف شده و شرایط نسبتا پایداری درشیب‌ها ایجاد گردد. کلیه این اقدامات احتیاج به برنامه‌ریزی دقیق توام با دقت کافی در محاسبات دارد. بدیهی است در شرایط بحرانی که زمان، نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای دارد، چنین اقداماتی به چه میزان می‌تواند عملکرد و راندمان عملیات امداد و نجات را تحت تاثیر قرار دهد.

به طور عمده مسایل فوق را می‌توان همراه با بعضی از اثرات خاص مربوط به نوع خاصی از یک سانحه بررسی نمود. به‌عنوان مثال، وقوع آتش‌سوزی در مسیر باعث می‌شود که مسیر تا زمان اطفاء حریق مسدود گردد، یا گاه باعث وقوع انفجارات شدیدی شود که اثرات آن بر سیستم راه‌ها به‌صورت یکی از موارد فوق (مثلا تخریب ابنیه یا سنگ افتان) بروز می‌نماید.

ث) مسایل روانی و اجتماعی

در زمان وقوع بحران، عوامل مختلفی همانند ضرورت آگاهی از وضعیت خویشاوندان و نیز شوک روانی ناشی از سانحه باعث می‌گردد که افراد به طور غیرقابل انتظاری به محیط‌های سانحه دیده هجوم آوردند. این امر که گه گاه به علت حس نوع‌دوستی صورت می‌پذیرد، موجب می‌گردد مسیرهایی که پس از بحران

بخش عمده‌ای از ظرفیت عملکردی خود را از دست داده‌اند، به علت افزایش بدون ضابطه و ناهماهنگ افراد و ماشین‌ها، دچار مشکل مضاعف گردد. این مساله هنگامی تشدید می‌گردد که مسیر منتهی به نقطه آسیب‌دیده منحصر به فرد باشد و نتوان در کوتاه‌مدت مسیر دیگری را حتی به صورت موقت برای آن ایجاد نمود. این مشکل را می‌توان از این دید نیز بررسی نمود که به علت شوک شدید ناشی از سانحه و عدم توجه به چراغ‌های راهنمایی (در صورت وجود در مسیر) از سوی مردم که نقش بسیار مهمی در ایجاد نظم پس از سانحه دارند، شرایط از حالت بحرانی به حالت پیچیده‌ای تبدیل گردد که نتوان به سادگی آن را مرتفع نمود.

گاه تصادفات نیز باعث تشدید اثرات سانحه می‌شود و این امر باعث می‌گردد که عرض بیشتری از سطح معابر کاهش یافته و نتوان حتی از قسمت‌هایی از عرض معبر که پیش از این قابلیت استفاده داشته‌اند را برای عبور و مرور بکار برد. در شرایط بحران، هر یک از این عوامل نقش بیشتری در تشدید بحران خواهد داشت. هرچند تعدد عوامل و مواردی که عملکرد شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهند بسیار متنوع می‌باشند، ولی می‌توان موارد فوق را به‌عنوان مهم‌ترین و موثرترین آن‌ها نام برد.

ج- مهمترین اقدامات جهت کارآمدسازی شبکه حمل و نقل

گرچه در هر سانحه، بسته به شرایط ویژه و عدم قطعیت‌هایی که در مورد آن سانحه وجود دارد، مسائل مختلفی ممکن است به وقوع بپیوندد، ولی با در اختیار داشتن یک سلسله از اصول مدیریتی و سازه‌ای می‌توان عملکرد شبکه راه‌ها را درهنگام بحران کارآمدتر نمود. موارد زیر را می‌توان از مهم‌ترین اصول جهت کارآمد ساختن شبکه حمل و نقل در هنگام بروز حوادث برشمرد:

۱- نگرش به مشخصه‌های کلی یک مسیر

عملکرد شبکه را می‌توان با استفاده از عناصر سازنده آن آنالیز نمود، ولی معمولاً دقت آنالیز هنگامی بالاتر می‌رود که نگرشی مجموعه‌ای (سیستمی) به کل شبکه

وجود داشته باشد. مشخصه‌های کلی سیستم دارای زوایای مختلفی است که این مساله از دیدگاه صاحب‌نظران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است: شکل و ساختار شبکه، راه‌های جایگزین، حجم ترافیک معمول مسیر پیش از سانحه، اهمیت شبکه، موقعیت شبکه و مواردی مشابه را می‌توان مهم‌ترین عوامل در آنالیز مشخصه های کلی شبکه دانست. تحقیقات در این زمینه بیانگر این مطلب است که با توجه به تعبیه یا عدم تعبیه مسیرهای جایگزین می‌توان نسبت به کارآمدی یا عدم کارآمدی شبکه اظهارنظر نمود. در شبکه‌ای از معابر، در صورتی‌که نتوان برای مسیری به لحاظ دسترسی یا کارآیی جایگزین پیدا نمود، بسته به اهمیت مسیر، موقعیت مکانی، مبدا و مقصد و نیز حجم ترافیک عبوری از آن مسیر در شرایط عادی، می‌توان نسبت به عملکرد آن اظهار نظر نمود. اهمیت مسیرهای جایگزین هنگامی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد که مسیر آسیب‌دیده دارای المان‌های سازه‌ای آسیب‌پذیر مانند پل باشد. در این نوع مسیرها، بایستی معبر جایگزین که بتواند بخشی از ترافیک مسیر را در هنگام بحران از خود عبور دهد، مدنظر قرار بگیرد.

مساله مهم دیگری که می‌تواند کارآیی شبکه حمل و نقل را هنگام بحران به شدت افزایش دهد، ایجاد مسیرهای ویژه است. مسیرهای ویژه به واسطه کارکرد خاص خود در هنگام بحران، خصوصاً در مواردی که مسیر آسیب فیزیکی کمتری دیده باشد، تاثیر ویژه‌ای در عملیات امداد و نجات خواهد داشت.

در مواردی که مسیرهای ویژه در منتهی‌الیه کناری مسیر ایجاد می‌گردند امکان آسیب‌پذیری و مسدود شدن آن‌ها نسبت به خطوط ویژه‌ای که در وسط معابر ایجاد می‌گردند، بیشتر است. این مساله به علت احتمال ریزش آوار و تاثیرپذیری زیاد از سازه‌های مجاور مسیر است.

۲-تاثیر طراحی سازه‌ها

این عامل شاید تاثیرگذارترین عامل در کارکرد یک شبکه باشد. به‌طورکلی می توان دو نوع سازه را مورد شناسایی قرار داد؛ نخست سازه‌هایی که تشکیل‌دهنده راه هستند و تحت عنوان عناصر راه مورد بررسی قرار می‌گیرند که مهم‌ترین این سازه‌ها

(که می‌تواند آسیب‌پذیرترین آنها نیز باشد) پل‌ها هستند. دسته دیگر سازه‌های مجاور مسیر هستند که مقاوم‌سازی آنها در کاهش حجم آوارهای مسدودکننده معبر نقش عمده‌ای را خواهد داشت. در رابطه با تاثیر سازه‌های مجاور، می‌توان عملکرد آنها را در دو نقطه از مسیر به عنوان نقاط بحرانی شبکه مورد بررسی قرار داد.

۳- آموزش عمومی برای عملکرد در هنگام وقوع سانحه

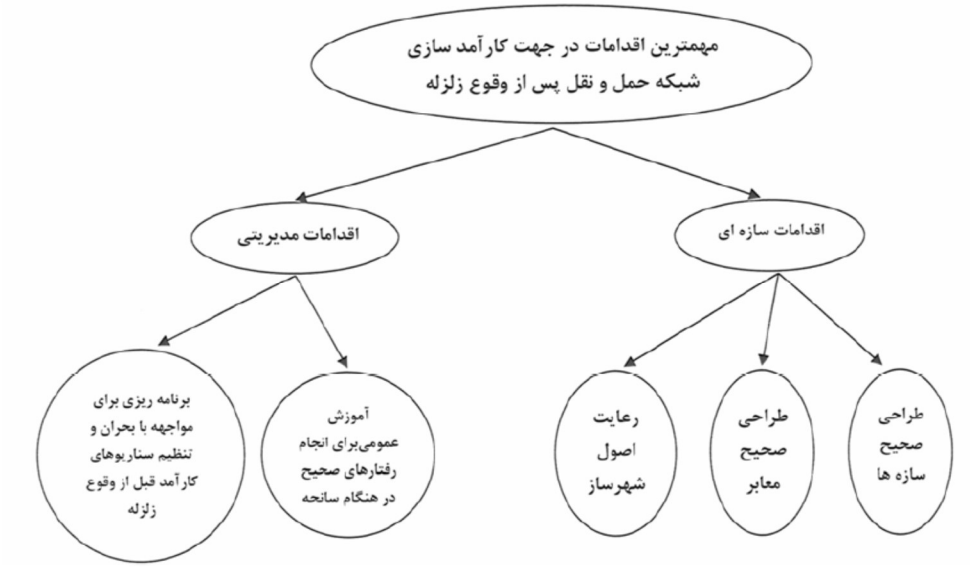
آموزش‌های ویژه‌ای که در قالب‌های گوناگون به‌منظور آمادگی در مقابله با بحران صورت می‌گیرد به طرق مختلف باعث کاهش یا حداقل جلوگیری از ایجاد شرایط تشدید شده می‌شود. این عامل خصوصاً در عملکرد افراد جامعه در مواجهه با سانحه نقش عمده‌ای را دارد. آموزش عموم می‌تواند درهنگام بحران، موثرترین نقش را در عملکرد افراد جامعه داشته باشد.

٤- تنظیم سناریوهای مختلف از بحران

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که بایستی بتوان از هر بحران با توجه به سه عامل شدت، محل وقوع و موقعیت زمانی وقوع آن سناریویی تهیه نمود و حتی‌الامکان نسبت به شناسایی شرایط خاصی که در هر سانحه ممکن است به وقوع بپیوندد، راه‌حل‌هایی را پیش‌بینی و اجرا نمود. در مورد شبکه راه‌ها، می‌توان تاثیر این عامل را از دو جهت بررسی نمود. نخست بررسی این عامل که برای هر نوع سانحه، حداکثر آسیب ممکن چه مقدار خواهد بود. دوم بررسی اینکه امکانات و شرایط موجود چگونه می‌تواند به‌نحو مطلوب و به‌طور بهینه تخصیص یابد.

بررسی همزمان دو عامل فوق می‌تواند به عنوان یک الگو در مرحله پیش از سانحه جهت آمادگی برای مواجهه با سانحه صورت پذیرد. باید به این نکته توجه داشت که معمولاً اصلی‌ترین ویژگی هر سانحه (خصوصاً در سوانح طبیعی) وجود حوادث غیرقابل پیش‌بینی و عدم قطعیت‌های ذاتی موجود در سانحه است، که این مساله می‌تواند به‌طرز خاصی مدل‌های ما را از سانحه مخدوش نماید. با در نظر گرفتن حاشیه اطمینان مناسب، می‌توان این مشکل را تا حدی رفع نمود. در شکل

(۲-۷)، خلاصه‌ای از مهم‌ترین اقدامات جهت کارآمدسازی شبکه حمل و نقل پس از وقوع سانحه ارائه شده است.



شکل ۱-۷- مهمترین اقدامات در جهت کارآمدسازی شبکه حمل و نقل پس از وقوع زلزله

کاظمی و شریعت (۱۳۸۸) به‌منظور ارزیابی شبکه راه‌های بین‌شهری در برابر حوادث طبیعی، یک شاخص خطرپذیری ارائه کرده‌اند. وجود چنین شاخصی می تواند در تصمیم‌گیری مراحل مختلف مدیریت بحران مؤثر باشد. برای این‌کار، ابتدا با انجام مطالعات مربوط به رخدادهای طبیعی و نیز شناسایی مناطق در معرض خطر وقوع حوادث طبیعی، احتمال وقوع هر حادثه برآورد شده است، سپس با درنظر گرفتن احتمال وقوع انواع حوادث طبیعی و آسیب اجزای شبکه در اثر بروز این حوادث، میزان آسیب‌پذیری کمان‌های ارتباطی بر مبنای تعداد روزهایی از سال که این کمان‌ها مسدود می‌شوند، محاسبه شده است. از سوی دیگر، با معرفی انواع معیارهای مؤثر بر عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای و با بکارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی، وزن این معیارها که بیانگر میزان اهمیت هر یک از کمان‌های شبکه حمل و نقل است، تعیین شده است. بدین ترتیب، با استفاده از مقادیر محاسبه‌شده برای آسیب‌پذیری و اهمیت، شاخصی جهت تعیین خطرپذیری این کمان‌ها برای

استان کردستان به‌دست آمده است. در زیر، به بررسی روش مورد استفاده در این تحقیق پرداخته‌شده است.

در این تحقیق، خطرپذیری یا ریسک (R) به‌صورت رابطه (۱-۲۱) تعریف شده است.

R=[اثرات ناشی از حادثه]*[احتمال وقوع تأثیرات حادثه] (۱-۲۱)

براساس این تعریف، خطرپذیری دارای دوجزء است:

۱- جزء احتمالاتی که شامل وقوع حادثه و احتمال آسیب دیدن در اثر حادثه می‌باشد.

۲- جزء اثرات حادثه که شامل هزینه یا خسارت ناشی از حادثه می‌باشد.

می‌توان رابطه (۲-۲۸) را به‌صورت رابطه (۲-۲۹) نیز نوشت:

R_i=[آسیب‌پذیری کمان i]*[پیامدهای ناشی از آسیب کمان i] (۱-۲۲)

درصورتی‌که شاخص خطرپذیری به‌صورت نسبی برآورد شود، می‌توان به‌جای پیامدهای ناشی از آسیب، از اهمیت کمان استفاده نمود. لذا بر مبنای رابطه (۲-۲۹) می‌توان برای هر کمان i در یک شبکه راه و برای حوادث مختلف j با شدت k، رابطه (۱-۲۳) را تعریف کرد.

$$R_i = \left[\sum_{j,k}(P_{jk} \times C_{ijk} \times n_{ijk})\right] \times I_i \qquad (۱-۲۳)$$

که در آن، R_i خطرپذیری کمان i شبکه، P_{jk} احتمال وقوع حادثه j با شدت k، C_{ijk} احتمال انسداد کمان i در برابر حادثه j با شدت k، n_{ijk} تعداد روزهای انسداد کمان i برای حادثه j با شدت k و I_i شاخص اهمیت کمان i می‌باشد.

در رابطه (۱-۲۳)، می‌توان دو قسمت مختلف را تشخیص داد: قسمت اول بیانگر آسیب‌پذیری کمان است که با توجه به اهمیت برقراری ارتباط، موضوع احتمال انسداد کمان درنظر گرفته شده است و قسمت دوم نشان‌دهنده اثرات آسیب است که به‌صورت نسبی در یک شبکه، اهمیت هر کمان بیانگر آن خواهد بود.

از نظر این محققین عمده‌ترین اجزای آسیب‌پذیر سیستم حمل و نقل جاده‌ای، درصورت بروز حوادث طبیعی، راه، تونل و پل است. میزان آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه در اثر بروز حوادث طبیعی، با احتمال انسداد کمان‌ها درصورت تخریب این اجزا تعیین می‌شود. به‌همین منظور، با شناسایی مناطق در معرض خطر وقوع حوادث طبیعی و اجزای آسیب‌پذیر شبکه و با استفاده از آمار رخدادهای گذشته، احتمال وقوع حوادث مختلف در طول سال برآورد می‌گردد. سپس با توجه به احتمال وقوع هر حادثه، احتمال انسداد کمان و مدت زمان انسداد در اثر بروز آن حادثه، میزان آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه محاسبه می‌شود.

محاسبه احتمال بروز زلزله: طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس شتابی صورت می گیرد که در طول عمر مفید سازه، با پذیرش میزان خطرپذیری مشخص، امکان رخداد زلزله‌ای با شتابی بیشتر از آن وجو داشته باشد که برای تعیین درصد احتمال وقوع این زلزله، از رابطه (۱-۲٤) استفاده می‌شود.

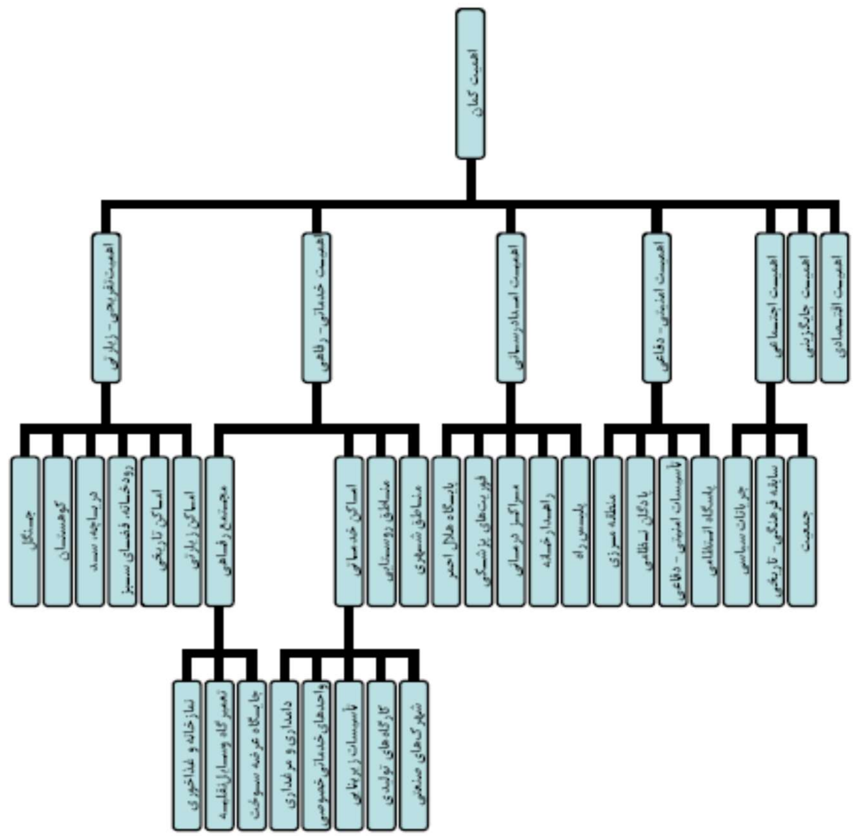
$$P_{\mathrm{E}} = 1 - (1-q)^{\frac{1}{n}} \ , (T_r)_E = \frac{1}{P_E} \qquad (۲٤-۱)$$

که در آن، $(T_r)_E$ دوره بازگشت زلزله، P_E احتمال وقوع زلزله در سال، q میزان پذیرش خطر و n عمر مفید سازه می‌باشد.

در مرحله بعد، میزان آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه محاسبه می‌شود، برای محاسبه میزان آسیب‌پذیری کمان‌های شبکه در اثر بروز زلزله و آسیب تونل‌ها با استفاده از احتمال برآورد شده برای وقوع زلزله و درنظر گرفتن تعداد روزهای انسداد مسیر در صورت آسیب تونل‌ها، می‌توان میزان آسیب‌پذیری کمان را به‌دست آورد. تعداد روزهای انسداد مسیر و مدت زمان بازگشایی تونل نیز، بستگی به عمق روباره تونل دارد که بسته به امکانات موجود در منطقه می‌تواند متفاوت باشد. چنانچه طول تونل l متر و سرعت پیشروی (جهت بازگشایی تونل) k متر در شبانه روز باشد، تعداد روزهای انسداد کمان ارتباطی در اثر وقوع زلزله l/k خواهد بود که

با فرض احتمال وقوع زلزله P_E و خطرپذیری R_E، میزان آسیب‌پذیری کمان عبارت خواهد بود از: $R_E P_E * l/k$. چنانچه بیش از یک تونل در یک مسیر ارتباطی قرار داشته باشد، به‌ازای هر تونل، میزان آسیب‌پذیری محاسبه شده و از میان آن‌ها بیشترین مقدار به عنوان آسیب‌پذیری کل کمان درنظر گرفته می‌شود.

میزان اهمیت کمان‌های ارتباطی، براساس معیارهای اثرگذار بر عملکرد شبکه تعیین می‌گردد. درصورت بروز حادثه، شبکه‌ای که نتواند دسترسی به فعالیت‌های مختلف را فراهم نماید، آسیب‌پذیر خواهد بود. لذا بسته به سطح انتظار از شبکه و مقدار و گسترش این فعالیت‌ها، معیارهای مؤثر بر شبکه نیز، متنوع خواهد بود. این پژوهش به معرفی و بررسی انواع معیارهای ممکن که در شکل (۲–۸) نشان داده شده‌اند می‌پردازد. با توجه به‌اینکه برخی از این معیارها کمی و برخی دیگر نیز کیفی هستند، برای سنجش میزان تأثیر هرکدام در اهمیت کلی کمان‌های شبکه، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است.



شکل ۱-۸- معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در تعیین اهمیت کمان‌های شبکه

معیار اهمیت اقتصادی: در هر وضعیتی، به‌ویژه در شرایط بروز حادثه، حفظ دسترسی مسیرهای درآمدزا که نقش مهمی در اقتصاد منطقه دارند، حائز اهمیت است. اهمیت اقتصادی به نوعی وابسته به ارزش اقتصادی کمان‌های شبکه است و ارزش اقتصادی نیز به‌صورت سود خالص سالیانه کمان‌های شبکه تعریف شده است و از درآمد جابجایی کالا و مسافر در کمان موردنظر منهای هزینه نگهداری سالیانه آن کمان به‌دست می‌آید.

معیار اهیت جایگزینی: در شرایط اضطراری، راه‌هایی که مسیر جایگزین مناسب ندارند، اهمیت بیشتری دارند. چرا که انسداد آن‌ها، منجر به افزایش زمان‌های سفر در شبکه می‌شود. از این‌رو بایستی مورد توجه قرار گیرند. اهمیت جایگزینی برای

یک کمان به‌صورت میزان تأثیر عدم وجود آن کمان در شبکه بر مجموع زمان افزایش یافته کلیه مبدأ–مقصدها به نسبت حالت وجود آن کمان در شبکه تعریف شده است:

(۲۵–۱)

$$I_k = \left(\frac{T_k^o - T^o}{T^o}\right)$$

که در آن، I_k مقدار اهمیت جایگزینی کمان k، T^o مجموع زمان‌های طی‌شده میان کلیه مبدأ- مقصدهای شبکه در حالت وجود کمان k و T_k^Oمجموع زمان‌های طی‌شده میان کلیه مبدأ- مقصدهای شبکه در حالت بدون وجود کمان k می‌باشد.

معیار اهمیت امنیتی–دفاعی: مسیرهای دسترسی به تأسیسات مهم نظامی و نقاط استراتژیک دفاعی، از نظر امنیتی- دفاعی دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. این مسیرها بایستی در هنگام وقوع حوادث تا حد امکان ایمن نگه داشته شوند. اهمیت امنیتی- دفاعی با زیرمعیارهای پاسگاه انتظامی، تأسیسات امنیتی- دفاعی، پادگان نظامی و منطقه مرزی تعریف شده است. نحوه محاسبه اهمیت جزئی کمان‌ها، برمبنای نزدیکی این زیر معیارها به کمان‌های شبکه درنظر گرفته شده است. بدین‌منظور که نسبت عکس فاصله شعاعی هر یک از این زیرمعیارها تا وسط کمان موردنظر به مجموع عکس فواصل شعاعی هریک از زیرمعیارها تا وسط هریک از کمان‌های شبکه به‌عنوان اهمیت جزئی آن کمان برای آن زیرمعیار، منظور گردد. لازم به‌ذکر است که دلیل انتخاب فاصله شعاعی، امکان ارزیابی نسبی در تمام گستره شبکه است.

$$S_k = \frac{\sum_i \frac{1}{r_{ik}}}{\sum_{i,k} \frac{1}{r_{ik}}} \qquad (۲۶–۱)$$

که در آن S_k معیار اهمیت امنیتی- دفاعی کمان k و r_k فاصله شعاعی هر زیر معیار امنیتی- دفاعی i تا وسط کمان k می‌باشد.

معیار اهمیت اجتماعی: راهی که از نظر اجتماعی، اهمیت بیشتری دارد، درصورت آسیب دیدن، خسارت بیشتری به‌دنبال خواهد آورد. این اهمیت می‌تواند براساس تقاضای عبور از مسیر، تعداد ساکنین مناطق حوزه نفوذ مسیر مورد مطالعه و یا اهمیت نقاط مبدأ و مقصد ازنظر فرهنگی- تاریخی یا سیاسی تعیین گردد. اهمیت اجتماعی با زیرمعیارهای جمعیت، سابقه فرهنگی- تاریخی و جریانات سیاسی مراکز درنظر گرفته شده است. برای محاسبه اهمیت جزئی کمان‌ها بر مبنای زیرمعیارهای تعریف شده، ابتدا مقادیر وزن‌های نسبی گره‌های اصلی شبکه از نظر هر یک از این معیارها تعیین می‌شود. سپس به تفکیک هر زیر معیار، برای هر زوج مبدأ- مقصد، میانگین وزن مربوط به گره مبدأ و گره مقصد محاسبه می‌شود و این مقدار میانگین به‌عنوان نمره مسیر ارتباطی میان آن زوج مبدأ- مقصد درنظرگرفته می‌شود. بدیهی است، هرمسیر از چند کمان ارتباطی تشکیل شده است. بنابراین نمره هر مسیر برای کمان‌های واقع برآن مسیر منظور می‌گردد. این کار برای تمامی مسیرهای مبدأ- مقصد شبکه انجام گردیده و مجموع میانگین نمرات تخصیص داده‌شده به هر کمان، برای هریک از زیرمعیارها، میزان اهمیت جزئی آن کمان از نظر آن زیرمعیار خواهد بود.

معیار اهمیت امدادرسانی: حفظ دسترسی به مراکز امدادرسانی با توجه به اهمیت وجود آن‌ها در شرایط اضطراری، بسیار حیاتی می‌باشد. لذا مسیرهای منتهی به مراکز امدادی از اهمیت بیشتری برخوردار خواهند بود. اهمیت امدادرسانی با زیرمعیارهای پاسگاه پلیس‌راه، راه‌دارخانه، مراکز درمانی، فوریت‌های پزشکی و پایگاه هلال‌احمر تعریف شده است. نحوه محاسبه این معیار نیز مشابه روش استفاده شده در معیار اهمیت امنیتی- دفاعی برمبنای میزان نزدیکی زیرمعیارها به کمان‌های شبکه می‌باشد.

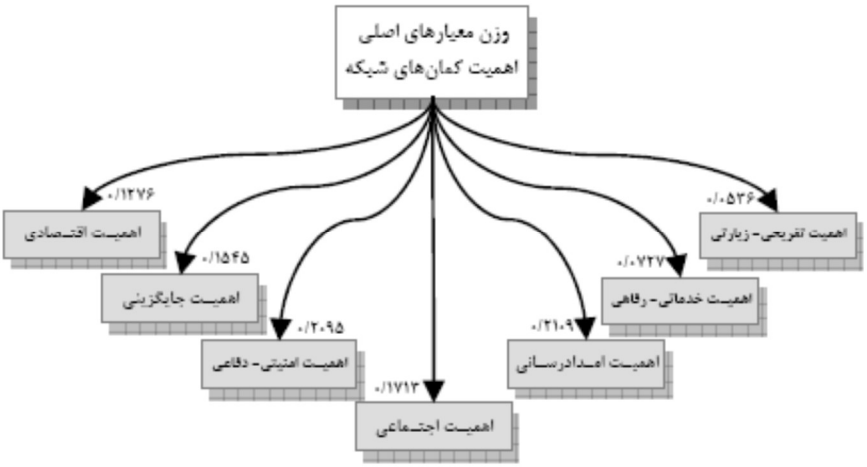
معیار اهمیت خدماتی- رفاهی: با توجه به نیاز مردم به آب، برق، سوخت و ارتباطات، تأمین دسترسی مسیرهایی که تأسیسات زیربنایی و اماکن خدماتی در آن‌ها وجود دارد، اهمیت فراوان دارد. اهمیت خدماتی- رفاهی با زیرمعیارهای مناطق

شهری و روستایی، اماکن خدماتی و مجتمع‌های رفاهی بین‌راهی تعریف شده است. نحوه محاسبه این روش معیار نیز مشابه روش‌های قبلی می‌باشد.

معیار اهمیت تفریحی- زیارتی: شناسایی مکان‌های تفریحی و زیارتی و مسیرهای منتهی به این نقاط دارای اهمیت بوده و مسیرهایی که اماکن مذهبی و تاریخی و همچنین جاذبه‌های تفریحی و گردشگری بیشتری داشته باشند، از نظر معیار اهمیت تفریحی- زیارتی مهم‌تر خواهند بود.

پ) تعیین وزن معیارهای اهمیت کمان‌های شبکه

پس از محاسبه اهمیت جزئی کمان‌ها، به‌منظور سنجش تأثیر معیارها در شبکه، وزن هریک از آن‌ها باید محاسبه گردد. تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها، با استفاده از روش سلسله‌مراتبی و با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان خبره انجام می‌گیرد. در شکل (۲-۹)، نمودار سلسله‌مراتبی اهمیت اجزای شبکه نشان داده شده است. در این نمودار هدف در سطح اول، معیارهای اصلی در سطح دوم و زیرمعیارها درسطح سوم قرار دارند. در این تحقیق در شکل (۲-۹) وزن معیارهای اهمیت کمان‌های شبکه که با استفاده از فرآیند سلسله‌مراتبی تعیین شده، آورده شده است.



شکل ۱-۹. وزن معیارهای اصلی اهمیت کمان‌های شبکه

در تحقیق یعقوبی و حسینی، با توجه به اهمیت سامانه‌های ترابری برون‌شهری به‌عنوان مهمترین نماد و اساسی‌ترین پیش‌نیاز توسعه در هرکشوری و آسیب‌پذیری نسبتاً زیاد این سامانه‌ها تحت اثر زلزله، در این تحقیق برای ارزیابی سریع خطر پذیری لرزه‌ای این سامانه‌ها روشی معرفی شده و کاربرد آن در جاده‌های کشور و در محدوده‌های استانی ارائه شده است. در تحقیق بعد از بررسی‌های مختصر در مورد زلزله‌های صورت گرفته در دنیا و بیان مشکلات حمل و نقلی پیش‌آمده بعد از آن زلزله‌ها، تعاریف مفاهیم کلیدی و بنیادی در خطرپذیری، روش ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای و کاربرد مدل در ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای در ایران ارائه شده است. در ادامه مختصری از بندهای این تحقیق ارائه می‌شود.

در مدیریت خطرپذیری جاده‌های بین شهری اولین نتیجه مطالعات و برداشت-های آماری اعم از سازه‌ای و غیرسازه‌ای انجام یک ارزیابی سریع است. این ارزیابی برای هر جاده و در هر حوزه خدمت رسانی آن انجام می پذیرد؛ به این معنی که یک جاده ما بین یک مبدا و مقصد مهم غالباً تا چه محدوده جغرافیایی را تحت الشعاع خود قرار می‌دهد. به این نوع فرایند که فارغ از مطالعات دقیق در مشخصات و ویژگی‌های مولفه‌های تشکیل دهنده جاده و بر پایه مطالعات لرزه‌خیزی استوار است، روش ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای گفته می‌شود. به عبارتی هدف از ارزیابی سریع اولویت‌بندی کلی در سطح کلان یک کشور یا استان بزرگ کشور است تا ابزاری مناسب را در اختیار مدیران و مسئولین ذیربط در هر کشور قرار دهد. در این نوع ارزیابی از متغیرهایی استفاده می‌شود که تابع زمان وقوع رخداد نباشند. برای هریک از متغیرها یک ضریب محاسبه و به مقدار بیشینه متناظر، همپایه می‌شود. علاوه براین برای هر متغیر یک وزن متناسب نیز درنظر گرفته می‌شود. رابطه (۲-۳۰) ترکیب ضرایب و وزن آن‌ها را نشان می‌دهد.

$$R_Q = \sum_1^n \text{Factor} \times \text{Weight}_{\text{Factor}} \qquad (۲۷-۱)$$

که در آن، Factor، $Weight_{Factor}$ و n به‌ترتیب ضریب، وزن متناظر با آن و تعداد ضرایب هستند. از روابط (۱–۲۸ الف) و (۱–۲۸ ب) نیز برای مقیاس‌کردن مقادیر متغیرها استفاده شده است.

(۱–۲۸ الف)

$$X_{ij}^{'} = \frac{X_{ij}}{\max obs_i}$$

(۱–۲۸ ب)

$$X_{ij}^{'} = \frac{(X_{ij} - \min obs_i)}{\max obs_i - \min obs_i}$$

که در آن‌ها X_{ij}'، X_{ij}، $minobs_i$ و $maxobs_i$ به‌ترتیب مقادیر مقیاس‌شده و مقیاس‌نشده شاخصه i و شهر j و مقادیر بیشینه و کمینه i هستند.

طول هر جاده بین دو مرکز حوزه هم‌مرز را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد که هر بخش در محدوده یک حوزه قرار می‌گیرد. حال برای هر جاده یک اولویت اولیه طبق رابطه (۱–۲۹) تعریف می‌شود:

(۱–۲۹)

$$R_{Q(I)}(link) = \sum_{k=1}^{2} R_{Q_K} \times F_K$$

که در آن $R_{Q(I)}$ (Link)، اولویت اولیه رابط و F، ضریب وزنی طول جاده در هر حوزه و k، نشانگر انجام محاسبه برای مبدا و مقصد است.

مهمترین متغیر (یا متغیر اصلی)، متغیر لرزه‌ای منطقه است که برای حوزه‌ها و بصورت میانگین وزنی از سطوح پهنه‌بندی داخل محدوده آن‌ها طبق نقشه‌های پهنه‌بندی استاندارد شتاب مبنای طرح معادل محاسبه و از روی آن ضریب خطر ایجاد می‌شود.

متغیرهای دیگر مهم در این اولویت‌بندی (متغیرهای فرعی) در جداول (۲–۲۵) و (۲–۲۶) معرفی شده‌اند. همانطور که از جداول (۲–۲۵) و (۲–۲۶) مشخص است،

برای ارزیابی سریع، عوامل متنوع و مهمی وجود دارند که متاسفانه به آن‌ها کمتر توجه شده است. شایان ذکر است که در روش ارزیابی سریع معرفی‌شده در این تحقیق معیارهای سیاسی، نظامی، فرهنگی، تاریخی و مواردی از این قبیل در نظر گرفته نشده‌است.

جدول ۱-۳۱ معیارهای مهم فنی در ارزیابی سریع جاده‌های بین‌شهری کشور (یعقوبی و حسینی، ۱۳۸۸)

معیارهای مربوط به طول نسبی راه	• درصد طول آزادراه‌های هر حوزه به طول کل آزادراه‌های کشور • درصد طول بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی هر حوزه به طول کل بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی کشور • درصد طول کل راه‌های هر حوزه به طول کل راه‌های کشور
معیارهای مربوط به تعداد نسبی سازه‌های مهم	• درصد تعداد پل‌ها و آبروهای مهم حوزه به کل پل‌ها و آبروهای مهم کشور • درصد تعداد تونل‌های حوزه به کل تونل‌های کشور • درصد تعداد دیوارهای حائل حوزه به کل دیوارهای حائل کشور
معیارهای مربوط به تعداد متوسط سازه‌های مهم در هر کیلومتر	• تعداد متوسط پل‌ها و آبروهای مهم در هر کیلومتر راه حوزه • تعداد متوسط تونل‌ها در هر کیلومتر راه حوزه • تعداد متوسط دیوارهای حائل در هر کیلومتر راه حوزه • تعداد متوسط کل ابنیه فنی مهم در هر کیلومتر راه حوزه
معیارهای مربوط به طول نسبی حوزه‌ای راه و تعداد نسبی حوزه‌ای سازه‌های مهم واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله	• درصد طول راه‌های حوزه واقع در مناطق خطر زیاد زلزله و بسیار زیاد به طول کل راه‌های همان حوزه • درصد تعداد پل‌ها و آبروهای مهم حوزه واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به کل پل‌ها و آبروهای مهم همان حوزه • درصد تعداد تونل‌های حوزه واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به کل تونل‌های همان حوزه • درصد تعداد دیوار حائل حوزه واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد به کل دیوارهای حائل همان حوزه

معیارهای مربوط به طول نسبی کشوری و تعداد نسبی کشوری سازه‌های مهم واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله	• درصد طول راه‌های حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به طول کل راه‌های کشور در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله • درصد تعداد پل‌ها و آبروهای مهم حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به کل پل‌ها و آبروهای مهم کشور در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله • درصد تعداد تونل‌های حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به کل تونل‌های کشور در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله • درصد تعداد دیوارهای حائل حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله به کل دیوارهای حائل کشور در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله
معیارهای مربوط به تعداد متوسط سازه‌های مهم واقع در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد در هر کیلومتر	• تعداد متوسط پل‌ها و آبروهای مهم حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله در هر کیلومتر از راه در همان مناطق • تعداد متوسط تونل‌های حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله در هر کیلومتر از راه در همان مناطق • تعداد متوسط دیوارهای حائل حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله در هر کیلومتر از راه در همان مناطق • تعداد متوسط ابنیه فنی مهم حوزه در مناطق خطر زیاد و بسیار زیاد زلزله در هر کیلومتر از راه در همان مناطق

جدول ۱-۳۲ معیارهای مهم غیرفنی در ارزیابی سریع جاده‌های بین‌شهری کشور (یعقوبی و حسینی، ۱۳۸۸)

معیارهای مربوط به مسافر	• نسبت مسافر جابجا شده در حوزه به کل کشور • نسبت مسافران درون‌حوزه‌ای به کل مسافران حوزه • نسبت مسافر جابجا شده درون‌حوزه‌ای به جمعیت حوزه • نسبت مسافر جابجا شده برون‌حوزه‌ای به کل مسافران حوزه • نسبت مسافر جابجا شده برون‌حوزه‌ای به جمعیت حوزه
معیارهای مربوط به کالا	• نسبت کالای حمل شده در حوزه به کل کشور • نسبت کالای حمل شده درون‌حوزه‌ای به کل کالای حمل شده حوزه • نسبت وزن کالای حمل شده درون حوزه‌ای به جمعیت حوزه • نسبت کالای حمل شده برون‌حوزه‌ای به کل کالای حمل شده حوزه • نسبت وزن کالای حمل شده برون‌حوزه‌ای به جمعیت حوزه
معیارهای مربوط به جمعیت	• نسبت جمعیت حوزه به جمعیت کل کشور • نسبت جمعیت حوزه به مساحت حوزه (تراکم جمعیت) • نسبت جمعیت مرکز حوزه به بیشینه جمعیت مراکز حوزه‌ها
سایر معیارها	• نسبت تعداد تیرپارک‌ها، پایانه‌های مسافری، پایانه‌های باری و پایگاه‌های خدمت‌رسانی دیگر حوزه به کل کشور • شرایط آب و هوایی کشور

در این مطالعه متغیرهای دخیل در ارزیابی سریع به چهار گروه اصلی خطر (H)، آسیب‌پذیری (V)، بهره‌برداری (S) و امدادرسانی (E) و هر گروه اصلی نیز به تعداد زیرگروه تقسیم‌بندی شده‌اند. به‌منظور ارزشگذاری یا تعیین اهمیت نسبی میان گروه-ها از نظرات متخصصین مربوطه استفاده شده و در جدول (۱-۳۳) نتایج این

نظرسنجی ارائه شده است. در نهایت ارزیابی سریع خطرپذیری طبق روابط آمده در بالا انجام گرفته و نتایج حاصل در جداول (۱–۳٤)، (۱–۳۵) و (۱–۳٦) آمده است.

جدول ۱–۳۳ وزن نهایی برخی متغیرهای فنی و غیر فنی استفاده شده در ارزیابی سریع جاده‌های بین-شهری کشور (یعقوبی و حسینی، ۱۳۸۸)

متغیر	وزن نسبت داده شده	متغیر	وزن نسبت داده شده
خطر زلزله	۰/۲۹۷	ضریب مجتمع‌های خدماتی، رفاهی و تیرپارک‌ها به کل کشور	۰/۰۲۳
ضریب تعداد پل‌های مهم (بالای ٦ متر) هر استان به تعداد پل‌های مهم (بالای ٦ متر) کل کشور	۰/۰۱۲	ضریب تعداد دیوارهای حائل هر استان واقع در محدوده خطر لرزه‌ای خیلی زیاد به تعداد دیوارهای حائل کل کشور در همان محدوده	۰/۰۱٦
ضریب جمعیت استان به جمعیت کل کشور	۰/۰۳۲	ضریب سختی سرما (معرف شرایط سخت آب و هوایی)	۰/۰۲۳
ضریب طول راه‌های هر استان واقع در محدوده خطر لرزه‌ای خیلی زیاد به طول راه‌های کل کشور در همان محدوده	۰/۰۰۸	ضریب تعداد تونل‌های هر استان واقع در محدوده خطر لرزه‌ای خیلی زیاد به تعداد تونل‌های همان استان	۰/۰۰۷

جدول ۱-۳٤ ارزیابی سریع لرزه‌ای استان‌های ایران (یعقوبی و حسینی، ۱۳۸۸)

نام استان‌ها (برحسب الفبا)	شاخص خطرپذیری لرزه‌ای	نام استان‌ها (برحسب الفبا)	شاخص خطرپذیری لرزه‌ای
آذربایجان شرقی	۰/۵۲	فارس	۰/۵۲
آذربایجان غربی	۰/٤۸	قزوین	۰/۵۲
اردبیل	۰/٤٦	قم	۰/٤۵
اصفهان	۰/۵۱	کردستان	۰/٤۵
ایلام	۰/٤۰	کرمان	۰/٤۷
بوشهر	۰/٤٤	کرمانشاه	۰/۵۲
تهران	۰/۷٤	کهکیلویه و بویر احمد	۰/٤۵
چهارمحال و بختیاری	۰/٤۷	گلستان	۰/٤۷
خراسان جنوبی	۰/٤٤	گیلان	۰/۵۰
خراسان رضوی	۰/۵۷	لرستان	۰/٤٦
خراسان شمالی	۰/٤۷	مازندران	۰/۵٤
خوزستان	۰/۵۲	مرکزی	۰/٤٦
زنجان	۰/٤٦	هرمزگان	۰/٤۹
سمنان	۰/٤٤	همدان	۰/٤٤
سیستان و بلوچستان	۰/٤۳	یزد	۰/٤٤

جدول ۱-۳۵ الویت‌بندی خطرپذیری لرزه‌ای استان‌های ایران (یعقوبی و حسینی، ۱۳۸۸)

نام استان‌ها	رتبه استان‌ها	نام استان‌ها	رتبه استان‌ها
تهران	۱	چهارمحال و بختیاری	۱۶
خراسان رضوی	۲	لرستان	۱۷
مازندران	۳	زنجان	۱۸
فارس	٤	مرکزی	۱۹
آذربایجان شرقی	۵	اردبیل	۲۰
خوزستان	٦	کهکیلویه و بویراحمد	۲۱
قزوین	۷	کردستان	۲۲
کمانشاه	۸	قم	۲۳
اصفهان	۹	خراسان جنوبی	۲٤
گیلان	۱۰	یزد	۲۵
هرمزگان	۱۱	سمنان	۲٦
آذربایجان غربی	۱۲	بوشهر	۲۷
خراسان شمالی	۱۳	همدان	۲۸
گلستان	۱٤	سیستان و بلوچستان	۲۹
کرمان	۱۵	ایلام	۳۰

جدول ۱-۳۶ تقسیم‌بندی استان‌های کشور در گروه‌های مختلف خطرپذیری (یعقوبی و حسینی، ۱۳۸۸)

گروه خطرپذیری بسیار بالا ۰/۷۱≤ R_Q ≤۱	گروه خطرپذیری بالا ۰/۵۱≤ R_Q ≤۰/۷	گروه خطرپذیری متوسط ۰/٤٦≤ R_Q ≤۰/۵	گروه خطرپذیری کم ۰≤ R_Q ≤۰/٤۵
تهران	خراسان رضوی	گیلان	کهکیلویه و بویراحمد
	مازندران	هرمزگان	کردستان
	فارس	آذربایجان‌غربی	قم
	آذربایجان‌شرقی	خراسان‌شمالی	خراسان‌جنوبی
	خوزستان	گلستان	یزد
	قزوین	کرمان	سمنان
	کرمانشاه	چهارمحال و بختیاری	بوشهر
	اصفهان	لرستان	همدان
		زنجان	سیستان و بلوچستان
		مرکزی	ایلام
		اردبیل	

برای الویت‌بندی مجموعه جاده‌های بین دو استان هم‌مرز، با فرض اینکه مراکز استان‌ها گره‌های مبدا و مقصد هستند، باید الویت هر استان را طبق روابط بالا در ضریب وزنی مناسبی، که در اینجا درصدی از طول جاده مابین دو مرکز استان که در محدوده هریک از استان‌ها واقع می‌شود درنظر گرفته شده‌است، ضرب کرد.

برخی از مطالعات (Nojima & Chang. 1998 & 1999)، جهت ارزیابی عملکرد سیستم حمل‌ونقل بعد از زلزله انجام شده است. ارزیابی‌های مختصر و خلاصه بعد از زلزله که شامل خرابی‌ها و بازسازی‌ها می‌باشد، برای سنجیدن مشکلات اقتصادی و مقایسه میان حوادث بسیار مفید می‌باشد. ارزیابی عملکرد سیستم حمل و نقل به

دلیل مشخصات فضایی شبکه، کثرت استفاده‌کنندگان و موقعیت بحرانی شریان‌ها برای واکنش در قبال حادثه و بازسازی بعد از حادثه بسیار پیچیده است. این مطالعه ارزیابی سیستم شریان‌ها را با توجه به خرابی‌های ایجاد شده در بزرگراه‌ها در اثر ۳ زلزله در آمریکا و ژاپن نشان می‌دهد. این زلزله‌ها عبارتند از: زلزله سال ۱۹۸۹ لوماپریتا[۱]، زلزله سال ۱۹۹٤ در نورت‌ریج[۲] و زلزله سال ۱۹۹۵ در کوبه[۳]. در این مقاله چندین شیوه متفاوت ارزیابی عملکرد فیزیکی در بزرگراه‌ها پیشنهاد و مقایسه می‌شود.

در ۱۷ اکتبر سال ۱۹۸۹، زلزله لوماپریتا باعث خرابی ۹۱ پل بزرگراهی شد که از میان آنها ۱۳ پل مسدود شد و خسارات سنگینی ایجاد گردید. مهم‌ترین و بیشترین خسارات حمل و نقلی در نواحی خلیج سانفرانسیسکو اتفاق افتاد که در نتیجه آن پل‌های خلیج سانفرانسیسکو- اوکلند و پل‌های بتن‌آرمه خیابان سایپرس در اوکلند ویران شد. به علت عدم نزدیکی جاده‌های جایگزین، خسارات ناشی از مسدود شدن پل‌ها بسیار قابل توجه بود و بسیاری از رانندگان مجبور شدند شیوه‌های حمل‌ونقل جایگزین مانند BART[٤] را انتخاب کنند. این پل به واسطه زلزله به مدت یک ماه مسدود شده بود.

در ۱۷ ژانویه سال ۱۹۹٤، زلزله نورت‌ریج باعث خرابی ۲۸٦ پل بزرگراهی شد که ۷ دهنه از آنها فرو ریختند و باعث قطع ارتباط ٤ جاده حساس و بحرانی بزرگراهی در نواحی شرقی لس‌آنجلس شد. یکی از این جاده‌ها پس از ٤ ماه، بعد از زلزله بازگشایی شده و راه انحرافی درون این جاده نیز ۱۲ روز پس از زلزله بازگشایی شد. در یکی دیگر از جاده‌ها ٤ رمپ ویران شد که ۲ رمپ از آنها پس از ٦ ماه تعمیر شد، اما جاده‌های انحرافی آسیب ندیده بودند و کامیون‌ها می‌توانستند از

---

۱ - Loma Prieta

۲ - Northridge

۳ - Kobe

٤ Bay Area Rapid Transit

آنها عبور کنند. در جاده دیگر، ۹ مایل از بزرگراه مسدود شد و از خیابان‌های محلی به عنوان جاده‌های انحرافی استفاده شد و یک ماه پس از زلزله ۵ مایل از بزرگراه بازگشایی و جایگزین جاده‌های انحرافی شد. اما بازسازی نهایی ۸ ماه به طول انجامید. در چهارمین جاده، ریزش پل اتفاق افتاد که شاهراه اصلی ۳ ماه بعد از زلزله بازگشایی شد، هر چند که جاده‌های فرعی و انحرافی در مسیر در طول زمان بازسازی ایجاد گردیدند.

در زلزله ۱۷ ژانویه سال ۱۹۹۵ کوبه خسارات زیادی به ساختار شبکه بزرگراهی وارد آمد که بیشترین خسارت در مسیر شماره ۳ شاهراه اتفاق افتاد. مسیر شماره ۳ قبل از زلزله، سهمی در حدود ٤۰ درصد از ترافیک کریدور شرق به غرب، بین شهر کوبه و آشیرا را داشت. همچنین این مسیر راه ارتباطی مهم بین اوزاکا و کوبه نیز به حساب می‌آمد. عمده خسارات این زلزله شامل خرابی ۱۸ مکان در ناحیه هاگاشینارا کوبه، فرو ریختن ۱۰ مکان مختلف در ناشینومیای شهر کوبه و مسدود شدن ۱۳ ناحیه ترافیکی (در حدود ۲۸ کیلومتر مربع) می‌شد. بازگشایی در محدوده کوچکی از فوریه ۱۹۹٦ آغاز شد اما عملکرد وضعیت ترافیک در مسیر ۳ در این مدت خیلی بهبود نیافت و علت آن نیز عدم بازگشایی ارتباط محور شرق به غرب محسوب می‌شد. سرانجام پس از ۲۰ ماه در ۳۰ سپتامبر ۱۹۹٦، مسیر به طور کامل بازگشایی شد. اما متأسفانه شیب، مشخصات مسیر و جاده ملی شماره ٤۳ که یک شریان موازی مسیر ۳ بود به هنگام کار بازسازی مسیر ۳، دچار مشکل گردید.

همچنین در مسیر شماره ۵ یک پل فرو ریخت و به ۳ پل دیگر خسارت وارد شد. در حالی که بازگشایی هنوز به اتمام نرسیده بود، از مسیرهای ۵، ۷ و ۱٦ که در طول حادثه به آن‌ها خسارت وارد نشده بود، به عنوان جایگزین‌های اصلی مسیر ۳ استفاده گردید و در این مدت استفاده از آن‌ها جهت حمل‌ونقل اضطراری و سهولت در کارهای بازسازی محدود شده بود. در یکی از شاهراه‌ها که پیش از زلزله حجم ترافیک آن تقریباً ۵۰۰۰۰ تا ۷۰۰۰۰ محاسبه شده بود، پس از بازگشایی، حجم

ترافیک به دلیل از بین رفتن مسیر مستقیم و اختصاص دسترسی‌ها به امور اضطراری در طول روز، به ۳۰ تا ۵۵ درصد ترافیک سابق آن تقلیل یافت.

در شاهراه ملی چاگومو، خسارت وارده به یک پل، باعث مسدود شدن راه اصلی شد. با وجود این که این راه برای مدت زمان کمی مسدود شده بود، تأثیرات قابل توجهی را بر اقتصاد کشور بر جای گذاشت. دلیل این امر، افزوده شدن فاصله مبدأ– مقصد بود که باعث تعطیلی فعالیت‌های گوناگون گردید.

