شهرداری قم

عنوان پروژه:

مطالعات طرح جامع حمل‌ونقل بار درون‌شهری کلان‌شهر قم

عنوان گزارش:

فصل ۷ – ساخت مدل‌های مورد نیاز برای پیش‌بینی تقاضای بار در سال افق مطالعه

کدسند:

QFMP-RP-07-v.02

سطح اعتبار سند:

ویرایش اولیه جهت بررسی *(IIFR)*

(غیرقابل استناد)

تاریخ ارائه سند:

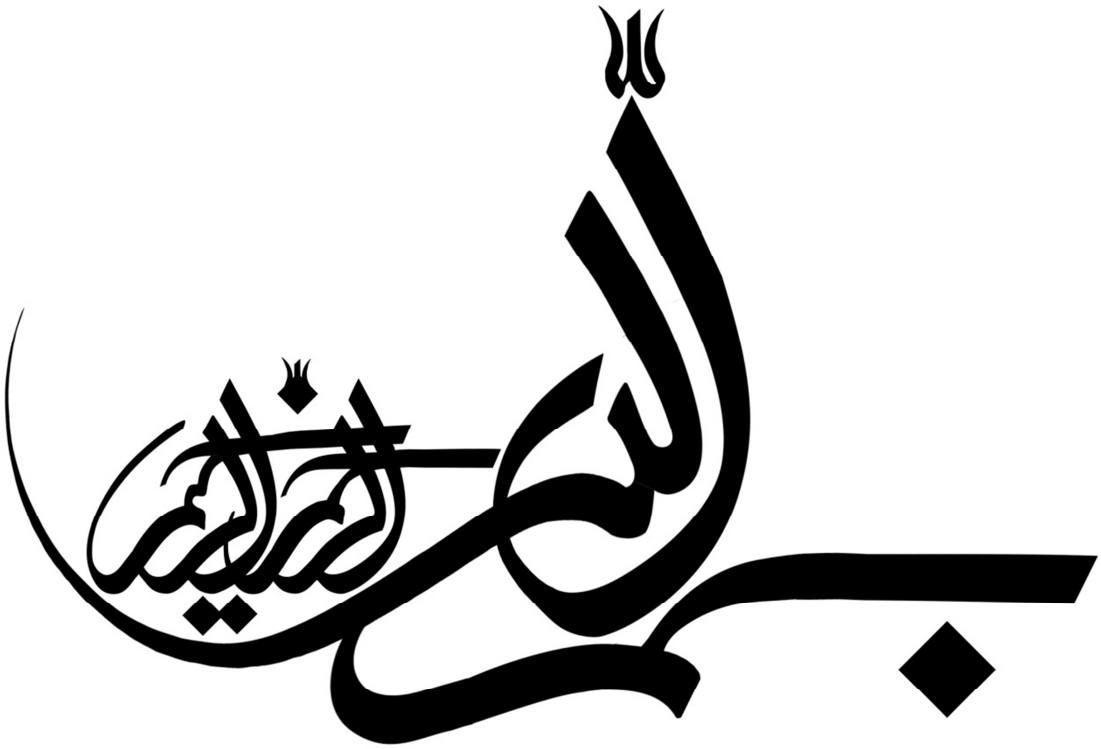
تیر ماه ۱۳۹۷

IRIANA

مهندسین مشاور آیریانا طرح و برنامه

آدرس کارفرما: بلوار امام موسی صدر، شهرداری کلان‌شهر قم، معاونت حمل‌ونقل و ترافیک

آدرس مشاور (دفتر مرکزی): تهران، سعادت‌آباد، بلوار مدیریت، پلاک ۲۵، واحد ۴



شرح خلاصه گزارش و معرفی همکاران

خلاصه اطلاعات گزارش			
عنوان مطالعات:	**مطالعات طرح جامع حمل‌ونقل بار درون‌شهری قم**		
عنوان گزارش:	**ساخت مدل‌های مورد نیاز برای پیش‌بینی تقاضای بار در سال افق مطالعه**		
عنوان کارفرما:	**شهرداری کلان‌شهر قم** **معاونت حمل‌ونقل و ترافیک**	**عنوان مشاور:**	**مهندسین مشاور آیریانا طرح و برنامه** **دپارتمان برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و ترافیک** **گروه مطالعات لجستیک و حمل کالا**
کد سند: QFMP-RP-07-v.02		**تاریخ تهیه سند: ۱۳۹۷/۰٤/۲۳**	
گردش کار گزارش:	**ویرایش اولیه جهت بررسی و ارائه به کارفرما به پیوست نامه شماره .....-۹۷**		

همکاران پروژه در تهیه این گزارش

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت در پروژه
۱	محمدعلی آرمان	مدیر پروژه
۲	امیر رافع	مدیر فنی
۳	سمیرا دیباج	کارشناس ارشد پروژه
۴	حمیدرضا سیاهکالی مرادی	کارشناس ارشد پروژه
۵	محمد نیرومند	کارشناس ارشد پروژه

خلاصه محتوای گزارش

در این بخش از مطالعات به ساخت و پرداخت مدل‌های مورد نیاز جهت پیشبینی تقاضای حمل‌ونقل بار در کلان‌شهر قم در سال افق مطالعه پرداخته شده است. نخست برای هفت گروه کالای عمده شناسایی شده مدل‌های تولید و جذب به صورت مدل‌های مرسوم رگرسیونی ساخته شده است. سپس برای تبدیل سفرها از تناژ به وسیله نقلیه به منظور تخصیص روی شبکه معابر، مدل‌های انتخاب وسیله نقلیه ساخته شده است. سپس مدل توزیع سفرها ساخته و پرداخته شده است. مدل به کار رفته در این مطالعات از نوع جاذبه است همچنین شبکه معابر کلان‌شهر قم برای سال پایه و افق مطالعات در نرم‌افزار کلان‌نگر ساخته شده است. آخرین گام در این مرحله بسط مدل مکان‌یابی پایانه‌های بار در کلان‌شهر قم است. در گزارش فصل هفتم (گزارش پیش‌رو) مطابق شرح خدمات، اهداف و شاخص‌ها تعریف شده است و مدل ریاضی مکان‌یابی ارائه شده است. حل مدل و تعیین محل پایانه‌ها و تحلیل نتایج، مطابق شرح خدمات در فصل هشتم مطالعات صورت خواهد گرفت.

کنترل و تأیید نهایی ارسال (مهر و امضاء)

مریم غیاث‌الدین

مدیرعامل مهندسین مشاور آیریانا طرح و برنامه

فصل هفتم

ساخت مدل‌های مورد نیاز برای پیش‌بینی تقاضای بار در سال افق مطالعه

فهرست عناوین

۷- ساخت مدلهای مورد نیاز برای پیش‌بینی تقاضای بار در سال افق مطالعه..... ۱۵

۷-۱- ساخت مدل‌های ایجاد سفرهای باری با رویکرد کالا مبنا و وسیله‌مبنا..... ۱۵

۷-۱-۱- تعاریف..... ۱۶

۷-۱-۲- مروری بر مطالعات مشابه قبلی..... ۱۶

۷-۱-۲-۱- تفاوت بین مدل‌های تولید مسافر، تولید بار و تولید سفر باری..... ۱۶

۷-۱-۲-۱-۱- مزایا و معایب رویکردهای مختلف ساخت مدل‌های ایجاد بار..... ۱۷

۷-۱-۲-۲- عوامل موثر در تولید سفرهای باری..... ۱۸

۷-۱-۲-۳- مدل‌های همفزون و ناهمفزون..... ۲۰

۷-۱-۳- انواع مدل‌های ایجاد سفر..... ۲۰

۷-۱-۳-۱- تحلیل ضرایب رشد..... ۲۱

۷-۱-۳-۲- مدل برازش خطی یا رگرسیون..... ۲۱

۷-۱-۳-۳- روش محاسبه نرخ سفر..... ۲۲

۷-۱-۴- بررسی پارامترهای مدل ایجاد سفر در مطالعات حمل‌ونقل بار درون‌شهری کلان‌شهر قم..... ۲۲

۷-۱-۴-۱- ارزیابی مدل..... ۲۳

۷-۱-۵- برازش مدل‌های تولید تناژ بار برای گروه‌های بار مختلف..... ۲۳

۷-۱-۵-۱- تولید تناژ بار گروه عمده بار یک: میوه و تره‌بار..... ۲۴

۷-۱-۵-۲- تولید تناژ بار گروه عمده بار دو: مواد غذایی فاسدشدنی..... ۲۷

۷-۱-۵-۳- تولید تناژ بار گروه عمده بار سه: سایر مواد غذایی به جز میوه و تره‌بار و مواد غذایی فاسدشدنی ۳۰