بر اساس این مطالعات، برای مقایسه عملکرد سیستم بزرگراهی در حین زلزله به ارزیابی‌ها و شاخص‌های جدید نیاز است، زیرا ارزیابی‌های سنتی عملکرد که در مهندسی حمل‌ونقل استفاده می‌شود، برای تشخیص وضعیت پس از حادثه مناسب نمی‌باشد. برای نمونه، این ارزیابی‌های سنتی، شرایط را فقط بر اساس موقعیت‌های منحصر به فرد و ارزیابی تراکم ترافیک نشان می‌دهد.

یکی از شاخص‌های ارزیابی‌های عملکرد کل سیستم که در بیشتر مواقع استفاده می‌شود عبارت است از: مجموع زمان سفر در شبکه بر حسب وسیله نقلیه– ساعت که حاصل جمع تمام لینک‌های سیستم است و در آن، تعداد وسیله نقلیه در زمان سفر هر لینک ضرب می‌گردد.

در وضعیت پس از زلزله، به علت محدود بودن داده‌های قابل استفاده زمان سفر، این شاخص ارزیابی نمی‌تواند کاربردی باشد. لذا شاخص‌های ارزیابی جدید برای تعیین خسارت و ترمیم سیستم بزرگراهی ناشی از زلزله، پدید آمده است که این معیارها در زمان فیزیکی و عملکرد شبکه اهمیت می‌دهد و برای زلزله‌های لوماپریتا، نورت‌ریج و کوبه برآورد گردیده است.

الف) معیارهای ارزیابی

چهار معیار برای ارزیابی از ساختار و یا عملکرد شبکه در این تحلیل بررسی شده است که همه آنها قبل و بعد از زلزله برآورد می‌گردند و محدوده ارزیابی از عدد صفر (سیستم بدون کارآیی) تا عدد یک (سیستم کاملاً پویا و فعال) می‌باشد:

معیار N : مجموع تعداد بخش‌های فعال (باز) بزرگراه؛

معیار L : مجموع طول باز بزرگراه؛

معیار C : مجموع طول باز متصل به‌هم بزرگراه؛

معیار W : مجموع وزنی طول باز متصل به‌هم بزرگراه.

شاید N ساده‌ترین معیار ارزیابی باشد، زیرا بستگی به تعداد بخش‌های بزرگراه دارد که ترافیک در آن جریان دارد. هر قسمت از مسیر جاده که بین دو رمپ ورودی متوالی بزرگراه باشد، یک بخش را تشکیل می‌دهد. بنابراین N خسارتی بیش از کاهش ظرفیت شبکه را نشان می‌دهد. معیار L مانند N است، اما پایه و اساس آن طول باز بزرگراه می‌باشد. معیار C کارآیی سیستم بزرگراهی را به وسیله شناسایی راه‌های متصل به هم باقیمانده در داخل شبکه جستجو می‌نماید و برای یک سیستم خطی از روش زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{\sum_{m} l_m^2}{\sum_{n} \bar{l}_n^2} \qquad (۳۰-۱)$$

که در این معادله:

l: طول متصل در شبکه خراب شده (طول بین نقطه‌های انتهایی)؛

$\bar{l}$: طول متصل در شبکه سالم؛

m : شاخصی برای بخش‌های متصل در شبکه خراب شده؛

n : شاخصی برای بخش‌های متصل در شبکه سالم؛ می‌باشند.

هر دو عامل وجود خرابی و موقعیت خرابی در این شاخص لحاظ شده است. برای مثال، اگر در یک سیستم خطی با چهار گره و سه کمان در یک خط مستقیم، بخش میانی به علت خرابی زلزله مسدود شده باشد، در این صورت (L_1 طول قابل استفاده):

$$L_1 = L_2 = 1$$

$$\Rightarrow \quad C = \frac{(2 \times 1^2)}{3^2} = \frac{2}{9} = 0/22$$

$$\bar{l}_1 = 3$$

و اگر بخش انتهایی مسدود شده باشد:

$$L_1 = 2$$

$$\Rightarrow C = \frac{2^2}{3^2} = 0/44$$

$$\bar{l}_1 = 3$$

بنابراین مسدود شدن بخش نهایی و انتهایی نسبت به بخش میانی باعث کاهش کمتری در عملکرد شبکه می‌شود. لازم به ذکر است، برای هر دو سناریو تخریب N=L= ۰/٦٧ می‌باشد که هر دو از C بیشتر و با یکدیگر برابر هستند. در حالی که شبکه بزرگراهی در کوبه می‌تواند به صورت خطی نمایش داده شود، شبکه‌های بزرگراهی در نورت ریج و لوماپریتا بدین صورت قابل تعریف نمی‌باشند، لذا برای این سیستم‌ها معادله C به صورت زیر اصلاح می‌شود:

(۳۱-۱)

$$C = \frac{1}{K}\sum_{k}\left(\sum_{m} l_{m,k}^2 \Big/ \sum_{n} \bar{l}^2_{n,k}\right) \qquad k = 1,2,....,K$$

k : شاخصی برای گروه جهتی مسیر

K : مجموع اعداد گروه جهتی مسیر که موجود و مطرح هستند.

معادله فوق بحرانی بودن یک مسیر را مطابق درجه و وضعیت شبکه در جهت K تغییر می‌دهد. به عنوان مثال اگر مقدار K=۲ باشد جاده ممکن است به سمت شمال – جنوب و یا به سمت شرق- غرب دسته‌بندی شود. بنابراین در صورت وجود یک جاده موازی سالم، اهمیت خسارت وارده به یک جاده شرق- غرب ممکن است، کاهش یابد. برای یک جاده خطی K=۱ می‌باشد و معادله C دوم به معادله C اول تغییرشکل می‌یابد.

ارزیابی W مانند C می‌باشد با این تفاوت که مقدار و اهمیت خسارت در یک جاده بخصوص بر طبق اهمیت آن اصلاح می‌شود. اهمیت W براساس سهم ترافیک در جاده قبل از زلزله نشان داده می‌شود:

$$W = \frac{1}{K}\sum_{k}\left(\sum_{m} (w_{m,k}.l_{m,k})^2 \Big/ \sum_{n} (w_{n,k}.l_{n,k})^2\right) \qquad (۳۹-۲)$$

$$w_{i,k} = \frac{V_{i,k}}{\max_j (V_{j,k})}$$ که (۳۲-۱)

$w_{i,k}$: وزن بخش i بزرگراه که به گروه جهتی k وابسته است.

j : شاخص بخش بزرگراه در یک گروه جهتی.

V : حجم ترافیک پیش از زلزله.

این چهار معیار به اطلاعات وضعیت شبکه و حجم ترافیک قبل از زلزله و موضوعات خرابی و نوسازی فیزیکی بعد از زلزله نیاز دارد و اصلاحات و تعدیلات با دستیابی به اثر بازسازی و ترمیم جاده انحرافی اطراف محل خسارت در بزرگراه و در طول دوره بازسازی محاسبه می‌شود.

در نهایت در این تحقیق شبکه‌های حمل و نقلی با رویکردی کاربردی در زلزله‌های مورد نظر تحقیق، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج مربوط به ارزیابی در جدول (۱-۳۷) آورده شده است.

جدول۱-۳۷ معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم حمل و نقلی پس از زلزله برای مطالعه موردی (Nojima & Chang. 1998 & 1999)

	معیار N	معیار L	معیار C	معیار W
زلزله لوماپریتا	ضمیمه ش‌ش - ۰/۸	ضمیمه تت - ۰/۹	ضمیمه ثث - ۰/۲	ضمیمه خخ - ۰/٦
زلزله نورت ریج	ضمیمه ذذ - ۰/	ضمیمه ض‌ض - ۰/۹	ضمیمه غغ - ۰/٤	ضمیمه ظظ - ۰/۹
ضمیمه أأأ - لزله کوبه	ضمیمه ب‌ب‌ب - ۰/۳	ضمیمه ججج - ۰/۷	ضمیمه ددد - ۰/۷	ضمیمه ههه - ۰/۷

پس از تحلیل معیارها در این تحقیق، ذکر شده که این تحلیل‌ها فقط زمانی قابل بررسی و کاربرد است که اطلاعات پس از زلزله کاملاً در دسترس باشد.

علاوه بر مطالعه ذکر شده، آقایان چانگ و نوجیما مطالعه دیگری برای ارزیابی عملکرد سیستم حمل و نقلی برای زلزله کوبه انجام داده‌اند. در این مطالعه معیارهای ارزیابی تغییر کرده‌اند. این معیارها به سه معیار کاربردی تقسیم شده‌اند:

مجموع طول باز بزرگراه (معیار L).

مجموع فاصله قابل دسترسی (معیار D).

سطح فاصله قابل دسترسی (معیار D_s).

هر یک از این معیارها به صورت نسبتی از بعد از زلزله به قبل از زلزله تخمین-زده شده‌اند که مقدار آنها بین صفر (سیستم بدون کارآیی) و یک (سیستم کاراً و فعال و پویا) متغیر است. دو معیار اول کارآیی کلی شبکه را مورد ارزیابی قرار می‌دهند اما معیار آخر برای مطالعه نواحی کوچک مثل محله‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. معیار L به صورت زیر تعریف شده است:

$$L(t) = \frac{x(t)}{\bar{x}} \qquad (۳۲-۱)$$

که در آن x طول باز بزرگراه در هر نقطه در زمان t می‌باشد

که در آن x طول باز بزرگراه در هر نقطه در زمان t می‌باشد و $\bar{x}$ طول باز بزرگراه قبل از زلزله می‌باشد. معیار D ، براساس حداقل فاصله سفر می‌باشد، بنابراین هم وجود خسارت و هم مکان خسارت را در نظر می‌گیرد:

$$D(t) = \frac{f - A(t)}{f - 1} \qquad (۳۳-۱)$$

$$A(t) = \frac{\sum_i \sum_j d_{i,j}(t)}{\sum_i \sum_j \bar{d}_{i,j}} \quad , \quad 1 < A \le f \qquad (۳۴-۱)$$

f : فاصله مؤثر ضرب شده برای یک لینک (اسکالر)؛

A : نرخ قابلیت دسترسی مجموع؛

$d_{i,j}$: حداقل فاصله سفر بین نقاط i و j در شبکه خسارت دیده؛

$\overline{d}_{i,j}$: حداقل فاصله سفر بین نقاط i و j در شبکه سالم.

در اینجا، شبکه پایه به عنوان مجموعه‌ای از نقاط و کمان‌های ارتباط دهنده آنها تعریف شده است. برای بزرگراه‌ها نقاط، مکان رمپ‌های ورودی و خروجی می‌باشند. در آنالیزهای انجام شده در این تحقیق، دیگر انواع نقاط مانند تقاطع‌ها بین بزرگراه‌ها، مدل شده‌اند اما به عنوان یک نقطه در معادله رابطه درنظر گرفته نشده‌اند. همچنین برای حمل‌ونقل ریلی، نقاط ایستگاه‌ها در نظر گرفته شده‌اند.

در یک شبکه آسیب‌دیده، طول هر کمان[۱] آسیب‌دیده ضربدر طول مؤثر $\left(F_{(k)}\right)$ شده است که این مقدار به آسیب ناحیه k از کمان وابسته است. برای کمان‌هایی که کاملاً بسته شده‌اند، مقدار $F_{(k)}$ برابر میزان حداکثر آن یعنی f می‌باشد (بنابراین $1 < F_{(s)} < f$). قابل ذکر است مقدار f براساس آنالیز حساسیت بدست آورده می‌شود.

معیار D_s، کارآیی سیستم یا قابلیت دسترسی را از نقطه نظر زیر نواحی مانند محله‌ها، مورد مطالعه قرار می‌دهد. این معیار به‌صورت روابط زیر تعریف می‌شود:

(۳۵-۱)

$$D_s(t) = \frac{f - A_s(t)}{f - 1}$$

$$A_s(t) = \frac{1}{n_s} \sum_{i \in N_s} A_i(t) \qquad (۳۶-۱)$$

$$A_i(t) = \frac{\sum_{j \neq i} w_{ij} d_{ij}(t)}{\sum_{j \neq i} w_{ij} \overline{d}_{ij}} \qquad (۳۷-۱)$$

که در آن:

$D_s(t)$: معیار کارآیی قابلیت دسترسی برای ناحیه s در زمان t ؛

$A_s(t)$: نرخ قابلیت دسترسی حمل‌ونقل برای ناحیه s در زمان t ؛

---

۱ Arc

$A_i(t)$: نرخ قابلیت دسترسی برای نقطه i در زمان t ؛

n_s : تعداد نقاط در ناحیه s ؛

N_s : مجموعه نقاط ناحیه s ؛

$d_{ij}(t)$: حداقل فاصله بین نقاط i و j در شبکه آسیب دیده در زمان t ؛

$\overline{d}_{ij}$: حداقل فاصله بین نقاط i و j در شبکه سالم؛

w_{ij} : وزن مقصد برای نقطهj برای مبادی مبادله کننده از نقطه i.

لازم به ذکر است وزن‌دهی برای $A_i(t)$ انجام شده است. وزن‌ها براساس اطلاعات مبدأ و مقصد قبل از زلزله محاسبه شده است:

$$W_{ij} = \frac{1}{n_r - \delta_r} \cdot \frac{v_{sr}}{\sum_p v_{sp}} \quad , \quad i \in N_s \ , \ j \in N_r \qquad (۳۸-۱)$$

$$\delta_r = \begin{cases} 1 & \text{اگر} \quad r = s \\ 0 & \text{اگر} \quad r \neq s \end{cases} \qquad (۳۹-۱)$$

v_{rs} : حجم ترافیک مبادله شده از ناحیه s (شامل نقطه i) به ناحیه r (شامل نقطه j)

P : شاخصی برای ناحیه؛

n_r : تعداد نقاط در ناحیه r ؛

N_r : مجموعه نقاط در ناحیه r ؛

δ_r : شاخصی برای مبدأ و مقصد مشابه ناحیه و

(۴۰-۱)

$$\sum_j w_{ij} = 1$$

بر اساس معیارهای ذکر شده، ارزیابی بر اساس تجارب زلزله کوبه انجام شده است. در نهایت یک آنالیز مقایسه‌ای برای زلزله لوماپریتا و نورت ریج نیز انجام شده است. همچنین نتیجه روند پیشرفت کارآیی بر حسب زمان برای شبکه راه‌ها و شبکه ریلی کوبه در جدول (۲-۳۰) آورده شده است.

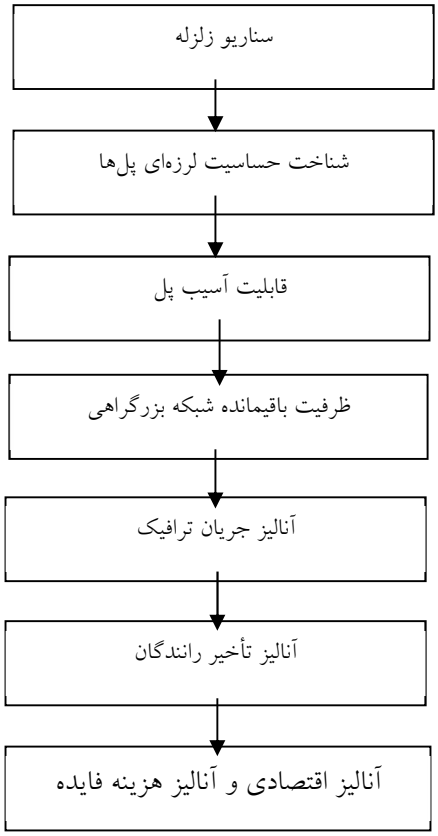
جدول ۱-۳۸ روند تغییر معیارهای D و L در زلزله کوبه بر حسب نوع روش حمل و نقلی (Nojima & Chang. 1998 & 1999)

ماه و سال	بزرگراه		راه‌آهن	
	معیار L	معیار D	معیار L	معیار D
ژانویه ۱۹۹۵	ضمیمه ووو - ۰/٤	ضمیمه زززز - ۰/٤	ضمیمه حححح - ۰/۲۹	ضمیمه طططط - ۰/۲۲
ضمیمه یی‌ی - ضمیمه کی‌کی - فوریه ۱۹۹۵	ضمیمه للل - ۰/۲	ضمیمه ممم - ۰/٦	ضمیمه نننن - ۰/۸	ضمیمه سی‌سی‌س - ۰/۸
ضمیمه عیعیع - ممار س ۱۹۹۵	ضمیمه فیفیف ۰/٤	ضمیمه صی‌صی‌ص ۰/۹	ضمیمه قیقیق - ۰/۸٦	ضمیمه رری - ۰/۸٦
ضمیمه شی‌شی‌ش - آوریل ۱۹۹۵	ضمیمه تیتیت ۰/۹	ضمیمه ثیثیث ۰/۲	ضمیمه خیخیخ - ۰/۹	ضمیمه ذیذیذ - ۰/۹
ضمیمه ضی‌ضی‌ض -می ۱۹۹۵	ضمیمه غیغیغ - ۰/۳	ضمیمه ظیظیظ ۰/۵	ضمیمه ءیءیءی - ۰/۹۱	ضمیمه بیبیبیب -۰/۹۱
ضمیمه جیجیجیج - ژوئن ۱۹۹۵	ضمیمه دیدید - ۰/۳	ضمیمه هیهیهیه - ۰/۵	ضمیمه ووو - ۰/۹۵	ضمیمه زززز - ۰/۹۵
ضمیمه حححح - جولای ۱۹۹۵	ضمیمه طططط ۰/٤	ضمیمه یی‌ی‌ی ۰/٦	ضمیمه کی‌کی‌کی -۰/۹۷	ضمیمه للل - ۰/۹۷
ضمیمه ممم - آگوس ت ۱۹۹۵	ضمیمه نننن ۰/٤	ضمیمه سی‌سی‌س ۰/٦	ضمیمه عیعیع - ۱	ضمیمه فیفیف -۱
ضمیمه صی‌صی‌ص - سپتامبر ۱۹۹۵	ضمیمه قیقیقیق ۰/٤	ضمیمه رری - ۰/٦	ضمیمه شی‌شی‌ش -	ضمیمه تیتیت -۱
ضمیمه ثیثیث -اکتبر ۱۹۹۵	ضمیمه خیخیخ ۰/٤	ضمیمه ذیذیذ - ۰/٦	ضمیمه ضی‌ضی‌ض -	ضمیمه غیغیغ - ۱

ضمیمه ظظظظ – نوامبر ۱۹۹۵	ضمیمه ااااا – ۰/٤	ضمیمه بببب ۰/٦	ضمیمه جججج –۱	ضمیمه دددد – ۱
ضمیمه هههه – دسامبر ۱۹۹۵	ضمیمه ووووو ۰/٤	ضمیمه زززز ۰/٦	ضمیمه حححح –۱	ضمیمه طططط –۱
ضمیمه یییی –ژانویه ۱۹۹٦	ضمیمه ککک ۰/٤	ضمیمه للللل ۰/٦	ضمیمه مممم – ۱	ضمیمه نننن – ۱
ضمیمه سسسس – وریه ۱۹۹٦	ضمیمه عععع ۰/٦	ضمیمه ففف ۰/	ضمیمه صصصص –	ضمیمه قققق –۱
ضمیمه رررر – مارس ۱۹۹٦	ضمیمه ششش ۰/٦	ضمیمه تتت ۰/	ضمیمه ثثثث –	ضمیمه خخخخ –۱
ضمیمه ذذذذ – آوریل ۱۹۹٦	ضمیمه ضضض ۰/٦	ضمیمه غغغغ ۰/	ضمیمه ظظظظ –۱	ضمیمه اااااا – ۱
ضمیمه بببببب – ی ۱۹۹٦	ضمیمه جججج ۰/٦	ضمیمه دددددد ۰/	ضمیمه هههه – ۱	ضمیمه ووووو – ۱
ضمیمه زززززز – ژوئن ۱۹۹٦	ضمیمه حححح ۰/٦	ضمیمه طططط ۰/	ضمیمه یییی –	ضمیمه ککککک –
ضمیمه للللل –جولای ۱۹۹٦	ضمیمه ممممم ۰/۸	ضمیمه نننن ۰/٥	ضمیمه سسسسس –	ضمیمه ععععع –۱
ضمیمه ففففف – گوست ۱۹۹٦	ضمیمه صصض ۰/۲	ضمیمه قققق ۰/۳	ضمیمه رررر – ۱	ضمیمه ششششش –
ضمیمه تتتتتت – پتامبر ۱۹۹٦	ضمیمه ثثث ۰/٥	ضمیمه خخخخ ۰/۹	ضمیمه ذذذذذ – ۱	ضمیمه ضضضضضض
ضمیمه غغغغغ –اکتبر ۱۹۹٦	ضمیمه ظظظظ	ضمیمه اااااااا –	ضمیمه بببببب –	ضمیمه جججججج –

قابل ذکر است که مطالعات دیگری نیز در بخش حمل‌ونقل داخلی شهر کوبه انجام شده است. در این مطالعات (Gordon & et al, 2000) تأثیرات اقتصادی زلزله بر روی فعالیت‌های شهر که توسط شبکه حمل‌ونقلی راهبردی شده، پس از زلزله مورد بررسی قرار گرفته است.

در زمینه مطالعات حمل و نقلی پس از زلزله، مطالعات دیگری نیز انجام شده است که مختصراً به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود. یکی از مطالعات (Shinozuka, 2006) تأثیرات اقتصادی اجتماعی خرابی پل‌های بتنی را براساس متدولوژی نشان داده شده در شکل (۲-۱۰) مورد بررسی قرار داده است.



شکل ۱-۱۰ متدولوژی کارآیی شبکه حمل‌ونقل

از نظر حمل‌ونقلی، نتایج زیر در این تحقیقات حاضر شده است. به سبب زلزله، تعداد سفرها کاهش می‌یابد (به دلیل آسیب دیدگی برخی از مسیرها) و ظرفیت شبکه کاهش می‌یابد.

مطالعات دیگری که در زمینه زلزله انجام شده، خرابی‌های سازه‌ای و ژئوتکنیکی راه‌ها را مورد بررسی قرار داده است. در مطالعه پاموک و همکاران[1] خرابی‌های سازه ای و ژئوتکنیکی راه‌ها در زلزله‌های اخیر ترکیه مورد بررسی قرار گرفته است که در

۲- Pamuk

این زمین‌لرزه‌ها شکسته شدن پل‌ها روی داده و مشاهده شد که پل‌های انحنادار و مورب در مقابل اثرات گسل‌ها بیشتر آسیب‌پذیرند.

برخی از مطالعات تأثیرات اقتصادی-اجتماعی زلزله را بر بخشهای مختلف از جمله زیرساخت‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه کونومکال[۱] اشاره کرد (Kunnumkal, 2000). در این مطالعه اثرات اقتصادی-اجتماعی زلزله به دو دسته تقسیم شده است: اثرات مستقیم و اثرات غیرمستقیم؛ اثرات مستقیم زلزله مانند آسیب‌دیدگی زیرساخت‌های فیزیکی و اثرات غیرمستقیم مانند تأثیرات شغلی و تجاری. اثرات اجتماعی نیز علاوه بر تأثیرات فوق در این مطالعه درنظر گرفته شده است. از جمله این اثرات می‌توان به آسیب‌دیدگی و مشکلات روحی انسان‌ها اشاره نمود.

در این مطالعه، از روش تخمین خسارات در بخش‌های ذکر شده استفاده شده است. شبکه حمل‌ونقلی به عنوان یک زیرساخت عرضه درنظرگرفته شده و با تحلیل عرضه و تقاضای اقتصادی میزان خسارات ناشی از زلزله نیومادرید[۲] برآورد شده است. نکته قابل توجه در این مطالعه این است که شبکه حمل‌ونقلی به‌صورت ترافیکی ارزیابی نشده‌است و این ارزیابی به‌صورت اقتصادی انجام شده که خرابی پل‌ها و روسازی راه از جمله خرابی‌های مستقیم شبکه حمل‌ونقلی درنظرگرفته شده است. قابل ذکر است در این مطالعه نیز برآوردها پس از زلزله انجام شده و اطلاعات کامل پس از زلزله در اختیار محقق بوده است.

برخی دیگر از مطالعات اثرات متقابل راه و ساختمان‌ها را پس از زلزله در نواحی شهری مورد بررسی قراردادهاند. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه گورتی و سارلی[۳] اشاره نمود. در این مطالعه مدلی برای آنالیز رفتار لرزه‌ای راه‌ها در مناطق

---

۱ Kunnumkal

۲ New Madrid

۳ Goretti and Sarli

شهری ارائه شده است که در آن اثر متقابل راه‌ها و ساختمان‌ها درنظرگرفته شده است.

آسیب به ساختمان‌ها پس از زلزله برروی راه‌ها تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال اگر یک ساختمان ریزش کند، راه ممکن است کاملاً بسته شود و یا ظرفیت آن کاهش یابد. این تأثیرات باید از دو منظر مورد بررسی قرارگیرند. فاز اول زمان بلافاصله پس از زلزله که در آن کمک‌رسانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و پس از آن در فاز دوم اثرات بلند مدت زلزله بر راه‌ها باید مورد بررسی قرارگیرد.

در فاز اول اگر برون‌بری کنترل‌نشده باشد، عواملی چون فروپاشی ساختمان‌ها ممکن است موجب مسدودشدن راه‌ها و درنتیجه عدم عبور وسایل نقلیه اضطراری چون آمبولانس و آتش‌نشانی گردد. در فاز دوم نیز به‌دلیل کاربرد خدمات اضطراری از جمله شمع‌ها برای ساختمان‌های ناپایدار ظرفیت راه‌ها کاهش می‌یابد. پس از زلزله باید رویکردی دوجانبه داشت، به این معنا که هم آسیب‌پذیری راه را مدنظر قرارداد و هم اثرات مختلف سیستم‌های شهری را که بر تقاضای سیستم اثر می گذارند.

سرویس‌دهی راه‌ها پس از زلزله بر اثر رفتار لرزه‌ای ساختمان‌ها به عوامل مختلفی چون آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، مکانیسم فروپاشی ساختمان‌ها، عرض راه‌ها، حریم راه‌ها و ارتفاع ساختمان‌ها وابسته است. بلافاصله پس از زلزله تنها خرده مصالح ناشی از خرابی در سطح راه وجود دارد و پس از مدتی این خرده مصالح جمع‌آوری شده و شمع‌ها برای نگهداری ساختمان‌ها به‌کار می‌روند. در ادامه آسیب‌پذیری لرزه ای راه‌ها در مناطق شهری بوسیله یک مدل ارزیابی شده است.

برای کوتاه مدت، راه‌ها رفتار صفر و یکی خواهند داشت، بنابراین اگر راه قابل دسترسی و عبور باشد S=0 و درغیر این‌صورت S=1 درنظر گرفته می‌شود. از آنجایی که دقیقاً مشخص نیست که پس از زلزله چه اتفاقی خواهد افتاد، بنابراین برای آنالیز از رندوم استفاده می‌شود. اگر فرض شود که بسته‌شدن در هر مسیر از

یک توزیع پواسون پیروی می‌کند، احتمال بسته شدن راه با حساسیت لرزه‌ای I برابر P_f می‌باشد:

$$P_f=1-e^{-N_b}{}_{|I} \quad (۵۰-۲)$$

که b مسدود شدن راه و $N_{b|I}$ تعداد مسدودیت‌ها در زمانی است که حساسیت I راه وجود دارد. برای محاسبه $N_{b|I}$ اطلاعات مربوط به ساختمان‌های راه مورد نیاز است. با توجه به اینکه این اطلاعات برای تک تک ساختمان‌ها وجود ندارد باید ساختمان‌ها دسته‌بندی شوند. اگر N_{bld} تعداد ساختمان‌های موجود در یک مسیر یا راه باشد از معادله زیر تعداد مسدودیت‌ها بدست می‌آید:

$$N_{b|I} = N_{bld}P(b|I) = N_{bld} \quad (۴۱-۱)$$

در این معادله $P(b|I)$ احتمال بسته شدن یک راه توسط یک ساختمان با حساسیت I می‌باشد، $P(b|T,I)$ احتمال مشابه در شرایطی است که آسیب‌پذیری ساختمان در کلاس T قرار داشته باشد. همچنین P(T) توزیع ساختمان‌های کلاس T درطول راه می‌باشد. هر ساختمان با توجه به درجه آسیب آن می‌تواند راه را مسدود کند که این درجه از صفر تا ۵ متغیر است.

دلایل مسدود شدن راه به سه دسته تقسیم می‌شود: شمع گذاری (p)، فروپاشی جزئی (o) و فروپاشی کامل (c). P,o وc وابسته به سطوح مختلف آسیب می‌باشند. شاخص k بین این سه دلیل متغیر است به این معنا که k=p,o,c. بنابراین رابطه زیر برای بدست آوردن $P(b|T,I)$ ارائه می‌شود:

(۴۲-۱)

$$P(b|T,I) = \sum_{K=p,o,c} P(b|k,T)P(k|T,I)$$
$$= \sum_{k=p,o,c} \sum_{d=0,\dots,5} P(b|k,T)P(k|d,T)P(d|T,I)$$

در این رابطه $P(k \mid d,T)$ احتمال این است که در یک ساختمان از نوع T با درجه آسیب d، یکی از انواع k رخ داده باشد. $P(b \mid k,T)$ احتمال مسدودشدن راه در شرایطی که یکی از دلایل مسدودیت k ایجاد شده باشد برای ساختمانهای نوع T که وابسته به خصوصیات هندسی راه می‌باشد. این پارامتر را می‌توان تأثیر هندسی راه نامید. بدین ترتیب بقیه پارامترها که همگی یک ماتریس هستند، تعریف می‌شوند.

برای بدست‌آوردن تعداد ساختمان‌های راه می‌توان از نقشه‌ها و یا در صورت وجود از اطلاعات GIS استفاده کرد. درغیر این‌صورت می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود، که در آن درصدی از طول راه است که در آن ساختمان ساخته شده است و متوسط طول ساختمان‌های موجود در راه است:

$$N_{bld} = 2L\alpha_{ed}/b_{bld} \qquad (۴۳-۱)$$

در این مطالعه مدل ارائه شده برای کوتاه مدت و با درنظرگرفتن مطالعه موردی حل شده است. در این مدل که از تابع احتمال استفاده شده است نیاز به اطلاعات بعد از زلزله نمی‌باشد و تمامی حالت‌ها به‌صورت فرضی حل می‌شوند. در نتایج مطالعه ذکر شده است که در آنالیز کوتاه‌مدت، مهمترین عامل تأثیرگذار توپولوژی شبکه و در بلندمدت، سطح خدمات‌رسانی شبکه مهمترین عامل تأثیرگذار بر کارایی شبکه می‌باشد. این مطالعه در نهایت نحوه برنامه‌ریزی در مناطق شهری برای مقابله با زلزله را نتیجه می‌دهد، در واقع انتخاب استراتژی از جمله نتایج مهم این نوع نگرش می باشد (Goretti & Sarli, 2006).

یکی از راه‌کارهای کاهش آثار منفی بحران تخلیه است. هدف اصلی تخلیه حرکت دادن جمعیت به سمت خارج از ناحیه در معرض خطر با حداکثر سرعت ممکن است. از ویژگی‌های تخلیه می‌توان به افزایش ناگهانی تقاضای سفر در دوره زمانی کوتاه، رفتار متفاوت از افراد و تغییرات بوجود آمده در عرضه عادی شبکه به دلایل مختلف اشاره نمود. به‌منظور بهینگی فرآیند تخلیه از سیاست‌های مختلفی نظیر تغییر جهت خیابان‌ها، تغییر زمان‌بندی چراغ‌ها و حضور نیروهای پلیس استفاده می‌شود. نصیری و ادریسی (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای به بررسی مدیریت تخلیه شبکه‌های

حمل‌ونقل در مواقع بحران پرداخته‌اند. آن‌ها با استفاده از تخصیص دینامیکی برمبنای شبیه‌سازی شبکه حمل و نقل و روش ابتکاری، فرمول‌بندی مناسبی بمنظور تعیین جهت بهینه کمان‌های شبکه برای تخلیه ارائه داده‌اند.

در برخی دیگر از مطالعات (داودی‌کیا و صباغ‌زاده، ۱۳۸۷) با استفاده از اصول تحقیق در عملیات به برنامه‌ریزی برای بازسازی شبکه‌ی حمل‌ونقل درون‌شهری پس از وقوع زلزله پرداخته شده‌است. در این مطالعه از یک روش برنامه‌ریزی برای الویت‌بندی عملیات بازسازی شبکه حمل و نقل درون‌شهری استفاده شده است.

شریعت و همکاران در سال ۱۳۸٦ برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های حمل‌ونقل از یک روش ابتکاری برای محاسبه قابلیت اطمینان عملکرد اجزای شبکه در سطوح مختلف سرویس‌دهی، بمنظور محاسبه قابلیت اطمینان دسترسی و قابلیت اطمینان ظرفیت شبکه در قالب یک رابطه ریاضی پرداختند. در این روش مبنای تحلیل‌ها چگالی احتمال پیوسته برای ظرفیت کمان‌هاست که این توابع وضعیت واقعی عملکرد کمان‌های شبکه را بیان می‌کنند. با توجه به وضعیت واقعی شبکه قابلیت اطمینان هر کمان به‌صورت جداگانه در طول تحلیل برآورد می‌شود و سپس قابلیت اطمینان عملکرد شبکه برمبنای آن تحلیل می‌شود. قابلیت اطمینان دسترسی نیز برمبنای عملکرد مناسب کمان‌ها در سطح سرویس دلخواه تعریف شده است.

برخی از مطالعات نیز به سنجش کارآمدی عملکرد شبکه حمل‌ونقل شهری در شرایط پس از وقوع زلزله پرداخته‌اند. که از آن جمله می‌توان به تحقیق گیوه‌چی و همکاران (۱۳۸٦) اشاره نمود. آن‌ها در تحقیق خود به شناسایی برخی از مهمترین معیارهای مکان – مبنا در سنجش و ارزیابی عملکرد شبکه حمل و نقل شهری پرداخته و یک معیار مکان – مبنا جدید ارائه نمودند. و بمنظور سنجش کارآمدی این معیار، شبکه معابر اصلی بخشی از منطقه ۲ شهرداری تهران را بصورت موردی مطالعه کردند. نتایج حاصله نشان دادند که کاربرد معیار پیشنهادی در توافق با استفاده از دیگر معیارهای موجود است.

باغوند و گیوه‌چی (۱۳۸٤) در تحقیقی ضمن بررسی ریسک ناشی از حوادث غیرمترقبه بر شبکه حمل و نقل (تشخیص مخاطرات مکانیسم آسیب‌پذیری شبکه) گام‌های لازم را در مراحل پیشگیری کاهش خطر و جلوگیری در فازهای مختلف مهندسی ارزش طرح‌های شبکه حمل و نقل مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. ایشان در تحقیق خود به بررسی مفاهیم ریسک و مدیریت ارزش در طرح‌های حمل و نقل شهری پرداختند.

اسماعیلی (۱۳۸۵) به بررسی مدیریت بحران در حوزه ترافیک و حمل و نقل و به چگونگی مدیریت ترافیک در هنگام وقوع زلزله پرداخته و مشکلات ناشی از تخریب ساختمان‌ها و معابر شهری و برون‌شهری و انسداد راه‌ها در شرایط بحرانی را عنوان کرده است. ایشان همچنین به بیان وظایف مدیریت بحران در قالب تلاش-هایی همچون جلوگیری از وقوع بحران، کسب آمادگی برای مواجهه با بحران‌های ترافیکی، تهیه طرح‌های ترافیکی و منابع لازم برای ایجاد تسهیلات ترافیکی اشاره کرده و یکی از مسائل مهم در بحران‌های ناشی از وقوع زلزله، یعنی رفتارهای انسانی افراد درگیر در زلزله (رانندگان، مردم عادی، نیروی انتظامی و نیروهای امداد) را مورد بررسی قرار داده و به بیان راه‌کارهای مواجهه با بحران‌های ترافیکی در هنگام زلزله (آموزش و اطلاع‌رسانی، تخلیه و بازگشایی مسیر و رفتار رانندگان در استفاده از شبکه بعد از زلزله) پرداخته و درضمن پیشنهاداتی جهت مدیریت بحران در هنگام وقوع بلایای طبیعی ارائه کرده است.

در برخی از رویکردها برخورد ساختاریافته با خطرات و حوادث ناشی از آن لازم دانسته شده است. بمنظور ایجاد یک ساختار مناسب در مواجهه با خطرات لازم است تا مدیریت ایمنی، بحران و ریسک در کنار یکدیگر استفاده شود. پوررضا و پوریاری (۱۳۸۵) در مطالعه‌ای با بررسی هریک از این سه روش مدیریتی از لحاظ مراحل، فرآیندها و حیطه عملکرد برحسب شاخص‌های محدوده تحت پوشش، چرخه مدیریت، نوع و منشا خطرات پرداختند و با مقایسه و کارکرد آن‌ها در بخش

حمل و نقل، جایگاه و نقش هرکدام از این شیوه‌ها را در برخورد با خطرات و حوادث در سه بخش شناخت، برنامه‌ریزی و عملیات مشخص نمودند. در انتهای مطالعه نظام ساختاریافته‌ای جهت برخورد با خطرات و حوادث ناشی از آن با بهره-گیری از سه شیوه مدیریتی ذکر شده، ارائه کردند. که در این ساختار مدیریت ریسک، مدیریت ایمنی و مدیریت بحران را تحت پوشش خود قرار می‌دهد.

بررسی رفتارهای انسانی در جهت تحلیل شبکه و ارزیابی عملکرد و در عین حال مدیریت آن هم در شرایط عادی و هم در شرایط بحرانی امری اجتناب‌ناپذیر است. شریعت و شورشی در سال ۱۳۸۵ در مطالعه‌ای به بررسی رفتارهای انسانی و تاثیر آن در عملکرد شبکه حمل‌ونقل بعد از وقوع زلزله پرداختند و در جهت بهبود عملکرد شبکه بعد از وقوع زلزله راهکارها و پیشنهاداتی را ارائه دادند.

۱-۱۳- جمع‌بندی

شبکه راه‌ها به‌عنوان یکی از شریان‌های حیاتی یک شهر، نقش مهمی را در مدیریت بحران، به‌خصوص در مرحله برون‌بری، ایفا می‌کنند. لذا باید قبل از وقوع حادثه، برای مراحل مختلف مدیریت بحران برنامه‌ریزی نمود. همانطور که در این فصل مشاهده گردید، مطالعات مربوط به نقش شبکه راه‌ها در هنگام و بعد از وقوع زلزله، از دامنه گسترده‌ای برخوردارند. اکثر مطالعات انجام شده، پس از وقوع زلزله صورت پذیرفته که بالطبع، داده‌های مورد نیاز پس از زلزله برای آنها وجود داشته است و مطالعات اندکی قبل از وقوع زلزله انجام شده که در این مطالعات هدف اصلی، تعیین برنامه‌ای برای مدیریت بحران در هنگام وقوع زلزله می‌باشد. مطالعات صورت‌پذیرفته معیارهای مختلفی را جهت برآورد کارایی شبکه انتخاب نموده‌اند که در برخی از آنها ظرفیت راه به‌عنوان اطلاعات ورودی مورد استفاده قرارگرفته‌است. به هر حال به‌نظر می‌رسد، مطالعه‌ای که در آن مستقیماً ظرفیت به مفهوم ترافیکی، قبل از وقوع زلزله مورد ارزیابی قرارگیرد، انجام نشده‌است.

با توجه به مطالب عنوان شده، می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که رویکردهای موجود در زمینه بررسی عملکرد راه‌ها در شرایط بحران به دو قسمت کلی زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱. بررسی عملکرد مجزای سازه‌های اجزاء راه‌ها (مانند پل‌ها و...) در برابر بحران.

۲. بررسی عملکرد کلی سیستم حمل و نقل در برابر بحران.

بطور کلی، تلاش پژوهشی در زمینه‌ی اول کمتر بوده که با توجه به ماهیت تصادفی حوادث، اکثر روش‌های پیشنهادی به‌منظور بررسی عملکرد راه‌ها در زمان بحران و تاثیر بحران بر ظرفیت راه‌ها بصورت احتمالی و یا شبیه‌سازی هستند. در این مطالعات، مقدار کاهش ظرفیت راه درنتیجه‌ی وقوع حادثه به نوع حادثه، احتمال رخداد حادثه، تراکم قبل از حادثه و طول زمان حادثه بستگی دارد.

در سالهای اخیر بدلایل زیر، تحقیقات صورت گرفته در زمینه دوم بیشتر مورد توجه محققان و کارشناسان امر قرار گرفته است:

۱. توانایی مقایسه شرایط کلی و عمومی سیستم حمل و نقل در نقاط مختلف و نه فقط بررسی موردی.
۲. قابلیت مقایسه سناریوهای گوناگون در مورد یک منطقه خاص، در اثر وقوع زلزله.
۳. قابلیت اولویت‌بندی راهکارهای گوناگون ممکن پس از وقوع زلزله به‌منظور بهینه کردن عملکرد کل سیستم.

٤. تحلیل اثرات منفی اقتصادی کل سیستم در اثر خسارات وارده به راه

فصل دوم: گردآوری اطلاعات، متدولوژی و مدل‌سازی

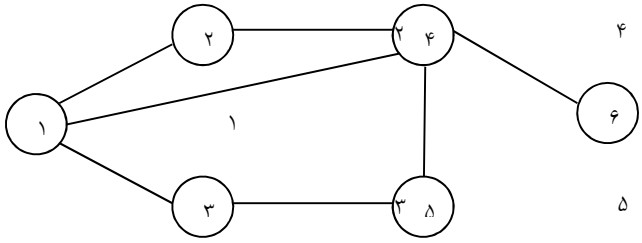
۲-۱- مقدمه

هدف از این مطالعه، بررسی عملکرد شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای کشور در زمان بحران است. بدین منظور ابتدا باید داده‌ها و ورودی‌های مطالعه مشخص شوند؛ سپس با استفاده از مدل‌سازی، بر روی این داده‌ها تحلیل‌های مورد نظر انجام شده و در نهایت، نتیجه حاصل از مدل‌سازی را مورد استفاده قرار داد. در این بخش (۳-۲)، داده‌های این مطالعه بیان خواهند شد. در بخش‌های بعدی این فصل به سایر مراحل (مدل‌سازی، اجرای مدل براساس سناریوی مورد نظر و نتیجه‌گیری) پرداخته خواهد شد. در قسمت دوم این بخش (۳-۲-۲) مفاهیم شبکه توضیح داده شده‌اند؛ شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور و هم‌چنین مطالعات جامع حمل‌ونقل کشور به‌عنوان ورودی‌های این مسئله می‌باشند که به‌ترتیب در قسمت‌های ۳-۲-۳ و ۳-۲-۵ ذکر شده‌اند. در قسمت ۳-۲-٤ نیز به موضوع تناظر اجزای مختلف شبکه (استان، شهرستان و ناحیه) که در بخش‌های بعد (مدل‌سازی و اجرای مدل) مورد استفاده قرار می‌گیرند پرداخته شده است. در پایان، در بند ۳-۲-٦ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی برای بخش ۳-۲ صورت پذیرفته است.

۲-۱-۱- مفاهیم شبکه

هدف این مطالعه، بررسی عملکرد شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای کشور در زمان بحران است. بنابراین، یکی از دانسته‌های مهم، مفاهیم شبکه است که در قسمت‌های ذیل به آن پرداخته خواهد شد. در قسمت اول توضیحاتی درباره معرفی شبکه ارائه شده و در قسمت دوم، مسائل مهم مطرح در شبکه معرفی می‌شوند.

تعریف شبکه: شبکه یا گراف[۱] شامل تعدادی گره[۲](نقاط اتصال) است که برخی از یا تمام آن‌ها توسط کمان‌ها[۳] به‌هم وصل شده‌اند. کمان‌ها می‌توانند دارای جریان در هر دو جهت و یا فقط در یک جهت باشند. مسیر[٤] بین دو گره، عبارتست از یک‌سری کمان‌های دنبال هم مشخص، که آن دو گره را به‌هم متصل می‌کند. واژه‌های دیگری نیز برای تشریح گراف توسعه یافته‌اند. رشته‌ای از شاخه‌ها که دو گره را به‌هم متصل می‌کنند یک زنجیره[٥] نامیده می‌شوند. چرخه[٦]، زنجیره‌ای است که گرهی را به - خودش مرتبط می‌سازد.



شکل ۲-۱ نمونه ساده‌ای از شبکه

---

۱ Network, Graph

۲ Node, Edge

۳ Link, Arc

٤ Path

٥ Chain

٦ Cycle

هرگاه بتوان هر دو گره دلخواه یک گراف را با زنجیره‌ای به‌هم متصل ساخت، آن‌را گراف متصل می‌گویند. براساس یکی از قضایای نظریه گراف، گرافی با n گره، در صورتی متصل است که دارای (n-1) شاخه و فاقد هرگونه چرخه‌ای باشد (که در این‌صورت یک درخت است). گرافی با این مشخصات را *درخت دربرگیرنده* می‌نامند.

یک شاخه گراف در صورتی جهت‌دار[۱] خوانده می‌شود که مفهوم جهت را در بطن خود داشته باشد، به‌طوری‌که یک گره آن‌را بتوان به‌عنوان مبدا و گره دیگر را به‌عنوان مقصد منظور نمود. یک گراف جهت‌دار گرافی است که تمام شاخه‌های آن جهت‌دار باشد. اگر گراف جهت‌دار یک شبکه باشد، جهت شاخه‌ها نشان دهنده جهت موجه[۲] جریان در شاخه است. لیکن، هر شبکه‌ای لزوما یک گراف جهت‌دار نیست، زیرا ممکن است که جریان دوطرفه نیز در شاخه‌ها میسر باشد. ظرفیت جریان یک شاخه در یک جریان معین، عبارت از بیشترین مقدار جریان یا نرخ جریانی است که در آن شاخه و در همان جهت می‌تواند عبور کند. ظرفیت جریان یک شاخه می‌تواند هر عدد غیرمنفی، و از جمله بی‌نهایت باشد. شاخه‌ای را جهت-دار می‌گویند که ظرفیت جریان در یک جهت آن برابر صفر باشد. گاهی یک گره نیز ظرفیتی محدود دارد، ولی از بحث درباره آن صرفنظر می‌کنیم. در یک شبکه، گرهی چشمه[۳] خوانده می‌شود که در تمام شاخه‌های متصل به آن گره، جریان در جهت دور شدن باشد. به‌طریق مشابه، چنانچه جهت همه شاخه‌های متصل به گرهی به طرف آن گره باشد، آن را چاه[٤] می‌نامند. بنابراین، چشمه‌ها مولد جریان و چاه‌ها جاذب آن هستند.

---

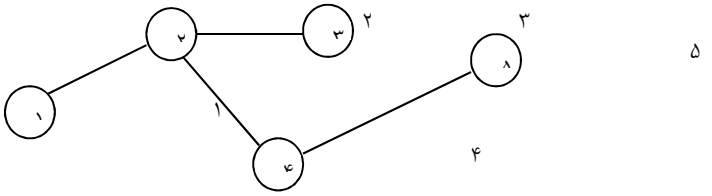
۱ Directed

۲ Feasible

۳ Source

٤ Sink

شبکه‌ای که تمام گره‌های آن به‌هم متصل شده و حلقه‌ای در آن وجود نداشته باشد، درخت[۱] نامیده می‌شود. یک شبکه درختی دارای کمترین (و نه لزوما کم‌هزینه‌ترین) کمان مورد نیاز جهت اتصال تمام گره‌ها، برای ایجاد یک شبکه متصل شده است.



شکل ۲-۲ نمونه‌ای از درخت

با بررسی علم تحقیق در عملیات، با مسائل بسیار زیادی در زمینه شبکه روبرو خواهیم شد. در قسمت‌های زیر به دو مسئله مورد توجه در این مطالعه به‌صورت مختصر پرداخته شده و در بخش‌های آتی توضیحات کامل‌تری درباره آن‌ها داده شده است.

مسئله کوتاه‌ترین مسیر[۲]: این مسئله به‌منظور تعیین بهترین مسیری که کوتاه‌ترین مسافت (و یا کم‌ترین هزینه، زمان و یا ...) بین دو گره مبدا–مقصد مشخص را در یک شبکه ارائه می‌کند به‌کار گرفته می‌شود. روش‌های گوناگونی برای حل این مسئله در متون پژوهش عملیاتی[۳] پیشنهاد شده و نرم‌افزارهای رایانه‌ای متنوعی مانند WinQSB, Visum, ArcGIS این مسئله را به‌راحتی و به‌سرعت حل می‌کنند.

مسئله حداقل درخت دربرگیرنده[٤]: هدف در این مسئله، ساختن شبکه‌ای متصل شده و فاقد حلقه است (درخت) که دربرگیرنده تمام گره‌ها بوده و مجموع فاصله‌ها (هزینه‌ها، زمان‌ها و...) را در شبکه حداقل کند.

---

۱ Tree

۲ Shortest Path Problem

۳ Operations Research

٤ Minimum Spanning Tree

تفاوت مسئله کوتاه‌ترین مسیر و حداقل درخت دربرگیرنده این است که در مسئله کوتاه‌ترین مسیر، بعضی از گره‌های شبکه در مسیر قرار می‌گیرند که نهایتا کوتاه‌ترین مسیر در شبکه را تعیین می‌کنند، ولی در مسئله حداقل درخت دربرگیرنده، درخت کلیه گره‌های شبکه را می‌پوشاند. برای حل این مسئله نیز الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای گوناگونی وجود دارند.

از مسائل مهمی که می‌تواند این دو ویژگی شبکه را تحت تاثیر خود قرار دهد، مساله ظرفیت و تقاضای کمان‌های شبکه است. چرا که هر دوی این پارامترها به‌گونه‌ای در حداقل شدن هزینه‌ها (زمان سفر، مجموع فاصله‌ها و..) در شبکه موثرند. در مراجع مختلف در رابطه با ظرفیت راه‌ها در شرایط عادی بسیار بحث شده است ولی در رابطه با تاثیر وقوع بحران بر کاهش ظرفیت مطالب زیادی ارائه نشده است و لذا به‌نظر می‌رسد که به‌منظور تعیین هرچه دقیق‌تر کاهش ظرفیت راه‌ها در هنگام وقوع بحران و حوادث باید از نظرات کارشناسی موجود استفاده کرد البته مقالاتی نیز در این زمینه ارائه شده‌اند که می‌توان به‌عنوان راهنما از آن‌ها استفاده کرد.

در رابطه با افزایش یا کاهش تقاضا هنگام وقوع بحران نیز در مراجع سخنی به میان نیامده است و در این زمینه نیز باید از نظرات کارشناسی معتبر استفاده نمود. طبیعی است که میزان افزایش تقاضا در کمان‌های حیاتی یک شبکه در هنگام وقوع بحران بستگی به شدت بحران بوجود آمده و نیازی که برای امداد رسانی احساس می‌شود، دارد.

در هر دو مورد ذکر شده در بالا استفاده از نظرات متخصصان و صاحب‌نظران در زمینه بحران اجتناب‌ناپذیر است.

۲-۲- شبکه راه‌های جاده‌ای ایران

پس از معرفی انواع کلی طبقه‌بندی راه‌ها، در این قسمت، شبکه راه‌های ایران معرفی خواهند شد. پس از بررسی منابع گوناگون، به دو شبکه جاده‌ای متفاوت دست خواهیم یافت. تعداد کمان‌ها، گره‌ها و طول راه‌ها در این دو شبکه با هم متفاوت است. شبکه اول معروف به شبکه *Iran250* بوده و شبکه دوم، شبکه

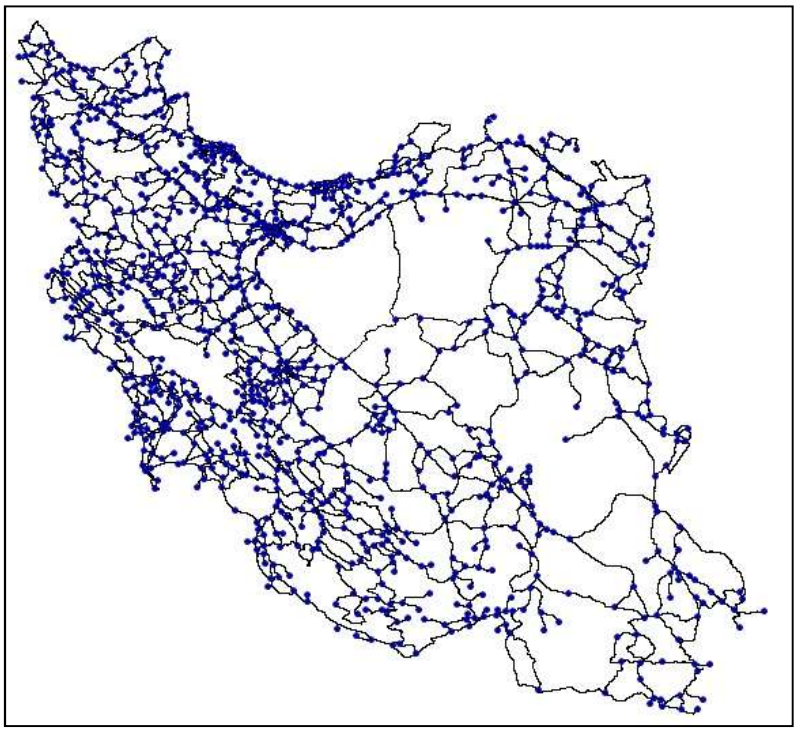
شریانی نام دارد. در دو قسمت ذیل، به‌ترتیب در مورد این شبکه‌ها توضیح داده شده است.

۲-۲-۱- شبکه Iran250

این شبکه، علاوه بر راه‌های موجود در طبقه‌بندی عملکردی، شامل برخی دیگر از راه‌ها (فرعی و...) نیز می‌باشد. این شبکه قبل از شبکه راه‌های شریانی تهیه شده است. شکل این شبکه و هم‌چنین برخی از مشخصات آن در شکل و جدول ذیل نمایش داده شده است:

جدول۲-۱ مشخصات شبکه راه‌های Iran250

شبکه راه‌های Iran250	
تعداد گره‌ها	۲۹۹۹
تعداد کمان‌ها	۸۵۵٦
طول کل راه‌ها	٦۹٦٦۵/٦ کیلومتر



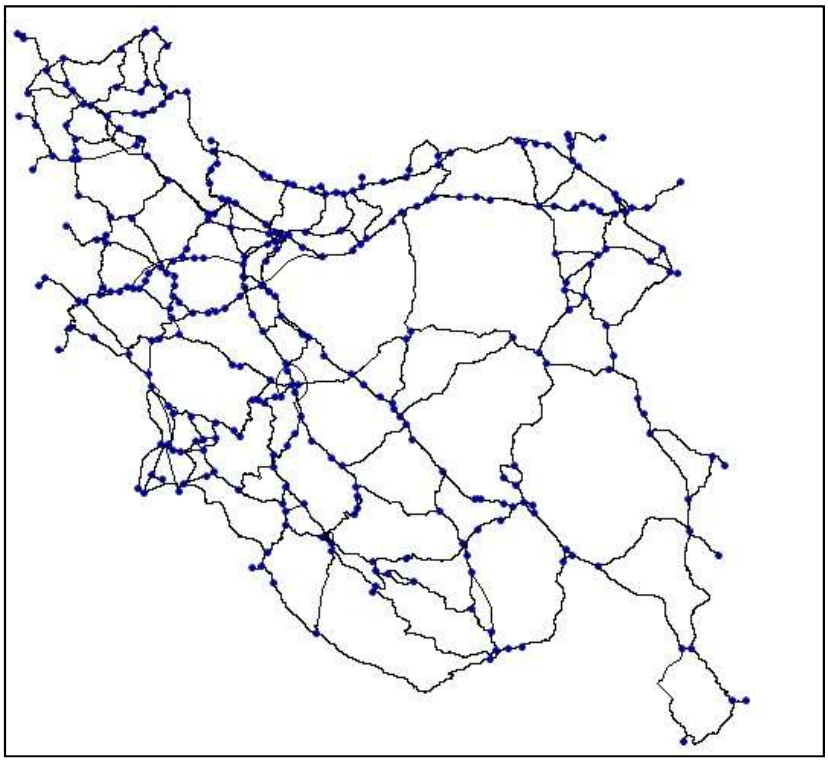
شکل۲-۳ شبکه راه‌های Iran250

۲-۲-۲- شبکه شریانی

در مطالعات جامع حمل و نقل کشور تلاش شده تا مهم‌ترین مقطع شبکه ایران براساس عملکرد آن تعیین شود. این انتخاب با در نظر گرفتن حجم ترافیک، احتمال وجود ترافیک ترانزیت، ارتباط بین مراکز مسکونی و تولیدی عمده و طرح‌های آینده در زمینه توسعه صورت پذیرفته است. نتیجه این کار، شبکه راه‌های شریانی ایران نامیده شده است. شکل این شبکه (نرم‌افزار Visum) و هم‌چنین برخی از مشخصات آن در شکل و جدول ذیل نمایش داده شده است:

جدول ۲-۲. مشخصات شبکه راه‌های شریانی ایران

شبکه راه‌های شریانی ایران	
تعداد گره‌ها	۷۸٦
تعداد کمان‌ها	۲۲۷۲
طول کل راه‌ها	۱٤۳۹۱۳/۳ کیلومتر
تعداد نواحی حمل و نقلی	٥٦



شکل ۲-٤ شبکه راه‌های شریانی ایران[1]

۱ مطالعات جامع حمل و نقل کشور (۱۳۸۳)

مدیریت بحران در هر زمینه‌ای (از جمله در بحث راه‌ها) شامل مراحل گوناگون زمانی (پیش از بحران، حین بحران و پس از بحران) می‌باشد. میزان اطلاعات و داده‌ها در این مراحل زمانی با یکدیگر یکسان نیستند. پیش از وقوع بحران، اطلاع دقیقی از محل و شدت وقوع آن نداریم. هم‌چنین با شبکه‌ای بسیار بزرگ که دارای کمان‌ها و راه‌های زیادی است روبرو بوده و مسئله محدودیت بودجه نیز مطرح می‌باشد. بنابراین، با توجه به دلایل فوق و نیز این مطلب که مطالعات جامع حمل و نقل کشور در سال‌های اخیر انجام گرفته و اطلاعات حاصل از آن مناسب‌تر (از این نظر که فقط شامل راه‌های شریانی که متصل کننده‌ی مبدا–مقصدهای مهم به یکدیگر هستند می‌باشد) و بروزتر به‌نظر می‌آیند، بمنظور انجام تحلیل شبکه پیش از وقوع بحران، انتخاب شبکه راه‌های شریانی کشور (با استفاده از مطالعات جامع حمل و نقل کشور) معقول و منطقی به‌نظر می‌رسد. گره‌ها و کمان‌های شبکه شریانی با توجه به هدف مطالعات جامع حمل و نقل کشور تعیین شده‌اند. اما با توجه به هدف این مطالعه، بسیاری از این گره‌ها و کمان‌ها زائد هستند؛ یعنی می‌توان برخی از گره‌ها را حذف کرده و کمان‌ها را به‌هم متصل نمود. علت این کار این است که اولا بسیاری از این گره‌ها به‌منظور تمییز دادن کمان‌های با برخی ویژگی‌های (مانند شیب) متفاوت بوده و ثانیا با کاهش تعداد المان‌های شبکه، تحلیل آن ساده‌تر خواهد شد. مشخصات این شبکه پس از اعمال این تغییرات، در قسمت قبل ذکر گردیده است.

۲-۳-ارتباط بین عناصر شبکه

هدف این مطالعه، بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران است. بنابراین، منطقه مورد مطالعه، ایران است. در قسمت قبل (۳-۲-۳)، شبکه راه‌های مناسب برای این مطالعه (شبکه شریانی) انتخاب گردید. این شبکه راه‌ها (که داخل منطقه مورد مطالعه قرار دارد) را می‌توان با توجه به تقسیمات مختلف کشوری (استان و شهرستان) و ترافیکی (ناحیه‌های مشخص شده در مطالعات جامع حمل و نقل کشور) به چندین قسمت مجزا تبدیل نمود. همان‌طور

که در بخش ۳-٦ ملاحظه خواهد شد، علت این‌گونه تقسیم‌بندی راه‌ها این است که با توجه به وسعت شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای کشور و این‌که احتمال وقوع زلزله در کل کشور (به‌صورت هم‌زمان) بسیار نادر است، بررسی کل شبکه کشور در اثر زلزله در یک یا چند منطقه‌ی خاص، زیاد منطقی به نظر نمی‌رسد. یک رویکرد مناسب می‌تواند، تقسیم‌بندی شبکه راه‌های جاده‌ای کشور با توجه به استان، شهرستان و یا ناحیه‌های موجود در مطالعات جامع حمل‌ونقل کشور باشد. جداول زیر شامل تناظر بین استان‌ها، شهرستان‌ها و نواحی با یکدیگر است؛ بدین معنی که برای مثال، شهرستان‌ها به تفکیک استان ذکر شده‌اند. این جداول در مرحله مدل‌سازی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.در این مدل به هر شهرستان یک کد اختصاص یافته است(از عدد ۱ تا ۳۱٦).

۲-۳-۱- طرح جامع حمل و نقل کشور

هدف این مطالعه، بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران است. بنابراین، یکی از داده‌های مهم، شبکه حمل و نقل جاده‌ای است که در قسمت ۳-۱-۳ ذکر گردید؛ در این قسمت، به یکی دیگر از منابع و داده‌های مورد استفاده در این مطالعه (مطالعات جامع حمل و نقل کشور) پرداخته خواهد شد.

گسترده شدن اخیر ارتباطات در اثر توسعه فن‌آوری و جهانی شدن باعث افزایش تبادلات بین المللی بار و مسافر شده است. این امر فشار مضاعفی را بر سیستم حمل و نقل وارد کرده و باعث بروز مشکلات متعددی در بخش حمل و نقل شده است. عدم توانایی در حل کامل این مشکلات منجر به بروز مشکلات تبعی گوناگونی در زمینه کاهش بهره‌وری، تخصیص نامناسب منابع انسانی و فعالیت‌های حمل و نقلی غیراقتصادی خواهد شد. بنابراین بسیار مهم است که سیستم حمل و نقل و زیربخش‌های آن به درجات بالایی از کارایی برسند. برای انجام این کار یک برنامه جامع، پویا و هماهنگ با طرح‌های توسعه وابسته به شرایط کشور و جایگاه صحیح آن در منطقه و جهان مورد نیاز می‌باشد. این کار را می‌توان از طریق ارائه یک طرح جامع حمل و نقل ملی انجام داد.

طرح‌های جامع حمل و نقل پروژه‌هایی هستند که در آن‌ها شیوه‌های حمل و نقل مطرح در سطح ملی به منظور تهیه برنامه توسعه زیرساخت‌های مورد نیاز در آینده مورد مطالعه قرار می‌گیرند. مزیت انجام این نوع طرح‌های مطالعاتی در مقایسه با تحلیل یک‌سری پروژه‌های مستقل آن است که در این قبیل طرح‌ها، اولویت‌بندی در میان طیف گسترده‌تری از گزینه‌ها انجام می‌پذیرد.

متغیرهای مختلفی وجود دارند که در هر طرحی مورد توجه هستند؛ این متغیرها عبارتند از:

۱. گستره طرح: شیوه‌های (مدهای) حمل و نقلی که مورد بررسی قرار می‌گیرند.
۲. بازه زمانی: بازه زمانی مورد نظر در این مطالعات، چند سال است.
۳. تقاضای حمل و نقل: این متغیر بستگی فراوانی به بازه زمانی و شیوه‌های حمل و نقل مورد بررسی دارد که می‌تواند بسیار گسترده و پیچیده و یا ساده باشد.
٤. عرضه و وضعیت زیرساخت‌های حمل و نقل: با توجه به بازه زمانی و شیوه‌های حمل و نقل مورد نظر، بایستی مطالعه‌ای در خصوص شرایط کنونی زیرساخت‌های حمل و نقل کشور انجام پذیرد که در آن علاوه بر تشریح گزینه‌های مختلف ارتقاء زیرساخت‌ها، هزینه اجرای آنها نیز مورد توجه قرار گیرد.
۵. شبکه: هنگامی‌که یک شیوه حمل و نقل به‌طور مجزا مورد مطالعه قرار می‌گیرد، شبکه حمل و نقل نیز شبکه مورد استفاده همان شیوه حمل و نقل خواهد بود. در این زمینه استثنایی که وجود دارد، شبکه حمل و نقل جاده‌ای است که شامل راه‌های بین‌شهری و درون‌شهری است که هر یک شیوه‌های تحلیلی خاص خود را دارند. علاوه بر این، از آن‌جا که تامین مالی در مورد حمل‌ونقل جاده‌ای توسط سطوح مختلف دولتی صورت می‌گیرد، از این‌رو شبکه‌های جداگانه‌ای نیز در رابطه با هر یک از آن‌ها براساس عملکردشان مورد توجه قرار گرفته و نیز تحلیل‌های جداگانه‌ای در رابطه با هر یک انجام می‌پذیرد.
٦. مدل‌سازی: میزان دقت تکنیک‌های مدل‌سازی و نرم‌افزارهای بکار گرفته شده، بستگی به پیچیدگی شبکه و جریان حمل و نقل مورد بررسی دارد.

بطور کلی در طول دهه‌های اخیر، مطالعات مختلفی در سطح ملی و در حمل و نقل کشور انجام گرفته که برخی از آن‌ها به‌طور جامع در سطح کل بخش حمل و نقل و برخی دیگر در سطح زیربخشی انجام شده‌اند. اهم این مطالعات به شرح زیر است:

- نخستین طرح جامع حمل و نقل کشور (سازمان برنامه و بودجه) (۱۳۶۵-۱۳۷۰)
- مطالعه طرح جامع بنادر کشور
- طرح جامع بنادر بازرگانی کشور
- طرح مطالعات هماهنگ‌سازی حمل و نقل کشور
- طرح مطالعات جامع بهینه‌سازی و گسترش راه‌آهن ایران
- طرح جامع شاهراه‌های ایران
- مطالعه بررسی حمل و نقل کالای وارداتی و تولیدات داخلی در کشور
- مطالعه مدل عملیات پایانه در کشور
- برآورد تقاضای حمل و نقل جاده‌ای کشور
- جدیدترین طرح جامع حمل و نقل کشور (۱۳۸۳)؛ که در مورد آن توضیح داده خواهد شد و مورد استفاده ما می‌باشد.

طرح **جامع حمل‌ونقل کشور** در ۳ فاز (مرحله) انجام گردیده که در قسمت ذیل، خلاصه‌ای از مطالب مهم و مرتبط‌تر ارائه می‌شود:

۱. فاز۱: شناخت وضع موجود و پیشنهادات کوتاه‌مدت؛ هدف از فاز شناخت و پیشنهادات کوتاه‌مدت، ارائه یک سری راه‌حل‌های کم‌هزینه بر اساس گزارش‌های شناخت بخش حمل و نقل به‌منظور اجرای فوری می‌شود. این تحلیل‌ها از دو بخش تشکیل شده‌اند؛ یک بخش شناخت که در آن بخش‌های مختلف توصیف شده و مشکلات آنی مشخص شده است؛ بخش دیگر شامل پیشنهادات کوتاه‌مدت که راه‌حل‌هایی را در زمینه مشکلات مربوط به بخش‌های مختلف ارائه می‌کنند.

۲. فاز۲: تحلیل تقاضا در حمل و نقل؛ هدف از تحلیل تقاضا، تعیین نیازهای مربوط به زیرساخت‌های حمل و نقل بین مراکز اصلی تولید/واردات و مصرف/صادرات می‌باشد. در اینجا هدف، شناسایی حجم تقاضای حمل و نقل در هر شیوه برای حال و ۲۰ سال آینده از طریق جمع‌آوری اطلاعات و مدل‌سازی می‌باشد.

۳. فاز۳: تحلیل عرضه در حمل و نقل به‌همراه یک برنامه اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری برای دوره ۲۰ ساله مطالعه؛ در این فاز از پروژه، طرح سرمایه‌گذاری درازمدت در بخش حمل و نقل تکمیل خواهد شد. این کار نیاز به ارزیابی ظرفیت عرضه زیرساخت‌های حمل و نقل از نظر تقاضای مطرح شده در هر شیوه دارد. روش به کار گرفته شده در ارزیابی و اولویت‌بندی، تحلیل سود–هزینه اقتصادی و بهینه‌سازی بودجه خواهد بود. بهینه‌سازی بودجه بدین معناست که زمان‌بندی سرمایه‌گذاری با توجه به موجود بودن اعتبار بهینه گردد. خروجی این فاز، اولویت‌بندی جایگاه و هزینه‌های پروژه‌های زیرساخت‌های حمل و نقل در هر شیوه و برای ۲۰ سال آینده خواهد بود.

شناسایی مقاطع زمانی طرح بستگی به چهار فاکتور اصلی دارد. این فاکتورها عبارتند از:

۱. سال پایه اطلاعات: به سالی اطلاق می‌شود که از آن سال، اطلاعات آماری برای احجام ترافیک موجود، قیمت‌ها و اطلاعات اجتماعی–اقتصادی مثل جمعیت و خصوصیات عرضه حمل و نقل تثبیت می‌شوند. سال پایه اطلاعات، نقطه شروع مطالعات می‌باشد. در رابطه با این مطالعات جامع حمل و نقل، سال ۱۳۸٤ به‌عنوان سال پایه اطلاعات در نظر گرفته شده است.

۲. سال شروع پروژه: این سال اولین سال شروع بازه زمانی است که کل پروژه در آن انجام می‌پذیرد. طبق تعریف، این سال، اولین سال اجرای پروژه است که پس از اتمام زمان آماده‌سازی برای پروژه، شروع می‌شود. در رابطه با این مطالعات جامع حمل و نقل، سال ۱۳۸۹ به‌عنوان سال شروع پروژه در نظر گرفته شده است.

۳. سال‌های طرح: سال‌های طراحی در بازه‌های خاص در خلال بازه زمانی کل طرح تعریف می‌شوند. در رابطه با این مطالعات جامع حمل و نقل، ٤ بازه طراحی ۵ ساله داریم.

٤. سال‌های به‌هنگام‌رسانی طرح: سال‌هایی هستند که در این سال‌ها، اطلاعات مطالعه بایستی به‌روزرسانی شده و به‌منظور به‌روزشدن نتایج، مدل‌سازی مجددا اجرا گردد. در رابطه با این مطالعات جامع حمل و نقل، سال‌های به‌هنگام‌رسانی طرح، در سال قبل از هر سال طراحی در نظر گرفته شده است.

۲-۳-۲- ناحیه‌بندی[۱] کشور

یکی از مطالعات پایه مورد نیاز برای برنامه‌ریزی حمل و نقل، ناحیه‌بندی کشور است. اولین گام در ساخت مدل حمل و نقل، مشخص کردن منطقه‌های اقتصادی، یعنی مناطقی که فعالیت اقتصادی در آن‌ها انجام شده و موجب تولید یا جذب ترافیک به/از دیگر مناطق مورد مطالعه می‌شوند می‌باشد. هر ناحیه باید دارای یک مرکز باشد که مرکز ثقل فعالیت‌های اقتصادی بوده و تمام جابجایی‌ها از/به آن ناحیه را می‌توان در آنجا اندازه‌گیری نمود. در نهایت، در مطالعات انجام‌شده برای طرح جامع حمل و نقل کشور، ۵۶ *ناحیه* مشخص شده‌اند.

ناحیه‌بندی نوعی گروه‌بندی از واحدهای آماری است که صرف‌نظر از وسعت ناحیه مورد مطالعه و حتی هدف‌های آن بایستی حائز شرایط، ویژگی‌ها و ضوابط عمومی ناحیه‌بندی علم حمل و نقل که در ذیل معرفی می‌گردد باشد:

۱. ناحیه‌ها بایستی از نظر داخلی (درون‌گروهی) همگون (یکسان: مشابهت در دارا بودن ویژگی‌های مورد نظر از حمل و نقل) و از نظر خارجی (برون‌گروهی) ناهمگون و متمایز از هم باشند.

---

۱ Zoning

۲. ناحیه‌ها بهتر است هم‌وزن باشند؛ دراین‌صورت تشریح عملکرد و وضعیت سیستم، نتیجه‌گیری، صدور اجرای سیاست‌ها و خط‌مشی‌های مربوط به برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت، بسیار ساده‌تر بوده و خطای برآوردها کمتر خواهد شد.
۳. معرفی نقطه‌ای در ناحیه به‌عنوان نماینده مجموعه نقاط از نظر تولید و یا جذب سفر که گرانیگاه همه فعالیت‌های حمل و نقل و ویژگی‌های مربوط باشد؛ بطوری‌که سفرهای بین نقاط درونی این ناحیه و اثرات آن‌ها از نظرهای مختلف، اهمیت چندانی در اهداف برنامه‌ریزی برخوردار نباشد.
٤. ناحیه‌بندی سرزمین مورد مطالعه باید چنان صورت پذیرد که سفرهای مورد نظر مطالعه از دست نرود؛ برای مثال، اگر هدف برنامه‌ریزی حمل و نقل در سطح کشور است، سفرهای بین ناحیه‌ای از اهمیت ویژه برخوردار بوده و می‌توان از سفرهای درون ناحیه‌ای صرف‌نظر کرد.

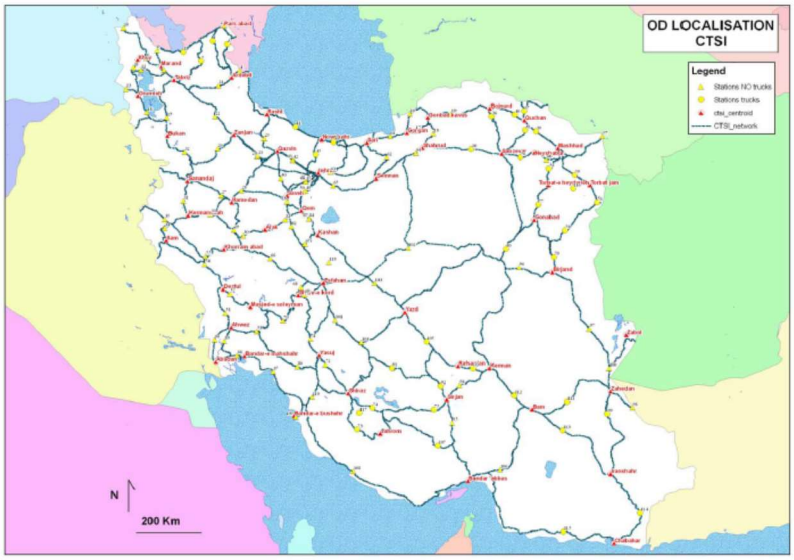
تعداد و اندازه نواحی تقسیم شده در وهله اول با توجه به هدف مطالعه تعیین می‌گردد. هدف از مطالعه جامع حمل و نقل کشور، تعیین سرمایه مورد نیاز برای زیرساخت‌های فواصل طولانی (بین‌شهری) برای شیوه‌های مختلف می‌باشد. بنابراین توجه این مطالعه به جابجایی‌های بین‌شهری بار و مسافر و زیرساخت‌های مورد استفاده معطوف است.

گام۱: تعیین ناحیه‌های خارجی؛ یعنی نواحی و کشورهای دیگر که ایران با آن‌ها روابط تجاری داشته و محصولاتشان را به ایران فرستاده یا از ایران عبور می‌دهند می‌باشد.

گام۲: تعیین نواحی داخلی؛ تعریف مناطق داخلی با هدف مطالعه ارتباط دارد. از آن‌جا که جابجایی‌های فواصل زیاد (بین‌شهری) مورد هدف این طرح هستند، سیستم ناحیه‌بندی انعکاس‌دهنده مراکز اصلی جذب و تولید ترافیک و یا به‌عبارت دیگر واحدهای تولیدی بزرگ و مراکز جمعیتی خواهد بود. در این شرایط، نواحی بدست آمده، منعکس‌کننده حوزه نفوذ اقتصادی مراکز مصرفی و تولیدی اصلی خواهند بود.

وظیفه اول، تعریف نقاط مرکزی برای تحلیل می‌باشد. این کار در وهله اول به معنای شناسایی مراکز عمده جمعیتی می‌باشد؛ زیرا این مردم هستند که تقاضاهای سفر و تولیدات را ایجاد می‌کنند و نیروی کار فعالیت‌های تولیدی و صنعتی را تامین می‌کنند.

از نظر عرضه، مراکز تولید و فرآوری صنعتی و کشاورزی شناسایی شده و با توجه به نسبت آن‌ها با مراکز جمعیتی و نقاط مرزی و با استفاده از نرم‌افزار GIS و نقاط جغرافیایی امکانات تولیدی مکان‌یابی می‌شوند. پس از شناسایی مراکز مورد نظر، شهرستان‌هایی که تحت تاثیر حوزه نفوذ هر یک از این مناطق هستند مشخص می‌شوند و جمعیت و دیگر خصوصیات حوزه نفوذ تنظیم می‌گردند و تبدیل به منطقه مورد نظر برای تحلیل می‌شوند.



شکل۲-۵ نواحی ۵۶ گانه حمل‌ونقلی کشور

۲-۳-۳-نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

هدف از این مطالعه، بررسی عملکرد شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای کشور در زمان بحران است. بدین منظور ابتدا باید داده‌ها و ورودی‌های مطالعه مشخص شوند؛ سپس با استفاده از مدل‌سازی، بر روی این داده‌ها تحلیل‌های مورد نظر انجام شده و

در نهایت، نتیجه حاصل از مدل‌سازی را مورد استفاده قرار داد. در این بخش (۳-۱)، به معرفی داده‌های این مطالعه پرداخته شد. دو ورودی مهم این مطالعه عبارتند از شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور و مطالعات جامع حمل و نقل کشور که به تفصیل در مورد آن‌ها بحث گردید. بطور خلاصه، نتیجه گرفته شد که از *شبکه شریانی* که از مطالعات جامع حمل و نقل کشور استخراج شده، به‌عنوان شبکه‌ی ورودی استفاده شود. اکنون با داشتن داده‌های مورد نیاز، مرحله بعد (مدل‌سازی) را می‌توان در بخش بعد شروع نمود.

فصل سوم: ساخت مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی از نوع جریان در شبکه (مسئله حداقل درخت گسترش و مسئله کوتاه‌ترین مسیر)

۳-۱-مقدمه

موضوع این مطالعه، بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران است. بدین منظور ابتدا باید داده‌ها و ورودی‌های مطالعه مشخص شوند؛ سپس با استفاده از مدل‌سازی، بر روی این داده‌ها تحلیل‌های مورد نظر انجام شده و در نهایت، نتیجه حاصل از مدل‌سازی را مورد استفاده قرار داد. در این بخش، به مدل‌سازی مسائلی که در این مطالعه با آن‌ها مواجه خواهیم شد می‌پردازیم. در قسمت دوم این بخش به مفاهیم مدل پرداخته شده است. در قسمت‌های بعدی به‌ترتیب، انواع مدل‌ها و ماهیت مدل‌های این مطالعه بیان شده‌اند و همچنین با نرم‌افزار WinQSB آشنا شده و نمونه‌ی حل شده‌ای توسط این نرم‌افزار ارائه گردیده است. در قسمت آخر نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از این بخش انجام شده است.

۳-۲-مفاهیم مدل[۱]

مدل، ساده شدهٔ دنیای واقعی است. مدل ایده‌ال، مدلی است که بتواند تمامی اجزاء یک سیستم و تمامی روابط اجزا را مشخص کند. در عمل نمی‌توان چنین مدلی داشت و اگر مدلی داشته باشیم که بتواند تا درصد بالایی روابط بین اجزا را مشخص کند مدل خوبی خواهد بود، ولی ۱۰۰ درصد امکان‌پذیر نیست (یا حداقل به سختی می‌توان به چنین مدلی دست یافت).

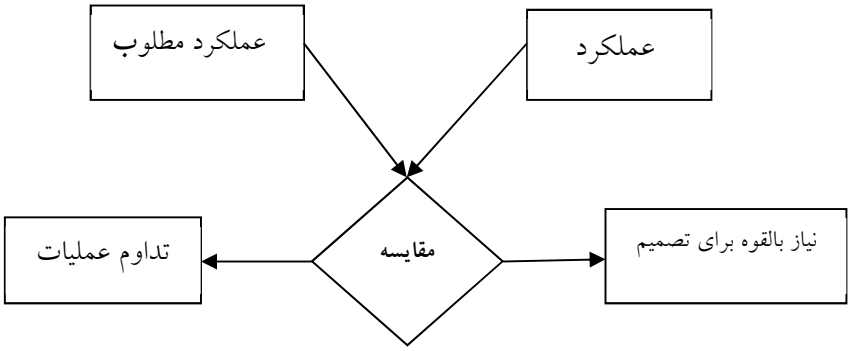
برای تعریف و حل هر مسئله در جهان واقعیت، برداشت‌هایی از آن واقعیت می‌کنیم. با این کار، در واقع مدلی از آن واقعیت را برای حل مسئله استفاده کرده‌ایم. به بیان دیگر، مدل ابزاری برای حل مسئله است و به‌صورت یک ساده‌سازی و برداشت از واقعیت است. دلیل استفاده از مدل‌ها این است که اغلب، واقعیت مسئله از پیچیدگی زیادی برخوردار است و از این رو انعکاس کامل پیچیدگی مسئله بسیار مشکل است. حال ممکن است در مورد مسائل گوناگون یک واقعیت، کارشناسان هر موضوع، مدل‌های متفاوتی از آن واقعیت ارائه دهند؛ بنابراین مدل یک واقعیت، وابسته به نوع دیدگاه می تواند چندین نوع باشد.

۳-۳-ضرورت مدل‌سازی

اصولا فرآیند تصمیم‌گیری (مدیریت)، با درک نیاز برای اخذ تصمیم شروع می‌شود. با مقایسه عملکرد کنونی (واقعی) و عملکرد مطلوب هر یک از فعالیت‌های سازمان تحت امر تصمیم‌گیر، می‌توان به نیاز یا عدم نیاز به تصمیمات جدید پی برد.

---

۱ Model



شکل ۳-۱ روند نیازسنجی برای تصمیم

امروزه سیاست کلی اکثر سازمان‌های حمل و نقل و ترافیک در دنیا، ایجاد شبکه‌ای ایمن، با کیفیت بالا، مقرون‌بصرفه برای انتقال مسافر و بار، و پایدار[۱] است. حوادث و بلایای طبیعی، آثار بسیار زیان‌باری در زمینه‌های گوناگون (اقتصادی، اجتماعی و...) برای انسان دارند. عملکرد زیرساخت‌های[۲] مهمی چون شبکه‌های راه‌ها، آب، برق، گاز و تلفن می‌تواند در اثر وقوع حوادث گوناگون طبیعی و غیرطبیعی تحت‌تاثیر قرار گیرد. در کشور ما، بدلیل واقع شدن بخش‌های زیادی از کشور بر روی کمربند زلزله، مدیریت بحران در زمینه‌های گوناگون و از جمله مهم‌ترین آن‌ها، در زمینه حمل و نقل که یکی از زیرساخت‌های اساسی کشور است لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد.

آسیب‌های وارده به شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران، با توجه به ماهیت تصادفی و عدم قطعیت آن می‌تواند با شدت‌های مختلف (*شدت بحران*) در کمان‌های مختلف (*محل‌های تاثیرپذیر از بحران*) باشد که طبیعتا قابل پیش‌بینی نیست. طبیعی است که کمان‌های مختلف از ارزش یکسان برخوردار نبوده و با توجه

---

۱ Sustainable

۲ Infrastructure

به مواردی مانند وجود یا عدم وجود مسیر موازی و جمعیت و ترافیک تحت پوشش از ارزش و حساسیت متفاوتی برخوردار خواهند بود. به‌خصوص، تعدد ترکیب‌های مختلف آسیب‌ها به شبکه به‌راحتی توسط ذهن انسان در زمان بحران قابل پردازش و برنامه‌ریزی نخواهد بود. علاوه بر تعدد ترکیب‌های مختلف آسیب‌ها به شبکه، با محدودیت منابع (زمان، مصالح، ماشین‌آلات و نیروی انسانی) نیز مواجه هستیم. در نتیجه، به‌منظور رسیدن به جواب بهینهٔ صحیح (در حالات مختلف وقوع بحران) در زمان کم، نیاز به ساخت مدل خواهیم داشت. پس از ساخت مدل و پیاده‌سازی آن در رایانه، می‌توان از صحت جواب و هم‌چنین سرعت پردازش بالا اطمینان پیدا کرد. با استفاده از نتایج این مدل، تصمیمات گوناگونی با *نتایج مشخص* در پیش روی تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد.

۳-٤-نتایج (فواید) مدل‌سازی

- دید روشن و شفاف نسبت به سیستم می‌دهد: مدل‌سازی باعث می‌شود که پیچیدگی ها و زوایای تاریک سیستم از بین برود. اغلب، واقعیت مسئله از پیچیدگی زیادی برخوردار است و از این‌رو انعکاس کامل پیچیدگی مسئله بسیار مشکل است.
- مستندسازی و رسیدن به قابلیت استفاده مجدد[۱]: مدل‌سازی شما را وادار می‌کند که مستندسازی کنید و تمامی این نتایج برای رسیدن به قابلیت استفاده مجدد است؛ یعنی از دوباره‌کاری در پروژه‌ها جلوگیری می‌کند.

۳-۵-انواع مدل‌ها

۱. از یک دیدگاه می‌توان مدل‌ها را به مدل‌های شمایلی، مدل‌های قیاسی و مدل‌های ریاضی تقسیم‌بندی کرد:

۲. *مدل شمایلی*[۲]: یک مدل شمایلی در واقع جایگزین فیزیکی از سیستم واقعی است که در اندازه‌های متفاوتی از اصل سیستم نشان داده می‌شود؛ این دسته از مدل‌ها

---

۱ Reuse

۲ Iconic Model

معمولا از کمترین انتزاع برخوردار هستند. از جمله‌ی این مدل‌ها می‌توان به ماکت های سه‌بعدی از اشیا اشاره کرد.

۳. *مدل قیاسی*[۱]: این نوع مدل عینا مانند سیستم اصلی نیست ولی رفتاری مشابه آن دارد. به‌عنوان مثال در مورد این مدل‌ها می‌توان به چارت‌های سازمانی اشاره کرد که نشان دهنده‌ی ساختار، روابط و مسئولیت‌ها است.

٤. *مدل‌های ریاضی*: پیچیدگی روابط در بعضی سیستم‌ها باعث می‌شود نتوان آن‌ها را به‌صورت دو مدل بالا درآورد. از این‌رو ساده‌سازی و *انتزاع بیشتری* را باید در مورد این سیستم‌ها در نظر بگیریم و آن‌ها را با روابط ریاضی بیان کنیم. دلایل عمده‌ای که باعث شده از مدل‌های ریاضی استفاده کنیم عبارتند از:

۱,۱ با کمک مدل‌های ریاضی می‌توان موقعیت‌های خیلی پیچیده را تعریف و تعیین کرد.

۲,۱ دستکاری کردن مدل یعنی همان تغییر در عناصر مدل در مدل‌های ریاضی بسیار ساده‌تر از دستکاری کردن سیستم است. به عبارت دیگر، *این نوع مدل آزمایش سیستم را ساده‌تر و امکان‌پذیرتر می‌سازد*.

۳,۱ امروزه محیط سیستم با عدم قطعیت همراه است و از این‌رو مدیران به کمک مدل ریاضی براحتی می‌توانند میزان ریسک عملیات خود را حساب کنند.

۱. مدل‌ها را می‌توان به مدل‌های معین (قطعی) و احتمالی تقسیم‌بندی کرد:

۲. *مدل‌های قطعی*: به مدل‌هایی گفته می‌شوند که در شرایط اطمینان کامل و با اطلاعات کامل ساخته می‌شوند و به‌طور قطع و یقین رخ می‌دهند. در این مدل‌ها پارامترها معین هستند. برای مثال برنامه‌ریزی خطی نمونه‌ای از مدل معین است. در برنامه‌ریزی خطی تمامی پارامترهای مدل مقادیری ثابت و غیراحتمالی هستند. در مسائل واقعی این فرض همواره درست نیست؛ زیرا مسایل برنامه‌ریزی خطی (مدل تجویزی) معمولا برای تصمیم‌گیری‌های آینده فرموله می‌شوند؛ در نتیجه پارامترها بر

---

۱ Analogous Model

اساس پیش‌بینی آینده تعیین می‌شوند و به این دلیل جنبه احتمالی خواهند داشت. این مشکل را می‌توان این‌گونه حل کرد که پس از بدست آوردن جواب بهینه برنامه‌ریزی خطی، تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای آن انجام داد؛ بدین صورت که پارامترهای نسبتا حساس که با تغییرات کم خود جواب مسئله را به مقدار زیادی تغییر می‌دهند تشخیص دهیم تا در تخمین این پارامترها دقت بیشتری انجام گیرد و در نهایت جوابی را انتخاب کنیم که با وجود تغییرات پارامترهای حساس، هم‌چنان یک جواب خوب باقی بماند.

۳. *مدل‌های احتمالی:* در مقابل مدل‌های قطعی، نوع دیگری از مدل‌ها وجود دارند که در شرایط نامعین و تصادفی رخ می‌دهند و پارامترها و ارزش مقادیر به‌صورت تصادفی رخ می‌دهند و تابع یک تابع احتمال خاص هستند. مثلاً در نظر گرفتن احتمال ۱/۲ برای رو شدن شیر یا خط در پرتاب سکه.

٤. مدل‌ها را می‌توان به استاتیک و دینامیک تقسیم‌بندی کرد؛

۱. *مدل‌های استاتیک:* در مدل‌های استاتیک عامل زمان مورد نظر نیست.

۲. *مدل‌های دینامیک:* دراین مدل‌ها عامل زمان هم مطرح می‌شود.

یکی دیگر از انواع تقسیم‌بندی، توصیفی یا تجویزی بودن مدل‌ها است؛

۱. *مدل‌های توصیفی*[۱]: انواعی از مدل که به‌صورت توصیفی سعی در نمایش پدیده‌ای *آن‌گونه که* هست دارند، مدل توصیفی نام دارند. مهم‌ترین ضعف مدل‌های توصیفی، ناتوانی آن‌ها در پیش‌بینی است؛ یعنی قابلیت پیش‌بینی اصولاً جزء هدف‌های این گونه مدل‌ها نیست.

۲. *مدل‌های تجویزی*[۲]: هدف از تبیین این مدل‌ها پیش‌بینی است. در مدل‌های تجویزی، می‌خواهیم مسئله را آن‌گونه که *باید باشد* مدل‌سازی کنیم.

---

۱ Descriptive

۲ Normative

۳-٦-ماهیت مدل‌های این مسئله

با استفاده از تعریف انواع مدل‌ها در بخش‌های بالا، ماهیت مدل این مسئله در این قسمت توضیح داده خواهد شد. مدل‌های مورد استفاده برای این مسئله، مدل‌های ریاضی هستند؛ زیرا اولا همانطور که در بخش‌های قبل توضیح داده شد، بعلت تعداد حالات زیاد محتمل قابل وقوع در اثر بحران، ذهن انسان قادر به نتیجه‌گیری سریع نیست و هم‌چنین سایر مدل‌ها نیز به‌همین علت، کارایی مدل‌های ریاضی را ندارند؛ دوم، دستکاری کردن مدل یعنی همان تغییر در عناصر مدل در مدل‌های ریاضی بسیار ساده‌تر از دستکاری کردن سایر مدل‌ها است. به عبارت دیگر، *این نوع مدل آزمایش سیستم را ساده‌تر و امکان‌پذیرتر می‌سازد.*

از جنبه دیگر، مدل‌های مورد استفاده برای این مسئله، معین (قطعی) هستند. البته این موضوع در دو زمان مختلف قابل بررسی است. پس از وقوع بحران، با توجه به اطلاع از محل و شدت وقوع بحران، واقعیت مسئله نیز همانند ماهیت مدل، قطعی است؛ اما بعلت عدم اطلاعات کافی قبل از وقوع بحران، واقعیت مسئله، احتمالی است. در صورت استفاده از مدل احتمالی، مسئله پیچیدگی زیادی پیدا خواهد کرد. در عوض، با انتخاب مدل معین، کلیه حالات مختلف وقوع بحران را بصورت تک به تک مورد بررسی قرار می‌دهیم؛ یعنی با قطع کردن هر یک از کمان‌های شبکه، اثر آن‌ها را بر عملکرد شبکه خواهیم دید.

از دیدگاه دیگر، مدل‌های این مسئله از نوع تجویزی هستند؛ یعنی نتیجه مدل، آنچه را که *باید باشد* بیان می‌کند. نتیجه مدل بیانگر اولویت‌بندی کمان‌ها از نظر اهمیت، به‌منظور تقویت و یا بازسازی آنها است. اگر اولویت سرمایه‌گذاری برای تقویت و یا بازسازی کمان‌ها نیز به‌همین ترتیب باشد، بهینه‌ترین نتیجه حاصل خواهد شد.

انتخاب متغیرهای مناسب برای مدل، در کیفیت نتیجه مدل تاثیر زیادی دارد. نتیجه مدل ارائه شده برای این مسئله، گزینه‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند؛ برای مثال، این نتیجه می‌تواند اولویت‌بندی کمان‌های شبکه از نظر

آسیب‌پذیری آن‌ها و... باشد. مفاهیم ذیل در انتخاب متغیرهای مناسب، تاثیرگذار هستند:

۱. **آسیب‌پذیری شبکه راه‌ها**[۱]: می‌توان از دیدگاه‌های متفاوتی آسیب‌پذیری شبکه را بررسی نمود. یک دیدگاه، از نظر ایمنی[۲] شبکه بوده و دیدگاه دیگر، از نظر دسترسی[۳] شبکه می‌باشد. در دیدگاه دوم می‌توان به‌جای ظاهر فیزیکی شبکه، بر عملکرد آن تاکید بیشتری داشت، اگرچه بسیاری از عدم دسترسی‌ها به علت قطع فیزیکی راه است. آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل عبارتست از قابلیت وقوع حوادثی که می‌تواند باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در خدمت‌پذیری[٤] شبکه بشود. این حوادث می‌توانند قابل پیش‌بینی و یا غیرقابل پیش‌بینی، عمدی و یا سهوی، طبیعی و یا توسط بشر باشند.

۲. **دسترسی شبکه:** از دسترسی، مفهوم "سهولت رسیدن" برداشت می‌شود و مربوط است به میزان شانس فراهم شده توسط شبکه برای استفاده کننده به منظور رفتن از یک مبدا به مقصد مورد نظر.

۳. **خدمت‌پذیری شبکه:** خدمت‌پذیری شبکه/مسیر/کمان بیان‌کننده میزان احتمال قابلیت استفاده از یک شبکه/مسیر/کمان در زمانی خاص می‌باشد.

٤. **ریسک**[٥]: هر ریسکی شامل دو بخش است:

- ✓ احتمال رخ دادن یک حادثه[٦]
- ✓ نتایج حاصل از وقوع حادثه

یک حادثه، رویدادی است که می‌تواند به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم باعث کاهش یا قطع خدمت‌پذیری یک شبکه/مسیر/کمان شود. هم‌چنین، ارزیابی عوامل گوناگون

---

۱ Vulnerability

۲ Safety

۳ Accessibility

٤ Serviceability

٥ Risk

٦ incident

موثر بر احتمال رخ دادن یک حادثه و نتایج حاصل از آن، به نوع دیدگاه ما بستگی دارد؛ بدین معنی که تصمیم‌گیرنده و استفاده‌کننده از شبکه، درک[۱] متفاوتی از ریسک دارند. جنبه زمان و مکان ریسک نیز اهمیت زیادی دارد؛ بطوری‌که ریسک‌های زمان نزدیک و در محل نزدیک، مهم‌تر هستند.

۵. **قابلیت اعتماد شبکه**[۲]: مفهوم کلی قابلیت اعتماد این است که وسیله مورد نظر، وظیفه خود را به‌طور مناسب و کافی برای برهه زمانی مورد نظر، تحت شرایطی که با آن مواجه می‌شود انجام دهد. قابلیت اعتماد شبکه به‌عنوان مکمل آسیب‌پذیری شبکه می‌باشد. قابلیت اعتماد شبکه این است که شبکه بتواند خدمت‌پذیری مناسبی را در برهه زمانی مناسب و تحت شرایط مواجه شده با آن ارائه دهد.

٦. **استحکام شبکه**[۳]: عبارتست از قابلیت یک شبکه برای مقاومت در برابر حادثه. این تعریف، دقیقا عکس تعریف آسیب‌پذیری شبکه است.

۷. **قابلیت ارتجاعی (بازگشت‌پذیری) شبکه**[٤]: عبارتست از توانایی یک شبکه برای بازگشت به حالت عادی پس از وقوع حادثه. بنابراین، این واژه با پایداری[٥] مرتبط بوده و دو عامل مهم دارد:

- ✓ مقدار حداکثر تغییراتی که پس از وقوع آنها، سیستم امکان بازیابی[٦] خود را هنوز داشته باشد.
- ✓ سرعت بازیابی.

۸. **افزونگی (نامعینی) شبکه**[۷]: وجود تعداد زیادی مسیر و یا امکانات حمل و نقل بین مبدا–مقصد های گوناگون می‌تواند باعث کاهش نتایج نامطلوب حاصل از وقوع

---

۱ Perception

۲ Reliability

۳ Robustness

٤ Resilience

٥ Stability

٦ Recovery

۷ Redundancy

حادثه در بخشی از شبکه گردد. این مسئله، عامل بسیار مهمی در ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل می‌باشد. اگر در شرایط عادی نیز از این افزونگی استفاده شود (ترافیک در مسیرهای گوناگون در روزهای مختلف پخش باشد)، این افزونگی فعال[۱] بوده و اگر در شرایط عادی از آنها استفاده نشود و فقط در مواقع بحران از آنها بهره برده شود، افزونگی منفعل[۲] است.

۳-۷-معرفی مدل‌های این مطالعه

مسئله مورد بررسی در این مطالعه در سطوح گوناگونی مانند سطوح خرد و کلان، سطوح پیش و پس از بحران قابل بررسی است. طبیعی است که برای همه‌ی این سطوح نمی‌توان فقط از یک مدل استفاده نمود. از میان سطوح خرد و کلان، بدلیل اثرپذیری کمان‌های شبکه از یکدیگر، بحث مهم‌تر، بحث سطح کلان (عملکرد کل شبکه حمل و نقل) می باشد. در بررسی عملکرد کل شبکه حمل و نقل، با توجه به زمان استفاده از مدل، میزان اطلاعات مرتبط با بحران (مثلا محل وقوع و شدت بحران) قطعا متفاوت خواهد بود؛ همان‌گونه که در قسمت‌های قبل توضیح داده شد، مدل، تجریدی از واقعیت بوده و با توجه به متفاوت بودن واقعیت در زمان‌های گوناگون (قبل و پس از بحران)، مدل‌سازی زمان‌های گوناگون (قبل و پس از بحران) کاملا با هم متفاوت است.

این مسئله دربرگیرنده مفاهیم شبکه است؛ بنابراین، مدل‌هایی می‌توانند مناسب باشند که این مفاهیم در آن‌ها مدنظر قرار گرفته شده باشد؛ درنتیجه باید بر روی مدل‌های بیان کننده‌ی مفاهیم جریان در شبکه متمرکز شد. مفاهیم و مسائل بسیار زیادی در زمینه جریان در شبکه مطرح هستند که به‌منظور مطالعه آن‌ها، ابتدا باید هدف از ایجاد یک مدل خاص برای قبل یا پس از بحران را تعیین کنیم. هدف این مطالعات، مدل‌سازی شبکه به‌منظور *پیوسته بودن* شبکه می‌باشد. پیوستگی نیز

---

۱ active

۲ passive

می‌تواند دارای سطوح و رتبه‌های گوناگونی باشد؛ برای مثال، ممکن است در یک جا منظور از پیوستگی، قابلیت دسترسی به تمام نقاط و گره‌ها، بدون توجه به هزینه سفر (هزینه، زمان و...) باشد و در جای دیگر، هزینه سفر نیز اهمیت پیدا کند.

با توجه به گستردگی شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور، محدودیت بودجه و هم‌چنین این مطلب که قبل از وقوع بحران، نحوه وقوع آن‌را بطور دقیق نمی‌دانیم، هدف مناسب برای مدل مربوط به قبل از بحران می‌تواند پیوسته بودن شبکه به‌معنی ایجاد دسترسی به تمام کانون‌های جمعیتی مهم، *حداقل از طریق یک مسیر* باشد. در مورد پس از وقوع بحران، با توجه به وجود اطلاعات دقیق‌تر درباره محل و شدت وقوع بحران، می‌توان هدف را یک سطح بالاتر از هدف مسئله‌ی قبل از بحران در نظر گرفت؛ یعنی هدف مرحله پس از بحران، کاهش دادن زمان دسترسی به گره‌ها و کانون‌های جمعیتی می‌باشد. با توجه به این مطالب، مدل مناسب برای قبل از وقوع بحران می‌تواند *مسئله حداقل درخت دربرگیرنده*[1] و برای پس از وقوع بحران، *مسئله کوتاه‌ترین مسیر*[2] باشد. یک دلیل دیگر برای استفاده از مسئله حداقل درخت دربرگیرنده برای قبل از وقوع بحران، عدم اطلاع کافی از محل و شدت وقوع بحران و هم‌چنین وسعت زیاد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور می‌باشد. لذا با حل مسئله حداقل درخت دربرگیرنده برای قبل از وقوع بحران، از وجود دسترسی (ابتدایی‌ترین هدف) اطمینان حاصل می‌کنیم.

۳-۸-آشنایی با نرم‌افزار WinQSB

با توجه به گستردگی شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور و در نتیجه، زیاد بودن تعدد متغیرها، مدل‌ها و مسائل معرفی شده در قسمت قبل (حداقل درخت دربرگیرنده و کوتاه‌ترین مسیر) را نمی‌توان به آسانی و با سرعت مناسب بصورت دستی حل نمود؛ بنابراین باید از نرم‌افزارهای رایانه‌ای برای حل سریع و دقیق این

---

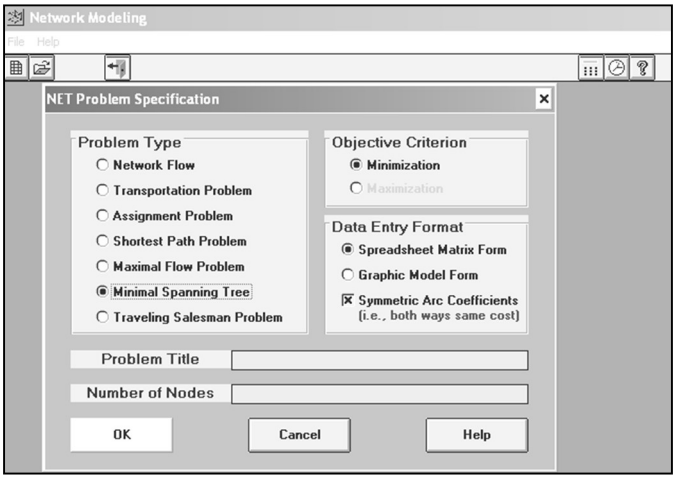
۱ Minimum Spanning Tree

۲ Shortest Path

مسائل استفاده کرد. در این مطالعه از نسخه دوم نرم‌افزار WinQSB استفاده شده است. WinQSB در واقع نسخه‌ی بروز شده‌ی QSB است که برای سیستم‌های تحت ویندوز تهیه شده است و بطور گسترده توسط مهندسین صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزاز، نرم‌افزاری تخصصی در زمینه‌های برنامه‌ریزی، آنالیز مدل‌سازی، آنالیزهای تصمیم، برنامه‌ریزی پویا، مکان‌یابی تاسیسات،رگرسیون خطی و پیش‌بینی، برنامه‌ریزی شغلی، برنامه‌نویسی خطی و عدد صحیح، فرآیند مارکوف، برنامه‌ریزی غیرخطی، نمودار کنترل کیفیت، تئوری صف، شبیه‌سازی سیستم صف، مدیریت پروژه و هم‌چنین مدل‌سازی شبکه‌ای است.

بخش مدل‌سازی شبکه‌ی[۱] این نرم‌افزار که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت، توانایی حل مسائل جریان در شبکه، مسئله‌ی حمل و نقل، مسئله‌ی تخصیص، مسئله‌ی کوتاه‌ترین مسیر، مسئله‌ی حداکثر جریان، مسئله‌ی فروشنده دوره‌گرد و مسئله‌ی حداقل درخت دربرگیرنده را دارد. پنجره‌ی ابتدایی تعریف مسئله در شکل زیر نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نیز مشاهده می‌شود گزینه‌ی تقارن ضرایب کمان‌ها را در اجرای پروژه جاری همواره علامت می‌زنیم؛ بدین معنا که برای استخراج حداقل درخت دربرگیرنده، تمام مسیرها را دوطرفه در نظر می‌گیریم.

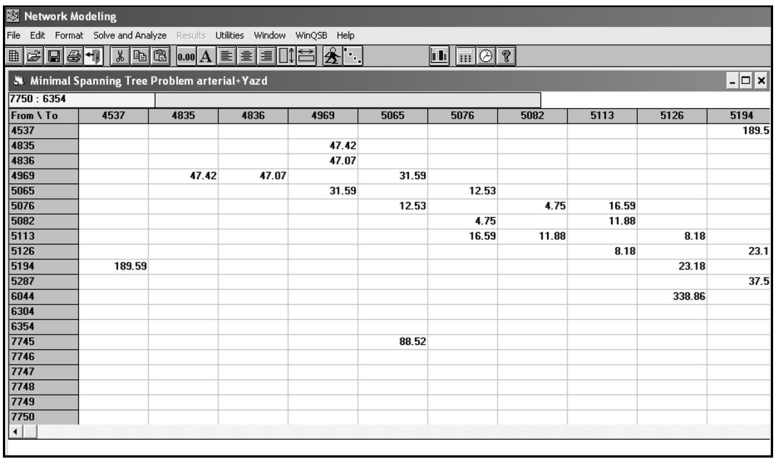
۱ Network Modeling



شکل ۳-۲ پنجره تعریف مسئله در Network Modeling

مدل‌سازی شبکه‌ی موجود در این نرم‌افزار، نخستین نسخه‌ی آن برای سیستم‌های تحت ویندوز است. این نرم‌افزار، مسئله حداقل درخت دربرگیرنده را با استفاده از الگوریتم برچسب‌گذاری[۱] حل می‌کند. پس از معرفی نام پروژه و تعداد گره‌های مسئله، ماتریس مربعی‌ای که اولین سطر و اولین ستون آن، نام گره‌هایی است که معرفی کرده‌ایم باز می‌شود که می‌بایست در آن به ازای تمام کمان‌هایی که بین هر جفت گره موجودند، عدد مربوط به فاصله را جای‌گذاری کنیم. نمونه‌ای از این ماتریس‌های مربعی را که برای کمان‌های استان یزد تهیه شده در شکل ذیل نمایش داده شده است.

۱ Labeling


Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

Minimal Spanning Tree Problem arterial+Yazd

7750 : 6354

From \ To	4537	4835	4836	4969	5065	5076	5082	5113	5126	5194
4537										189.5
4835				47.42						
4836				47.07						
4969		47.42	47.07		31.59					
5065				31.59		12.53				
5076					12.53		4.75	16.59		
5082						4.75		11.88		
5113						16.59	11.88		8.18	
5126								8.18		23.1
5194	189.59								23.18	
5287										37.5
6044									338.86	
6304										
6354										
7745					88.52					
7746										
7747										
7748										
7749										
7750										

شکل۳-۳ ماتریس تعریف فواصل کمان‌ها در Network Modeling

می‌توان بجای وارد نمودن اعداد در این پنجره‌ی نرم‌افزار، اطلاعات را به فرم ماتریسی در Excel وارد کرده و از آن خروجی txt گرفت، سپس بجای تعریف مسئله‌ی جدید در نرم‌افزار، گزینه‌ی خواندن مسئله‌ی موجود را وارد کرده و محل فایل txt را به آن معرفی کنیم. در اینصورت، جدول فوق بصورت آماده در نرم‌افزار فراخوانده می‌شود.

پس از آن و با اجرای برنامه، حداقل درخت دربرگیرنده در شبکه‌ای که تعریف کرده‌ایم، بدست می‌آید. جدول نتیجه‌ی حل برای استان یزد را در شکل پایین مشاهده می‌کنیم. چنین جداولی را به تفکیک هر استان در بخش بعدی آورده شده‌اند.

08-22-2010	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	4969	4835	47.42	11	5126	6044	338.8600
2	4969	4836	47.07	12	6044	6304	82.47
3	5065	4969	31.59	13	6304	6354	31.34
4	5076	5065	12.53	14	5065	7745	88.52
5	5082	5076	4.75	15	6044	7746	149.04
6	5113	5082	11.88	16	6304	7747	38.89
7	5126	5113	8.18	17	6354	7748	162.69
8	5194	5126	23.18	18	5287	7749	81.35
9	4537	5194	189.59	19	5287	7750	81.34
10	5194	5287	37.55				
	Total	Minimal	Connected	Distance	or Cost	=	1,468.24

شکل ۳-٤ جدول خروجی حداقل درخت دربرگیرنده برای استان یزد در Network Modeling

چنانچه در شکل فوق مشاهده می‌شود، کمان‌هایی که در حداقل درخت دربرگیرنده انتخاب شده‌اند، فاصله‌ی متناظر با آن‌ها، و هم‌چنین طول کل درخت دربرگیرنده‌ی حداقل، تعیین شده‌اند. می‌توان با مقایسه این عدد با عدد طول کل شبکه و هم‌چنین تعداد کمان‌های انتخاب شده با تعداد کل کمان‌های شبکه، درصد انتخاب کمان‌ها را در حداقل درخت دربرگیرنده یافت.

این نرم افزار در فصل پنجم از لحاظ قابلیت ها و محدودیت ها در مقایسه با نرم افزارهای دیگر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۹-نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

موضوع این مطالعه، بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران است. بدین منظور ابتدا باید داده‌ها و ورودی‌های مطالعه مشخص شوند؛ سپس با استفاده از مدل‌سازی، بر روی این داده‌ها تحلیل‌های مورد نظر انجام شده و در نهایت، نتیجه حاصل از مدل‌سازی را مورد استفاده قرار داد. در این بخش (۳-٤)، به مدل‌سازی مسائلی که در این مطالعه با آن‌ها مواجه خواهیم شد، پرداخته شده است.

مسئله مورد بررسی در این مطالعه در سطوح گوناگونی مانند سطوح خرد و کلان، سطوح پیش و پس از بحران قابل بررسی است. طبیعی است که برای همه‌ی این سطوح نمی‌توان فقط از یک مدل استفاده نمود. از میان سطوح خرد و کلان، بدلیل اثرپذیری کمان‌های شبکه از یکدیگر، بحث مهم‌تر، بحث سطح کلان (عملکرد کل شبکه حمل و نقل) می باشد. در بررسی عملکرد کل شبکه حمل و نقل، با توجه به زمان استفاده از مدل، میزان اطلاعات مرتبط با بحران (مثلا محل وقوع و شدت بحران) قطعا متفاوت خواهد بود؛ مدل، تجریدی از واقعیت بوده و با توجه به متفاوت بودن واقعیت در زمان‌های گوناگون (قبل و پس از بحران)، مدل‌سازی زمان‌های گوناگون (قبل و پس از بحران) کاملا با هم متفاوت است.

این موضوع (بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران) دربرگیرنده مفاهیم شبکه است؛ بنابراین، مدل‌هایی می‌توانند مناسب باشند که این مفاهیم در آن‌ها مدنظر قرار گرفته شده باشد؛ درنتیجه باید بر روی مدل‌های بیان کننده‌ی مفاهیم جریان در شبکه متمرکز شد. مفاهیم و مسائل بسیار زیادی در زمینه جریان در شبکه مطرح هستند که به‌منظور مطالعه آن‌ها، ابتدا باید هدف از ایجاد یک مدل خاص برای قبل یا پس از بحران را تعیین کنیم. هدف این مطالعه، مدل‌سازی شبکه به‌منظور *پیوسته بودن* شبکه می‌باشد. پیوستگی نیز می تواند دارای سطوح و رتبه‌های گوناگونی باشد؛ برای مثال، ممکن است در یک جا منظور از پیوستگی، قابلیت دسترسی به تمام نقاط و گره‌ها، بدون توجه به هزینه سفر (هزینه، زمان و...) باشد و در جای دیگر، هزینه سفر نیز اهمیت پیدا کند. با توجه به گستردگی شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور، محدودیت بودجه و هم‌چنین این مطلب که قبل از وقوع بحران، نحوه وقوع آن‌را بطور دقیق نمی‌دانیم، هدف مناسب برای مدل مربوط به قبل از بحران می‌تواند پیوسته بودن شبکه به‌معنی ایجاد دسترسی به تمام کانون‌های جمعیتی مهم، *حداقل از طریق یک مسیر* باشد. در مورد پس از وقوع بحران، با توجه به وجود اطلاعات دقیق‌تر درباره محل و شدت وقوع بحران، می‌توان هدف را یک سطح بالاتر از هدف مسئله‌ی قبل از بحران در نظر گرفت؛ یعنی هدف مرحله پس از بحران، کاهش دادن زمان دسترسی به گره‌ها و کانون‌های جمعیتی می‌باشد. با توجه به این مطالب، مدل مناسب برای قبل از وقوع بحران می‌تواند *مسئله حداقل درخت دربرگیرنده*[۱] و برای پس از وقوع بحران، *مسئله کوتاه‌ترین مسیر*[۲] باشد. یک دلیل دیگر برای استفاده از مسئله حداقل درخت دربرگیرنده برای قبل از وقوع بحران، عدم اطلاع کافی از محل و شدت وقوع بحران و هم‌چنین وسعت زیاد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور می‌باشد. لذا با حل مسئله حداقل درخت دربرگیرنده برای قبل از وقوع بحران، از وجود دسترسی (ابتدایی‌ترین هدف) اطمینان حاصل می‌کنیم.

---

۱ Minimum Spanning Tree

۲ Shortest Path

فصل چهارم: سناریوهای پیشنهادی پژوهش جاری

٤-١- مقدمه

موضوع مطالعه جاری، بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران است. نحوه برنامه‌ریزی برای مواجهه و مدیریت بحران، با توجه به برهه‌های زمانی گوناگون، با یکدیگر متفاوت است. به‌عبارت دیگر، مدیریت و برنامه‌ریزی برای پیش، حین و پس از وقوع بحران، ویژگی‌های متفاوتی دارند. یکی از ویژگی‌های بحران[1] که باعث مشکل شدن مواجهه با آن می‌شود، ماهیت احتمالی آن است؛ بدین معنی که پیش از وقوع بحران، معمولا اطلاع دقیقی از نوع بحران (زلزله، سیل، طوفان و...)، محل وقوع و شدت آن نداریم. بنابراین، یکی از کارهای مهم، بررسی رویکردها و سطوح مختلف مطالعه و سناریوهای حاصل از رویکردهای گوناگون برای مواجهه با بحران می‌باشد که در این بخش (٣-٦) به این موضوع پرداخته می‌شود.

---

١ Crisis

٤-۲- رویکردها[1] و سطوح مطالعه

باتوجه به اهمیت موضوع و با هدف برخوردی نظام‌مند و سیستماتیک با آن، ابتدا رویکردهای و سطوح مختلف مطالعه مورد بررسی و مداقه قرار می‌گیرد و سپس بر اساس آن‌ها سناریوهای مختلف پیشنهاد می‌شود.

٤-۲-۱- رویکرد سیستمی (سطح کلان) و رویکرد مهندسی (سطح خرد)

بهطور کلی، یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی مهندسین و برنامه‌ریزان حمل و نقل، پیش‌بینی و محاسبه نتایج سناریوهای گوناگون بر شبکه حمل و نقل می‌باشد. به‌عبارت بهتر، لازم است که تصمیم‌گیر قبل از اتخاذ هر تصمیمی، نتیجه‌ی ناشی از آن را بداند. بدین منظور، باید تغییرات ناشی از تصمیم را به (قسمتی از) شبکه‌ی مورد مطالعه اعمال کرده و سپس آن را تحلیل نمود. برای تحلیل اثر هر تغییری بر یک مجموعه، باید در وهله اول، محدوده‌ای از آن مجموعه مشخص شود. بدین منظور، می‌توان دو رویکرد کلی در مواجهه با این مسئله (محدوده‌ی مورد تحلیل و بررسی) اتخاذ نمود:

1. *رویکرد مهندسی (سطح خرد):* رویکردی که در اغلب تحلیل‌های رشته‌های مهندسی اتخاذ می‌شود، تعیین و ایزوله کردن سیستم مورد نظر و تحلیل جداگانه آن می‌باشد. در این رویکرد، سیستم مورد نظر معمولا کوچک و محدود است و برریس اندرکنش و تعامل سیستم با محیط پرهیز می‌شود. برای مثال، برای زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و رانندگی، فقط محدوده‌ای در نزدیکی تقاطع مورد نظر مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مورد مسئله بررسی عملکرد شبکه راه‌های جاده‌ای کشور در زمان بحران، رویکرد مهندسی بدین معنا است که تاثیر بحران بر یک کمان و به شکل ایزوله بررسی شود؛ برای مثال، تعیین عوامل مهم تاثیرگذار بر ظرفیت تنها یک کمان در شرایط بحران، و در نظر نگرفتن تاثیر

---

۱ Approaches

وضعیت سایر کمان‌ها بر کمان مورد مطالعه، نوعی رویکرد مهندسی محسوب می‌شود. این رویکرد را سطح خرد مطالعه می‌نامند.

۲. *رویکرد سیستمی (سطح کلان):* در صورتی‌که تاثیر تحلیل جداگانه یک بخش از سیستم، بر کل سیستم قابل توجه باشد، اتخاذ رویکرد مهندسی، ناکافی است. در مورد مطالعه جاری، به‌علت سطح مطالعات (شبکه) و تاثیرپذیری کمان‌ها از یکدیگر، انتخاب رویکرد سیستمی ضروری به نظر می‌رسد. برای مثال، با مسدود شدن یکی از کمان‌های شبکه در اثر وقوع بحران، جریان در سایر کمان‌ها نیز تغییر خواهد کرد. هم‌چنین میزان اهمیت کمان‌های مختلف، با توجه به وجود کمان(های) جایگزین، می‌تواند تغییر کند. بنابر این به نظر می‌رسد که اتخاذ رویکرد سیستمی (علاوه بر رویکرد مهندسی) برای این مسئله اجتناب-ناپذیر و جامع‌تر است؛ یعنی، برای مثال، تاثیر انسداد یک یا چند کمان بر *کل* شبکه مدنظر است، و نه فقط بر همان کمان(ها). شایان ذکر است که حتی اگر پیشنهادها و اقدامات اصلاحی در سطح خرد باشد، بهتر است که پس از بررسی مساله در سطح کلان و بر اساس رویکرد سیستمی باشد[۱].

٤-۲-۲- رویکرد پیش[۲] و پس[۳] از بحران

مدیریت بحران روندی چند مرحله‌ای است که با اقدامات پیش از وقوع بحران به‌منظور کاهش خسارات وارده شروع شده و به اقدامات پس از وقوع بحران و بازسازی ختم می‌شود. شرایط و روش و روش بررسی شبکه راه‌های جاده‌ای پیش و پس از بحران کاملا با یکدیگر متفاوتند. پیش از وقوع بحران، اطلاع دقیقی از زمان، *محل* و *شدت* بحران موجود نیست و با اتخاذ فرض‌هایی معقول، سعی می‌شود که فعالیت‌های مناسب به‌منظور کاهش خسارات وارده پیشنهاد شود. پس از وقوع بحران، شرایط کاملا متفاوت است و اطلاعات نسبتا کاملی از *محل* و *شدت* بحران

---

۱ Think Globally

۲ Pre-disaster

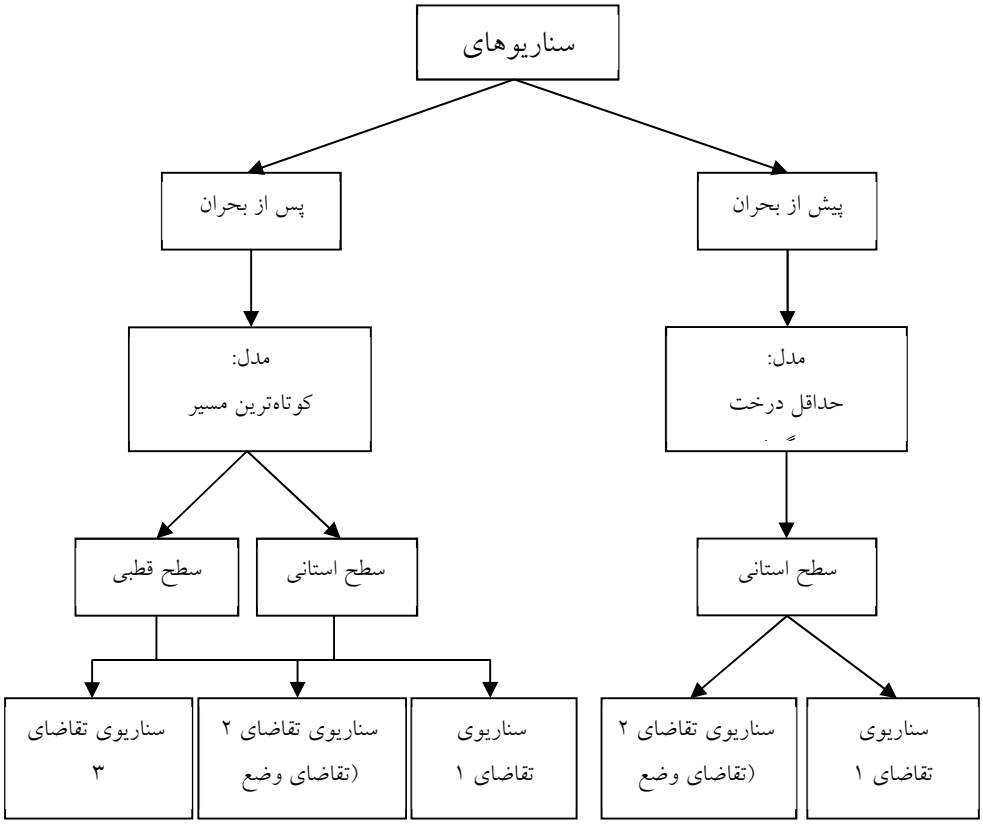
۳ Post-disaster

وجود دارد. بنابراین، پیش از وقوع بحران مسئله‌ای گسترده‌تر و با سطح کمتری از دقت و قطعیت (به‌علت ماهیت احتمالی پیش از بحران)، و پس از وقوع بحران، مسئله‌ای متمرکزتر با سطح بالاتری از دقت و قطعیت (به‌علت مشخص شدن بسیاری از اطلاعات مورد نیاز پس از بحران) وجود دارد. این تفاوت‌ها، باعث جدا بودن مباحث و هم‌چنین مدل‌های ارائه شده برای پیش و پس از بحران خواهد شد. در این مطالعه، جهت جامعیت بیشتر با توجه به اهمیت موضوع، به هر دو این رویکردها پرداخته شده و مدل‌سازی مناسب هر یک پیشنهاد و اجرا می‌شود.

٤-٣-بررسی تاثیر تغییر ظرفیت کمان‌ها بر نتایج مـدل‌ها در شـرایط پیش و پس از بحران

پس از شناسایی و تحلیل رویکردهای محتلف به مساله، طبیعی است که با انتخاب هر یک از رویکردهای پیش یا پس از بحران، مدل مربوط به آن بایستی مناسب با آن طراحی و اجرا شود. همانطور که در فصل پیش اشاره شد، برای مرحله پیش از بحران، مدل حداقل درخت دربرگیرنده (برای استان‌ها) و برای مرحله پس از بحران، مدل کوتاه‌ترین مسیر (برای استان‌ها و قطب‌ها) بررسی می‌شوند (شکل ۳-۱۵).

همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود، پس از تقسیم سناریوهای پیشنهادی به دو دسته کلی پیش و پس از بحران و تعیین مدل پیشنهادی هر یک، سطوح مختلفی از تقسیمات کشوری و جغرافیایی و برای هر یک سناریوهای مختلف تقاضا در نظر گرفته می‌شود. مدل پیش از بحران (حداقل درخت دربرگیرنده) در سطح استانی و برای دو سناریو شامل تقاضای بدون بار و تقاضای وضع موجود حل می-شود. مدل پس از بحران، با توجه به وجود اطلاعات دقیقتر و قطعی‌تر در دو سطح استانی و قطبی و هر یک برای سه سناریو تقاضای شمال بدون بار، وضع موجود و تشدید یافته حل می‌شوند.

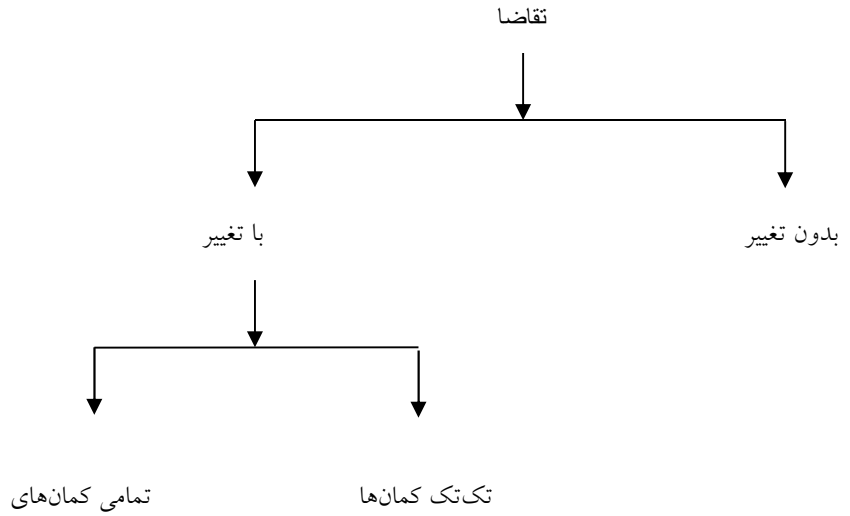


شکل ٤-۱ سناریوهای پیشنهادی در این مطالعه

همانطور که مشاهده می‌شود، علاوه بر بررسی تاثیر تغییرات ظرفیت، تاثیر تغییرات تقاضای راه‌ها نیز در هرکدام از این رویکردها، در قالب مدل‌های منتخب برنامه‌ریزی ریاضی در شرایط گوناگون تقاضا و ظرفیت مورد بررسی قرار می‌گیرند. یعنی، تقاضا نیز به چند سطح تقسیم می‌شود.

در سناریو اول تقاضا، یعنی در سطح استانی در شرایط پیش از بحران، فرض بر این است که شبکه بدون بار و تقاضا است (یعنی ملاک زمان سفر آزاد در کمان‌ها)؛ در سناریو دوم، تقاضای وضع موجود (نتایج مطالعات جامع حمل‌ونقل کشور)، در نظر گرفته شده و مدل می‌شود و در سناریو آخر تقاضا، (که تنها برای رویکرد پس از بحران مطرح است) با توجه به این‌که پس از وقوع بحران، به علل مختلف تقاضا می‌تواند رشد داشته باشد، تقاضای تشدید شده (به‌همراه تغییرات در ظرفیت راه‌ها)

مورد نظر مدلسازی قرار می‌گیرد. نحوه اعمال تغییرات تقاضا به‌صورت شکل (۳-۱٦) صورت می‌گیرد. یعنی در ابتدا سناریوهای تقاضا به دو دسته بدون تغییر و با تغییر تبدیل می‌شود. در حالت وجود تغییر در تقاضای کمان‌ها این موضوع بررسی می‌شود که تقاضای کمان‌های مشابه به‌صورت مشابه و یکسان تغییر می‌کند یا این‌که تغییر تقاضای تک‌تک کمان‌ها با یکدیگر متفاوت است. در هر دو صورت، نحوه اعمال تغییر تقاضا با تشدید (یا حتی تخفیف در صورت بروز) تقاضا به‌صورت افزایش (یا کاهش) صورت می‌گیرد.



شکل ٤-۲ نمودار بررسی تقاضا در هنگام وقوع بحران

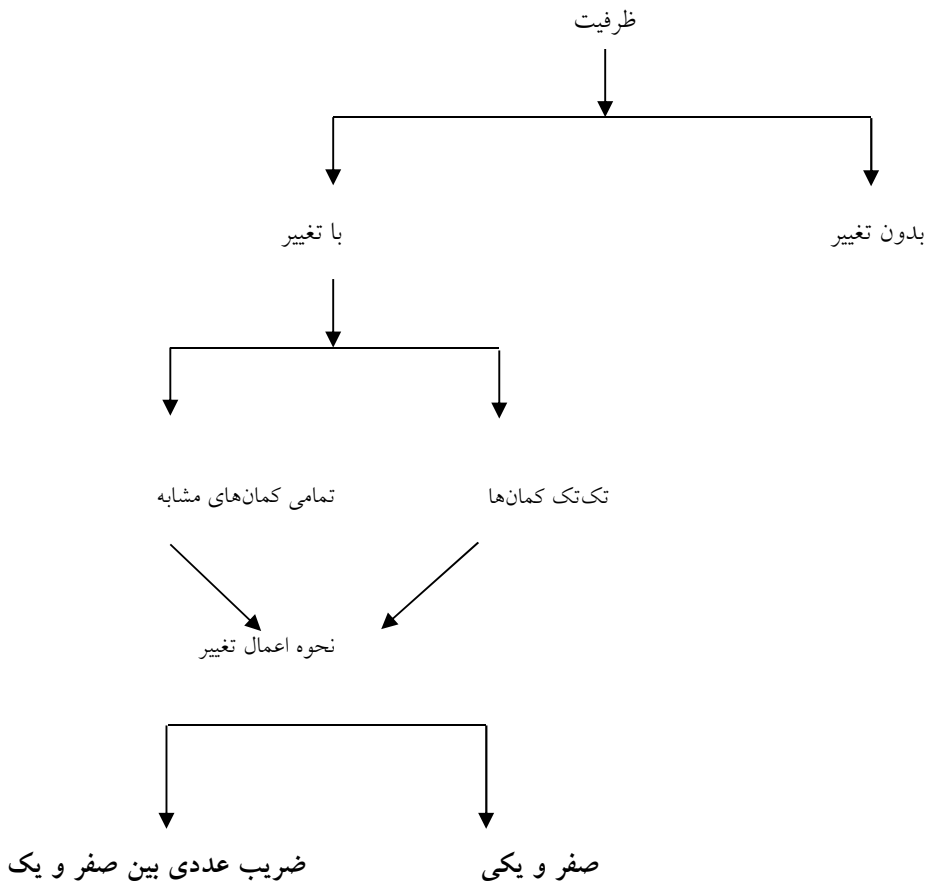
همانطور که در بخش پیش اشاره شد، دو رویکرد متفاوت مهندسی (خرد) و سیستمی (کلان) برای برخورد با مسائل مطرح هستند. در این مطالعه، با توجه به ماهیت و اهمیت موضوع به رویکرد مهندسی اکتفا نشده و رویکرد سیستمی نیز علاوه بر رویکرد مهندسی اتخاذ می‌شود. بنابراین، فقط بحث ظرفیت یک کمان (به‌تنهایی و جدا از شبکه) مطرح نیست و عملکرد مجموعه کمان‌ها نیز در قالب شبکه مدنظر است. حال باید دید بحث ظرفیت کمان‌ها چگونه در رویکرد سیستمی در نظر گرفته می‌شود.

همان‌طور که در بخش مربوط به سیاهه خروجی‌های پژوهش (در فصل اول) آمده و در گزارش فصل چهارم نیز به آن اشاره خواهد شد، رویکرد سیستمی در این مطالعه، استفاده از مسائل و مدل‌های جریان در شبکه، به‌خصوص مسائل حداقل درخت دربرگیرنده و کوتاهترین مسیر است، برای هر یک از مسائل حداقل درخت دربرگیرنده و کوتاه‌ترین مسیر نیز، سناریوهای گوناگون تقاضا (تقاضای صفر، وضعیت موجود و تقاضای تشدیدشده در نتیجه‌ی بحران) تعریف می‌شوند و سپس برای آن شبکه، مسئله حداقل درخت دربرگیرنده و یا کوتاه‌ترین مسیر حل خواهد شد. این مطلب به این مفهوم است که با افزایش تقاضا از مقدار صفر، هزینه‌ی هر کمان فقط شامل طول آن کمان در شبکه‌ی خالی نیست؛ بلکه تاثیر تقاضا بر زمان سفر در آن کمان به صراحت دیده می‌شود که برای این منظور یک بار ماتریس تقاضای مبدا– مقصد به شبکه تخصیص داده خواهد شد. یکی از ورودی‌های مهم در مسئله تخصیص ترافیک، تابع عملکرد کمان‌ها (Volume-delay function) است که در این تابع، مقدار ظرفیت کمان، بر روی نتیجه‌ی تخصیص و درنهایت، مسئله کوتاه‌ترین مسیر و یا حداقل درخت دربرگیرنده تاثیرگذار است.

مساله ظرفیت در دو حالت می‌تواند مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. در حالت اول وقوع بحران تاثیری روی ظرفیت کمان‌ها ایجاد نکند و در حالت دوم وقوع بحران باعث تغییر در ظرفیت کمان‌ها شود، حالت دوم را می‌توان در دو بخش مجزای دیگر ارزیابی کرد. در بخش اول به صورت مشابه روی چند کمان مشابه اثر کند و در حالت دوم تغییر ظرفیت کمان‌ها با یک‌دیگر متفاوت باشد. این تغییرات به‌وجود آمده را نیز می‌توان در دو سطح بررسی کرد. در سطح اول می‌توان نتیجه بحران برروی شبکه را به‌صورت قطع کامل یک یا چند کمان دانست. بدین معنی که هنگام پیش‌آمدن یک بحران یک یا چند کمان به‌صورت کامل قطع شده و سرویس‌دهی خود را از دست بدهند و در نتیجه، آن کمان‌ها از شبکه حذف خواهند شد. بدیهی است که در صورت رخداد این واقعه و در صورت حیاتی بودن آن کمان‌ها، کوتاه‌ترین مسیر دسترسی و حداقل درخت دربرگیرنده نیز تغییر خواهد

کرد. برای درنظر گرفتن این مساله می‌توان، به‌صورت صفر و یک به مساله نگاه کرد. بدین صورت که صفر به این معنی باشد که کمان مورد نظر قطع شده است و یک به معنی این باشد که کمان مورد نظر باز است و قادر به ارائه سرویس است. البته این نکته را باید در خاطر داشت که تعیین وصل یا قطع بودن کمان باید با توجه به مشاهدات میدانی بعد از وقوع بحران صورت پذیرد.

در سطح دوم می‌توان تاثیر بحران روی کمان‌های شبکه را به‌صورت کاهش ظرفیت یک یا چند کمان دانست. یعنی وقوع بحران باعث از بین رفتن قسمتی از مسیر مثل شانه‌ها و یا یک یا چند خط عبور از مسیر مورد نظر شود. در این حالت با وجود این‌که راه مورد نظر مقداری از ظرفیت کامل خود را از دست داده است ولی توانایی سرویس‌دهی دارد، و باید توجه داشت که این کاهش ظرفیت در صورت بحرانی بودن مسیر مورد نظر باعث تغییر در عملکرد شبکه خواهد شد. کاهش ظرفیت بوجود آمده در کمان‌ها را می‌توان با ضریب کاهشی بین صفر و یک برروی ظرفیت در حالت عادی راه مورد نظر اعمال کرد. بدین‌صورت که با مشاهدات میدانی و با استفاده از متونی که در رابطه با کاهش ظرفیت راه‌ها وجود دارد، یک ضریب کاهنده بر ظرفیت راه مورد نظر اعمال کرد و تاثیر این موضوع را روی عملکرد شبکه (کوتاه‌ترین مسیر دسترسی و حداقل درخت دربرگیرنده) دید (شکل ۳-۱۷). در این مطالعه مطابق متدلوژی ارایه شده در بند ۳-۷ ضرایب کاهشی ظرفیت بدست آمده و در مطالعه استفاده خواهد شد.



شکل ٤-٣ سناریوهای مختلف ظرفیت در هنگام وقوع بحران

٤-٤-سطوح مختلف عملکردی شبکه

هدف این مطالعه، پیوسته ماندن شبکه، به‌معنای ایجاد دسترسی به تمام کانون‌های جمعیتی مهم می‌باشد. این هدف (پیوستگی شبکه) در سطوح کوناگون عملکردی قابل دستیابی است. این سطوح عبارتند از:

۱. در سطح پایین‌تر، پیوسته بودن شبکه به معنی ایجاد دسترسی به تمام کانون‌های جمعیتی مهم حداقل از طریق یک مسیر مد نظر می‌باشد. به‌عبارت دیگر، هدف، وجود *فیزیکی* یک راه بین مبدا-مقصدهای مهم می‌باشد و سطح سرویس ارائه

شده، از اهمیت چندانی برخوردار نیست. برنامه‌ریزی قبل از وقوع بحران برای داشتن یک چنین شبکه‌ای، در *امدادرسانی* نقش مهمی دارد.

۲. در سطح بالاتر، پیوسته بودن شبکه به معنی ایجاد دسترسی به تمام کانون‌های جمعیتی مهم و کاهش زمان دسترسی به این کانون‌ها با توجه به اولویت آنها براساس جمعیت تحت پوشش مطرح می‌شود. به‌عبارت دیگر، هدف، عملکرد مناسب شبکه می‌باشد.

٤-٥-رویکرد شبکه کشوری، قطب‌های امدادرسانی، استانی و ناحیه‌ای

با توجه به وسعت شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور و این‌که احتمال وقوع بحران (مانند زلزله) در کل کشور (به‌صورت هم‌زمان و فراگیر) که ضروری است که کشور را به چندین بخش تقسیم نموده و اثر بحران بر شبکه‌ی هر بخش را به‌طور جداگانه تعیین نمود. یعنی از رویکرد ناحیه‌بندی یا پهنه‌بندی استفاده کرد؛ بدین‌معنا که با فرض وقوع بحران در یک ناحیه، شبکه آن ناحیه را بطور جداگانه (جدا کردن آن ناحیه از کل کشور) مورد بررسی و تحلیل قرار دهیم. این امر باعث تسریع و کارایی روند کار می‌شود. این نواحی می‌توانند نواحی ٥٦ گانه‌ی حاصل از مطالعات جامع حمل و نقل کشور باشند.

رویکرد دیگر، رویکرد استانی است؛ مزیت این رویکرد، ملاحظه نمودن تقسیمات سیاسی کشور و سطوح تصمیمی‌گیری کشوری می‌باشد. در این رویکرد، با فرض وقوع بحران در هر استان، شبکه آن استان را بطور جداگانه مورد بررسی قرار می‌دهیم.

علاوه بر این، می‌توان از قطب‌های ۹گانه امدادرسانی به هر استان نیز استفاده نمود. در طرح‌های موجود در کشور برای مدیریت بحران، یکی از کارهای انجام شده، شناسایی ۹ قطب امدادرسانی می‌باشد؛ هر یک از این قطب‌ها مسئول چند استان هستند. در این رویکرد، نحوه کار بدین صورت باید باشد که با فرض وقوع

بحران در هر استان، علاوه بر شبکه راه‌های آن استان، راه‌های متصل‌کننده‌ی استان و قطب متناظر با آن نیز قابلیت سرویس‌دهی خود را حفظ کنند.

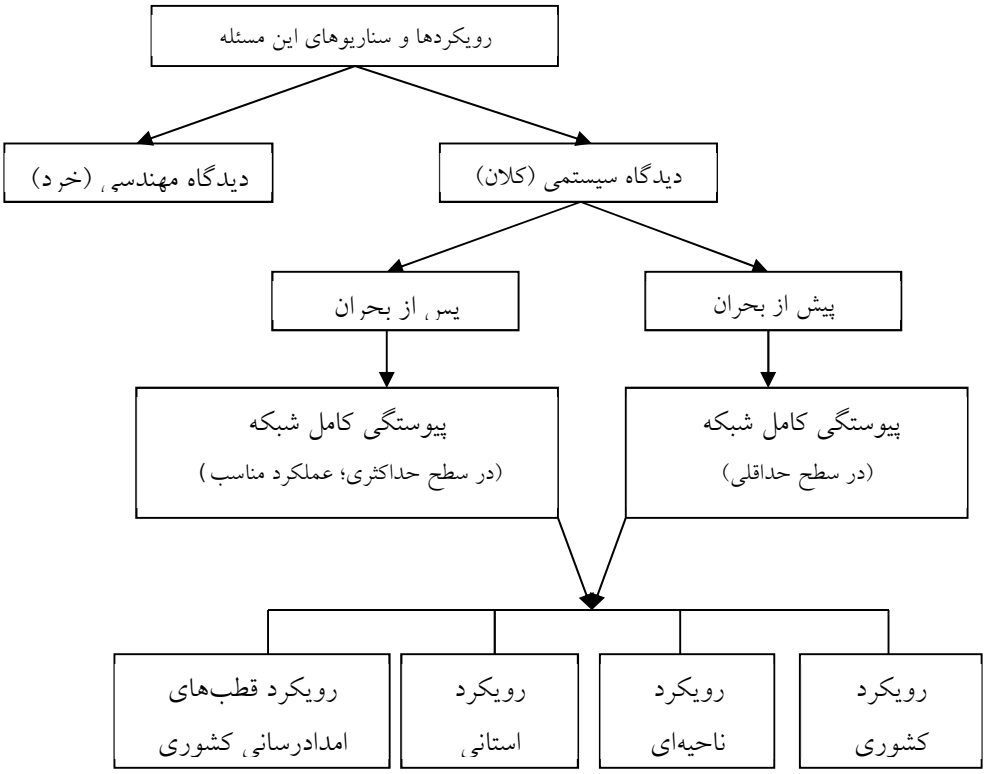
٤-٦-سناریوسازی

یکی از ویژگی‌های بحران که باعث مشکل شدن مواجهه با آن می‌شود، ماهیت احتمالی آن است؛ بدین معنی که پیش از وقوع بحران، معمولا اطلاع دقیقی از نوع بحران (زلزله، سیل، طوفان و...)، محل وقوع و شدت آن نداریم. بنابراین، یکی از کارهای مهم، بررسی رویکردها و سطوح مختلف مطالعه و سناریوهای حاصل از رویکردهای گوناگون برای مواجهه با بحران می‌باشد. در قسمت قبل، رویکردها و سطوح مختلف این مطالعه ارائه گردیدند. در این قسمت، سناریوهای گوناگون حاصل از رویکردهای متفاوت معرفی گردیده و از بین آن‌ها، سناریوهای منتخب برای این مطالعه تعیین خواهد شد.

همان‌طور که در قسمت قبل گفته شد، بمنظور تحلیل و بررسی هر مسئله‌ای، دو رویکرد کاملا متفاوت سیستمی (سطح کلان) و مهندسی (سطح خرد) را می‌توان اتخاذ نمود. هم‌چنین برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران را نیز در دو مرحله‌ی کاملا متفاوت پیش و پس از بحران می‌توان انجام داد. برای هر یک از این دو مرحله، سطوح گوناگون اهداف (از نظر عملکردی) قابل تعریف است. هم‌چنین هر یک از سطوح گوناگون اهداف را می‌توان برای واحدهای گوناگون تحلیل (کشور، قطب، استان، ناحیه) در نظر گرفت. در شکل بعد، تمامی این موارد بصورت طبقه‌بندی شده ذکر شده‌اند. با انتخاب هر یک از این موارد، یک سناریو برای تحلیل و بررسی بدست می‌آید که در مورد آن‌ها بحث خواهد شد.

مهم‌ترین بخش سناریوسازی این مطالعه، انتخاب واحدهای تحلیل است. این واحدها عبارتند از واحد تحلیل در سطح کشوری، در سطح قطب‌های امدادرسانی، استانی و ناحیه‌ای. در مورد واحد تحلیل کشوری، با توجه به وسعت شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور و این‌که احتمال وقوع بحران (مانند زلزله) در کل کشور (بصورت هم‌زمان) بسیار نادر است، بررسی کل شبکه کشور در اثر وقوع بحران در

یک یا چند ناحیه خاص، زیاد منطقی به نظر نمی‌رسد. بنابراین، می‌توان از سناریوهای حاصل از این سطح تحلیل صرفنظر کرد. با توجه به این مشکل، باید کشور را به چندین بخش تقسیم نموده و اثر بحران بر شبکه‌ی هر بخش را بطور جداگانه تعیین نمود. در این مطالعه، سعی شده تا مقایسه‌ای بین سطوح تحلیل استان و ناحیه (ناحیه‌های حمل و نقلی مستخرج از مطالعات جامع حمل و نقل کشور) انجام شده و مناسب‌ترین آن‌ها انتخاب گردد.



شکل ٤-٤ رویکردها و سناریوهای گوناگون تحلیل شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران

یکی از رویکردهای مهم برنامه‌ریزی و مدیریت بحران، تحلیل شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور پیش از وقوع بحران می‌باشد. همان‌طور که در بخش‌های قبل توضیح داده شد، مدل انتخاب شده بمنظور بررسی شبکه پیش از وقوع بحران، براساس مسئله‌ی حداقل درخت دربرگیرنده است. باید توجه داشت که بمنظور حل مسئله

حداقل درخت دربرگیرنده برای هر شبکه‌ای، ابتدا بهتر است معنی‌داری مسئله حداقل درخت دربرگیرنده بررسی شده و سپس آن‌را انجام داد. بعبارت دیگر، اگر شبکه‌ی مورد بررسی، خود، یک درخت باشد، پیدا کردن حداقل درخت دربرگیرنده برای آن شبکه معنا و مفهوم ندارد. بدین منظور، با توجه به دو سطح تحلیلی استانی و ناحیه‌ای، شبکه حمل و نقل جاده‌ای را مورد بررسی قرار داده و سپس یکی از این سطوح تحلیلی را که معنی‌داری مسئله‌ی حداقل درخت دربرگیرنده برای آن بیشتر است را انتخاب می‌کنیم. در دو جدول ذیل، نتایج حاصل از این بررسی آورده شده است.

جدول ٤-١ معنی‌داری مسئله حداقل درخت دربرگیرنده برای سطح تحلیل ناحیه

ردیف	شماره ناحیه	معنی داری MST[1] برای ناحیه در شبکه راه‌های شریانی	معنی داری MST برای ناحیه در شبکه راه‌های Iran250
1	1	بله	بله
2	2	بله (*)[2]	بله
3	3	بله (*)	بله
4	4	بله	بله
5	5	بله (*)	بله
6	6	بله (*)	بله
7	7	نه	بله
8	8	بله (*)	بله
9	9	بله	بله
10	10	بله	بله

۱ مسئله حداقل درخت دربرگیرنده (Minimum Spanning Tree)

۲ علامت * در کنار بله، بدین معنی است که مسئله حداقل درخت دربرگیرنده برای آن ناحیه (یا استان) بطور خفیف معنی دارد؛ بعبارت بهتر، اگر یکی از کمان‌های آن از بین می‌رود. MSTرا قطع کنیم، شبکه‌ی آن ناحیه (استان) تبدیل به درخت شده و معنی‌داری

11	11	بله	بله
12	12	نه	بله
13	13	نه	بله
14	14	بله	بله
15	15	بله (*)	بله
16	16	نه	بله
17	17	بله	بله
18	18	نه	بله
19	19	بله (*)	بله
20	20	نه	بله
21	21	بله	بله
22	22	بله	بله
23	23	نه	بله
24	24	بله	بله
25	25	نه	بله
26	26	نه	بله
27	27	بله (*)	بله (*)
28	28	بله (*)[1]	بله
29	29	بله (*)	بله
30	30	بله (*)	بله
31	31	نه	بله
32	32	نه	بله (*)
33	33	نه	بله
34	34	نه	بله
35	35	بله (*)	بله
36	36	بله	بله

۱ علامت * در کنار بله، بدین معنی است که مسئله حداقل درخت دربرگیرنده برای آن ناحیه (یا استان) بطور خفیف معنی دارد؛ بعبارت بهتر، اگر یکی از کمان‌های آن از بین می‌رود. MSTرا قطع کنیم، شبکه‌ی آن ناحیه (استان) تبدیل به درخت شده و معنی‌داری

37	37	بله (*)	بله
38	38	بله	بله
39	39	نه	بله
40	40	بله (*)	بله (*)
41	41	بله (*)	بله
42	42	بله (*)	بله (*)
43	43	بله (*)	بله
44	44	نه	بله
45	45	نه	بله (*)
46	46	نه	بله
47	47	نه	بله
48	48	بله (*)	بله
49	49	بله (*)	بله
50	50	نه	بله
51	51	نه	نه
52	52	بله (*)	بله
53	53	نه	بله (*)
54	54	بله (*)	بله
55	55	بله (*)	بله
56	56	بله (*)	بله

جدول ٤-۲ معنی‌داری مسئله حداقل درخت دربرگیرنده برای سطح تحلیل استان

ردیف	استان	معنی داری MST برای استان در شبکه راه‌های شریانی	معنی داری MST برای استان در شبکه راه‌های Iran250
1	آذربایجان	بله	بله
2	آذربایجان	بله	بله
3	اردبیل	بله	بله
4	اصفهان	بله	بله
5	ایلام	بله	بله
6	بوشهر	بله	بله
7	تهران	بله	بله
8	چهارمحال	بله	بله
9	خراسان	بله	بله
10	خراسان	بله	بله
11	خراسان	بله	بله
12	خوزستان	بله	بله
13	زنجان	بله	بله
14	سمنان	بله	بله
15	سیستان و	بله	بله
16	فارس	بله	بله
17	قزوین	بله	بله
18	قم	بله	بله
19	کردستان	بله	بله
20	کرمان	بله	بله
21	کرمانشاه	بله	بله
22	کهگیلویه و	بله	بله
23	گلستان	بله	بله
24	گیلان	بله	بله

25	لرستان	بله	بله
26	مازندران	بله	بله
27	مرکزی	بله	بله
28	هرمزگان	بله	بله
29	همدان	بله	بله
30	یزد	بله	بله

با توجه به جداول فوق، ملاحظه می‌شود که معنی‌داری مسئله حداقل درخت دربرگیرنده در سطح استان بیشتر از سطح ناحیه‌ای است. هم‌چنین، با توجه به سطوح تصمیم‌گیری در کشور، بهتر است مسئله حداقل درخت دربرگیرنده را در سطح استان مورد بررسی قرار دهیم.

٤-۷- چگونگی در نظر گرفت ظرفیت در مطالعه‌ی جاری

بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران با تاکید بر ظرفیت راه‌ها در واقع تلاشی برای پیش‌بینی چگونگی عملکرد شبکه‌ی حمل و نقل جاده‌ای در شرایط بحران برای شناخت و برطرف نمودن نقاط ضعف احتمالی شبکه‌ی جاده-ای برای کاهش هرچه بیش‌تر خسارات و تلفات مربوطه است. کمان‌های شبکه به عنوان جز اصلی شبکه، حساس‌ترین نقش را دارند که ویژگی آن‌ها در نقش‌رسانی شبکه قابل توجه و تاثیرگذار است. در این بین، ظرفیت کمان محوری‌ترین نقش را داشته و بررسی موفق عملکرد شبکه حمل و نقلی جاده‌ای کشور مرهون اهتمام به این ویژگی است.

در مطالعه‌ی پیش‌رو، بررسی عملکرد شبکه جاده‌ای با تاکید بر ظرفیت کمان‌ها از طریق سناریوسازی برای حالات محتمل وقوع بحران (با در نظر گرفتن بحران احتمالی وقوع زلزله) صورت می‌پذیرد. در این گزارش به صورت خلاصه سناریوها و روش بررسی عملکرد شبکه و چگونگی لحاظ ظرفیت با تاکید بر جنبه‌ی اجرایی مساله ارائه شده است.

٤-۷-۱-مروری بر سناریوهای پروژه

مطابق گزارش‌های ارسالی، در این پژوهش دو سناریو در حالت کلی مد نظر است: ۱- حالت پیش از بحران ۲- حالت پس از بحران. با انتخاب هر یک از رویکردهای، مدل مربوط به آن باید بررسی شود؛ به‌طوری‌که با انتخاب مرحله پیش از بحران، مدل حداقل درخت دربرگیرنده (برای استان‌ها) و برای مرحله پس از بحران، مدل کوتاه‌ترین مسیر (برای استان‌ها و قطب‌ها) بررسی می شود. همانطور که پیش‌تر مطرح شد در این پروژه دو سناریو در سطح کلان مطرح است (حالت پیش و پس از بحران) و در سطوح بعدی ۵ سناریو تعریف می‌شوند که در مجموع قابلیت تغییر بار و ظرفیت کمان را به استفاده کننده می‌دهند. به این ترتیب که استفاده کننده، برحسب نیاز می‌تواند تقاضا و یا ظرفیت را چه در حد یک کمان و چه در حد چند کمان (و حتی تمام کمان‌ها) تغییر و اثر تغییر را در نتایج مشاهده و بررسی کند.

٤-۷-۲-چگونگی در نظر گرفتن ظرفیت

چگونگی در نظر گرفتن ظرفیت در شرایط بحران به‌عنوان یکی از اهداف این پژوهش، مستلزم بررسی اثرات باند، شانه و ابنیه در شرایط پس از بحران می‌باشد. عدم اطلاع کافی از چگونگی اثرگذاری موارد یاد شده به دلیل عدم قطعیت ماهیت بحران، باعث می‌شود که نتوان از روش‌های معمول در بررسی ظرفیت استفاده کرد. به طور مثال، آماری از عملکرد راه‌ها در شرایط بحران وجود ندارد از طرفی در صورت وجود آمار نیز نمی‌توان به راحتی به آن‌ها استناد نمود چراکه ماهیت بحرانی احتمالی است و لزوما در دو حادثه مشابه اتفاق یکسانی نمی‌افتد. سناریوسازی به این مفهوم که مثلا اگر حادثه‌ای با این مشخصات اتفاق بیفتد، عملکرد راه به این شکل خواهد بود نیز بی‌معنی است، چراکه قبل از وقوع بحران نمی‌توان در مورد چگونگی اتفاقات پس از بحران نظر قطعی داد. لذا با توجه به موارد یاد شده باید به دنبال راهکاری بود که هم ماهیت احتمالی بحران را در نظر داشته باشد و هم به شکلی اثرات احتمالی بحران را به شکلی منطقی لحاظ نماید.

الف- مفهوم گلوگاه

جاده دو خطه روستایی با سرعت حداکثر ٦٠ کیلومتر بر ساعت در منطقه‌ای تپه-ماهوری جایی که سبقت وسایل نقلیه ممنوع باشد در نظر بگیرید. در این شرایط، اغلب می‌توان کامیونی که در سربالایی با سرعت ۲۰ کیل.متر بر ساعت در حال خزیدن است مشاهده کرد که دسته‌ای از وسایل نقلیه به دنبال آن در حال حرکت هستند. هر وسیله نقلیه دیگر که به این دسته وسایل ملحق می‌شوند ممکن است در ابتدا ٦٠ کیلومتر بر ساعت سرعت داشته باشد ولی مجبور شود که به ناگهان سرعت خود را به ۲۰ کیلومتر بر ساعت کاهش دهد.

مشابه این حالت احتمالا زمانی رخ می‌دهد که برای مثال آزادراه سه خطه به یک آزاد راه دو خطه تبدیل شود. حال این تبدیل شدن می‌تواند در اثر شرایط راه (وجود پل یا تونل) باشد و یا در اثر یک حادثه‌ای بخشی از خط بسته شده باشد. به هر حال یک عامل خارجی باعث بسته شدن بخشی از راه می‌شود.

شرایط یاد شده که در واقع باعث انسداد کل یا بخشی از راه می‌شوند، به عنوان گلوگاه شناخته شده و باعث می‌شوند که ماهیت ترافیک و شرایط عملکردی راه در بخشی از راه که این اتفاق افتاده تغییر کند، به طور مشخص باعث تغییر ظرفیت آن بخش از راه می‌شوند و یا سرعت متوسط حجم عبوری در آن بخش از راه تغییر می‌کند.

ب- ظرفیت پس از بحران

در نگاه اول محاسبه‌ی ظرفیت پس از بحران به دلیل ماهیت احتمالی بحران امری ناممکن به نظر می‌رسد. استفاده از مفهوم گلوگاه می‌تواند در این زمینه موثر واقع شود. در این پژوهش اثر باند، شانه و ابنیه به عنوان عوامل موثر در ظرفیت پس از بحران مد نظر قرار دارد و میزان ظرفیت پس از بحران با استفاده از رابطه ۳-۳۳ محاسبه می‌گردد:

$$C_d = C_b * f_n * f_{lc} * f_S \qquad (۳۳-۳)$$

در این رابطه C_d ظرفیت پس از بحران، C_b ظرفیت پایه راه (مستخرج از HCM 2000) f_n ضریب کاهشی اثر خرابی باند، f_{lc} ضریب کاهشی اثر خرابی شانه و f_s ضریب کاهشی اثر پل یا تونل است. در ادامه نحوه‌ی محاسبه‌ی هر یک از ضرایب تشریح خواهند شد و در نهایت ضرایب f_n و f_{lc} از جداول ۳-۲۰ تا ۳-۲۵ استخراج خواهند شد و f_s نیز ضریبی به صورت صفر یا یک است که اگر پل یا تونل تخریب شده باشند دارای مقدار صفر و در غیر این صورت یک است.

ج-تاثیر باند و شانه (f_n و f_{lc})

پس از حادث شدن بحران ممکن است بخشی از راه تخریب و یا بسته شود که در این حالت عملا ماهیت ترافیک عبوری و شرایط عملکردی راه تغییر می‌کند. ظرفیت راه، به عنوان شاخص‌ترین معیار چگونگی عملکرد راه، نیز دچار اختلال شده و ممکن است کاهش یابد. انسداد مذکور ممکن است در هر یک از خطوط عبوری اتفاق افتد و یا شانه راه را مختل نماید که نتیجه‌ی هر یک از این موارد تغییر ظرفیت راه می‌باشد. در حقیقت رویکرد مطالعه‌ی حاضر شبیه‌سازی شرایط پس از بحران با مفهوم گلوگاه است، بدین ترتیب که فرض می‌شود که پس از وقوع بحران خرابی راه همانند گلوگاه عمل می‌کند و باعث اختلال در عملکرد راه و کاهش ظرفیت راه می‌شود.

با توجه به ماهیت احتمالی بحران و عدم قطعیت در نوع و میزان خسارات ناشی از آن، یک راه منطقی برای شبیه‌سازی شرایط بحران استفاده از سناریوسازی است. بدین مفهوم که فرض می‌شود که در اثر بحران درصدی از عرض راه بسته شده است (مثلا ۱۰ درصد از یک آزاد راه سه خطه با عرض هر خط ۳/٦ متر). سناریوها برای درصدهای مختلف بسته شدن راه (سناریوهای ۱۰ درصدی از صفر تا ۱۰۰ درصد) و برای انواع راه‌ها با تعداد خطوط مختلف بررسی و شبیه‌سازی می‌شوند. به

عنوان مثال برای آزادراه‌های مختلف (دو خط در هر جهت تا چهار خط در هر جهت) و برای درصد خرابی‌های مختلف (صفر، ده و سناریوهای ۱۰ درصدی تا نهایتا ۱۰۰ درصد) با فرض چگالی و سرعت اولیه منطقی (مطابق کتاب HCM) و پارامترهای تاثیرگذار همچون ضریب همسنگ سواری (مستخرج از HCM) توسط بسته نرم‌افزاری شبیه‌ساز، شرایط گلوگاه (حادث شده به سبب بحران) شبیه‌سازی می‌شود و در نهایت ظرفیت جدید راه محاسبه می‌گردد. نسبت ظرفیت جدید به ظرفیت پایه، ضریب کاهنده‌ای است که در اثر وقوع بحران باعث کاهش ظرفیت راه می‌شود. عملیات یاد شده برای انواع مختلف راه‌ها اعم از آزادراه، بزرگراه و راه دو خطه مدل می‌شود و در نهایت خروجی کار، جداول کاربردی خواهند بود که کاربر را در تشخیص میزان صحیح ظرفیت پس از بحران یاری خواهد نمود. مشابه سناریوسازی و شبیه‌سازی فوق برای شانه راه‌ها نیز اعمال خواهد شد و برای آن‌ها نیز جداول کاربردی ارائه خواهند گشت. با توجه به موارد یاد شده، پیشنهاد عملی تیم مشاور استفاده از مفاهیم ۱- گلوگاه (bottleneck) ۲- شبیه‌سازی و ۳- سناریوسازی تخریب راه می‌باشد.

د-تاثیر پل و تونل (f_s)

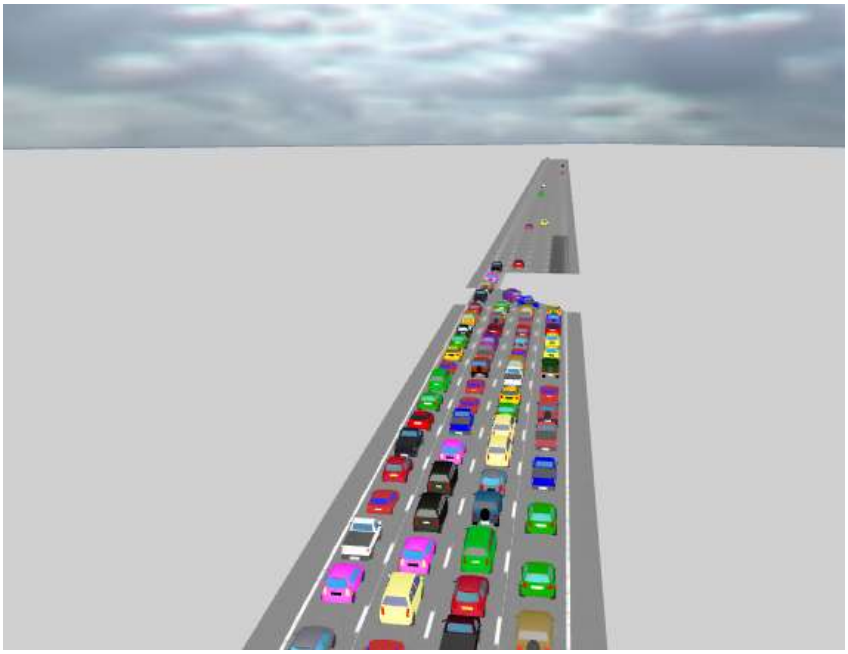
تاثیر پل و تونل در این مطالعات با فرضی منطقی بدین ترتیب اعمال می‌شوند که برای کمانی که پل یا تونل دارد، اگر راهی جایگزین (معمولا راه دوخطه) وجود دارد ظرفیت آن راه به عنوان ظرفیت جدید معرفی و اگر راه جایگزین وجود ندارد به صورت صفر یا یک دیده شود. بدین معنی که اگر حتی بخشی از پل یا تونل خراب شده باشد، ظرفیت آن کمان صفر (کاملا قطع شده)، و اگر پل یا تونل تخریب نشده باشند مطابق سابق عمل خواهند کرد.

ه-فرآیند شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی کمان مفروض که در اثر بحران دچار حادثه شده است از مفهوم گلوگاه و برای سه منطقه‌ی پست، تپه ماهوری و کوهستانی مطابق با آیین نامه HCM 2000 و ضرایب پیشنهای آن استفاده می‌شود. در این خصوص سه نوع راه با شرایط آزادراه، بزرگراه و راه دوخطه مدل شدند که برای آزادراه و بزرگراه تعداد چهار، سه و دو خط در یک جهت در نظر گرفته شد.

کمان مفروض با در نظر گرفتن گلوگاه به سه ناحیه‌ی پیش از گلوگاه، گلوگاه و بعد از گلوگاه تقسیم‌بندی می‌شود. به این ترتیب که مشخصات منطقه‌ی شبیه‌سازی دارای طولی برابر ۳۰۰۰ متر با عرض راه ۳/٦ متر و طول ناحیه‌ی گلوگاه ۱۰ متر است، همچنین عرض هر ماشین نیز ۲ متر در نظر گرفته شد.

فرآیند شبیه‌سازی به این صورت اعمال شد که در طی سناریوهای مختلف ۱۰ درصدی عرض باند مسدود و ویژگی‌های مورد نظر استخراج شدند. برای شبیه-سازی ظرفیت و نحوه تغییر آن در اثر بحران حجم عبوری از کمان مفروض با توجه به نوع راه، منطقه و سرعت جریان آزاد در کمان برابر با ظرفیت راه، مطابق با HCM در نظر گرفته شد. به‌طور مثال سرعت جریان آزاد برای آزادراه ۱۲۰ کیلومتر در ساعت، برای بزرگراه ۱۰۰ کیلومتر در ساعت و برای مسیر دوخطه رفت و برگشت ۷۰ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شد. با توجه به مفروضات بالا، ظرفیت برای آزادراه ۲٤۰۰ وسیله نقلیه در هر خط، برای بزرگراه ۲۲۰۰ وسیله نقلیه در هر خط، و برای راه دوخطه ۱۷۰۰ وسیله نقلیه در نظر گرفته شد.



شکل ٤-٥ شبیه‌سازی مفهوم گلوگاه در محیط نرم‌افزار AIMSUN

شکل ٤-٥ شمایی از شبیه‌سازی انجام شده در محیط نرم‌افزاری AIMSUN برای یک راه چهار خطه با ۷۰ درصد باند تخریب شده را نشان می‌دهد.

توجه شود که، اساس کار بسیاری از بسته‌های نرم‌افزاری حمل‌ونقل و ترافیک (از جمله نرم‌افزار Aimsun)، استفاده از اصول مطرح در آیین‌نامه‌ها و کتاب‌های راهنمایی مانند HCM می‌باشد. با این وجود، قابل‌توجه است که عواملی از جمله ماهیت مدل مورد استفاده، سناریوهای در نظر گرفته‌شده، نحوهٔ پرداخت پارامترهای مدل‌های نرم‌افزار و به‌طور کلی، نحوهٔ استفاده از این نرم‌افزارها باعث تغییر در نتایج خواهد شد.

در این پروژه، به‌منظور تعیین نتایج حاصل از سناریوهای گوناگون خسارات وارده به راه در اثر بحران، از مدل شبیه‌سازی خرد ترافیک موجود در نرم‌افزار استفاده گردیده است. تفاوت اصلی این پژوهش با HCM، نه در اصول جریان ترافیک، بلکه در نحوهٔ سناریوسازی شرایط بحران است. به‌طور مشخص، سناریوی

بحران فرض‌شده در HCM 2000 (فصل ۲۲، بخش مربوط به کاهش ظرفیت راه در اثر وقوع حوادث) و نتایج آن بر ظرفیت راه، با فرض انسداد خطوط راه به‌دست آمده است. در صورتی‌که در این پروژه فرض شده که خرابی‌ها به‌صورت انسداد مقادیر مختلفی از عرض راه (و نه لزوماً دیدگاه صفر و یکی منتج از انسداد یک خط به‌صورت کامل) هستند. همچنین، نحوهٔ رفتار رانندگان در نزدیکی محل وقوع بحران و سایر مناطق نیز متفاوت از یکدیگر در نظر گرفته شده است؛ به‌طوری‌که در طولی از راهی که بخشی از عرض آن مسدود شده، رانندگان دیگر مرز ترسیم‌شده بین خطوط را در نظر نگرفته و بر اساس مطلوبیت خود، در خطوط جدید مدنظر خود حرکت می‌کنند. بنابراین، اساس این پژوهش با مطالعهٔ انجام‌شده در فصل بیست و دوم HCM متفاوت خواهد بود.

و-نحوه‌ی محاسبه‌ی ضریب کاهش ظرفیت

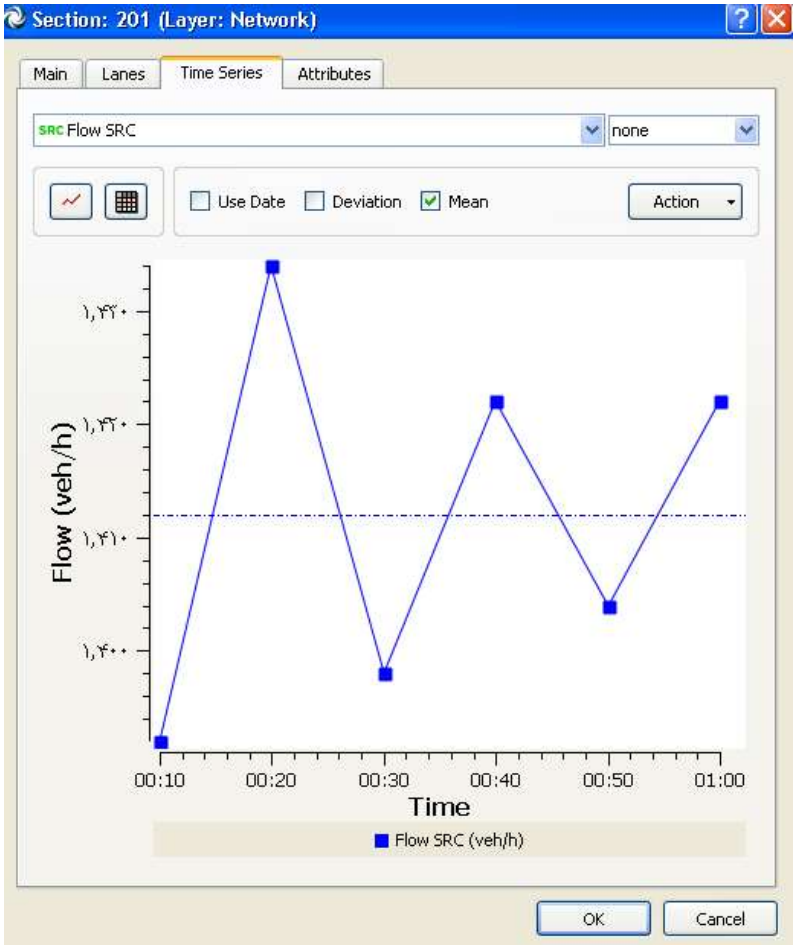
برای محاسبه‌ی حجم عبوری از کمان پس از ایجاد گلوگاه در کمان مورد نظر و تخصیص جریانی برابر با ظرفیت راه، نسبت حجم عبوری از مقطع گلوگاه پس از انجام ۵ آزمایش شبیه‌سازی و میانگیری از حجم عبوری از مقطع گلوگاه در این آزمایش‌ها، حجم عبوری از گلوگاه محاسبه می‌شود. نسبت حجم عبوری از گلوگاه به ظرفیت راه برابر با ضریب ظرفیت باقیمانده‌ی راه پس از بحران می‌شود. به طور مثال برای یک بزرگراه ۳ خطه با سرعت جریان آزاد ۱۰۰ کیلومتر در ساعت و ظرفیت ٦٦۰۰ (۲۲۰۰ * ۳) وسیله‌نقلیه در ساعت، پس از ایجاد گلوگاه به نحوی‌که تنها ۳۰ درصد عرض باند باقی بماند (۷۰ درصد خرابی)، بعد از انجام ۵ آزمایش شبیه‌سازی و میانگین‌گیری از حجم‌های عبوری از گلوگاه در هر آزمایش، حجم عبوری از گلوگاه ١٦٧٦ وسیله‌ی نقلیه محاسبه می‌شود. در این حالت ضریب ظرفیت باقیمانده‌ی راه برابر می‌شود با:

$$\text{ضریب ظرفیت باقی مانده} = \frac{1676}{6600} = 25.3\%$$

بدین گونه ضرایب برای انواع راه‌ها در نواحی مختلف و برای عرض‌های مختلف و برای تعداد باندهای مختلف محاسبه شد. در مجموع بیش از ۳۵۰ مدل و بیش از ۱۷۰۰ آزمایش توسط نرم‌افزار AIMSUN شبیه‌سازی شد که نتایج آن‌ها در جداول مربوطه آورده شده است.

ی-خروجی شبیه‌سازی

خروجی فرآیند ذکر شده به صورت جداول کاربردی ارائه هستند که در جداول ۳-۲۰ تا ۳-۲۵ ارائه شده‌اند. به طور نمونه، جدول ۳-۲۰ ضریب کاهشی ظرفیت آزادراه در مناطق مختلف به‌ازای میزان خرابی مختلف باند را نشان می‌دهد. در این جدول که برای تعداد خطوط مختلف در یک جهت (دو تا چهار خط در یک جهت) و برای مناطق مختلف پست، تپه ماهوری و کوهستانی تنظیم شده است، به‌ازای میزان خرابی از کل عرض باند (درصد) ضرایب کاهشی بدست می‌آید. مشابه این جدول برای بزرگراه و راه دوخطه نیز محاسبه شده‌اند که در جداول ٤-۳ و ٤-٤ ارائه گردیده‌اند.



شکل ٤-٦ خروجی جریان شبیه‌سازی شده در گلوگاه و میانگین آن‌ها

شکل ٤-٦ خروجی جریان گذرنده از گلوگاه را با ۵ تکرار و میانگیری از آن‌ها را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که ماهیت شبیه‌سازی دارای حالت پایداری نیست و در هر تکرار جواب‌های نایکسان ولی نزدیک بدست می‌آید که در این مطالعه مقدار میانگین آن‌ها استفاده شده است.

برای بررسی اثر شانه نیز عملیات مشابهی صورت گرفت و برای مناطق مختلف (پست، تپه ماهوری و کوهستانی) با میزان خرابی متفاوت شانه (درصد) ضریب کاهشی ظرفیت راه مورد نظر بدست آمد که در جدول ۳-۲۳ نتایج آن ارائه شده است.

جدول ٤-۳ ضریب کاهشی ظرفیت آزادراه در مناطق مختلف به‌ازای میزان خرابی مختلف باند (f_n)

تعداد خط در یک جهت (N)	نوع منطقه	میزان خرابی از کل عرض باندها (درصد)									
		۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
۲	پست	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۰	۰	۰	۰
	تپه ماهوری	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۷	۰	۰	۰
	کوهستانی	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۵	۰	۰	۰
۳	پست	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۲۹	۰/۲۶	۰	۰
	تپه ماهوری	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۲۵	۰/۲۴	۰	۰
	کوهستانی	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۲۴	۰/۲۳	۰	۰
۴	پست	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۵۹	۰/۴۴	۰/۲۷	۰	۰
	تپه ماهوری	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/۵۶	۰/۳۵	۰/۲۶	۰	۰
	کوهستانی	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۵۴	۰/۳۴	۰/۲۶	۰	۰

جدول ٤-٤ ضریب کاهشی ظرفیت بزرگراه در مناطق مختلف به‌ازای میزان خرابی مختلف باند (f_n)

تعداد خط در یک جهت (N)	نوع منطقه	میزان خرابی از کل عرض باندها (درصد)									
		۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
۲	پست	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۵	۰	۰	۰
	تپه ماهوری	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۴	۰	۰	۰
	کوهستانی	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۳۳	۰	۰	۰
۳	پست	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۲۵	۰/۲۴	۰	۰
	تپه ماهوری	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۲۴	۰/۲۳	۰	۰
	کوهستانی	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۲۴	۰/۲۳	۰	۰
۴	پست	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۷۴	۰/۵۵	۰/۴۶	۰/۳۴	۰/۱۹	۰	۰
	تپه ماهوری	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۸۴	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۳۴	۰/۱۷	۰	۰
	کوهستانی	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۳۳	۰/۱۷	۰	۰

جدول ٤-٥ ضریب کاهشی ظرفیت راه دوخطه در مناطق مختلف به‌ازای میزان خرابی مختلف باند (f_n)

تعداد خط در یک جهت (N)	نوع منطقه	میزان خرابی از کل عرض باند (درصد)									
		۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
۱	پست	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	تپه ماهوری	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	کوهستانی	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ٤-٦ ضریب کاهشی ظرفیت راه در مناطق مختلف به‌ازای میزان خرابی مختلف شانه (f_{cl})

نوع راه	نوع منطقه	میزان خرابی از کل عرض شانه (درصد)									
		۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
آزادراه	پست	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۶
	تپه ماهوری	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۶
	کوهستانی	۱	۱	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵
بزرگراه	پست	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴
	تپه ماهوری	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۳
	کوهستانی	۱	۱	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۳
راه دوخطه	پست	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳
	تپه ماهوری	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳
	کوهستانی	۱	۱	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۲

٤-٨- مقایسه تطبیقی نتایج

در این بخش پس از بدست آمدن نتایج شبیه‌سازی به مقایسه اجمالی نتایج حاصله با مطالعات پیشین پرداخته می‌شود. جدول ۳-۲۰ ضریب کاهشی ظرفیت آزادراه در مناطق مختلف به‌ازای میزان خرابی مختلف باند را نشان می‌دهد. به طور مثال برای یک آزادراه چهارخطه‌ی واقع در منطقه پست وقتی ۳۰ درصد عرض باند (مجموع چهار خط) خراب می‌شود ظرفیت آن بخش از راه در حدود ۰/۸۰ مقدار اولیه خواهد بود که این مقدار با مطالعات منتشر شده در TRB 2000 (جدول ۳-۸) با نوع حادثه ضایعات و موقعیت از دست رفتن چند خط برای حالت تعداد ٤ خط در یک جهت (۲۵ درصد) حدود ۵ درصد اختلاف و با مطالعات حاجی‌حسینلو (جدول ۳-۱۰) برای نوع خرابی حالت ۳ (معادل ۳۰ درصد خرابی) حدودا ۱۰ درصد اختلاف دارد. البته باید توجه شود که در مطالعات حاجی‌حسینلو حالت سوم ترکیب خرابی شانه و باند است که با احتساب مقدار بدست آمده برای ۱۰۰ درصد خرابی شانه (جدول ۳-۲۳) و ۳۰ درصد خرابی باند (جدول ۳-۲۰) که به ترتیب ضرایب کاهشی ۰/۹٦ و ۰/۸۰ را ارائه می‌کنند، مساوی ۰/۷٦ خواهد بود که اختلاف ٦ درصدی داشته و قابل قبول است.

همچنین مقادیر بدست آمده برای تاثیر شانه در جداول ۳-۲۳ تا ۳-۲۵ ارائه شده‌اند که با جدول ۳-۸ (مطالعه TRB2000) و مطالعات حاجی‌حسینلو همخوانی خوبی دارد.

٤-۹ - تعیین تابع هزینه کمان[۱] و تابع قابلیت اعتماد کمان[۲]

٤-۹-۱ - قابلیت اعتماد

در بسیاری از مطالعات انجام شده در زمینه بحران، قابلیت اعتماد شبکه حمل و نقل مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش اشاره مختصری به برخی از مطالعات مرتبط با این مطلب شده است. به طور کلی، قابلیت اعتماد شبکه به معنای میزان توانایی شبکه در دارا بودن عملکرد مورد نظر در برهه زمانی خاص و تحت شرایط بحران می‌باشد. در این زمینه و در وهله اول، مطالعات گوناگونی درباره قابلیت اعتماد اتصال نقاط مختلف شبکه و سپس درباره قابلیت اعتماد زمان سفر، عملکرد شبکه و ظرفیت صورت پذیرفته است. ایدا و واکاباياشی در سال ۱۹۸۹ میلادی به بررسی قابلیت اطمینان اتصال (دسترسی)[۳] مبدا- مقصدهای حمل و نقلی (OD)، به معنای وجود مسیری بین هر جفت مبدا- مقصد پرداخته‌اند. سان در پژوهش خود، با توجه به تاثیر قطع هر کمان بر کوتاه‌ترین فاصله بین دو استان و همچنین جمعیت هر منطقه، برای هر یک از استان‌های محدوده‌ی مطالعه در ایالت Maryland آمریکا یک امتیاز دسترسی محاسبه کرده و کمان‌های شبکه را بر این اساس اولویت‌بندی کرده است. قابلیت اعتماد زمان سفر[٤] نیز به معنای احتمال کمتر بودن زمان سفر بین یک مبدا- مقصد نسبت به یک زمان خاص است. آساکورا و کاشیوادانی قابلیت اعتماد زمان سفر را برای سطوح سرویس خاص و تغییرات روزانه جریان ترافیک معرفی کرده و آن را به عنوان معیاری برای ارزیابی شبکه پیشنهادی در نظر گرفتند.

---

۱ Link cost function

۲ Link reliability function

۳ Connectivity reliability

٤ Travel time reliability

قابلیت اعتماد ظرفیت[۱] نیز به صورت احتمال بزرگتر یا مساوی بودن ظرفیت کل شبکه از یک ظرفیت خاص، در شرایط تغییر احتمالی ظرفیت کمان‌های شبکه تعریف شده است. چن و همکاران فرض متغیر بودن ظرفیت کمان‌های شبکه به دلایل گوناگونی مانند حوادث ترافیکی و با استفاده از مفهوم ظرفیت ذخیره[۲]، قابلیت اعتماد ظرفیت را مورد بررسی قرار داده‌اند. ایشان ظرفیت ذخیره را به عنوان بزرگترین مضرب برای یک ماتریس تقاضای مبدا- مقصد که بتوان آن را بدون تخطی از ظرفیت کمان‌های شبکه به شبکه تخصیص داد تعریف کرده‌اند. شریعت و همکاران در مطالعه خود، روشی بر مبنای چگالی احتمالی پیوسته برای ظرفیت کمان‌ها به منظور محاسبه قابلیت اعتماد ظرفیت و اتصال پیشنهاد نموده‌اند. ایشان در مطالعه خود، قابلیت اعتماد ظرفیت کمان i را به صورت احتمال بیشتر بودن ظرفیت هر کمان از حجم عبوری معرفی نموده و آن را با رابطه زیر بیان کرده‌اند:

(۳٤-۳)

$$R_i = \begin{cases} P(C_i \geq v_i) = \int_{v_i}^{C_{max}^i} f_i(c)dc & , v_i \geq C_{min}^i \\ 0 & , C_{max}^i < v_i \end{cases}$$

که در این رابطه، v_i حجم عبوری از کمان i ام و R_i متغیر تصادفی نرمال است که تابع چگالی آن با f_i نشان داده شده است. همچنین C_{min} حد پایین ظرفیت کمان i ام و C_{max} حد بالای آن است. هنگامی که حجم عبوری از کمان از حد پایین ظرفیت کمان بیشتر باشد، انتگرال تابع چگالی احتمال ظرفیت از v_i تا C_{max} قابلیت اعتماد عملکرد کمان را به دست می‌دهد. در صورتی که حجم عبوری از کمان از حد بالای ظرفیت کمان بیشتر باشد، قابلیت اعتماد عملکرد کمان صفر است (یعنی احتمال بیشتر بودن ظرفیت کمان از حجم عبوری صفر است).

---

۱ Capacity reliability

۲ Reserve capacity

لازم به ذکر است که در ادبیات قابلیت اعتماد، با توجه به اهمیت نزدیک بودن نتایج مدل‌ها به واقعیت، و با عنایت به لزوم توجه توامان به عرضه (برای مثال: ظرفیت و طول کمان) و تقاضا (با فرض ساده‌کننده‌ای حجم ترافیک هر کمان)، هیچ مورد جدید و قابل استنادی برای تابع اعتمادپذیری کمان شامل تنها مشخصات عرضه (ظرفیت و طول کمان) ملاحظه نشده است.

٤-۹-۲هزینه

یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر نحوه انتخاب مسیر توسط استفاده‌کنندگان از شبکه حمل و نقل، هزینه (عدم مطلوبیت۱) وارده به او در صورت انتخاب آن مسیر است. این هزینه، لزوماً هزینه مالی۲ نبوده و دربرگیرنده هزینه‌های مالی، زمانی، روانی و ... است که در بیشتر منابع مورد بررسی به آن هزینه تعمیم‌یافته۳ گفته می‌شود (۷ و ۸). به طور کلی می‌توان این هزینه را به دو بخش تقسیم نمود: بخش مربوط به عرضه و بخش مربوط به تقاضا. برای مثال، هزینه مربوط به عرضه برای یک کمان عبارت است از زمان سفر آزاد در آن کمان که به عواملی از جمله طول آن کمان و سرعت وابسته است. اما هزینه مربوط به تقاضا، که به دلیل رشد روزافزون تراکم در راه‌ها سهم قابل‌توجهی از کل هزینه سفر را می‌تواند داشته باشد، به نحوه تعامل٤ استفاده‌کنندگان با یکدیگر، ظرفیت کمان و برخی موارد دیگر وابسته است. توابع گوناگونی برای تابع هزینه کمان در ادبیات موجود است که در بیشتر آن‌ها، این توابع با نام تابع عملکرد کمان۵ شناخته می‌شوند. لازم به ذکر است که در ادبیات بررسی‌شده در زمینه هزینه استفاده از کمان، با توجه به اهمیت نزدیک بودن مدل‌ها

---

۱ Disutility

۲ Out of pocket cost

۳ Generalized cost

٤ Interaction

٥ Link volume-delay function

به واقعیت، و با عنایت به لزوم توجه به قابل‌توجه بودن هزینه مربوط به تقاضا، مورد جدید و قابل استنادی برای تابع هزینه کمان که فقط مشخصات عرضه (ظرفیت و طول کمان) در آن به کار برده شده باشند ملاحظه نشده است و در صورت نیاز باید مدلی ابتکاری ارائه نمود.

٤-٩-٣ - رویکرد ابتکاری

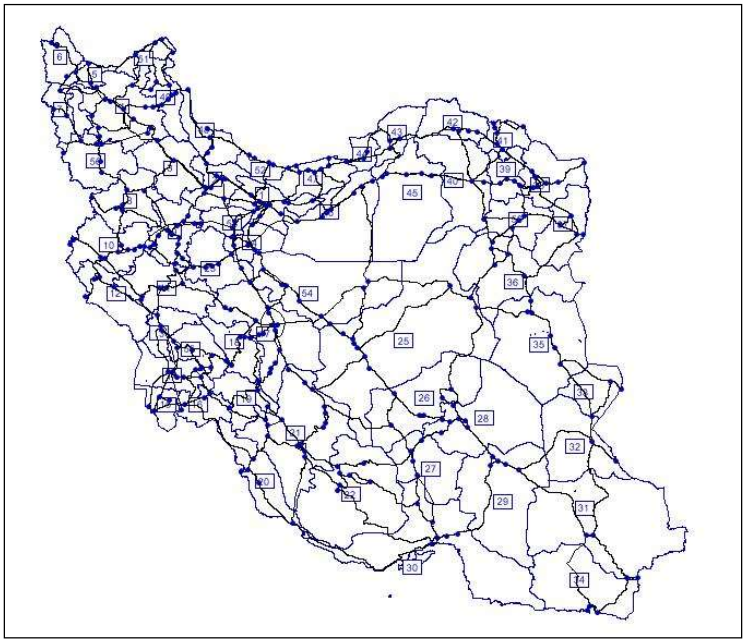
با توجه به نقطه نظر کارفرما و ناظرین پروژه مقرر گردید یک روش ابتکاری و خیلی ساده جایگزین روش بالا با استفاده از تنها کمیت l (طول کمان) و C (ظرفیت راه) شود. پس از مرور ادبیات و تلاش‌های پژوهشی صورت گرفته در این زمینه مشخص شد که تا به‌حال چنین رویکردی پیشنهاد نشده است، بنابراین روش پیشنهادی کارفرمای محترم در پیاده‌سازی سناریوها به متدلوژی اضافه گردید و روش قبلی با توجه به استحکام و قدمت و منطق آن از گزارش و روال سناریو حذف نشد. بدیهی است که این کار باعث جامعیت بیشتر مطالعه خواهد شد. فرمول ۳-۳۵ تابع پیشنهادی کارفرما و دستگاه محترم نظارت را نشان می‌دهد که در آن length طول کمان، Cap ظرفیت کمان و cost هزینه‌ی کمان است.

$$cost= length/Cap \qquad (۳۵-۳)$$

٤-١٠-اجرای مدل های منتخب برای سناریو بدون بار

در بخش پیش رو و برای بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران، از راهکارهای پیش رو، طراحی سناریوی پیش از بحران برای ایجاد آمادگی و ضمانت عملکردی راه‌ها در زمان وقوع بحران است.در بخش‌های قبل بیان شد که برای انجام مطالعات اخیر دو شبکه با سطح جزئیات متفاوت در اختیار داریم، یکی از آنها شبکه راه‌های شریانی کشور و دیگری شبکه‌ای با جزئیات بیشتر موسوم

به شبکه iran250 است. شبکه راه‌های شریانی کشور در شکل شماره (۳-۲۱) نشان داده شده است.



شکل٤-۷ شبکه کلی راه‌های شریانی کشور

از طرف دیگر مفاهیم حداقل درخت دربرگیرنده و کوتاه‌ترین مسیر شبکه پیش از این معرفی گشت. به نظر می‌رسد تضمین پایداری و پایدارسازی شبکه شریانی و تضمین پاسخ‌گویی آن در برقراری حداقل درخت دربرگیرنده در زمان وقوع بحران، از اولویت‌های مورد انتظار از چنین شبکه‌ای است. پس از حصول چنین نتیجه‌ای است که می‌توان به کارایی دیگر تصمیم‌های پشتیبان به‌مانند تعیین کوتاه‌ترین مسیر برای راه‌های خدمت‌پذیر پس از وقوع بحران امیدوار بود.

مسئله مهم دیگر، انتخاب سطح تصمیم‌سازی است. اگر توجه و تمرکز بیشتر در این فاز بر شبکه شریانی کشور در زمان پیش از بحران باشد، سطح تصمیم‌سازی و اعمال تصمیمات نیز باید متناسب با شرایط پیش از بحران و با در نظر گرفتن شرایط

موجود برای اعمال چنین تصمیماتی باشد. بدین منظور استفاده از تقسیمات استانی با توجه به توانایی استان‌ها در تصمیم‌سازی در کشور و تقسیمات بودجه‌ای و سازمانی مربوطه منطقی به‌نظر می‌رسد.

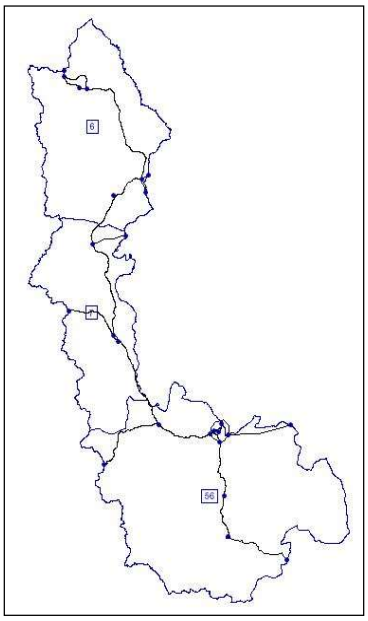
بنابراین و با توجه به اینکه لایه تقسیمات بر روی شبکه شریانی، تقسیم‌بندی ناحیه‌ای بود، جدولی به منظور مشخص کردن نواحی تحت پوشش هر استان با برطرف نمودن چهار مورد ناهم‌خوانی جزئی در انطباق مرزهای نواحی با استان‌ها تهیه گردید که پیش از این ارائه گردید و سپس از شبکه شریانی کشور، ۳۰ فایل جداگانه‌ی نرم‌افزار visum برای هر استان تهیه گردید. تمام راه‌های موجود در این شبکه برداشت شده و جداول تفکیکی هر استان تهیه گشت. سپس اطلاعات در فرمتی که قابل پردازش توسط نرم‌افزار WinQSB باشند تهیه شده و حداقل درخت دربرگیرنده بر روی شبکه شریانی استخراج شد که نتایج آن در ادامه ارائه می گردد. بدین منظور نتایج اجرای مدل حداقل درخت دربرگیرنده برای استان‌ها پس از بیان کلیاتی به ترتیب و برای هر استان بطور مجزا بیان می‌گردد. در پایان این بخش و با جمع‌بندی نتایج و ارائه‌ی خلاصه‌ی نتایج حاصله به صورت جدول به جمع بندی مباحث این بخش می‌پردازیم.

٤-۱۱-نتایج اجرای مدل حداقل درخت دربرگیرنده به تفکیک استان‌ها

٤-۱۱-۱- مقدمه

پس از گردآوری اطلاعات کمان‌های موجود در جداول جداگانه‌ای که به پیوست ارائه می‌گردد، برای هر استان با توجه به تعداد گره‌های آن، ماتریس‌های مربعی تعریف شده و در درایه‌های آن برای گره‌هایی که کمان واصل وجود دارد، عدد مربوط به فاصله‌ی آن کمان جای‌گذاری می‌گردد. خروجی این ماتریس‌ها بفرم txt، ورودی نرم‌افزار WinQSB خواهد بود. بخش Network Modeling این نرم

افزار قابلیت استخراج MST (حداقل درخت دربرگیرنده) را برای شبکه‌های مزبور خواهد داشت. خروجی این نرم‌افزار جداولی است که کمان‌های انتخاب شده برای حداقل درخت دربرگیرنده را با فاصله‌ی نظیرشان و در نهایت مجموع طول کمان های حداقل درخت دربرگیرنده ارائه می‌کند. این نتایج به تفکیک هر استان ارائه می گردد. به عنوان مثال استان آذربایجان غربی از نواحی ٦ و٧ و٥٦ از نواحی ٥٦ گانه‌ای که پیش از این معرفی شد تشکیل شده است و در شکل شماره ۳-۲۲ نشان داده شده است.



شکل٤-٨ نقشه راه‌های شریانی استان آذربایجان غربی

کمان‌های شریانی استان فوق استخراج و در پیوست ۱- الف ارائه شده‌اند. چنانچه دیده می‌شود این استان ۳۳ گره و ۳٦ کمان و در مجموع ۹۳٦ کیلومتر راه های ارتباطی شریانی دارد. در مرحله بعد این اعداد به فرمی که ذکر شد در نرم‌افزار WinQSB وارد و جدول خروجی ۳-۲٦ حاصل می‌گردد.

جدول٤-٧ خروجی نرم‌افزار **WinQSB** و کمان‌های منتخب برای استان آذربایجان غربی

08-20-2010	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	1	3	4.64	17	318	360	3.99
2	64	7	49.22	18	360	361	0.02
3	1	17	17.97	19	309	376	10.32
4	17	20	6.74	20	393	392	0.04
5	129	22	74.69	21	361	393	7.34
6	146	33	73.06	22	376	422	9.77
7	22	64	85.8	23	376	424	82.47
8	64	70	2.62	24	424	435	2.6
9	70	87	3.96	25	435	437	0.29
10	130	129	0.3	26	129	7745	5.92
11	20	130	106.56	27	129	7746	11.58
12	87	146	79.78	28	22	7747	28.57
13	146	294	49.84	29	392	7748	2.74
14	294	309	2.02	30	318	7749	13.09
15	309	310	0.06	31	422	7750	53.47
16	310	318	1.76	32	435	7751	58.72
	Total	Minimal	Connected	Distance	or Cost	=	849.95

همان‌طور که دیده می‌شود ۳۲ کمان از بین کمان‌های ارتباطی این استان و در مجموع ۸۵۰ کیلومتر از راه‌های شریانی استان در حداقل درخت دربرگیرنده قرار دارند.

٤-١٢-جمع‌بندی اجرای مدل حداقل درخت دربرگیرنده برای استان‌ها

با این رویکرد که برای اقدامات پیش از بحران اطمینان از وضعیت راه‌های شریانی گام نخست در پیشبرد تمام دیگر اهداف آمادگی و مقابله با بحران در راه های کشور است، یافتن حداقل درخت دربرگیرنده را برای راه‌های شریانی کشور مدنظر قرار دادیم. هم‌چنین اشاره شد که انتخاب محدوده‌های استانی برای یافتن هرکدام از این درخت‌ها با توجه به اختیارات تعریف‌شده و شناخته‌شده برای اعمال تصمیمات در سطح هر استان، صورت پذیرفته است. بدین ترتیب و پیش از دستیابی به هدف نهایی این بخش از کار به اهداف میانی دیگری چون استخراج فایل‌های جداگانه‌ی تحت visum برای هر استان و یافتن روش برقراری ارتباط بین اطلاعات نرم‌افزار visum و نرم‌افزاری ریاضی WinQSB، دست یافتیم. در نهایت برای هر استان تعداد کمان‌های انتخاب شده برای حداقل درخت دربرگیرنده و درصد آنها نسبت به کل کمان‌های هر استان، هم‌چنین طول حداقل درخت دربرگیرنده‌ی هر

استان و درصد آن نسبت به کل طول کمان‌های آن استان بدست آمد و در این بخش بطور یکپارچه و در جدول ۳-۵۶ ارائه می‌گردد. بدیهی است که پیش از این بطور مشخص و به تفکیک، کمان‌های منتخب توسط نرم‌افزار WinQSB برای حداقل درخت دربرگیرنده‌ی هر استان مشخص شدند.

جدول٤-٨ خلاصه مشخصات شبکه و نتایج اجرای مدل حداقل درخت دربرگیرنده(MST) برای استان‌ها

استان‌ها	مشخصات شبکه شریانی استان				مشخصات حداقل درخت دربرگیرنده			
	کل گره‌ها	گره‌های انقطاع مرزی[1]	تعداد کمان‌ها	مجموع طول کمان ها(km)[2]	تعداد کمان‌ها در MST	درصدکمان های MST به کل کمان ها	مجموع طول MST(km)	درصد طولMST به مجموع طول کمان ها
آذربایجان غربی	۳۳	۷	۳٦	۹۳٦	۳۲	٪۸۹	۸۵۰	٪۹۰
آذربایجان شرقی	٤٥	۸	٥٤	۲۸۷۱	٤٤	٪۸۱	۱۳۳۷	٪٤٦
اردبیل	۳٦	٦	٤۰	۸٤٦	۳٥	٪۸۷	۷۹۹	٪۹٤
اصفهان	۸٥	۱٤	۱۱۲	۲٦٥۸	۸۳	٪۷٤	۱٥٦۷	٪٥۸
ایلام	۱۳	۲	۱٤	۳٦۳	۱۲	٪۸٥	۳۳۲	٪۹۱
بوشهر	۱٥	٤	۱۷	٦۷۹	۱٤	٪۸۲	٦۲۳	٪۹۱
تهران	٥۰	۹	٦۷	۱۰٥۸	٤۹	٪۷۳	۷٥۲	٪۷۱

۱-گره هایی که برای تفکیک استان در مرز استان و بر روی کمان ها خارج شونده از استان تعریف شده اند.

۲-همه ی طول ها به بالا و بادقت یک کیلومتر گرد شده اند.

جدول٤-٨ خلاصه مشخصات شبکه و نتایج اجرای مدل حداقل درخت دربرگیرنده (MST) برای استان‌ها(ادامه ۱)

استان ها	مشخصات شبکه شریانی استان				مشخصات حداقل درخت دربرگیرنده			
	کل گره ها	گره های انقطاع مرزی	تعداد کمان ها	مجموع طول کمان ها(km)	تعداد کمان ها در MST	درصد کمان های MST به کل کمان ها	مجموع طول MST((km	درصد طول MST به مجموع طول کمان ها
چهارمحال و بختیاری	۱۷	۳	۲۰	٤٤٦	۱۷	٪۸۵	٤۲۰	٪۹٤
خراسان جنوبی	۳۳	۸	٤۰	۱۲۱۹	۳۲	٪۸۰	۱۰۸۳	٪۸۸
خراسان رضوی	٦۰	۷	۷۵	۲۳۵۷	۵۹	٪۷۸	۱۷٤۸	٪۷٤
خراسان شمالی	۱۲	۳	۱٤	۳۱۱	۱۱	٪۷۸	۲٦٤	٪۸٤
خوزستان	۵۳	٦	۷۳	۲۱۷٤	۵۲	٪۷۱	۱۰٦۲	٪٤۸
زنجان	۹	۱	۱۰	٤٦٦	۸	٪۸۰	۳۸۳	٪۸۲
سمنان	٤٦	۹	۵۸	۱٤۱٦	٤۵	٪۷۷	۱۰٤۵	٪۷۳
سیستان و بلوچستان	۱۸	٤	۱۸	۱۹۸۰	۱۷	٪۹٤	۱٤۸٦	٪۷۵
فارس	٦۳	۱۲	۸۱	۲٦۱۵	٦۲	٪۷٦	۱۸٤۸	٪۷۰

قزوین	۲۶	۹	۳۰	٦٦٦	۲۵	٪۸۳	٤۷٦	٪۷۱
قم	۲۷	۸	۳۲	٥٦۲	۲٦	٪۸۱	۳٤۳	٪٦۱
کردستان	۲۰	٥	۲۲	۷۰۲	۱۹	٪۸٦	٦٥۲	٪۹۲
کرمان	٥٤	۹	٦۲	۲۱۲۳	٥۳	٪۸٥	۱۸۱۲	٪۸٥
کرمانشاه	٤۳	٥	٥۱	٦۲٦	٤۲	٪۸۲	٥٤٥	٪۸۷
کهگیلویه و بویراحمد	۱۰	٤	۱۰	٤٦٥	۹	٪۹۰	٤۲۸	٪۹۲
گلستان	۱۹	۲	۲٤	٤٥٦	۱۸	٪۷٥	۳۷۸	٪۸۲
گیلان	۲٦	۳	۳۳	٥۸۷	۲٥	٪۷٥	٥۰۰	٪۸٥
لرستان	۲۱	٦	۲٤	۷٤۷	۲۰	٪۸۳	٤٤٦	٪٥۹
مازندران	٤۰	٥	٤۹	۸۸٥	۳۹	٪۷۹	٦٦۱	٪۷٤
مرکزی	۲۸	٥	۳۱	۷٥٤	[۳]۳۲٦	٪۸۳	[٤]٦۰۸	٪۸۰

۳و٤- با صرفنظر از لزوم برقراری کمان جدید(به توضیحات بخش ۳-٦-۲-۲۸ رجوع شود)

جدول٤-٨ خلاصه مشخصات شبکه و نتایج اجرای مدل حداقل درخت دربرگیرنده (MST) برای استان ها(ادامه ۲)

استان ها	مشخصات شبکه شریانی استان				مشخصات حداقل درخت دربرگیرنده			
	کل گره ها	گره های انقطاع مرزی	تعداد کمان ها	مجموع طول کمان ها(km)	تعداد کمان ها در MST	درصدکمان های MST به کل کمان ها	مجموع طول MST((km	درصد طول MST به مجموع طول کمان ها
هرمزگان	۱۹	٤	۲۳	۱۱۸۳	۱۸	٪۷۸	۹۷۹	٪۸۲
همدان	۳۸	۷	٤٥	۸۷٦	۳۷	٪۸۲	٦٦٥	٪۷٥
یزد	۲۰	٦	۲۰	۱۸۸٥	۱۹	٪۹٥	۱٤٦۹	٪۷۷

٤-۱۳- تحلیل و ارزیابی نتایج

٤-۱۳-۱-خلاصه‌ای از نتایج

با استفاده از نرم‌افزار visum و شبکه راه‌های شریانی کشور، ۳۰ فایل جداگانه به تفکیک استان‌های کشور تهیه گردید. سپس اطلاعات در فرمتی که قابل پردازش توسط نرم‌افزار WinQSB باشند تهیه شده و حداقل درخت دربرگیرنده بر روی شبکه شریانی استخراج شد. پس از گردآوری اطلاعات کمان‌های موجود، برای هر استان با توجه به تعداد گره‌های آن، ماتریس‌های مربعی تعریف شده و در درایه‌های آن برای گره‌هایی که کمان واصل وجود دارد، عدد مربوط به فاصله‌ی آن کمان جایگذاری می‌گردد. خروجی این ماتریس‌ها به‌فرم txt، ورودی نرم‌افزار WinQSB خواهد بود. بخش Network Modeling این نرم‌افزار قابلیت استخراج MST (حداقل درخت دربرگیرنده) را برای شبکه‌های مزبور خواهد داشت. خروجی این نرم‌افزار جداولی است که کمان‌های انتخاب شده برای حداقل درخت دربرگیرنده را با فاصله‌ی نظیرشان و در نهایت، مجموع طول کمان‌های حداقل درخت دربرگیرنده را ارائه می‌کند. این نتایج به تفکیک هر استان در ادامه ارائه می‌گردد.

٤-۱۳-۲-تحلیل و تفسیر نتایج

جدول ٤ -۹ خلاصه نتیجه اجرای مدل حداقل درخت دربرگیرنده (MST) به تفکیک استان

فراوانی کمان‌های MST به کل کمان‌ها (درصد)	میانگین	٪۸۲
	بیشینه	٪۹۵
	کمینه	٪۷۱
فراوانی طول MST به مجموع طول کمان‌ها (درصد)	میانگین	٪۷۸
	بیشینه	٪۹٤
	کمینه	٪٤٦

همان‌طور که در جداول ۳-۵۷ ملاحظه می‌گردد، درصد زیادی از کمان‌های شبکه راه‌های هر استان در حداقل درخت دربرگیرنده‌ی آن استان قرار دارند؛ بطوریکه میانگین درصد تعداد کمان‌های هر استان که در حداقل درخت دربرگیرنده قرار گرفته‌اند، ۸۲٪ و میانگین درصد طول کمان‌های هر استان که در حداقل درخت دربرگیرنده قرار می‌گیرند، ۷۸٪ می‌باشد. در نتیجه، قسمت عمده‌ای از شبکه راه‌های شریانی کشور نیاز به دقت و برنامه‌ریزی پیش از وقوع هرگونه بحرانی دارند. با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی درباره‌ی محل و شدت بحران، پیش از وقوع آن، می‌توان با تقویت کمان‌های موجود در حداقل درخت دربرگیرنده (که در این مطالعه مشخص شده‌اند)، از وجود دسترسی در شبکه راه‌ها اطمینان حاصل نمود.

فصل پنجم: طراحی و تدوین بسته نرم‌افزاری (سیستم تصمیم‌یار)

۵-۱- نرم افزارها

در این بخش از گزارش به معرفی و بررسی نرم‌افزارها و سیستم‌های کامپیوتری قابل استفاده در بسته نرم‌افزاری می‌پردازیم، تا در نهایت بتوانیم به انتخاب نرم‌افزار و سیستم مناسب دست یابیم.

۵-۱-۱- نرم‌افزار WinQSB

نرم‌افزار WinQSB از جمله نرم‌افزارهای ریاضی است که قابلیت حل مسائل مدل‌سازی شبکه، آنالیز پذیرش نمونه‌گیری، برنامه‌ریزی گسسته، آنالیز تصمیم، برنامه‌ریزی پویا، مکان‌یابی تاسیسات، پیش‌بینی، برنامه‌ریزی هدف، زمان‌بندی پروژه، برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح، فرآیند مارکوف، برنامه‌ریزی مواد اولیه مورد نیاز، برنامه‌ریزی غیرخطی، آنالیز صف، برنامه‌ریزی درجه دوم، نمودار کنترل کیفیت و

شبیه سازی سیستم صف را دارد. با توجه به هدف پروژه که منحصر به شبکه‌ها و خصوصیات آن‌ها است، به بررسی بخش شبکه۱ از نرم‌افزار می‌پردازیم.

الف- قابلیت‌های WinQSB در آنالیز شبکه‌ها

بخش شبکه این نرم‌افزار قابلیت مدل‌سازی و حل مسائل شبکه، شامل جریان شبکه۲، حمل‌ونقل۳، تخصیص٤، کوتاه‌ترین مسیر٥، حداکثر جریان٦، حداقل درخت دربرگیرنده۷ و فروشنده دورگرد۸ را دارد. در این مسائل می‌توان برای هرگره‌ای ظرفیت جریانی درنظر گرفت. برای هر کمان بین دو گره نیز ممکن است هزینه‌ای از جنس ریال، فاصله یا ظرفیت جریان لحاظ شود. البته برای هر مسئله خاص، شبکه این خصوصیات را به‌صورت ویژه و متناسب با تابع هدف مسئله مشخص می‌کند. به عنوان برتری‌ها و امکانات ویژه این نرم‌افزار موارد زیر در راهنمای آن به چشم می‌خورد:

۱) حل سیمپلکس شبکه۹ برای شبکه جریان، حمل و نقل، تخصیص و مسائل حداکثر جریان.
۲) بکارگیری الگوریتم برچسب‌گذاری۱۰ برای مسئله کوتاه‌ترین مسیر.
۳) بکارگیری الگوریتم برچسب‌گذاری برای مسئله حداقل درخت دربرگیرنده.

---

۱ Net

۲ Network Flow

۳ Transportation

٤ Assignment

٥ Shortest path

٦ Maximal Flow

۷ Minimal Spanning Tree

۸ Traveling Salesman

۹ Network Simplex

۱۰ Labeling Algorithm

٤) بکارگیری روش‌های ابتکاری برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد.

٥) نمایش گام‌های حل، شامل تابلوی حمل‌ونقل و روش مجارستانی.

٦) نمایش حل گرافیکی.

۷) پ‌یاده‌سازی What if و آنالیزهای پارامتری.

۸) یافتن جایگرین‌های حل برای مسائل حمل‌ونقلی.

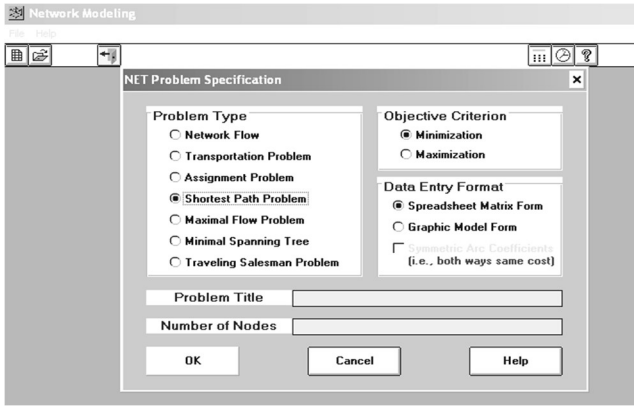
۹) امکان واردسازی مسئله در فرم ماتریسی صفحه گسترده.

۱۰) امکان واردسازی مسئله در مدل گرافیکی.

ب- مسائل مطرح در آنالیز شبکه‌ها با WinQSB

با فراخوانی یک مسئله جدید در بخش شبکه نرم‌افزار، پنجره‌ای مطابق شکل ۲ به نمایش در می‌آید. در این پنجره، نوع مسئله مورد نظر به انتخاب گذاشته می‌شود. از طرف دیگر و بسته به این انتخاب، ملاک تابع هدف از نظر بیشینه یا کمینه‌سازی و نیز قالب اطلاعات ورودی مشخص می‌گردد.

در مسئله کوتاه‌ترین مسیر که شامل دسته‌ای از گره‌های متصل به هم است، یک گره مبدا و هم‌چنین یک گره مقصد وجود دارد. در این مسئله، هدف، تعیین مسیری از کمان‌ها است که کل فاصله مبدا به مقصد کمینه شود. این مسئله با الگوریتم برچسب‌گذاری حل می‌شود.



شکل ٥-۱ پنجره اولیه تعریف مسئله در مدل‌سازی شبکه نرم‌افزار WinQSB

مسئله بیشترین جریان شامل دسته‌ای از گره‌هاست که تنها یک گره منبع یا عرضه و هم‌چنین یک گره مقصد دارند. در این مسئله، سایر گره‌ها، گره‌های انتقال[۱] نامیده می‌شوند. هدف این مسئله تعیین بیشترین میزان جریانی است که با توجه به ظرفیت هر کمان و با فرض نامحدود بودن میزان عرضه و تقاضا، بین مبدا و مقصد برقرار باشد. ظرفیت کمان‌ها در این مسئله به صورت cij وارد می‌شود. انواع خاصی از مسائل شبکه، مسائلی هستند که با درنظرگرفتن حد بالای cij برای کمان‌ها و یا هزینه جریان صفر برای تمام کمان‌ها، مگر کمانی که مستقیما از مبدا به مقصد می‌رود، طراحی می‌شوند. ظرفیت گره‌ها در این نوع از مسائل شبکه، صفر در نظر گرفته می‌شود، مگر برای گره مبدا که به اندازه عرضه، ظرفیت دارد و گره مقصد که منفی آن مقدار، ظرفیت خواهد داشت. نهایتا مسئله با روش سیمپلکس شبکه حل می‌شود.

از جمله مسائلی که پیش از این در پروژه مورد توجه قرار گرفت، مسئله کوتاه‌ترین درخت دربرگیرنده بود. نتیجه حل این مسئله دسته‌ای از کمان‌ها است که برای اتصال تمام گره‌ها بکار رفته‌اند، اما بین گره‌های شبکه چرخه‌ای ایجاد نکرده‌اند. برای تعیین کمینه کل اتصالات، مسئله حداقل درخت دربرگیرنده نیز با الگوریتم برچسب‌گذاری حل می‌شود.

این قسمت از نرم‌افزار WinQSB از توانایی حل مسائل خاص و شناخته‌شده‌ای از شبکه‌ها چون مسئله تخصیص، فروشنده دوره‌گرد و مسئله حمل‌ونقل نیز برخوردار است. به‌عنوان مثال مسئله حمل‌ونقل، یک مسئله تیپ حمل‌ونقلی است که فقط شامل یک دسته گره‌های منبع و یک دسته گره‌های مقصد است. تابع هدف تعیین میزان جابه‌جایی از منابع به مقاصد است که کل جابه‌جایی یا

---

۱ Transshipment Node

هزینه جابه‌جایی را حداقل یا حداکثر کند. روش سیمپلکس شبکه برای حل این مسئله نیز استفاده می‌شود.

ج- محدودیت‌های WinQSB در آنالیز شبکه‌ها

همان‌گونه که در بخش‌های گذشته اشاره شد، نرم‌افزار WinQSB نرم‌افزاری قوی و قابل اطمینان در حل مسائل شبکه‌ها است. از طرف دیگر مسائل مورد نظر در پروژه جاری نیز خارج از تنوع مسائل قابل حل در این نرم‌افزار نمی‌باشند؛ اما یک نقص بزرگ بر سر راه استفاده از این نرم‌افزار وجود دارد و آن عدم توانایی بازخوانی فایل‌های گرافیکی موجود توسط این نرم‌افزار است. حتی اگر این نقیصه با وارد کردن دستی اطلاعات به نرم‌افزار برطرف شود، نمی‌توان عدم امکان تطبیق نقشه شبکه پاسخ با نقشه شبکه راه‌های کشور را نادیده گرفت. بنابراین، در مجموع، استفاده از این نرم‌افزار در بسته نرم‌افزاری مورد نظر با توجه به خصوصیاتی که برای آن برشمرده شده است، امکان‌پذیر نیست.

۵-۱-۲- مولفه‌های یک سیستم اطلاعات جغرافیایی

اجزاء و یا مولفه‌های یک سیستم اطلاعات جغرافیایی عبارتند از:

کاربر[۱]

از عوامل بسیار مهم در استفاده از یک سیستم اطلاعات جغرافیایی، مهارت در انتخاب و استفاده از ابزارهای سیستم و نیز آشنایی با اطلاعات مورد استفاده و نحوه تحلیل و استفاده از آن‌هاست. این موارد از خصوصیات کاربر سیستم است.

سخت‌افزار[۲]

از ارکان مهم یک سیستم اطلاعات جغرافیایی که برای جمع‌آوری، ورود، پردازش و ارائه نتایج داده‌ها بکار می‌رود، سخت‌افزار است. این سخت‌افزارها

---

۱ User

۲ Hardware

می‌توانند به ترتیب سیستم موقعیت جهانی (GPS۱)، اسکنر، سیستم کامپیوتر شخصی وچاپگر باشد.

نرم‌افزار۲

به منظور برخورداری از قابلیت‌های بالای کار با سیستم اطلاعات جغرافیایی، نرم‌افزارهای متعددی از سوی شرکت‌های مختلف و درسطوح گوناگون ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به ArcGIS، ArcView و ArcInfo اشاره کرد. از روش‌های مطرح در بکارگیری اطلاعات GIS، استفاده از آن‌ها در محیط نرم‌افزارهای CAD است که نمونه‌ای بارز و پرکاربرد از این تلفیق در نرم‌افزار TransCAD مشاهده می‌شود.

داده‌ها۳

داده‌ها که به منزله قلب هر سیستم اطلاعات جغرافیایی است و دسته‌بندی هایی از انواع آن‌ها پیش از این ارائه گردید.

برای توجیه‌پذیری و ایجاد انگیزه‌های کار با یک سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌بایست با قابلیت‌های آن‌ها آشنا گردید. موارد زیر به عنوان توانایی‌های عام یک سیستم اطلاعات جغرافیایی برشمرده می‌شوند:

- جستجو در بین داده‌ها

این قابلیت امکان جستجو را در بین داده‌ها و پایگاه‌های داده‌ای GIS مبنا فراهم می‌آورد.

- سازماندهی داده‌ها

در سیستم اطلاعات مکانی می‌توان انواع اطلاعات مربوط به یک موقعیت خاص را سازماندهی و طبقه‌بندی نمود.

---

۱ Global Position System

۲ Software

۳ Data

- ترکیب و تلفیق داده‌ها

همان‌گونه که پیش از این بیان شد از خصوصیات بارز سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، ترکیب و تلفیق داده‌ها با یکدیگر است که امکان تحلیل‌های چندجانبه را فراهم می‌آورد. به‌عنوان مثال، در آنالیز پیش از بحران برای راه‌های کشور می‌توان اطلاعات مربوط به خصوصیت هندسی راه را با اطلاعات کمان‌های دخیل در حداقل درخت دربرگیرنده ترکیب نمود و درصد راه‌های دوخطه را از بین کل راه‌هایی که در شبکه حداقل درخت قرار دارند، بدست آورد.

- تجزیه و تحلیل داده‌ها

قابلیت سازماندهی اطلاعات در سیستم اطلاعات مکانی، خصوصیت حائز اهمیت دیگری به نام توانایی تجزیه و تحلیل داده‌ها را دارد. این کار عموما توسط طیف وسیعی از نرم‌افزارهای GIS مبنا صورت می‌پذیرد.

- پیش‌بینی

توانایی پیش‌بینی هم‌چون قابلیت پیشین از نتایج سازماندهی و تهیه مراجع اطلاعاتی قوی و مطمئن است و با برقراری امکان روندیابی اطلاعات موجود بدست می‌آید.

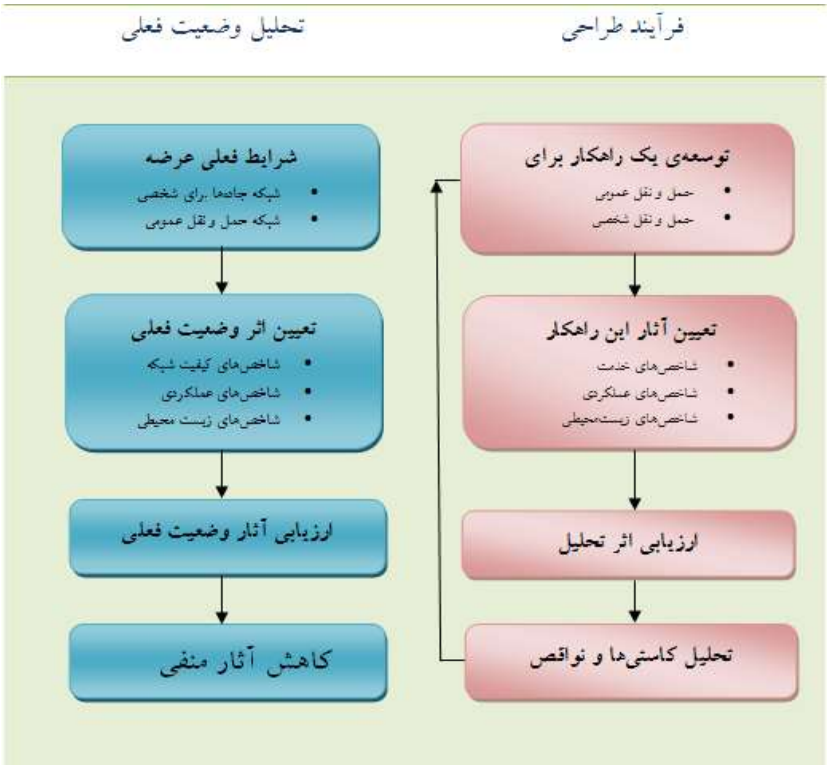
- نمایش

ارائه خروجی‌های کاربردی و قابل انتقال و بهره‌مندی از توانایی‌های گرافیکی رایانه‌ها از خصوصیات این سیستم‌هاست. در کاربردهای پیشرفته‌تر و در صورت نیاز، می‌توان از قابلیت‌های نمایش‌های سه بعدی نیز بهره جست.

۵-۱-۳- نرم‌افزار VISUM

الف- کلیات

VISUM برنامه‌ای نرم‌افزاری برای تحلیل و برنامه‌ریزی یک سیستم حمل و نقل است. این نرم‌افزار در کنار ویسیم[۱] که به تحلیل‌های ترافیکی می‌پردازد؛ بسته نرم‌افزاری برنامه‌ریزی حمل و نقل و ترافیک شرکت PTV را تشکیل می‌دهد. VISUM یک سیستم حمل و نقل را با دو رکن اساسی تسهیلات عرضه، در قالب عمومی[۲] و شخصی[۳] و تقاضای سفر، تعریف می‌کند و از امکان تعریف شاخص‌ها و سپس ارزیابی آن‌ها برخوردار است. این شاخص‌ها چنانچه در شکل ٦ نشان داده می‌شوند، می‌توانند برای وضعیت فعلی و یا برای طرح‌های توسعه‌ی مدنظر برنامه‌ریزان، تعریف و بکار گرفته شوند.



۱ VISSIM

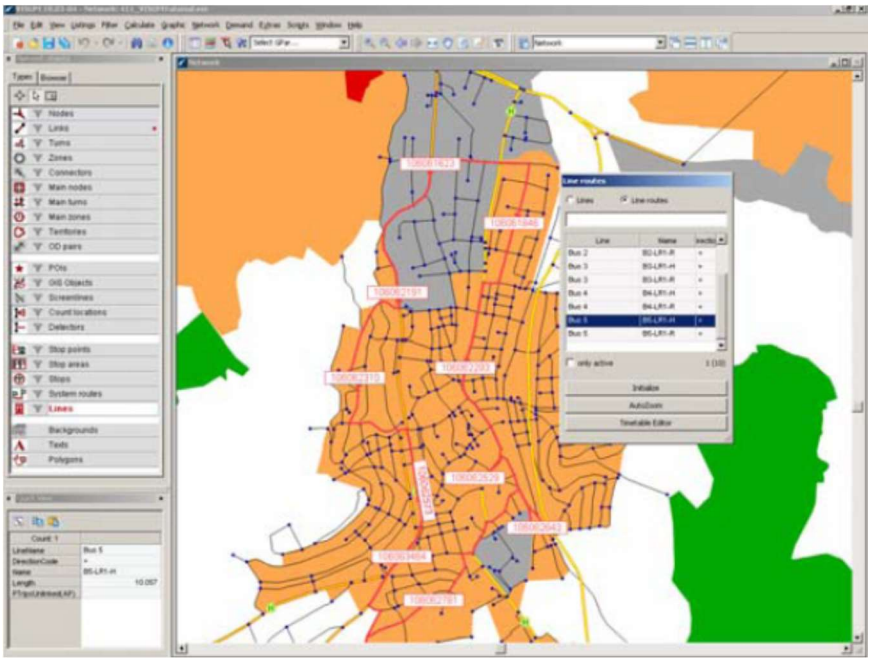
۲ PuT

۳ PrT

شکل ۵-۲- دو رویکرد اساسی در تحلیل سیستم‌های حمل و نقل با نرم‌افزار VISUM

ب- قابلیت‌های نرم‌افزار VISUM

نرم‌افزار VISUM که نمایی از پنجره‌ی اصلی آن در شکل ۷ مشاهده می‌شود، آثار طرح‌های حمل و نقلی موجود و یا بکارگیری طرح‌های برنامه‌ای را که شامل شبکه حمل و نقل شخصی و شبکه خطوط حمل و نقل عمومی هستند، بخوبی مورد بررسی قرار می‌دهد.



شکل ۵-۳ پنجره‌ی اصلی نرم‌افزار VISUM

برخی از قابلیت‌های نرم‌افزار VISUM عبارتند از:

ارزیابی احجام شبکه مطابق با یک نوع از ترافیک که الگوی مشخصی از ماتریس‌های مبدا- مقصد، جریان‌های درون ناحیه‌ای و جریان‌های وارد شونده و غیره را دارد.

دسته‌بندی همزمان برای دسترسی به عناصر شبکه و همچنین مقایسه زمان سفرهای شخصی و عمومی.

جستجوی گرافیکی کوتاه‌ترین مسیر بین مناطق یا گره‌ها.

برخورداری از انواع مدل‌های تاثیر[۱]، مانند مدل‌های زیست‌محیطی که امکان سنجش آلودگی صوتی یا هوا را دارند.

۱. استفاده از شاخصی به فرم ماتریس‌های skim یا مقاومت[۲] برای نشان دادن کیفیت اتصال عرضه حمل و نقل عمومی یا شخصی در شبکه.
۲. برخورداری از مدل کاربر به عنوان یکی از مدل‌های تاثیر، که نیازهای عملکردی و مالی عرضه حمل و نقل عمومی را مشخص می‌کند.
۳. درنظر گرفتن تمام مدهای حمل و نقلی در یک مدل جامع و یکپارچه.
٤. تلفیق با GIS و بی‌نیاز شدن کاربر از سایر نرم‌افزارهای GIS.

ج- پایگاه داده‌های نرم‌افزار VISUM

یک مدل حمل و نقلی در نرم‌افزار **VISUM** شامل اطلاعات عرضه و تقاضا است. اطلاعات عرضه در یک مدل شبکه ارائه می‌شوند. مدل شبکه جامع، بین حمل و نقل عمومی و شخصی تمایز قائل می‌شود. یک طراح با ترکیب وسایل مختلف و طرق گوناگون حمل و نقلی می‌تواند سیستم‌های حمل و نقلی متنوعی را طراحی کند. سیستم‌های حمل و نقل شخصی به سرعت مجاز و ظرفیت کمان‌ها وابسته‌اند. سیستم‌های حمل و نقل عمومی محدود به برنامه زمانی مشخص هستند. به هرحال اجزای یک مدل حمل و نقلی پایگاه داده‌های نرم‌افزار **VISUM** را تشکیل می‌دهد که برخی از آن‌ها عبارتند از:

گره‌ها یا تقاطعات در شبکه حمل و نقل جاده‌ای، ناحیه توقف برای شبکه حمل و نقل عمومی، کمان‌ها، سرعت‌ها و ظرفیت‌ها برای سیستم حمل و نقل شخصی و زمان‌های سفر برای سیستم حمل و نقل عمومی، میادین اصلی و فرعی، نواحی (مبداها و مقاصد سفر)، کانکتورها (ورودی و خروجی‌های تقاضا به شبکه)، و غیره.

---

۱ Impact Models

۲impedance matrices

د- معایب استفاده از نرم‌افزار VISUM

بسته نرم‌افزاری **PTV-Vision** اکثر نیازهای مرتبط با تحلیل و برنامه‌ریزی حمل و نقل را برآورده می‌کند. این نرم‌افزار در حال حاضر در بیش از ۷۰ کشور دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد و با توجه به برخورداری از تیم کارشناسان و نمایندگان فعال، حمایت و پشتیبانی مناسب از کاربران صورت می‌پذیرد. از طرف دیگر به علت امکان برخورداری از نسخه‌های اصلی، چنانچه برای دانشگاه تربیت‌مدرس نیز فراهم آمده است، اطمینان بالایی از نتایج و قابلیت بکارگیری آن‌ها در قالب مقاله و متون علمی در نهادهای علمی جهانی وجود دارد. مانع اصلی دربکارگیری این نرم‌افزار، هزینه بالای خریداری آن است که اتفاقا در پروژه اخیر نیز همین عامل در مقایسه با سایر نرم‌افزارها خودنمایی می‌کند.

۵-۱-٤- نرم‌افزار TransCAD

الف- مقدمه

این بسته نرم‌افزاری به‌عنوان اولین و تنها سیستم اطلاعات جغرافیایی **(GIS)** است که به‌طور ویژه برای استفاده مهندسین و برنامه‌ریزان حمل‌ونقل و ترافیک و به منظور ذخیره، نمایش، مدیریت و تحلیل داده‌های حمل‌ونقلی و ترافیکی توسط شرکت **Caliper** در آمریکا طراحی شده است. قابلیتی که **TransCAD** را نسبت به سایر بسته‌های نرم‌افزاری بیشتر متمایز می‌سازد، ترکیب کامل ویژگی‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی **(GIS)** و مدل‌سازی حمل‌ونقل در یک بسته نرم‌افزاری است. از **TransCAD** می‌توان برای همه شیوه[۱]های حمل و نقل، در هر مقیاس و سطح جزئیات استفاده نمود. **TransCAD** کاربردهایی برای همه انواع داده‌ها و

---

۱ Mode

شیوه‌های حمل‌ونقل و برای ساخت و ایجاد سیستم‌های اطلاعات حمل‌ونقلی و پشتیبان تصمیم‌گیری[۱] **(DSS)** دارد.

از مهم‌ترین مزایای ترکیب ویژگی‌های **GIS** ای با مدل‌سازی حمل‌ونقل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

ویژگی‌های **GIS** باعث دقیق‌تر شدن مدل‌ها می‌شود: فواصل و زمان‌های سفر براساس شکل واقعی شبکه راه‌ها نمایش داده می‌شوند. هم‌چنین با استفاده از شبکه‌ها می‌توان ویژگی‌های پیچیده راه‌ها (مانند مناطق در دست ساخت، راه‌های یک‌طرفه و ...) را مشخص نمود.

استفاده از **GIS** باعث کاراتر شدن کل روند مدل‌سازی خواهد شد: آماده‌سازی داده‌ها به همقدار زیادی تسهیل شده و قابلیت‌های پایگاه داده و نمایش، خطاها را قبل از ایجاد مشکل تشخیص می‌دهند.

سومین مزیت، خود **GIS** است: در **TransCAD** به‌راحتی می‌توان معادلات مختلف مدل‌سازی را برای نواحی جغرافیایی متفاوت استخراج و اعمال نمود.

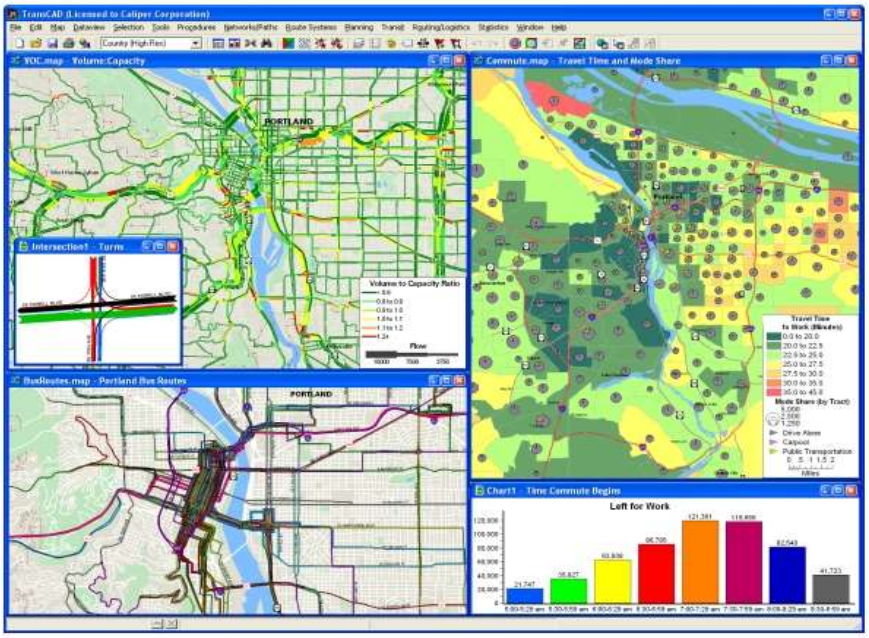
بر مبنای **GIS** بودنِ[۲] این نرم‌افزار، ایجاد نتایج و خروجی‌های گرافیکی بسیار مناسب و قابل درک امکان‌پذیر است. هم‌چنین کار کردن با نرم‌افزار بسیار راحت‌تر می‌شود؛ برای مثال می‌توان لایه[۳]های مختلف شبکه راه‌ها (مانند گره‌ها، کمان‌ها، نواحی و ...) را به‌طور جداگانه و یا با هم (**Merge** کردن چند لایه با هم) مورد استفاده قرار داد (شکل ۵-٤).

---

۱ Decision System Support

۲ GIS-based

۳ Layer



شکل ٥-٤ محیط رابط نرم‌افزار **TransCAD**

از مهم‌ترین ویژگی‌های این بسته نرم‌افزاری می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

داشتن موتور پایه بسیار قوی در زمینه **GIS** به‌همراه بسته‌های الحاقی ویژه در زمینه حمل‌ونقل و ترافیک.

دارا بودن ابزارهای ترسیمی، تجسمی و تحلیلی بسیار قوی در زمینه حمل‌ونقل و ترافیک.

داشتن ماژول[۱]های کاربردی در زمینه‌های مسیریابی، پیش‌بینی تقاضای سفر، حمل‌ونقل عمومی، مکان‌یابی و مدیریت ترافیک.

TransCAD با سیستم عامل **TransCAD** هم‌خوانی داشته و در تمامی استانداردهای موجود برای برقراری ارتباط بین نرم‌افزار و سیستم عامل صدق می‌کند. پس از نصب این نرم‌افزار برروی رایانه، دیگر نیازی به ساختن ماژول‌های

۱ Module

مورد نیاز در مواقع لزوم نبوده و این نرم‌افزار بیشترین حمایت را هنگـام اسـتفاده، از کاربر خود انجام می‌دهد.

ب- ملزومات استفاده از برنامه TransCAD در این مطالعه

شبکه و اجزای آن به‌عنوان یکی از ورودی‌های این مطالعه هستند کـه بـا اسـتفاده از مطالعات جامع حمل‌ونقل کشور بدست آمده‌اند. شبکه راه‌های کشور دارای دو لایه[۱] کمان‌ها و گره‌ها است؛ هم‌چنین نـواحی ترافیکـی و سـایر مشخصـات ماننـد مرکـز نواحی نیز در لایه‌های جداگانه‌ای قرار دارند. داده‌های مربوط به شبکه در یـک فایـل با فرمت **Shapefile** قرار دارند. به منظـور ایجـاد توانـایی کـار بـا ایـن داده‌هـا در نرم‌افـزار منتخـب **(TransCAD)**، بایـد فایل‌هـای بـا فرمـت **Shapefile** را بـا استفاده از همین نرم‌افزار به فایل‌هایی بـه فرمـت **geofile** تبـدیل کـرد. بـرای ایـن تبدیل، از دستور **export** در منوی **Tools** استفاده شده است (شکل ۹).

شکل ۵-۵ پنجره ترسیم کوتاه‌ترین مسیر

عملکرد هر شـبکه بـا توجـه بـه میـزان تقاضـای اسـتفاده از آن، می‌توانـد تغییـرات چشمگیری داشته باشد؛ بنابراین، در نظر گرفتن تقاضا یکی از مراحل مهم در مطالعه است. تقاضا را می‌توان در سطوح گوناگون تعیین و مورد استفاده قـرار داد. براسـاس

---

۱ Layer

نحوه ملاحظه تقاضا می‌توان مدل‌های مطالعاتی حمل‌ونقل را به دو گروه کلی همفزون[۱] (تقاضای فرد[۲]، تقاضای خانوار[۳]) و ناهمفزون[٤] (تقاضای ناحیه حمل‌ونقلی[٥]) تقسیم نمود. در این مطالعه، از نتایج حاصل از مطالعات جامع حمل‌ونقل کشور برای درنظر گرفتن تقاضا استفاده شده است. در مطالعات جامع حمل‌ونقل کشور، ایران به ٥٦ ناحیه حمل‌ونقلی تقسیم شده و در نهایت، تعداد سفرهای بین نواحی مختلف (و با توجه به شیوه[٦] سفر) به‌صورت یک ماتریس ارائه شده است.

به منظور معرفی تقاضای هر ناحیه، برای هر ناحیه یک مرکز تقاضا[۷] تعریف شده و کل تقاضای هر ناحیه در این مرکز تجمیع[۸] می‌شود. تجمیع کل تقاضای پراکنده در هر ناحیه به مرکز آن (که لزوما مرکز هندسی آن نیست) می‌تواند باعث کاهش دقت مدل شود. بنابراین با افزایش تعداد نواحی می‌توان انتظار داشت که دقت مدل بالاتر می‌رود. نحوه تعیین تعداد نواحی باید براساس دقت مورد نیاز مدل، ویژگی‌های اجتماعی- اقتصادی و ... باشد. هم‌چنین با توجه به متمرکز کردن کل تقاضای هر ناحیه در مرکز آن، تعیین مرکز هر ناحیه نیز از اهمیت زیادی برخوردار می‌گردد. در مطالعات جامع حمل‌ونقل کشور، با در نظر گرفتن عوامل بس‌یار، تعداد نواحی، محل نواحی و مرکز هر ناحیه تعیین گشته که به‌عنوان داده‌های بسیار ارزشمند

---

۱ Aggregate

۲ Individual

۳ Household

٤ Disaggregate

٥ TAZ (Traffic Analysis Zone)

٦ Mode

۷ Centroid

۸ Aggregation

می‌تواند در بسیاری از مطالعات (مانند این مطالعه) مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از منوی **Matrix**، ماتریس تقاضا به شبکه معرفی می‌شود.

پس از تعیین و معرفی تقاضای هر ناحیه، باید روشی برای برقراری ارتباط بین عرضه (شبکه) و تقاضا در نظر گرفت. بدین منظور، می‌توان برای هر ناحیه، یک یا چند کمان مجازی به نام متصل‌کننده[۱] تعریف کرد که این کمان، مرکز ناحیه را به گره‌ها یا کمان‌های شبکه متصل می‌کند.

۵-۲- ویژگی‌های مدنظر نرم‌افزار در این پروژه

الف) قابلیت حل مسائل مطرح در این پروژه

این بسته نرم‌افزاری قادر به حل تمامی مسئله‌های مطرح در این پروژه می‌باشد؛ این مسائل عبارتند از:

- مسئله حداقل درخت دربرگیرنده
- مسئله کوتاه‌ترین مسیر
- مسئله تخصیص ترافیک

ب) محیط و رابط گرافیکی

محیط و رابط گرافیکی باعث راحت‌تر شدن کار با نرم‌افزار و هم‌چنین ایجاد خروجی‌ها و نتایج به‌صورت گرافیکی و قابل فهم‌تر خواهد بود.

پ) دسترسی به نرم‌افزار

علاوه بر بررسی قابلیت‌های فنی هر یک از نرم‌افزارهای موجود به منظور پیاده‌سازی مدل‌های ارائه شده در فصل قبل، از نظر نحوه دسترسی نیز می‌توان آن‌ها را با هم مقایسه نمود. با توجه به اینکه در پایان این پروژه، بسته نرم‌افزاری باید طراحی و تحویل داده شود که کارفرما بتواند به‌راحتی از آن استفاده نماید، این بسته را باید به گونه‌ای ایجاد کرد که نیاز به خرید و دسترسی به سایر نرم‌افزارها نباشد. یکی از

---

۱ Connector (Centroid connector)

مزایای **TransCAD**، موجود بودن آن بدون هزینه زیاد است که به‌راحتی در دسترس خواهد بود.

ث) محیط رابط[۱]

با وجود اینکه محیط رابط استاندارد[۲] نرم‌افزار **TransCAD** بسیار قوی و قابل استفاده برای بسیاری از کارها است، اما ممکن است برای انجام برخی دیگر از کارها، نتوان دستورات مناسب را در این محیط یافت. برای مثال، برای انجام یک روند تکراری به‌صورت خودکار، ایجاد منوهای مورد نظر کاربر و ... نمی‌توان از محیط رابط استاندارد نرم‌افزار **TransCAD** استفاده کرد. بنابراین، برای انجام کارهایی که در محیط رابط استاندارد وجود ندارد نیاز به ماکرو[۳] نویسی خواهیم داشت که مشکل و تخصصی است؛ بدین منظور، ابزار نرم‌افزاری بسیار قوی در **TransCAD** به نام **GISDK** وجود دارد که با استفاده از آن می‌توان کارهای بسیاری را که در محیط استاندارد برنامه نمی‌توان یافت، انجام داد.

با توجه به اینکه خروجی نهایی این پروژه، بسته نرم‌افزاری کاربرپسندی[٤] است که کاربر بتواند فقط با استفاده از آن و عدم نیاز به دانش استفاده از سایر نرم‌افزارها (مانند **TransCAD, Visum, WinQSB ArcGIS**) نتایج را دریافت کند، می‌توان با استفاده از محیط رابط **GISDK** که در برنامه **TransCAD** وجود دارد، محیط جدیدی ساخت که کار با آن فقط نیاز به انتخاب برخی گزینه‌ها باشد.

جزء اصلی **GISDK**، زبان برنامه‌نویسی‌ای به نام **Caliper Script** است که زبان برنامه‌نویسی آسانی مانند زبان **BASIC** است. این زبان برنامه‌نویسی، راهی برای ارتباط با اطلاعات **TransCAD** ایجاد می‌کند. این زبان خصوصیت سادگی را در کنار توانایی و انعطاف‌پذیری بالا برای برقراری ارتباط با نرم‌افزارهای حمل

---

۱ Geographic Information System Developer's Kit

۲ Standard User Interface

۳ Macro

٤ User-Friendly

ونقلی دارد. هم‌چنین کدهای نوشته شده به سایر زبان‌ها مانند **C** و **FORTRAN**، به جهت سازگاری، می‌توانند با برنامه‌های **GISDK** ای که به زبان **Caliper Script** نوشته شده‌اند، درآمیزند.

کاربرد اصلی **Caliper Script** ارتباط با **TransCAD** است. بیش از یک هزار تابع **GISDK** در **TransCAD** وجود دارد که همه آن‌ها می‌توانند با **Caliper Script**فراخوانده شوند. این توابع ابزارهای گسترده‌ای از طیف نقشه‌های مدیریتی و خصوصیات نمایش، دسترسی، بروز رسانی و تحلیل داده‌ها و ساختار داده‌ها شامل ماتریس‌ها و شبکه‌ها ارائه می‌دهند.

۵-۳- مقایسه نرم‌افزارها و انتخاب نرم‌افزار منتخب

با توجه به توضیحات مربوط به هر یک از نرم‌افزارها، جدول ۲ تهیه شده است. از بین نرم‌افزارهای معرفی شده، به منظور ساخت بسته نرم‌افزاری، از **TransCAD** استفاده می‌شود.

جدول ۵-۱ مقایسه نرم‌افزارهای مختلف برای ایجاد بسته نرم‌افزاری

قابلیت/ نرم‌افزار	**TransCAD**	**Visum**	**ArcGIS**	**WinQSB**
قابلیت حل مسئله حداقل درخت دربرگیرنده	بله	خیر	خیر	بله
قابلیت حل مسئله کوتاهترین مسیر	بله	بله	خیر	بله
قابلیت انجام تخصیص ترافیک	بله	بله	خیر	خیر
در دسترس بودن نرم‌افزار (قیمت و ...)	بله	خیر	بله	بله
محیط و رابط گرافیکی	بله	بله	بله	خیر

محیط رابـط **DK** بـرای برنامه‌نویسی	بله	خیر	خیر	خیر

٥-٤- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

موضوع این مطالعه، بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران است. بدین منظور در فاز اول (فصل‌های یک و دو) به تعاریف و مرور ادبیات موجود دراین زمینه پرداخته شد. در فاز دوم پروژه (فصل سوم) داده‌های مورد نظر جمع‌آوری گشته، متدولوژی منتخب شرح داده شده و با استفاده از سناریوهای مختلف مطرح، مدل‌سازی انجام گردید. در این فاز (فصل چهارم شرح خدمات پروژه)، در بخش اول به طراحی بسته نرم‌افزاری با استفاده از مدل‌های منتخب پرداخته شده است. به منظور طراحی بسته نرم‌افزاری، می‌توان از برخی از امکانات برنامه‌نویسی موجود در نرم‌افزارها استفاده نمود. بنابراین، برخی از نرم‌افزارهای مرتبط معرفی و مقایسه شده و درنهایت، **TransCAD** به‌عنوان نرم‌افزار منتخب برای طراحی بسته نرم‌افزاری بیان شد.

در بسته نرم‌افزاری تهیه‌شده، کاربر ابتدا با انتخاب مرحله زمانی (پیش یا پس از بحران) مواجه می‌شود. با انتخاب هر یک از این دو، مدل مربوط به آن نیز به‌صورت خودکار انتخاب می‌شود؛ به‌طوریکه با انتخاب مرحله پیش از بحران، مدل حداقل درخت دربرگیرنده (برای استان‌ها) و برای مرحله پس از بحران، مدل کوتاهترین مسیر (برای استان‌ها و قطب‌ها) اجرا خواهند شد. سپس، برای هر یک از این دو مدل، سناریوهای مختلفی نیز برای تقاضا در نظر گرفته شده‌اند که می‌توان هر یک از آن‌ها را انتخاب و اجرا نمود.

٥-٤-١-ارائه پیشنهاد برای اجرایی نمودن تحقیق

این پژوهش با موضوع بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور در زمان بحران با تاکید بر ظرفیت راه‌ها در ٦ بند به ترتیب به مواردی که ذکر می‌گردد پرداخته است. در بند ابتدایی موضوع پژوهش به‌طور مفصل تعریف شده و کلیات

آن مورد توجه قرار گرفته است. در بند دوم ادبیات داخلی و جهانی مرتبط با این موضوع بررسی شده و نتایج آن ارائه گردید. در بندهای سوم و چهارم به ترتیب روش تحقیق و طراحی بسته نرم‌افزاری و سیستم تصمیم‌یار مورد توجه قرار گرفتند. در نهایت، نمونه‌ای موردی از شرایط بحران با استفاده از متدولوژی و بسته نرم‌افزاری طراحی‌شده در بند پنجم پیاده‌سازی شد. در مرحله جاری (بند ششم) پیشنهاداتی برای اجرایی نمودن نتایج حاصل از این پژوهش ارائه می‌شوند.

با توجه به سناریوهای تعریف‌شده در این پژوهش برای دو حالت مختلف پیش و پس از بحران، می‌توان پیشنهادات ذیل را به‌منظور اجرایی نمودن هرچه بهتر نتایج این تحقیق بیان نمود:

۱- اجرای سناریوهای محتمل گوناگون در شرایط پیش از بحران برای هر یک از استان‌های کشور با توجه به تغییرات گوناگون محتمل در عرضه (ظرفیت راه‌ها) در نتیجه وقوع بحران‌های گوناگونی مانند زلزله

۲- اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری در شبکه حمل و نقل هر یک از استان‌های کشور با توجه به نتایج اجرای سناریوهای پیش از بحران

۳- اجرای سناریوهای محتمل گوناگون در شرایط پس از بحران برای هر یک از استان‌های کشور

٤- اجرای سناریوهای محتمل گوناگون در شرایط پس از بحران برای هر یک از قطب‌های امدادرسانی کشور و استان‌های معین

۵- اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری در شبکه حمل و نقل هر یک از استان‌های کشور با توجه به نتایج اجرای سناریوهای پس از بحران

۵-٤-۲-ارائه پیشنهاد برای تحقیقات آتی

با توجه به مورد توجه بودن مبحث بحران در شبکه‌های حمل و نقل در سراسر دنیا، این موضوع با رویکردهای گوناگونی در حال مطالعه و بررسی است. با توجه

به شرایط شبکه حمل و نقل کشور، به‌طور خلاصه می‌توان از موارد ذیل به‌عنوان پیشنهاداتی برای انجام تحقیقات آینده نام برد:

۱- انجام تحقیقاتی به‌منظور بهینه‌سازی عملیات تخلیه اضطراری شهرها در زمان بحران. با توجه به آشفتگی موجود در شبکه تا مدت زمانی پس از وقوع بحران (که به این بازه زمانی، فاز انتقالی می‌گویند)، باید برنامه‌ریزی جداگانه‌ای برای این برهه زمانی انجام گیرد.

۲- انجام تحقیقاتی به‌منظور بهینه‌سازی عملکرد شبکه در برهه‌ای از زمان که مدتی از وقوع بحران گذشته است. با توجه به قرارگیری این برهه زمانی بعد از فاز انتقالی، شرایط شبکه در این زمان آرام‌تر شده و تقریباً به حالت عادی بازمی‌گردد. با این وجود اگر خرابی‌های گسترده‌ای به‌وقوع پیوسته باشد، عملکرد شبکه نسبت به حالت عادی افت زیادی پیدا می‌کند. هدف این تحقیقات می‌تواند جلوگیری از وقوع چنین افت‌هایی باشد.

۳- انجام تحقیقاتی به‌منظور بررسی نقش سیستم‌های حمل و نقل هوشمند در مراحل گوناگون مدیریت بحران و امکان‌پذیر بودن آن.

۴- انجام تحقیقاتی به‌منظور بررسی نقش نوع بحران بر عملکرد شبکه حمل و نقل. با توجه به تفاوت بحران‌های گوناگون نسبت به یکدیگر (به‌ویژه از لحاظ تواتر وقوع و شدت وقوع)، اثرگذاری آن‌ها بر شبکه می‌تواند متفاوت باشد و تمهیدات مختلفی برای آن‌ها باید اندیشیده شود.

پیوست ۱- راهنمای نصب نرم‌افزار TransCAD

۱- مقدمه

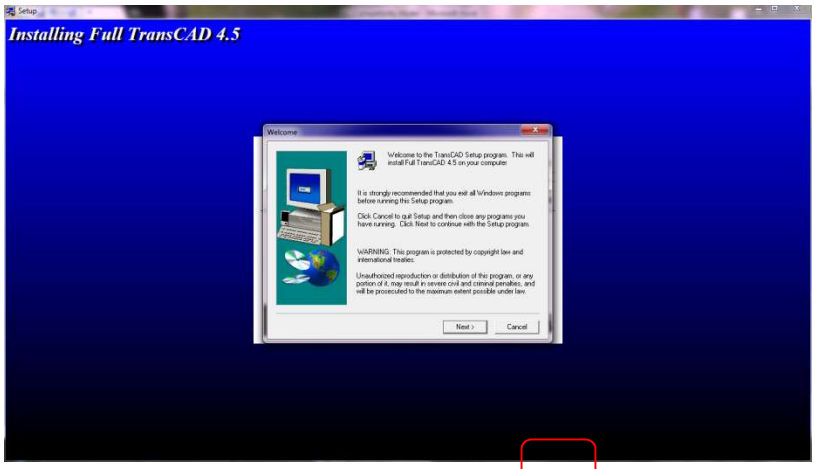
نیاز به یک سیستم تصمیم‌یار به منظور ارزیابی عملکرد شبکه راه‌ها در شرایط بحران و در نظرگرفتن اهمیت ظرفیت کمان، مساله‌ای است چند وجهی که برای اجرای آن نیازمند استفاده از نرم‌افزاری قوی و کاربردی است که قابلیت‌های مد نظر را داشته باشد.

در این راستا پس از انتخاب نرم‌افزار TransCAD با توجه به اهمیت موضوع و ظرافت کار و نیاز به نصب نرم‌افزار و وجود مجموعه‌ای از نکات حین اجرا و نصب نرم‌افزار و اجرای ماکرو، در بخش ٤-۲ مراحل گام به گام نصب نرم‌افزار ارائه می‌گردد.

۲- مراحل گام به گام نصب نرم‌افزار TransCAD

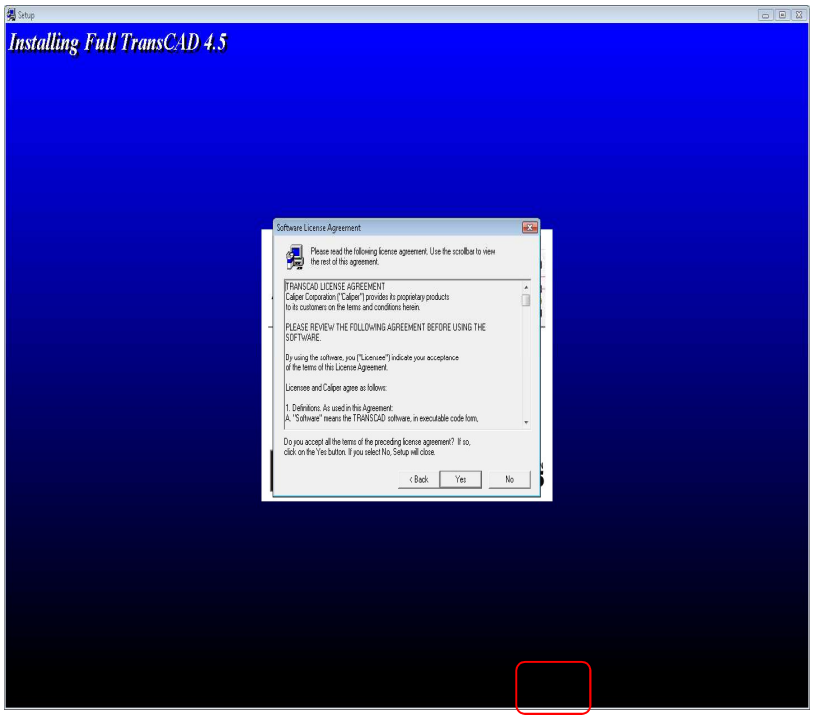
در این بخش با توجه به وجود مجموعه‌ای نکات در نصب نرم‌افزار TransCAD مراحل نصب این نرم‌افزار ارائه می‌گردد.

در گام اول فایل set up اجرا می‌شود. در صفحه‌ی ایجاد شده دکمه next اجرا شود (شکل ۱۰).



۱) شکل ۱۰. گام اول نصب نرم‌افزار TransCAD

در گام دوم هم در روی دکمه yes کلیلک می‌شود (شکل ۱۱).



۲) شکل ۱۱. گام دوم نصب نرم‌افزار TransCAD

با توجه به توضیحاتی که در بند قبل در رابطه با نرم‌افزارهای قابل استفاده در این پروژه ارائه شد و با توجه به جمع‌بندی صورت گرفته، نرم‌افزار TransCAD مناسب‌ترین نرم‌افزار به منظور پیاده‌سازی نمودار گردید. برای پیاده‌سازی نمودار جریان و با توجه به این‌که خروجی نهایی این پروژه، بسته نرم‌افزاری کاربرپسندی است که کاربر بتواند به سادگی از آن استفاده کند، لذا با استفاده از محیط رابط GISDK که در برنامه TransCAD وجود دارد، محیط جدیدی ساخته شد که کار با آن فقط نیاز به انتخاب برخی گزینه‌ها دارد.

۳- پیاده‌سازی نمودار جریان توسط GISDK

در این پروژه برای تحقق اهداف تعیین شده، برنامه‌ای در نرم‌افزار TransCAD نوشته شد. در این برنامه که به ماکرو معروف است، دو بخش اصلی که بدنه ماکرو را تشکیل می‌دهند، تعبیه شده است که عبارتند از:

۱. تعریف ماکرو
۲. تعریف زبانه[۱]های مختلف

در بخش اول، برنامه‌ای که نوشته می‌شود، باید تعریف **ماکرو انجام** گردد تا نرم‌افزار توانایی شناسایی و اجرای بخش‌های مختلف آن را داشته باشد. علاوه بر این مهم، آرایه‌ها و درخت‌هایی که در طول برنامه‌نویسی استفاده می‌شوند، باید معرفی گردند.

---

۱ Tab

```
File  Edit  Format  View  Help
Macro "Dbox Sampler"

RunDbox("Dbox Sampler")

endMacro

Dbox "Dbox Sampler" Title: "مدیریت بحران شبکه راهای کشور"

  init do

    tree_array = {
            {"Per Disaster", {
               {"MST Analyse", {
                  {"State",},
                  {"Pole"},
                        }}}},
            {"Post Disaster", {
               {"SP Analyse", {
                  {"State",},
                  {"Pole"},
                        }}}}

      fmt_array = {
      {{1, "L", "ARDABIL"}, {8, "L", ""}, {21, "L", ""}},
      {{1, "L", "AZARBAIJANE.GHARBI"}, {8, "L", ""}, {21, "L", ""}},
      {{1, "L", "AZARBAIJANE.SHARGHI"}, {8, "L", ""}, {21, "L", ""}},
      {{1, "L", "BUSHEHR"}, {8, "L", ""}, {21, "L", ""}},
      {{1, "L", "CHAHAR.MAHAL.O.BAKHTIARI"}, {8, "L", ""}, {21, "L", ""}},
      {{1, "L", "EILAM"}, {8, "L", ""}, {21, "L", ""}},
      {{1, "L", "ESFAHAN"}, {8, "L", ""}, {21, "L", ""}},
      {{1, "L", "FARS"}, {8, "L", ""}, {21, "L", ""}},
```

شکل ۱۷. بخشی از برنامه نوشته شده در قسمت تعریف ماکرو

در شکل ۱۷ بخشی از ماکرو که در آن، برنامه به نرم‌افزار معرفی می‌شود، مشخص شده است. این بخش از سه قسمت داخلی تشکیل شده است. در بخش ۱ برنامه‌ای که نوشته می‌شود، معرفی گردیده است. در بخش ۲ درخت استفاده شده به نرم‌افزار شناسایی شده و در بخش ۳ آرایه استفاده شده، ارائه گردیده است.

بعد از اتمام بخش مربوط به تعاریف، زبانه‌ها باید معرفی شوند. در محیط برنامه‌نویسی، معرفی زبانه‌ها به صورت جداگانه صورت می‌گیرد. یعنی در هر مرحله زبانه‌های مختلف تعریف و بکار برده می‌شوند.

شکل ۱۸. بخشی از برنامه نوشته‌شده در قسمت معرفی زبانه‌ها- زبانه اول

در شکل ۱۸. بخشی از برنامه که در آن زبانه اول معرفی شده، ارائه شده است.

برای زبانه‌های دوم و سوم نیز برنامه‌ای مشابه نوشته شده است، در این محیط علاوه‌بر معرفی زبانه‌ها، برنامه‌ای برای باز کردن نقشه‌های مربوط به هر استان نیز نوشته شده است.

```
File  Edit  Format  View  Help


        //Second tab ------------------------------------------------
        Tab prompt: "شرایط پیش از بحران"

  Text ۱, ۱, ۲۵ Variable: "                MST معرفی"
  Text ۱, ۲, ۴۰ Variable:
    "-------------------------------------------------------"

Text ۰, after, ۵۰ Variable:" حداقل درجه دوربرگیرنده عبارتست از"
Text ۱۰, after, ۲۰ Variable:""
Text ۰, after, ۵۰ Variable:"شبکه ای متصل که دوربرگیرنده تمامی"
Text ۱۰, after, ۲۰ Variable:""
Text ۰, after, ۵۰ Variable:" گره ها بوده و مجموع فاصله را حداقل"
Text ۱۰, after, ۲۰ Variable:""
Text ۷, after, ۵۰ Variable:"    نماید."


        Text ۴۰, ۱, ۲۵ Variable: "قطب یا استان مورد نظرا را انتخاب کنید"
        Text ۴۰, ۲, ۴۰ Variable:
    "-------------------------------------------------------"


  Text ۴۰, ۱, ۴۰ Variable: "Double-click a row:"
  Scroll List "scroll" ۴۶, ۲۵, ۲۵, ۱۷۵ Prompt: "List:" List: fmt_array
    Variables: scroll_idx, click
    do
      if click = ۱ then do // double click
        zip = fmt_array[scroll_idx][۱][۲]
        showmessage('انتخاب شد MST آنالیز "' + zip + '" برای استان')
        MAP=openmap("D:\\STATES\\" + zip + "\\" + zip + ".map",{"auto project","true"});
        //network=opennetwork("D:\\STATES\\" + zip + "\\" + zip + ".net",{"auto project","true"});

      end
    EndItem
```

شکل ۱۹. بخشی از برنامه نوشته‌شده در قسمت معرفی زبانه‌ها- زبانه دوم

در شکل ۱۹ بخشی از برنامه که در آن زبانه دوم معرفی شده، ارائه شده است. در بخش ۱، زبانه معرفی شده و در بخش ۲ دستور مربوط به باز کردن نقشه‌ها آورده شده است.

```
        ‼Third tab ---------------------------------------------------
        Tab prompt: "شرایط پس از بحران"

  Text ۱, ۱, ۲۵ Variable: "                SP معرفی"
  Text ۱, ۲, ۲۰ Variable:
    "_____"

Text ۰, after, ۵۰ Variable:"کوتاه ترین مسیر عبارتست از تعیین بهترین"
Text ۱۰, after, ۲۰ Variable:""
Text ۰, after, ۵۰ Variable:"مسیری که کوتاه ترین مسافت بین دو گره"
Text ۱۰, after, ۲۰ Variable:""
Text ۲, after, ۵۰ Variable:" مبدا و مقصد را در یک شبکه ارائه نماید."

        Text ۴۰, ۱, ۲۰ Variable: "قطب یا استان مورد نظرا را انتخاب کنید"
        Text ۴۰, ۲, ۲۰ Variable:
    "_____"


  Text ۴۰, ۱, ۲۰ Variable: "Double-click a row."
  Scroll List "scrollh" ۴۶, ۲۵, ۲۵, ۱۷۵ Prompt: "List: " List: fmt_array
    Variables: scrollh_idx, click
    do
      if click = ۱ then do ‼ double click
        zip = fmt_array[scrollh_idx,۱][۱,۲]
        showmessage('انتخاب شد SP برای استان "' + zip + '"')
        MAP=openmap("D:\\STATES\\" + zip + "\\" + zip + ".map",,,"auto project","true")
        ‼network=opennetwork("D:\\STATES\\" + zip + "\\" + zip + ".net",,,"auto project","true")
      end
    EndItem

endDbox
```

شکل ۲۰. بخشی از برنامه نوشته‌شده در قسمت معرفی زبانه‌ها- زبانه سوم

در شکل ۲۰ بخشی از برنامه که در آن زبانه سوم معرفی شده، ارائه گردیده است. در بخش ۱، زبانه معرفی شده و در بخش ۲ دستور مربوط به باز کردن نقشه‌ها آورده شده است.

٤- مراحل گام به گام اجرای نرم‌افزار

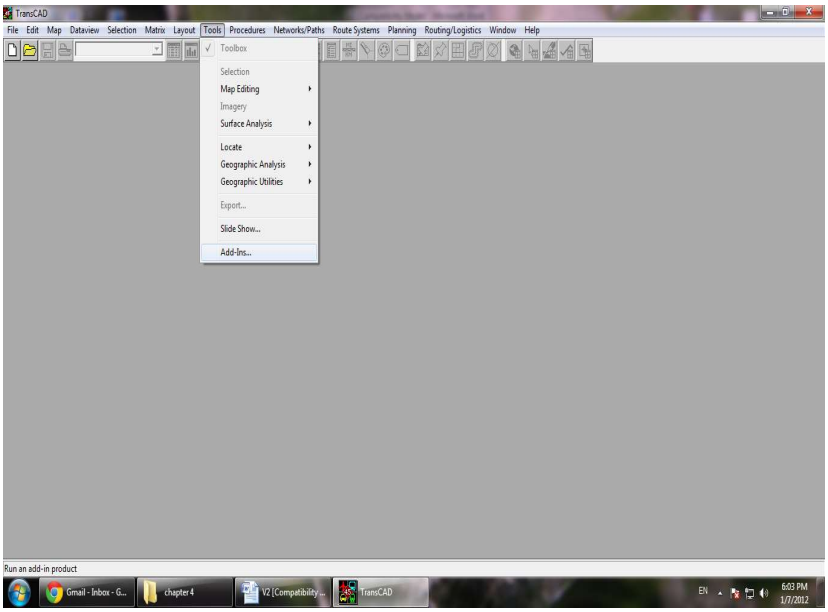
در مرحله نخست می‌توان از آیکون موجود در صفحه نمایش استفاده نمود.

برای ساختن آیکون مورد نظر مراحل زیر لازم است (این مراحل توسط مشاور انجام شده است):

۱- تهیه بانک اطلاعاتی

۲- تغییر شناسنامه و آدرس‌دهی برنامه

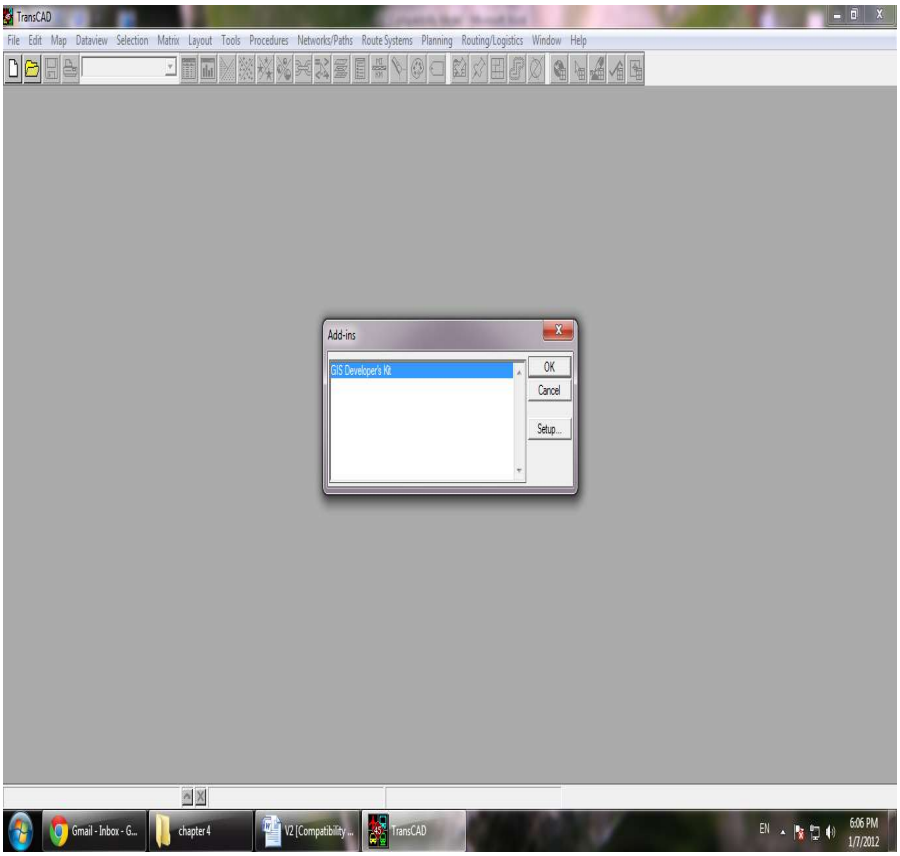
برای تهیه **بانک اطلاعاتی** این قسمت در گام اول باید ماکرو نوشته شده به نرم‌افزار TransCAD معرفی شود. در این راستا بعد از اجرای برنامه‌ی نصب شده از منوی Tool آیکون Add-Ins را انتخاب کرده (شکل ۲۱) و در جعبه‌ی باز شده Ok زده می‌شود (شکل ۲۲).



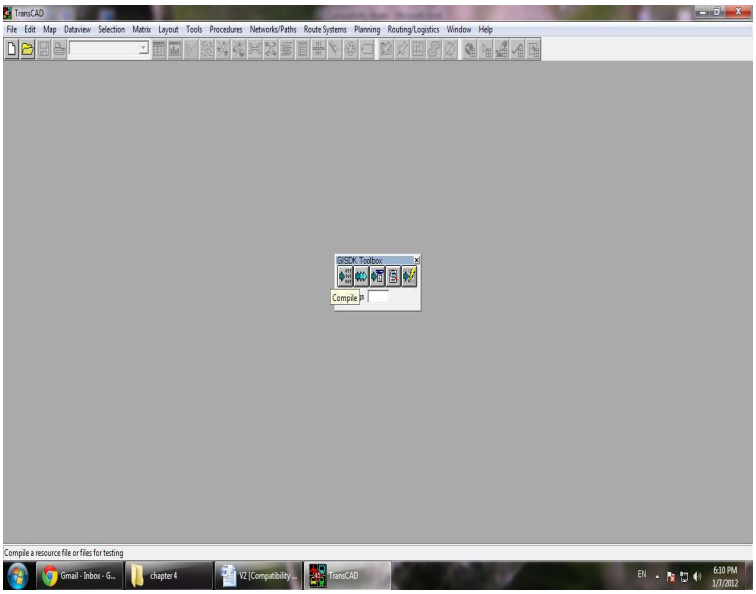
شکل ۲۱. گام اول تهیه بانک اطلاعاتی

بعد از انتخاب Ok در GISDK toolbox باز شده بخش Compile to UI انتخاب می‌شود (شکل ۲۳). بعد از انتخاب این بخش، ماکرو نوشته شده به نرم‌افزار معرفی می‌شود (شکل ۲٤) و در گام بعدی محل ذخیره‌سازی بانک اطلاعاتی به نرم‌افزار معرفی می‌گردد (شکل ۲۵). محل ذخیره‌سازی باید در درایوی که نرم‌افزار نصب شده و در داخل پوشه نرم‌افزار باشد. به طور مثال اگر نرم‌افزار در درایو C باشد در آدرس زیر باید فایل بانک اطلاعاتی ذخیره شود:

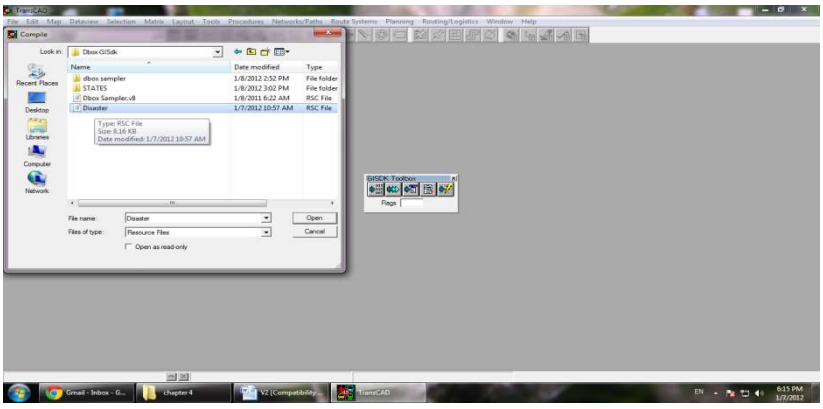
C:\Program Files\TransCAD\



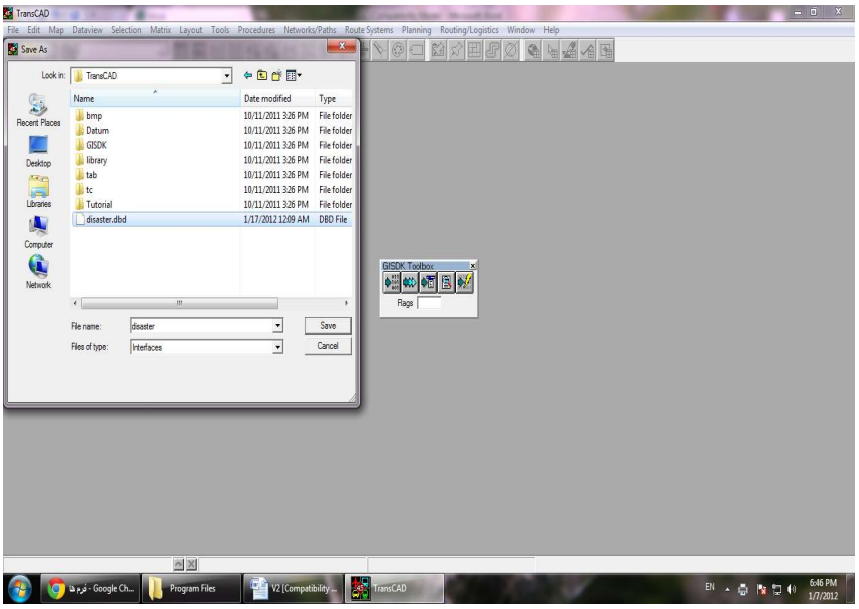
شکل ۲۲. گام دوم تهیه بانک اطلاعاتی



شکل ۲۳. گام سوم تهیه بانک اطلاعاتی



شکل ۲٤. گام چهارم تهیه بانک اطلاعاتی



شکل ۲۵. گام پنجم تهیه بانک اطلاعاتی

بعد از ایجاد بانک اطلاعاتی باید آیکون نرم‌افزار نوشته شده در در صفحه رایانه ایجاد گردد. برای این منظور یک میانبر[۱] از نرم‌افزار TransCAD در صفحه رایانه کپی می‌شود. در گام بعد روی میانبر ایجاد شده کلیلک راست شده و قسمت ویژگی‌ها[۲] انتخاب می‌گردد. در زبانه‌ی[۳] مربوط به میانبر و در قسمت هدف[٤] عبارت زیر وارد می‌گردد (شکل ۲۶).

```
C:\TransCAD\TransCAD.exe -q -a NAME -ai NAME -n "TransCAD with Disaster"
```

نکته: در عبارت فوق به جای کلمه‌ی NAME اسم بانک اطلاعاتی که در بخش قبل ایجاد شده است وارد می‌گردد.

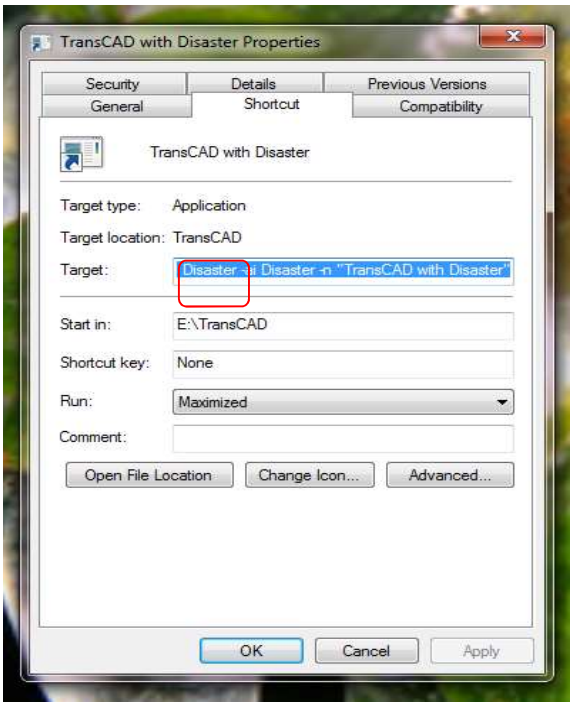
---

۱ Shortcut

۲ Properteis

۳ Tab

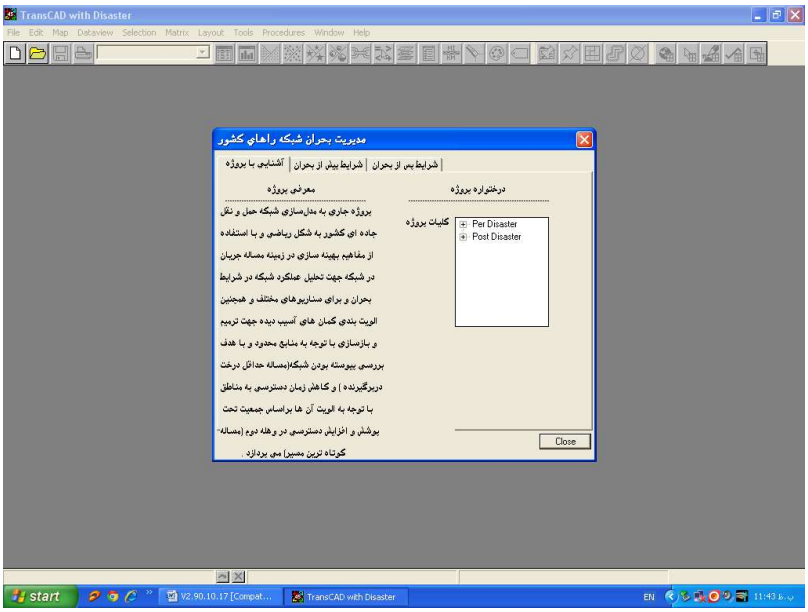
٤ Target



شکل ۲۶. ایجاد میانبر در صفحه کامپیوتر

بعد از انجام این مراحل آیکون مربوط در صفحه‌ی رایانه ایجاد می‌شود. در ادامه به صورت گام به گام مراحل راه‌اندازی و استفاده از برنامه‌ی تصمیم‌یار ارائه می-گردد.

بعد از راه‌اندازی برنامه‌ی تصمیم‌یار صفحه‌ای با محتوی زیر باز می‌شود (شکل ۲۷):

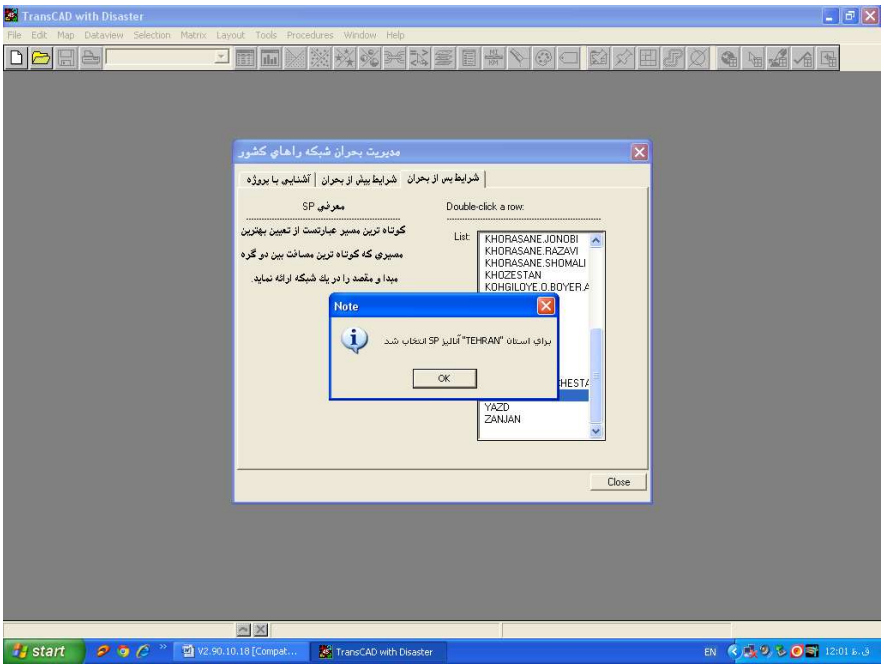


شکل ۲۷. نمایی از صفحه اصلی نرم‌افزار

که مشخصات پروژه و سناریوهای پیش و پس از بحران در آن مطرح است که در زبانه‌های یک تا سه به آن‌ها پرداخته می‌شود (شکل ۲۸).

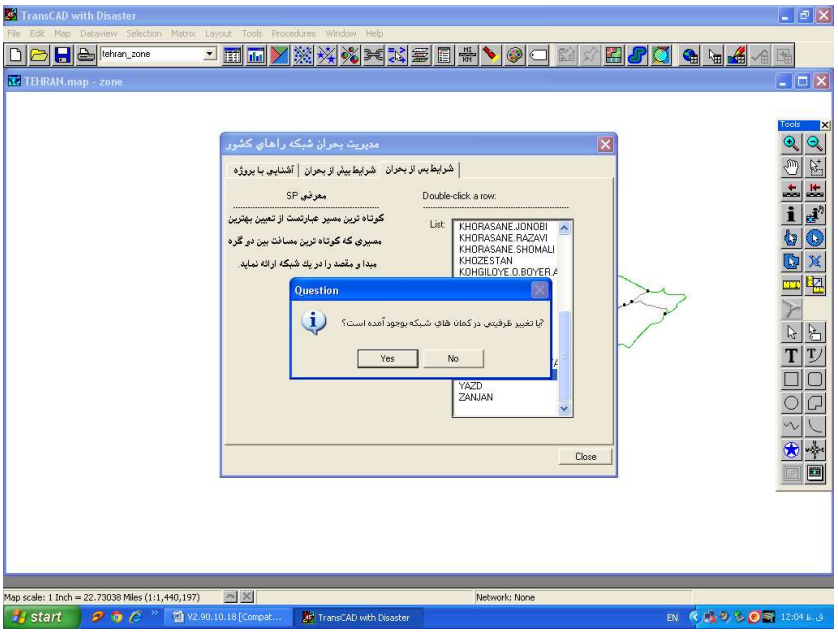
در زبانه‌ی اول کلیات پروژه بررسی شده است. ابتدا در قسمت معرفی پروژه به بیان اهداف و جایگاه پروژه اشاره شده است و در قسمت درختواره نیز نمودار جریانی از سناریوهای موجود در پروژه بیان شده است.

در زبانه دوم شرایط پیش از بحران و در زبانه سوم شرایط پس از بحران مورد بررسی قرار می‌گیرد. در قسمت چپ این زبانه‌ها اسامی استانها و قطب‌ها قرار دارد که با دوبار کلیلک کردن بر روی آن‌ها پیغامی ظاهر می‌شود که برای استان انتخاب شده تحلیل کوتاه‌ترین درخت گسترش (MST)یا کوتاه‌ترین مسیر (SP)انتخاب شده است (شکل ۲۸). به طور مثال در شکل ۲۸ عنوان شده است که برای استان تهران تحلیل SP انتخاب شده است.



شکل ۲۸. نمایی از پیغام انتخاب سناریو در نرم‌افزار

پس از تایید این پیغام نقشه استان مورد نظر ظاهر می‌شود و سوالی در این زمینه از کاربر پرسیده می‌شود که آیا در ظرفیت کمانی تغییری ایجاد شده است؟ (شکل ۲۹).

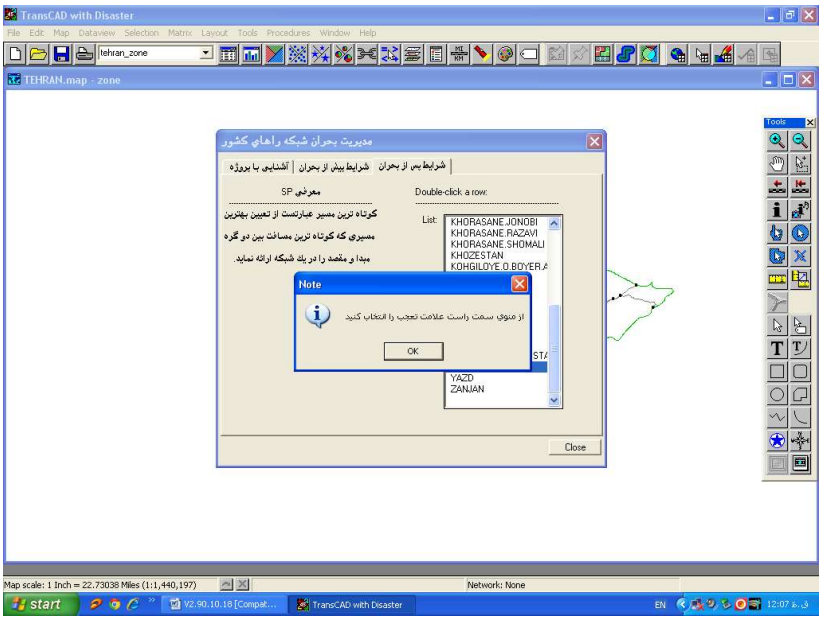


شکل ۲۹. نمایی از پیغام پرسشی تغییر ظرفیت در نرم‌افزار

با انتخاب گزینه NO کاربر می‌تواند سناریوهایی که تغییر ظرفیت کمان را در نظر نمی‌گیرند را اجرا کند. ولی با انتخاب گزینه Yes کاربر وارد مراحل بعدی می‌گردد.

در گام بعد از انتخاب گزینه‌ی Yes پیغامی ظاهر می‌شود که به کاربر نشان می‌دهد که برای اعمال ضریب کاهش ظرفیت باید از منوی Tool گزینه‌ی اطلاعات[۱] را باید انتخاب کند (شکل ۳۰).

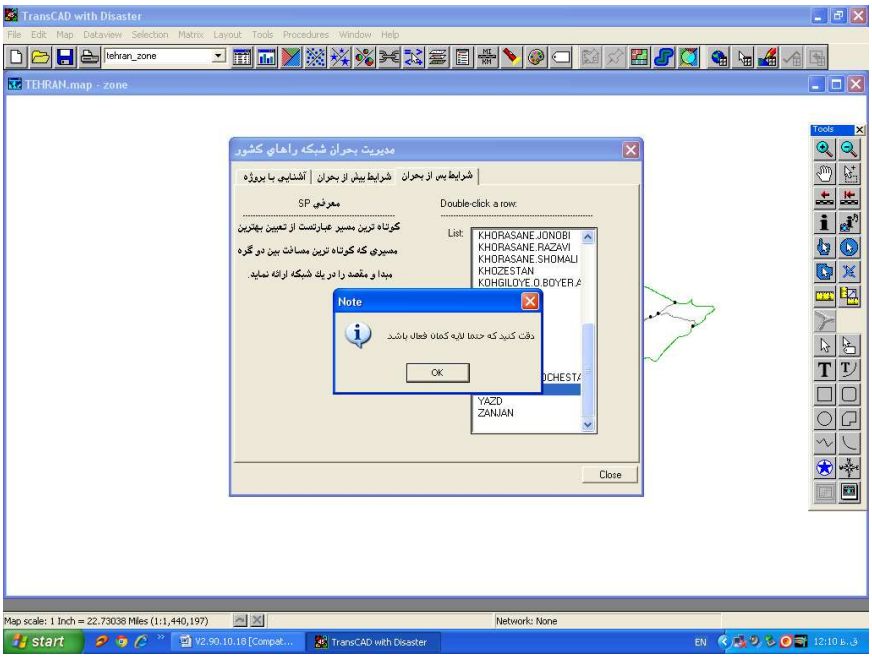
۱ info



شکل ۳۰. نمایی از علامت اطلاعات[۱] در نرم‌افزار

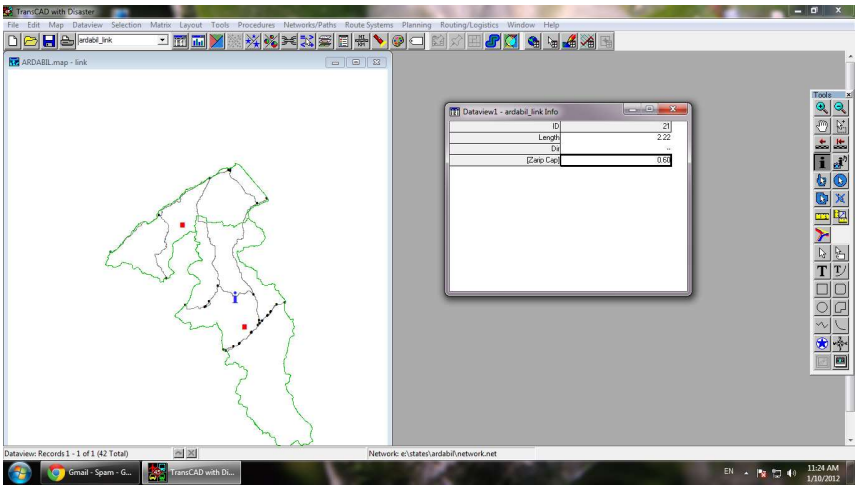
بعد از تایید پیغامی به صورت توجه مانند ظاهر می‌شود که به کاربر می‌گوید که برای اعمال تغییر ظرفیت حتما باید لایه‌ی کمان‌ها در نرم‌افزار فعال باشد (شکل ۳۱).

۱ Info



شکل ۳۱. نمایی از پیغام توجه در نرم‌افزار

بعد از این گام‌ها با تایید پیغام و وارد شدن خارج از محیط برنامه‌ی نوشته شده با کلیک بر روی کمان‌ها، می‌توان ضریب کاهش ظرفیت را اعمال نمود (شکل ۳۲).



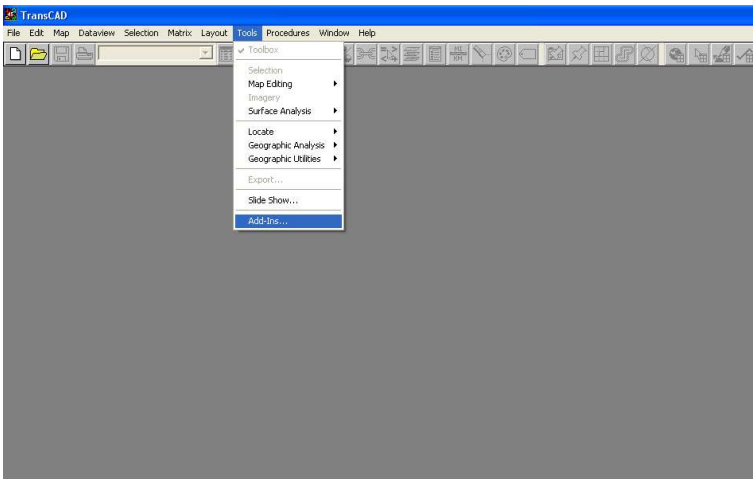
شکل ۳۲. نمایی از گزینه تغییر ظرفیت در نرم‌افزار

با اعمال ضریب کاهش ظرفیت می‌توان بر این نکته که تغییر ظرفیت تا چه حدی می‌تواند بر روی نتایج تحلیل‌ها تاثیرگذار باشد تاکید می‌شود و در عمل می‌توان این تغییرات را مشاهده نمود. برای بدست آوردن مقادیر ضریب کاهشی به بخش پیوست می‌توان مراجعه نمود.

۵- استفاده‌ی مستقیم از ماکرو

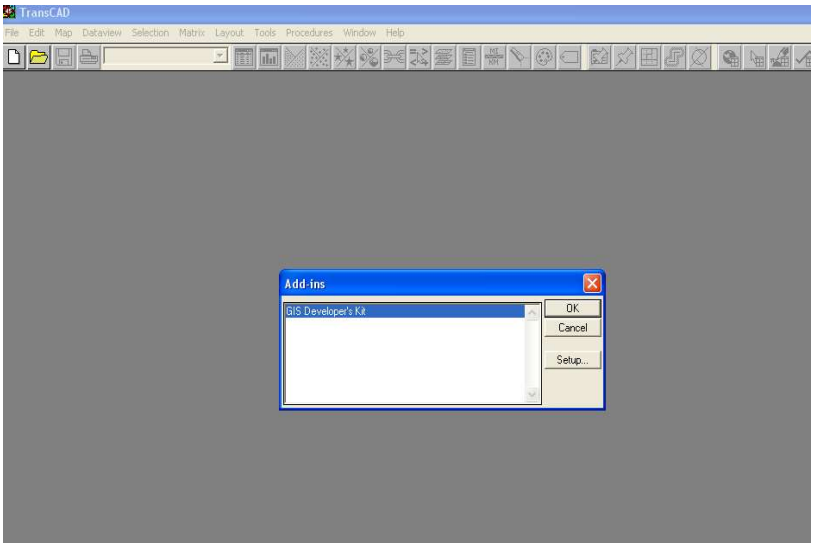
در صورت تمایل به استفاده از برنامه‌ی ماکرو نوشته شده توسط مشاور و استفاده مستقیم از برنامه‌ی نوشته شده (ماکرو) مراحل زیر باید انجام شود. در این قسمت مراحل گام به گام اجرای نرم افزار تهیه شده، ارائه می‌گردد.

بعد از نصب برنامه و اجرای نرم افزار TransCAD، به منظور فراخوانی برنامه نوشته شده از منوی Tools قسمت Add – in انتخاب می‌شود (شکل ۳۳).



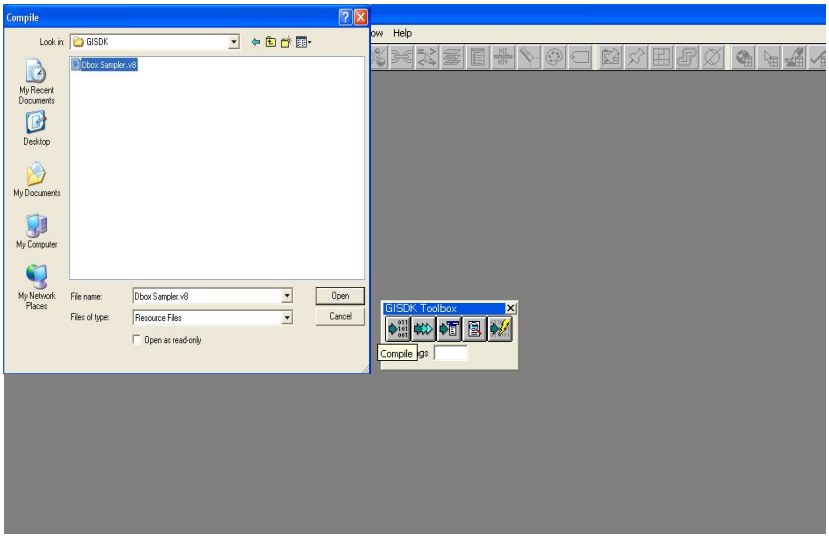
شکل ۳۳. انتخاب گزینه Add – in از بخش Tools

برای افزودن برنامه نوشته شده به نرم‌افزار، در قسمت Add – in گزینه GIS Developer's kit انتخاب می‌گردد (شکل ۳٤).



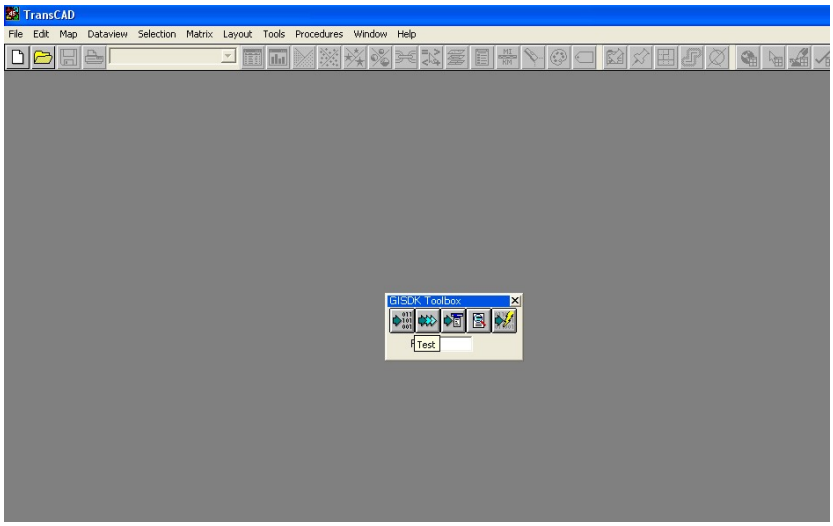
شکل ۳٤. انتخاب گزینه GIS Developer's kit از بخش Add – in

در مرحله بعد به منظور بازگردانی برنامه نوشته به زبان کامپیوتر (Compile کردن)، از قسمت Toolbar GISDK، قسمت Compile انتخاب و مسیر برنامه نوشته شده در محیط GISDK مشخص می‌شود (شکل ۳۵).

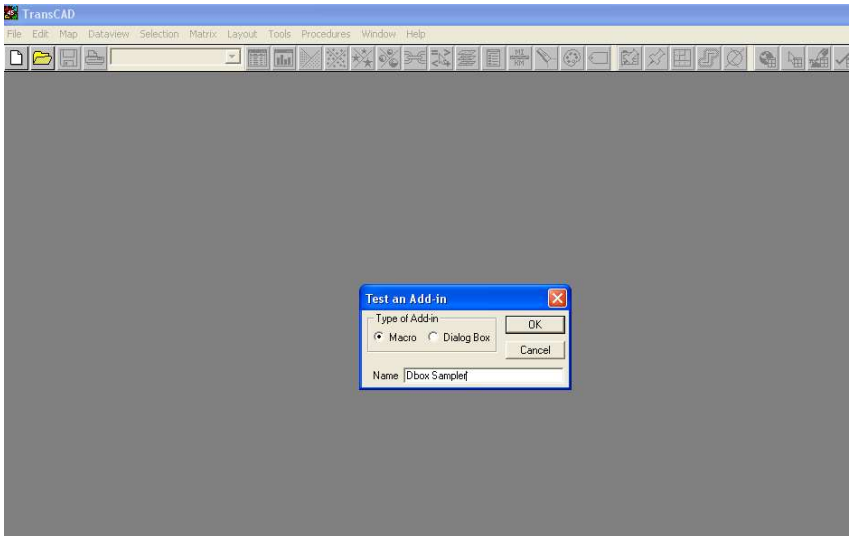


شکل ۳۵. تعیین مسیر برنامه نوشته شده

دوباره از قسمت Toolbar GISDK، گزینه test انتخاب شده (شکل ۳۶)، در قسمتTest an Add-in، گزینه ماکرو انتخاب می‌شود و در قسمت Name، اسم ماکرو که در این مطالعه disaster گذاشته شده است، وارد شده، روی OK کلیک می‌شود (شکل ۳۷).



شکل ۳۶. اجرای برنامه نوشته شده



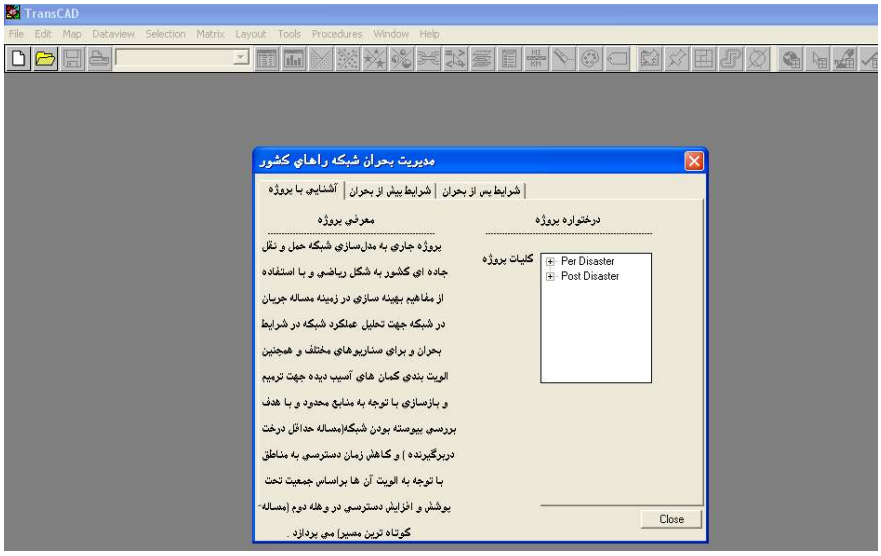
شکل ۳۷. وارد کردن عبارت disaster در بخش Name

با انجام مراحل بالا، پنجره زیر باز می‌شود که در آن سه گزینه برای ادامه کار پیشنهاد شده است (شکل ۳۸).

آشنایی با پروژه

شرایط پیش از بحران

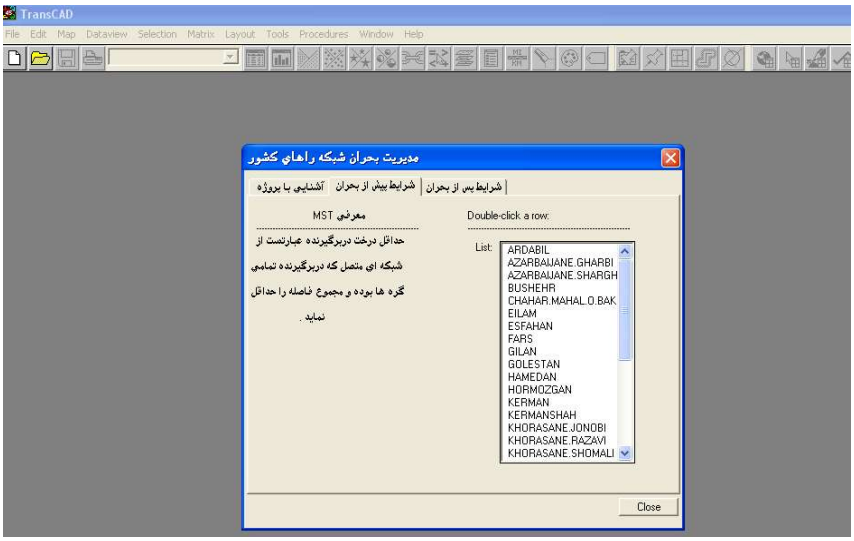
شرایط پس از بحران



شکل ۳۸. پنجره معرفی پروژه

با انتخاب زبانه‌ی ۱، توضیحات کلی در مورد پروژه حاضر ارائه شده و در ضمن در این پنجره نمودار درختواره پروژه نشان داده می‌شود (شکل ۳۸).

در زبانه‌ی ۲ (شرایط پیش از بحران)، با انتخاب هر استان، نمودار حداقل درخت دربرگیرنده برای آن رسم می‌شود (شکل ۳۹).

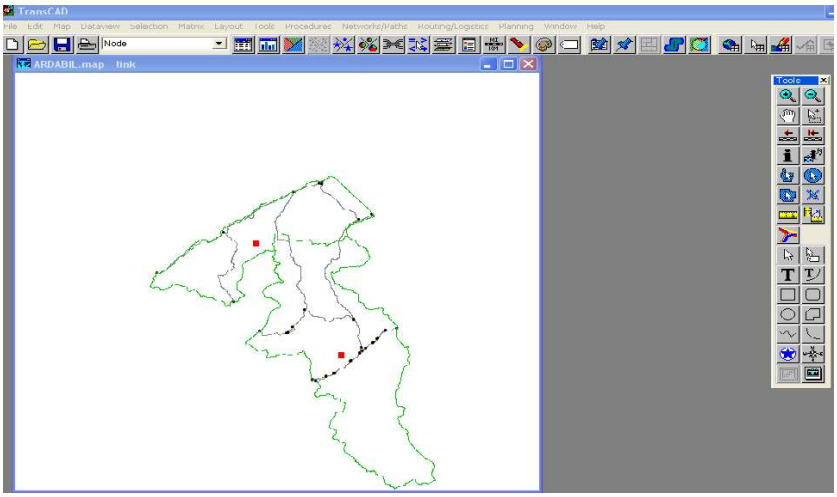


شکل ۳۹. پنجره ترسیم حداقل درخت دربرگیرنده

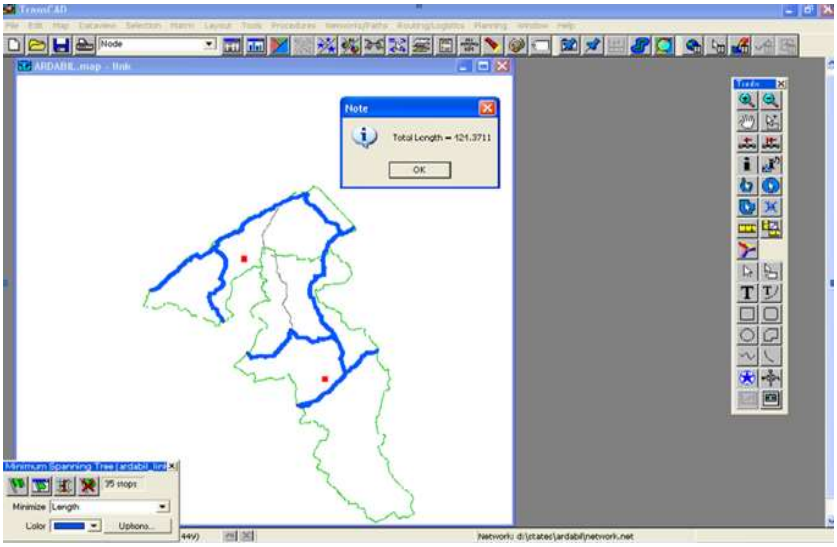
برای مثال، با دوبار کلیک کردن برروی استان اردبیل، شکل زیر که حاوی نقشه استان اردبیل است نمایش داده می‌شود (شکل ٤٠). سپس از منوی Routing/Logistics، گزینه Minimum Spanning Tree انتخاب می‌شود؛ با انتخاب این گزینه کاربر با دو انتخاب برای تعیین حداقل درخت دربرگیرنده مواجه می‌شود:

- ❖ حداقل درخت دربرگیرنده براساس طول (در حالت شبکه بدون بار)
- ❖ حداقل درخت دربرگیرنده براساس زمان سفر (در حالت شبکه با بار)

که کاربر می‌تواند براساس هدف و نیاز خود حداقل درخت دربرگیرنده استان را رسم کند (شکل ٤١).



شکل ٤٠. نقشه استان اردبیل



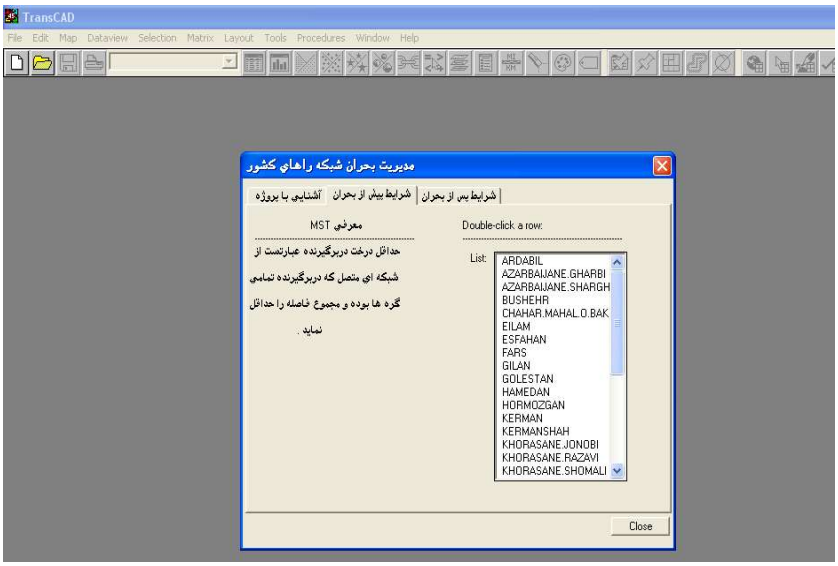
شکل ٤١. حداقل درخت دربرگیرنده استان اردبیل

در زبانه‌ی ۲ (شرایط پس از بحران)، با انتخاب هر استان، نمودار کوتاه‌ترین مسیر برای آن رسم می‌شود (شکل ٤٢).

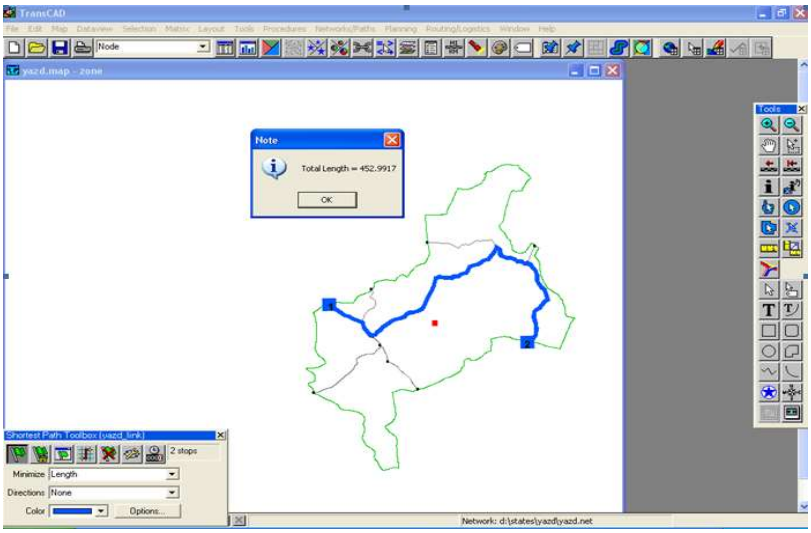
به‌عنوان نمونه، با دوبار کلیک برروی استان یزد، نقشه استان ظاهر شده سپس از منوی Networks/Paths و با انتخاب گزینه Shortest Path کاربر با دو گزینه برای تعیین کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه دلخواه مواجه می‌شود:

- کوتاه‌ترین مسیر براساس فاصله بین دو نقطه (در حالت شبکه بدون بار)
- کوتاه‌ترین مسیر براساس زمان سفر بین دو نقطه (در دو حالت شبکه با بار- تقاضای وضعیت موجود و تقاضای تشدید شده)

که کاربر می‌تواند براساس هدف و نیاز خود کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه دلخواه در استان را رسم کند (شکل ٤٣).



شکل ٤٢. پنجره ترسیم کوتاه‌ترین مسیر



شکل ۴۳. کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه دلخواه در استان یزد

٦- خطازدایی از نرم افزار

در علم رایانه، اشکال نرم‌افزاری یا باگ[۱]، به خطاهای برنامه‌نویسی گفته می‌شود. اشکال یا باگ نوعی خطا یا اشتباه در اجرای نرم‌افزار است که موجب نتایج اشتباه یا اجرا نشدن نرم‌افزار می‌شود. علت این اشکالات می‌تواند اشتباه در هنگام برنامه‌نویسی باشد که برنامه‌نویسان نرم‌افزارها برای حل این مشکل قبل از ارائه نسخه نهایی نسخه‌هایی تحت نام بتا یا آلفا انتشار می‌دهند تا افرادی آنها را بررسی کنند و این اشکال‌ها را گزارش کنند. به این افراد بتا تستر ۲ می‌گویند. به حل این مشکلات اشکال‌زدایی یا دیباگ۳ می‌گویند. حل مشکلات نرم‌افزاری به دو صورت انجام می پذیرد (۳):

- با داشتن کد اصلی برنامه

---

۱ Bug

۲ Beta Tester

۳ Debug

❖ با داشتن خود فایل اصلی برنامه.

با داشتن کد اصلی برنامه می‌توان از امکانات مفسر برای اشکال‌زدایی استفاده نمود ولی در صورتی که فایل اصلی در اختیار باشد، می‌تواند به کمک علم مهندسی معکوس این کار را انجام داد.

نرم افزار دیباگ۱ ابزاری کمکی جهت اجرای دستورات زبان اسمبلی و برای ایجاد، آزمایش، اجرا، تغییر و اشکال یابی برنامه، به زبان اسمبلی است. یکی از مزایای نوشتن برنامه در محیط نرم‌افزار دیباگ این است که برنامه به طور مستقیم قابل اجرا بوده و نیازی به ترجمه ندارد.

٦-١- مراحل خطازدایی

به منظور خطازدایی از نرم‌افزار و ماکرو مراحل زیر قابل اجرا هستند:

❖ به طور مستقیم به زبان اسمبلی برنامه نوشت و آن را اجرا کرد.

❖ برنامه آماده به زبان اسمبلی را میتوان به محیط دیباگ انتقال داده و آنرا آزمایش و اجرا نمود.

❖ برنامه اسمبلی را می توان دستور به دستور اجرا کرد، محتوای ثبات ها و خانه حافظه را مشاهده و تغییرات لازم راانجام داد.

❖ محتویات خانه حافظه هر بخش را می‌توان دید.

یکی از محاسن برنامه دیباگ این است که تمام دستورات را به زبان اسمبلی و معادل آنها، به زبان ماشین نشان می دهد (٤).

٦-٢- خطازدایی از سیستم تصمیم‌یار

در این مطالعه به منظور خطازدایی از سیستم تصمیم‌یار و برنامه‌ی ماکرو در چندین مرحله مراحل خطازدایی اجرا و سعی شد تا نرم‌افزار ارائه شده عاری از خطاهای احتمالی باشد. در گام نخست از نرم‌افزار خطازدای GISDK که به همین

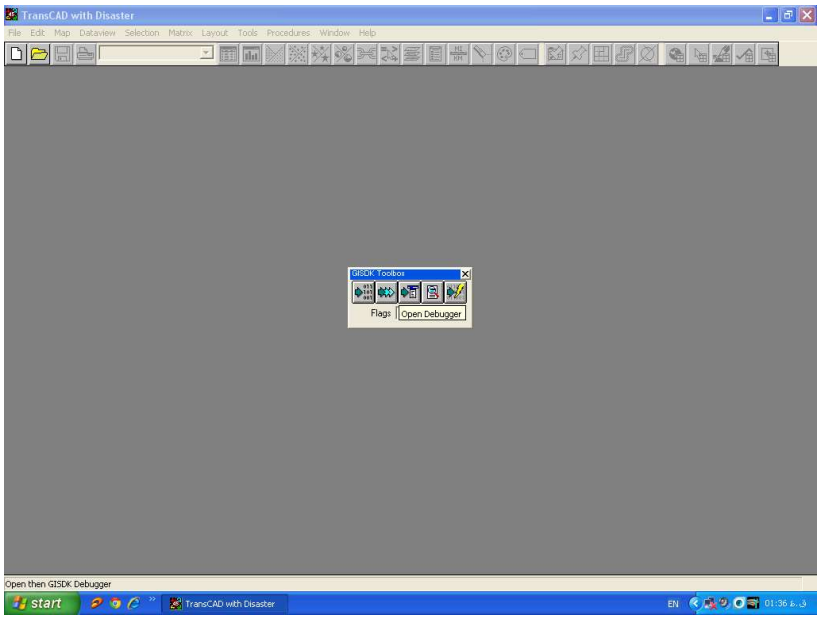
---

۱ Debug Software

منظور طراحی شده است استفاده می‌شود. برای خطازدایی اولیه از ماکرو پس از اجرای نرم‌افزار TransCAD از منوی Tools بخش Add-In انتخاب می‌شود.

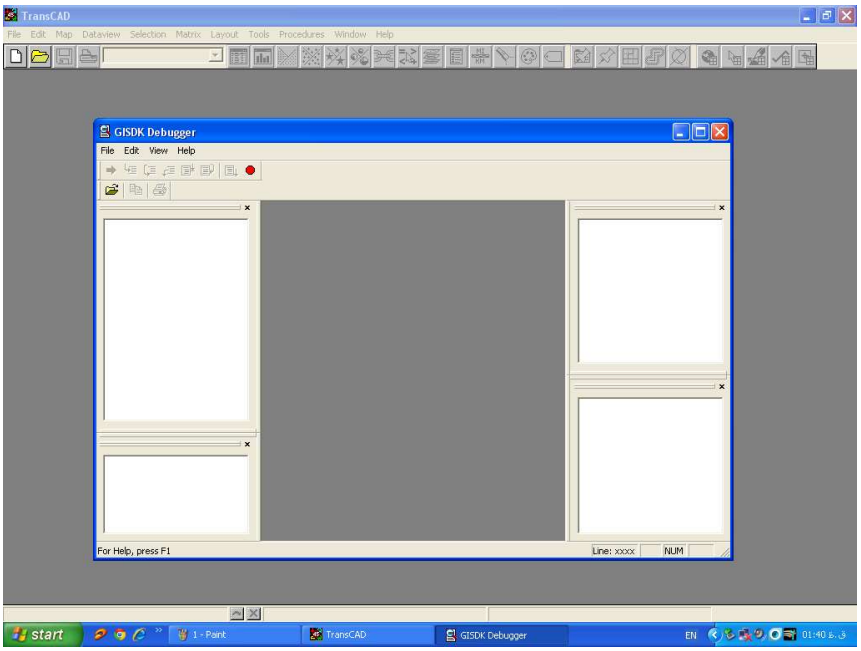
TransCAD→Tools→Add-In

بعد از مشاهده‌ی جعبه‌ی باز شده، چهارمین گزینه که مربوط به خطازدایی از ماکرو است انتخاب می‌شود (شکل ٤٤).



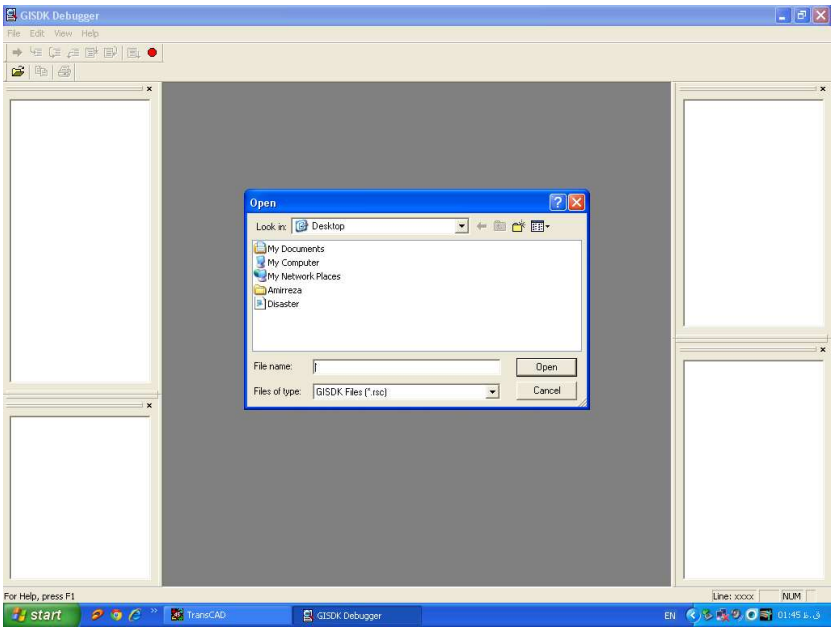
شکل ٤٤. گزینه‌ی چهارم در جعبه‌ی باز شده‌ی بخش Add-In

پس از کلیلک بر روی بخش چهارم، بخش GISDK Debugger باز می‌شود (شکل ٤٥).



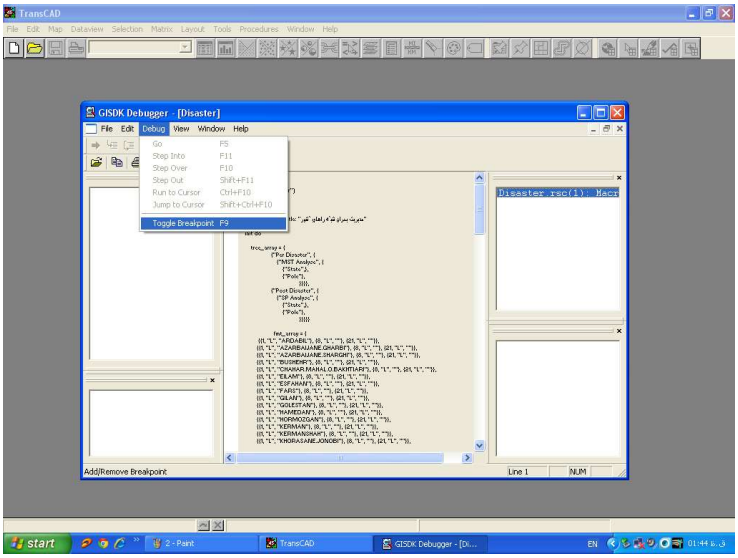
شکل ٤٥. نمایی از نرم‌افزار خطازدا

از منوی File در نرم‌افزار خطازدا، گزینه‌ی Open انتخاب و مرحله ماکروی مربوطه به نرم‌افزار خطازدا معرفی می‌شود (شکل ٤٦).



شکل ٤٦. قسمت Open و معرفی ماکرو در نرم‌افزار خطازدا

بعد از این خطازدایی از برنامه‌ی نوشته شده از منوی Debug صورت می‌پذیرد (شکل ٤٧).

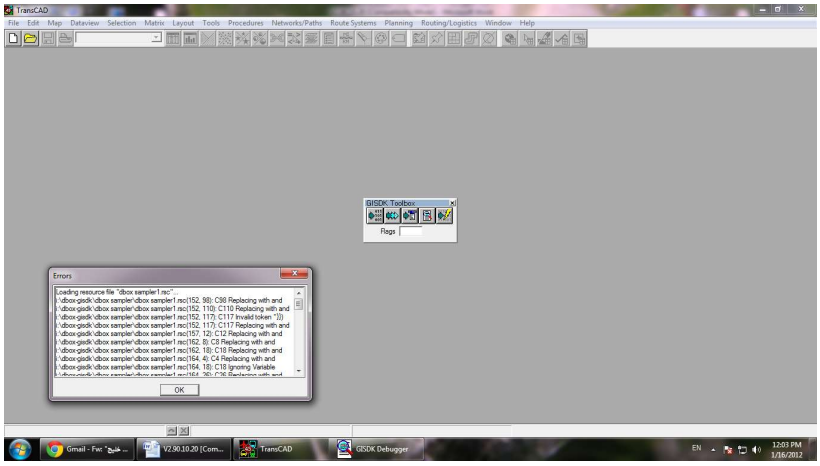


شکل ٤٧. خطازدایی از برنامه‌ی نوشته شده

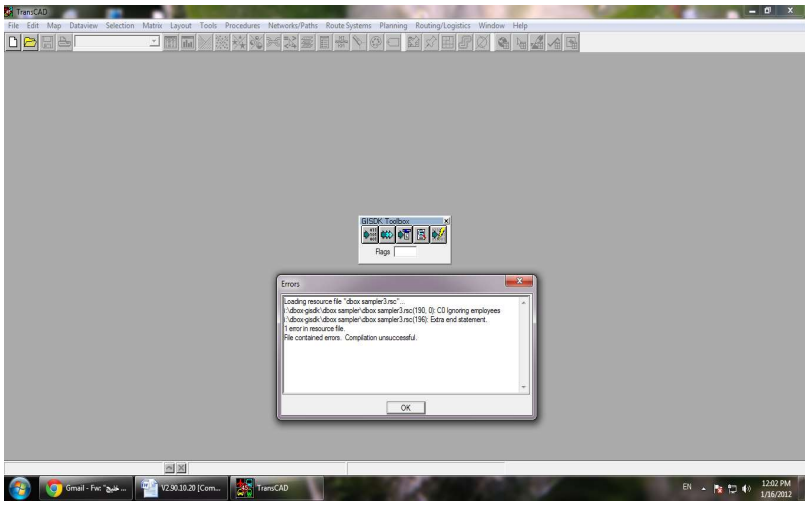
بعد از خطازدایی از ماکرو، در مرحله بعد اقدام به خروجی گرفتن از سیستم تصمیم‌یار و مشاهده نتایج و مقایسه‌ی آن‌ها با هم می‌شود که تیم مشاور با انجام بررسی‌های زیر خطاهای موجود را برطرف نمود:

- اجرای میان‌بر نرم‌افزار از روی صفحه‌ی رایانه.
- اجرای منوهای ایجاد شده در سیستم تصمیم‌یار.
- فراخوان و اجرای نقشه‌های استان‌ها

شکل ٤٨ نمونه‌ای از کامپایل اولیه ماکرو را نشان می‌دهد. فرق کامپایل با اجرا در این است که کامپایل کردن قبل از اجرا انجام می‌شود و هدف این لست که اشکالات اسمبلی نرم‌افزار برطرف شوند. پس از برطرف شدن اشکالات اسمبلی نرم‌افزار نوبت به اجرای ماکرو و بررسی اشکالات اجرایی نرم‌افزار است. شکل ٤٩ نمونه‌ای از روند کامپایل و کاهش خطاهای اسمبلی موجود در ماکرو را نشان می‌دهد. با رفع اشکال و کامپایل‌های مجدد، خطاهای موجود کاهش پیدا کرده و در نهایت برنامه‌ی نوشته شده‌ای وجود خواهد داشت که عاری از خطای اسمبلی باشد.

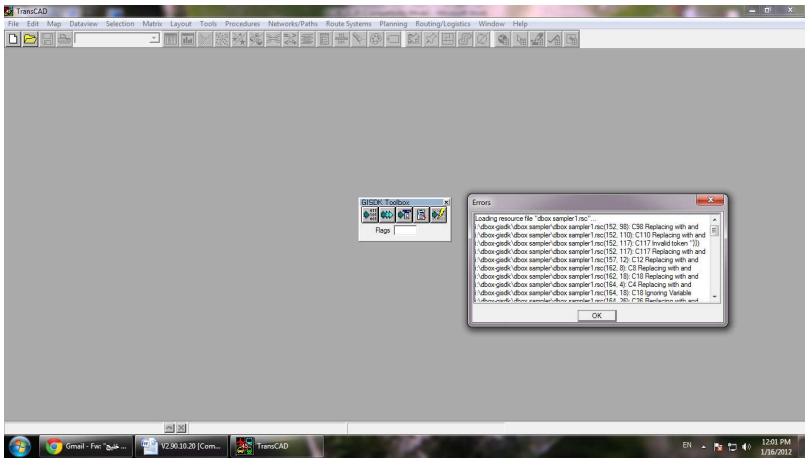


شکل ٤٨. نمونه‌ای از کامپایل اولیه ماکرو

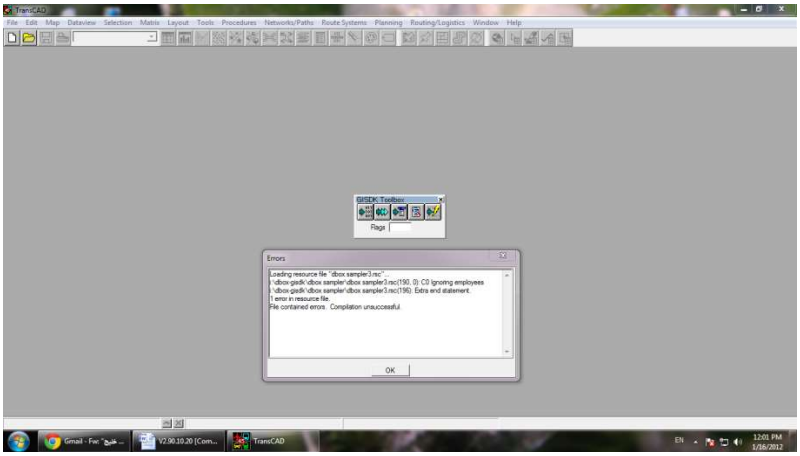


شکل ٤٩. کاهش اشکال‌ها پس از چندین کامپایل

شکل ۵۰ نمونه‌ای از اجرای ناموفق و وجود اشکال در اجرای ماکرو را نشان می‌دهد. برای بررسی و رفع اشکال‌های اولیه طی مراحل مختلف اشکال‌ها کاهش پیدا کرده و در نهایت اشکال‌های موجود در اجرای برنامه برطرف شد. در صورت وجود اشکال در ماکرو، برنامه‌ی نوشته شده کار نکرده و در نهایت نرم‌افزار پیغام خطا نشان داده و از محیط برنامه خارج می‌شود. شکل ٤٩ کاهش اشکال‌های موجود در ماکرو را پس از رفع اشکال چندین باره نشان می‌دهد. با اجرای‌های مختلف اشکال‌ای موجود مشخص شده و در نهایت تمامی اشکال‌ها برطرف شدند.



شکل ۵۰. نمونه‌ای از اجرای ناموفق و وجود اشکال در ماکرو



شکل ۵۱. کاهش اشکال‌های موجود در ماکرو

در نهایت پس از رفع اشکال اسمبلی و اجرایی نرم‌افزار نوشته شده، بسته‌ی نرم-افزاری آماده‌ی استفاده و بهره‌برداری می‌شود. تمامی اشکالات اسمبلی و اجرایی نرم‌افزار توسط تیم مشاور بررسی و برطرف شدند و بسته‌ی نرم‌افزاری آماده بهره-برداری است.

٦-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در علم رایانه، اشکال نرم‌افزاری یا باگ[۱]، به خطاهای برنامه‌نویسی گفته می‌شود. اشکال یا باگ نوعی خطا یا اشتباه در اجرای نرم‌افزار است که موجب نتایج اشتباه یا اجرا نشدن نرم‌افزار می‌شود. در فصل بعد گزارش، پس از تهیه‌ی سیستم تصمیم‌یار و لحاظ شدن نیازهای مورد نظر این مطالعه، در نهایت از برنامه‌ی نوشته شده خطازدایی به‌عمل آمد تا کاربران که عمدتا مدیران حوزه راه و ترابری هستند بتوانند در صورت لزوم با استفاده از این سیستم پشتیبان تصمیم، نگرشی عمیق‌تر به قضیه داشته باشند و تصمیم‌های دقیق‌تری اتخاذ نمایند. فرآیند خطازدایی یکی از مراحل مهم و تاثیرگذار در فرآیند برنامه‌نویسی است که در این گزارش و در طی این فرآیند نزدیک به ۵۰ بار خطازدایی انجام و اشکال‌های موجود برطرف گردید.

---

۱ Bug

پیوست ۲: برنامه‌ی ماکرو

برنامه‌ی ماکرو نوشته شده:

Macro "Disaster"

RunDbox("Disaster")

endMacro

Dbox "Disaster" Title"مدیریت بحران شبکه راهای کشور" :

init do

tree_array} =
"} **Per Disaster**} ,"
"} **MST Analyse**} ,"
"} **State** ,{,"
"} **Pole** ,{"
,{{{{
"} **Post Disaster**} ,"

```
"}                    SP Analyse} ,"
"}                       State ,{,"
"}                       Pole ,{"
{{{{{

 fmt_array} =
" ,۱}}          L", "ARDABIL"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
"  ,۱}}         L",  "AZARBAIJANE.GHARBI"},  {۸,  "L",  ""},
     {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "AZARBAIJANE.SHARGHI"}, {۸, "L", ""},
     {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "BUSHEHR"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
"   ,۱}}         L",   "CHAHAR.MAHAL.O.BAKHTIARI"},   {۸,
     "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "EILAM"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "ESFAHAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "FARS"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "GILAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "GOLESTAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "HAMEDAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
"  ,۱}}         L",  "HORMOZGAN"},  {۸,  "L",  ""},  {۲۱,  "L  ,"
     ,{{""
" ,۱}}          L", "KERMAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
"  ,۱}}         L",  "KERMANSHAH"},  {۸,  "L",  ""},  {۲۱,  "L  ,"
     ,{{""
```

```
" ,۱}}          L", "KHORASANE.JONOBI"}, {۸, "L", ""}, {۲۱,
    "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "KHORASANE.RAZAVI"}, {۸, "L", ""}, {۲۱,
    "L,{{"" ,"
"  ,۱}}         L", "KHORASANE.SHOMALI"}, {۸, "L", ""},
    {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "KHOZESTAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
"   ,۱}}        L", "KOHGILOYE.O.BOYER.AHMAD"}, {۸,
    "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "KORDESTAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "LORESTAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "MARKAZI"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "MAZANDARAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L ,"
    ,{{""
" ,۱}}          L", "QAZVIN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "QOM"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "SEMNAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "SISTAN.O.BALOCHESTAN"}, {۸, "L", ""},
    {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "TEHRAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "YAZD"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
" ,۱}}          L", "ZANJAN"}, {۸, "L", ""}, {۲۱, "L,{{"" ,"
  {

    EndItem

Button "Close" ٦٩,٧٥, ٢٦, ١٠Cancel do
```

Return()

endItem

Tab List ۰,۵, ۰,۵, ۸۰, ۲۵**variable: tab_idx**

//**First tab**

==========

==

Tab prompt "آشنایی با پروژه " :

Text ۱, ۱, ۲۵**Variable**"معرفی پروژه " :

Text ۱, ۲, ۳۰**Variable**:

"----------"

"_

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable** "پروژه جاری به مدل‌سازی شبکه حمل و نقل":

Text ۱۰, **after,** ۳۰**Variable** "":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable** "جاده ای کشور به شکل ریاضی و با استفاده":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable**"":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable** "از مفاهیم بهینه سازی در زمینه مساله جریان":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable**"":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable** "در شبکه جهت تحلیل عملکرد شبکه در شرایط":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable**"":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable** "بحران و برای سناریوهای مختلف و همچنین ":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable**"":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable** "الویت بندی کمان های آسیب دیده جهت ترمیم":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable**"":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable** "و بازسازی با توجه به منابع محدود و با هدف":

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable**"":

Text ۰, after, ۵۰Variable "بررسی پیوسته بودن شبکه(مساله حداقل درخت":
Text ۰, after, ۵۰Variable"":
Text ۰, after, ۵۰Variable "دربرگیرنده) و کاهش زمان دسترسی به مناطق":
Text ۰, after, ۵۰Variable"":
Text ۰, after, ۵۰Variable " با توجه به الویت آن ها براساس جمعیت تحت":
Text ۰, after, ۵۰Variable"":
Text ۰, after, ۵۰Variable "پوشش و افزایش دسترسی در وهله دوم (مساله":
Text ۰, after, ۵۰Variable"":
Text ٤, after, ۵۰Variable "کوتاه ترین مسیر) می پردازد . ":
Text ٤۰, ۱, ۲۵Variable" درختواره پروژه " :
Text ٤۰, ۲, ۳۰Variable:
"_____"
"_
Tree View ۵۰, ٤, ۲۰, ۱۰Prompt "کلیات پروژه "**List: tree_array**
Variables: tree_idx,
tree_status, tree_states
//**Second tab**
"==========
==
Tab prompt"شرایط پیش از بحران" :
Text ۱, ۱, ۲۵Variable: " **MST**"معرفی
Text ۱, ۲, ۳۰Variable:
"_____"
"_

Text ۰, after, ۵۰Variable" حداقل درخت دربرگیرنده عبارتست از ":
Text ۱۰, after, ۲۰Variable"":

```
Text ۰, after,  ۵۰Variable "شبکه ای متصل که دربرگیرنده تمامی":
Text ۱۰, after,  ۲۰Variable"":
Text ۰, after,  ۵۰Variable " گره ها بوده و مجموع فاصله را حداقل":
Text ۱۰, after,  ۲۰Variable"":
Text ۷, after,  ۵۰Variable "نماید .  ":
Text ٤۰, ۱,  ۲۵Variable"قطب یا استان مورد نظرا را انتخاب کنید" :
Text ٤۰, ۲,  ۳۰Variable:
_____________________________________________________"
    "_
  Text ٤۰, ۱,  ۳۰Variable: "Double-click a row":
  Scroll List "scroll۱" ٤٦, ۳,۵, ۲۵,  ۱۷,۵Prompt: "List: " List:
    fmt_array
     Variables: scroll۱_idx, click
     do
       if click =  ۱then do  // double click
          zip = fmt_array[scroll۱_idx][۱][۳
    showmessage انتخاب شد')MST +'" آنالیز zip('برای استان + '"
MAP=openmap("E:\\STATES\\"+ zip +"\\"+ zip
    +".map",{{"auto project","true({{"
//          network=opennetwork("D:\\STATES\\"+ zip +"\\"+
    zip +".net",{{"auto project","true({{"
btn = MessageBox,"?یا تغییر ظرفیتی در کمان های شبکه به وجود آمده است؟")
"}}          Caption", "Question,{"
"}          Buttons", "YesNo({{"
if btn = "No" then Return()
showmessage('از منوی سمت راست علامت تعجب را انتخاب کنید')
showmessage('دقت کنید که حتما لایه کمان فعال باشد')
```

showmessage('بعد از تایید این پیام دکمه خروج را زده و از برنامه خارج شوید')
showmessage ('بعد از این مرحله شما با وارد کردن مقدار ضریب کاهش ظرفیت می توانید از برنامه تصمیم یار استفاده کنید')
showmessage('موفق باشید')

end
EndItem

//**Third tab**

==========
==

Tab prompt"شرایط پس از بحران" :
Text ۱, ۱, ۲۵**Variable: "** **SP**"معرفی
Text ۱, ۲, ۳۰**Variable**:
"_
----------"
"_

Text ۰, **after,** ۵۰**Variable** ":کوتاه ترین مسیر عبارتست از تعیین بهترین
Text ۱۰, **after,** ۲۰**Variable**"":
Text ۰, **after,** ۵۰**Variable** ":مسیری که کوتاه ترین مسافت بین دو گره
Text ۱۰, **after,** ۲۰**Variable**"":
Text ۲, **after,** ۵۰**Variable** ".":مبدا و مقصد را در یک شبکه ارائه نماید
Text ٤۰, ۱, ۳۰**Variable**"قطب یا استان مورد نظرا را انتخاب کنید" :
Text ٤۰, ۲, ۳۰**Variable**:
"_
----------"
"_

Text ٤۰, ۱, ۳۰**Variable: "Double-click a row"**:
Scroll List "scroll۱**"** ٤٦, ۳,۵, ۲۵, ۱۷,۵**Prompt: "List: " List: fmt_array**

```
Variables: scroll۱_idx, click
    do
      if click = ۱then do  // double click
        zip = fmt_array[scroll۱_idx][۱][۳
showmessage انتخاب شد')SP +'" آنالیز zip('برای استان + '"
MAP=openmap("E:\\STATES\\"+ zip +"\\"+ zip
    +".map",{{"auto project","true({{"
//network=opennetwork("D:\\STATES\\"+ zip +"\\"+ zip
    +".net",{{"auto project","true({{"
btn = MessageBox,"?یا تغییر ظرفیتی در کمان های شبکه به وجود آمده است؟")
"}}          Caption", "Question,{"
"}          Buttons", "YesNo({{"
if btn = "No" then Return()
showmessage('از منوی سمت راست علامت تعجب را انتخاب کنید')
showmessage('دقت کنید که حتما لایه کمان فعال باشد')
showmessage('بعد از تایید این پیام  دکمه خروج را زده و از برنامه خارج شوید')
showmessage بعد از این مرحله شما با وارد کردن مقدار ضریب کاهش ظرفیت می')
    توانید از برنامه تصمیم یار استفاده کنید')
showmessage    ('موفق باشید')
    end
    EndItem
      endDbox
```

پیوست ۳: پیاده‌سازی یک نمونه موردی

استان تهران به مرکزیت شهر تهران با وسعتی حدود ۹۸۱/۱۲ کیلومتر مربّع، بین ۳٤ تا ۵/۳٦ درجه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول جغرافیایی شرقی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود است. جمعیت این استان در سال ۱۳۸۵، ۲۸۱/۸۵۸/۱۳ نفر بوده‌است. مرکز آن و به علاوه پایتخت ایران، شهر تهران است. ری، شهرستان قدس، شهرستان شهریار، شهرستان ورامین، شهرستان دماوند، شهرستان فیروزکوه، شمیرانات، و اسلام‌شهر از دیگر مراکز جمعیتی مهم استان هستند.

استان تهران با بیش از ۱۳ میلیون نفر جمعیت، ۱۹ درصد جمعیت کل کشور را در خود جای داده است. از این میزان ۲۵۲/۱۲ هزار نفر در مناطق شهری و ۱٦۱/۱ هزار نفر در مناطق روستایی آن ساکن هستند. ٦/٦۳ درصد از جمعیت شهری استان تهران در شهر تهران و ۳/۱۱ درصد آن در شهرستان کرج و مابقی در حدود ۵۰ شهر دیگر استان ساکن هستند. رشد جمعیت شهر تهران ٤/۱ درصد است که در مقایسه با دهه قبل اندکی افزایش یافته است. در میان شهرهای استان تهران، شهریار با ۸/۱٦ درصد رشد سالیانه در مقام اول رشد جمعیت قرار داشته و کمال‌شهر با ٤/۱۱ درصد، ملارد با ۱۰ درصد، پاکدشت با ۹/۹ درصد و صفادشت با ۸/۸ درصد رشد سالانه در مقام‌های بعدی قرار دارند. در طول دهه ۱۳۸۵-۱۳۷۵ ده شهر به شهرهای استان تهران اضافه شده‌اند که بزرگ‌ترین آن‌ها شهرهای اندیشه، صالح‌آباد، باغستان و نصیرآباد به ترتیب با ۷۵ هزار، ٥٤ هزار، ۵۲ هزار و ۲۳ هزار نفر جمعیت و

کوچک‌ترین آن‌ها شهر ارجمند با ۱۷۰۰ نفر بوده است. استان تهران امروزه دارای ١٤ شهرستان، ٤٤ شهر و ۷۸ دهستان است.

استان تهران در جنوب شرقی مرکز رشته کوه‌های البرز که در شمال ایران از آذربایجان تا خراسان با جهت غربی- شرقی کشیده شده قرار دارد. رشته کوه‌های البرز به سه دیواره تقسیم می‌شود:

۱- دیواره شمالی: ارتفاعات محدودی از این دیواره در استان تهران و بقیه آن در استان مازندران قرار دارد.

۲- دیواره میانی: حد شمالی استان را تشکیل می‌دهد و بلندترین قسمت رشته کوه‌های البرز مرکزی است. کوه دماوند و قله آن به ارتفاع ٥٦٧١ متر در بخش لاریجان استان مازندران قرار دارد. این دیواره بزرگ کوهستانی به صورت کوه‌های کندوان و پس از آن کوه‌های طالقان در شمال غربی استان تا محل به هم پیوستن رود الموت به طالقان‌رود ادامه می‌یابد. در شمال شرقی نیز این دیواره با نام رشته ارتفاعات شهرستان فیروزکوه و سوادکوه تا دره رود فیروزکوه (شعبه اصلی حبله‌رود) که از جنوب دامنه‌های شرقی آن می‌گذرد ادامه می‌یابد. در شرق دره فیروزکوه که پس از دریافت زیرشاخه‌هایی حبله‌رود نامیده می‌شود ارتفاعات شهمیرزاد شروع می‌شود.

۳- دیواره جنوبی: سومین بخش از ارتفاعات مرکزی است که رودخانه‌های جاجرود و کرج آن را بریده و به سه قسمت جدا از هم تقسیم نموده است. این سه قسمت عبارت‌اند از:

الف- کوه‌های لواسانات که بین دره‌های رود دماوند و جاجرود قرار دارند و در شمال به دره رود لار محدودند. دنباله این کوه‌ها در شرق جاده آبعلی و دماوند تا دره حبله رود ادامه یافته‌اند.

ب- کوه‌های شمیرانات که بین سرچشمه‌های جاجرود و کرج قرار دارند و بلندترین نقطه آن‌ها قله‌های خلنو، سرکچال و کلون‌بستک با ارتفاع بین ٤۲۰۰ تا ٤۳۷۵ متر است.

پ- کوه‌های کهار که از غرب دره رودخانه کرج شروع شده و در جنوب طالقان رود به موازات آن ادامه دارند.

علاوه بر این سه دیوار کوهستانی، در جنوب و شرق دشت تهران کوه‌هایی با ارتفاع کمتر وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها کوه‌های حسن‌آباد و نمک در جنوب و بی‌بی شهربانو و القادر در جنوب شرقی وارتفاعات قصر فیروزه در شرق است.

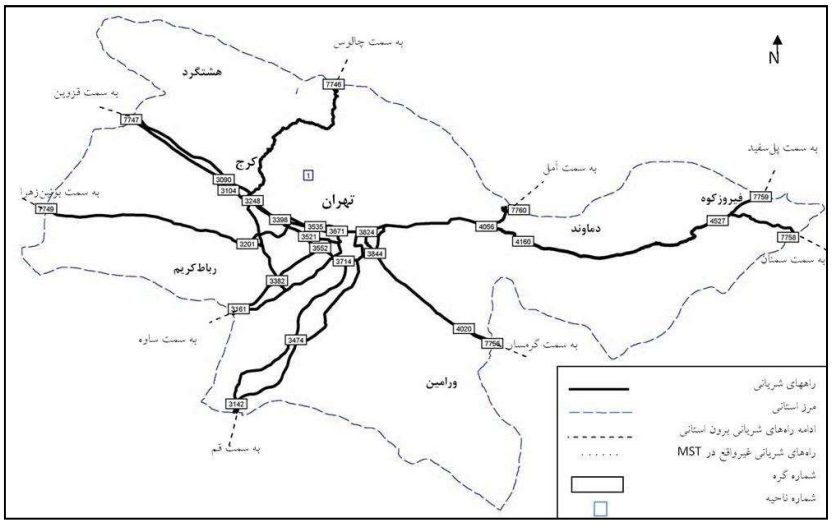
طرح یک نمونهٔ فرضی از بحران

شرایط بحران دارای ویژگی‌های خاصی بوده که طی آن مجموعه‌ای از حوادثی که عملکرد شبکه راه‌ها را تحت تاثیر قرار داده و باعث افت ظرفیت راه و تضعیف امدادرسانی می‌شود رخ می‌دهد. با توجه به پیچیدگی تصمیم‌گیری در این شرایط، بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور با طراحی و تدوین بسته نرم‌افزاری و حل نمونه موردی می‌تواند کمک شایانی به دستگاه متولی نماید. همچنین، با توجه به ماهیت احتمالی بحران و عدم وجود اطلاعاتی دقیق از چگونگی حادث شدن، زمان و مکان آن، بررسی و ارزیابی بسته نرم‌افزاری با استفاده از طرح یک نمونه فرضی از بحران می‌تواند به بررسی وضعیت شبکه کمک کند.

در این بخش از گزارش اقدام به طرح یک نمونه فرضی از بحران می‌شود. محدوده مورد مطالعه در این نمونه موردی، شبکه راه‌های جاده‌ای شریانی استان تهران مشتمل بر ٥٦ گره و ۷۵ کمان مجموعاً به طول ۱۱/۱۰۲۲ کیلومتر بوده که ٤/۳ درصد از کل راه‌های شریانی کشور را تشکیل می‌دهد. جدول ۱ مشخصات محدوده مورد مطالعه و شکل ۱ محدوده مورد مطالعه و راه‌های شریانی استان تهران را نشان می‌دهند.

جدول ۱ مشخصات شبکه حمل و نقل جاده‌ای شریانی استان تهران

ردیف	ویژگی	مقدار
۱	گره‌ها	٥٦
۲	کمان‌ها	۷۵
۳	طول کل راه‌ها	۱۱/۱۰۲۲ کیلومتر
٤	شماره ناحیه حمل و	۱



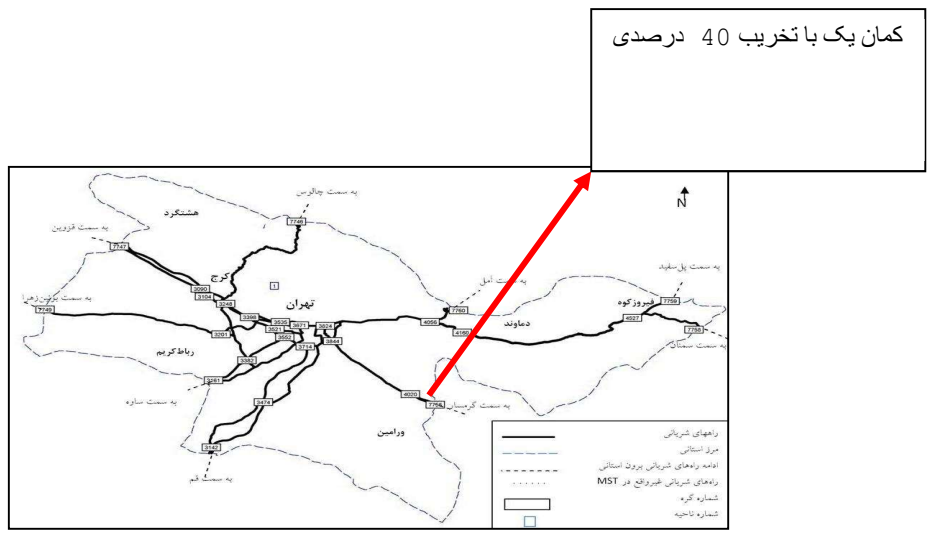
شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و راه‌های شریانی استان تهران

به منظور طرح شرایط بحران برای بررسی سیستم تصمیم‌یار، در این نمونه موردی فرض می‌شود که در منطقهٔ استان تهران زلزله‌ای رخ داده که طی آن در ساعات اولیهٔ وقوع، گزارش‌هایی مبنی بر انسداد برخی از راه‌ها ارسال شده است. طی این حادثه، ۳ کمان از میان کمان‌های راه‌های شریانی استان تهران بین ۲۰ تا ۸۰ درصد تخریب شده‌اند. ویژگی کمان‌های تخریب‌شده به قرار زیر می‌باشد:

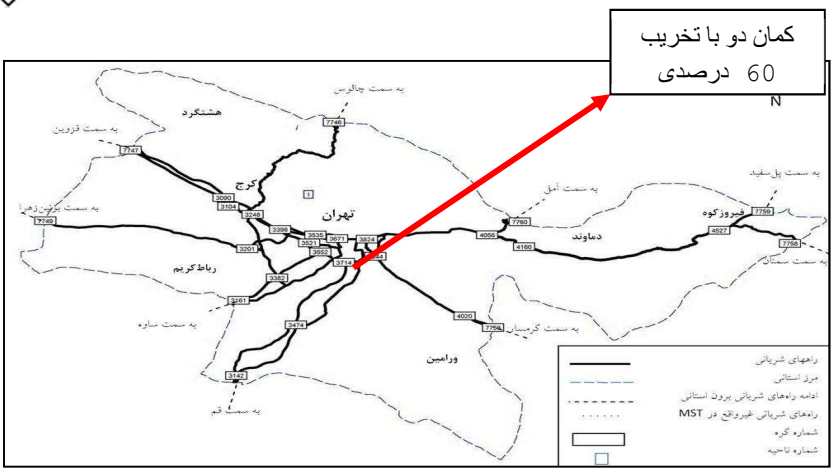
۱- کمان اول با طول ٤۰ کیلومتر در یک نقطه دچار انسداد شده و در نتیجهٔ آن ٤۰ درصد عرض راه مسدود شده است. شکل ۲ کمان یک و محل تخریب‌شده را نشان می‌دهد.

۲- کمان دوم با طول ۲۵ کیلومتر در یک نقطه دچار انسداد شده و در نتیجهٔ آن ٦۰ درصد عرض راه مسدود شده است. شکل ۳ کمان محل تخریب‌شده را نشان می‌دهد.

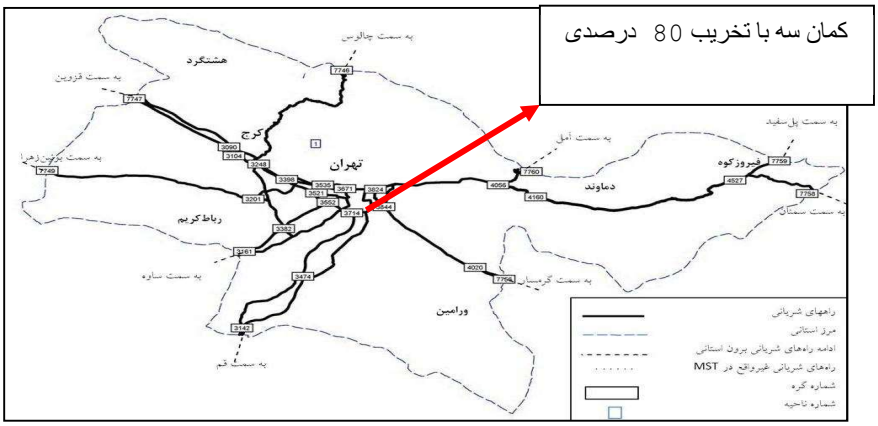
۳- کمان سوم با طول ۳۲ کیلومتر در یک نقطه دچار انسداد شده و در نتیجهٔ آن ۸۰ درصد عرض راه مسدود شده است. شکل ٤ کمان محل تخریب‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- راه‌های شریانی استان تهران و کمان اول با تخریب ٤۰ درصدی



شکل ۳- راه‌های شریانی استان تهران و کمان دوم با تخریب ٦٠ درصدی



شکل ۵۵-راه‌های شریانی استان تهران و کمان سوم با تخریب ۸۰ درصدی

در این فصل از گزارش به ارائهٔ یک نمونه فرضی از بحران پرداخته شد که طی این بحران سه کمان از کمان‌های استان تهران بین ٤٠ تا ۸۰ درصد تخریب شده و طی این تخریب تمام شانه و بخشی از عرض جاده از بین رفت. جدول خلاصه نتایج حاصل از تحلیل ظرفیت کمان‌های تخریب‌شده که با توجه به مراحل پیشین این پروژه به‌دست آمده را نشان می‌دهد.

جدول پ-۱- خلاصه نتایج حاصل از تحلیل ظرفیت کمان‌های تخریب‌شده

ردیف	میزان تخریب عرض راه (درصد)		میزان ظرفیت باقیماندهٔ راه		
	محل خرابی				کل
	باند	شانه	باند	شانه	
۱	٤۰	۱۰۰	۹۳/۰	۹٦/۰	۸۹/۰
۲	٦۰	۱۰۰	٦۰/۰	۹٦/۰	۵۷/۰
۳	۸۰	۱۰۰	۲٦/۰	۹٦/۰	۲۵/۰

برای نمونه ملاحظه می‌شود که در نتیجهٔ تخریب ۸۰ درصد از عرض کمان سوم، ۷٤ درصد از ظرفیت آن کاسته شده و این کمان با ظرفیتی معادل ۲٦ درصد ظرفیت اولیهٔ خود عمل خواهد کرد. این نتایج در فصل آینده و به منظور برآورد داده‌ها و اطلاعات لازم برای نمونهٔ فرضی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

پیوست٤: برآورد داده‌ها و اطلاعات لازم برای نمونهٔ فرضی

٤-١- مقدمه

بررسی وضعیت شبکه به خصوص در شرایط بحران مسئله‌ای پیچیده و درخور تامل است. وضعیت عملکرد شبکه در حالت کلی به شدت بحران (زلزله) و میزان خرابی‌های به‌وجودآمده بستگی داشته و در امدادرسانی تاثیرگذار است. در فصل پیشین این گزارش یک نمونه فرضی از بحران معرفی شد. در این فصل، جمع‌آوری و برآورد داده‌ها و اطلاعات لازم برای نمونهٔ فرضی معرفی‌شده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

برآورد داده‌ها و اطلاعات لازم برای نمونهٔ فرضی

در بررسی وضعیت عملکردی شبکه به کمک سیستم تصمیم‌یار و حل نمونه موردی، اقدام به برآورد داده‌ها و اطلاعات ضروری خواهد بود. در این راستا، برای تکمیل مراحل پیش‌پردازش اقدام به تکمیل چک لیست بحران می‌شود. چک لیستی که به این منظور طراحی شده است درواقع تلاش دارد داده‌های موجود در زمان بحران را به صورت مدوّن بیان نموده و از پراکندگی اطلاعات موجود و احیاناً سردرگمی جلوگیری کند

جدول یک نمونه از چک لیست بحران را نشان می‌دهد.

به منظور استفاده از سیستم تصمیم‌یار پیشنهاد می‌شود که در گام نخست کاربر اقدام به تکمیل چک لیست بحران نموده تا با دیدی فراگیر بتواند از این سیستم بهره

ببرد. به عنوان مثال، برای نمونه فرضی از بحران که در این گزارش بررسی می‌شود فرم مذکور در جداول پیش رو پر شده است.

جدول پ-۲-نمونه‌ای از چک لیست بحران

بسمه تعالی چک لیست بحران									
نوع حادثه:	–	محل حادثه		استان: شهرستان:				– –	
تعداد کمان‌های تخریب‌شده:		یک ☐		دو ☐		سه ☐		چهار ☐	پنج ☐ بیشتر ☐
مشخصات کمان‌ها		تعداد باند	نوع راه	نوع منطقه	شدت تخریب (درصد)		ضریب کاهش ظرفیت		
					با ندانه	شا نه	باند		شانه
دیفر	۱	–	–	–	–	–	–	–	–
	۲	–	–	–	–	–	–	–	–
	۳	–	–	–	–	–	–	–	–
	٤	–	–	–	–	–	–	–	–
	۵	–	–	–	–	–	–	–	–
	بیشتر	–	–	–	–	–	–	–	–
آیا نیازی به تحلیل در حد قطب است؟				بله ☐		خیر ☐			

جدول پ-۳- چک لیست بحران تکمیل‌شده برای نمونه موردی شهرستان تهران

بسمه تعالی چک لیست بحران										
نوع حادثه:	زلزله		محل حادثه		استان: تهران شهرستان: تهران					
تعداد کمان‌های تخریب‌شده:	یک *		دو □		سه □		چهار □		پنج □	بیشتر □
مشخصات کمان‌ها	تعداد باند	نوع راه	نوع منطقه	شدت تخریب (درصد)		ضریب کاهش ظرفیت				
				با ند	شا نه	شا نه	باند			
ردیف ۱	٤	آزاد راه	تپه‌ماهوری	۰	۸	۰	۱۰	۰/	۲٦	٦/۰	۹
۲										
۳										
٤										
٥										
بیشتر										
آیا نیازی به تحلیل در حد قطب است؟			بله *		خیر □					

جدول پ-٤- چک لیست بحران تکمیل‌شده برای نمونه موردی شهرستان ورامین

بسمه تعالی چک لیست بحران										
نوع حادثه:	زلزله	محل حادثه	استان:		شهرستان:		تهران	ورامین		
تعداد کمان‌های تخریب‌شده:	یک *	دو □	سه □	چهار □	پنج □	بیشتر □				
مشخصات کمان‌ها	تعداد باند	نوع راه	نوع منطقه	شدت تخریب (درصد)		ضریب کاهش ظرفیت				
				با ندند	شا نه	باز د	شانه			
ردیف ۱	۳	بزرگراه	تپه‌ماهوری	٦ ۰	۱ ۰۰	٦۰ ۰/	۹ ٦/۰			
۲										
۳										
٤										
٥										
بیشتر										
آیا نیازی به تحلیل در حد قطب است؟			بله *		خیر □					

Abstract

The subject of the book is to examine the performance of the country's road transport network in times of disaster with an emphasis on road capacity. To this end, it is important to note that the planning for disaster management varies from time to time. In addition, one of the characteristics of the disaster that makes it difficult to deal with is its potential nature, so one of the most important is to examine different approaches and levels of study for disaster.

In this study, it is attempted to investigate network performance in disaster situations by a combination of systematic (macro and holistic) and engineering (micro) approaches. Therefore, by studying the information of the roads network of the country, the source-destination demand matrix and the country zoning information were collected and the methodology of the network performance assessment was presented. Then, a user-friendly software package was designed and developed to provide a software package to check the status of the network in times of disaster. That is, a decision-making system is developed in which the user can monitor the performance of the network.

Finally, in the light of the steps taken in the preceding steps, a case study was solved in full detail and for all scenarios. During this process, the pre- and post- disaster scenarios for the case study of the arterial roads of Tehran Province (Zone 1 in the country) were studied and the shortest spreading tree and shortest path problems were solved for different scenarios and the results were compared.s

Road, Housing & Urban Development Research Center

Impact of earthquake on the capacity of the road transportation

By:

Maghsood Pouryari

Mehran Gholami

Maryam Heidarzadeh

Research Report

BHRC Publication No. R-899

2020