۷-۱-۵-۴- تولید تناژ بار گروه عمده بار چهار: لوازم منزل و اداری..... ۳۳

۷-۱-۵-۵- تولید تناژ بار گروه عمده بار پنج: کالاهای صنعتی..... ۳۶

۷-۱-۵-۶- تولید تناژ بار گروه عمده بار شش: مصالح ساختمانی و نخاله..... ۳۹

۷-۱-۵-۷- تولید تناژ بار گروه عمده بار هفت: سایر بارها..... ۴۲

۷-۱-۶- برازش مدل‌های جذب تناژ بار برای گروه‌های بار مختلف ۴۵
۷-۱-۶-۱- جذب تناژ بار گروه عمده بار یک: میوه و تره‌بار ۴۶
۷-۱-۶-۲- جذب تناژ بار گروه عمده بار دو: مواد غذایی فاسدشدنی ۴۸
۷-۱-۶-۳- جذب تناژ بار گروه عمده بار سه: سایر مواد غذایی به جز میوه و تره‌بار و مواد غذایی فاسدشدنی ۵۲
۷-۱-۶-۴- جذب تناژ بار گروه عمده بار چهار: لوازم خانگی و اداری ۵۵
۷-۱-۶-۵- جذب تناژ بار گروه عمده بار پنج: کالای صنعتی ۵۹
۷-۱-۶-۶- جذب تناژ بار گروه عمده بار شش: مصالح ساختمانی و نخاله ۶۳
۷-۱-۶-۷- جذب تناژ بار گروه عمده بار هفت: سایر بارها ۶۶
۷-۱-۷- ساخت و پرداخت مدلهای انتخاب وسیله نقلیه باری ۷۰
۷-۱-۷-۱- فرضیات مدل‌های انتخاب گسسته ۷۰
۷-۱-۷-۲- مدل‌های لوجیت چند گانه ۷۲
۷-۱-۷-۳- انواع ساختار مدل‌های لوجیت ۷۳
۷-۱-۷-۴- برخی از خصوصیات مدل‌های لوجیت چند جملهای ۷۳
۷-۱-۷-۵- مدل‌های لوجیت سلسله مراتبی یا آشیانهای ۷۴
۷-۱-۷-۶- مدل پروبیت چند متغیره ۷۵
۷-۱-۷-۷- مدل پروبیت دو دویی ۷۵
۷-۱-۷-۸- روش تخمین تمایل بیشینه ۷۶
۷-۱-۷-۹- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار یک: میوه و تره بار ۷۹
۷-۱-۷-۱۰- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار دو: مواد غذایی فاسد شدنی ۸۰
۷-۱-۷-۱۱- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار سه: سایر انواع مواد غذایی بجز گروه‌های ۱ و ۲ ..... ۸۲
۷-۱-۷-۱۲- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار چهار: لوازم خانگی و اداری ۸۴

۷-۱-۷-۱۳- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار پنجم: محصولات و کالاهای صنعتی ۸۵
۷-۱-۷-۱۴- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار ششم: مصالح ساختمانی و نخاله ۸۷
۷-۱-۷-۱۵- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار هفتم: سایر کالاها ۸۹
۷-۲- ساخت مدل توزیع سفرهای باری در شبکه معابر شهر مقدس قم ۹۴
۷-۲-۱- تعاریف اولیه ۹۴
۷-۲-۱-۱- هزینه عمومی سفر ۹۴
۷-۲-۱-۲- ماتریس سفر ۹۵
۷-۲-۱-۳- تابع مقاومت (مسافت) سفر ۹۵
۷-۲-۲- مدل‌های مرسوم توزیع سفر ۹۶
۷-۲-۲-۱- مدل‌های رشد ۹۶
۷-۲-۲-۱-۱- رشد یکنواخت ۹۶
۷-۲-۲-۱-۲- مدل رشد یک قیدی ۹۷
۷-۲-۲-۱-۳- مدل رشد دو قیدی ۹۷
۷-۲-۲-۱-۴- مدل دیترویت ۹۷
۷-۲-۲-۱-۵- مدل فراتر ۹۸
۷-۲-۲-۱-۶- ویژگی‌های مدل‌های رشد ۹۸
۷-۲-۲-۲- مدل‌های جاذبه ۹۹
۷-۲-۲-۲-۱- مقدمه ۹۹
۷-۲-۲-۲-۲- مدل‌های جاذبه یک قیدی ۹۹
۷-۲-۲-۲-۳- مدل‌های جاذبه دو قیدی ۱۰۰
۷-۲-۲-۲-۴- مدل‌های جاذبه با شاخص جذابیت در مقصد ۱۰۰
۷-۲-۲-۲-۵- پرداخت مدل جاذبه ۱۰۱
۷-۲-۲-۲-۶- ویژگی‌های مدل جاذبه ۱۰۴

۷-۲-۲-۳- مدلهای غیرمرسوم توزیع سفر ۱۰۵
۷-۲-۲-۳-۱- مدل لوجیت با دسته کاربران مختلف ۱۰۵
۷-۲-۲-۳-۲- مدل لوجیت نقطه پاشنه‌ای ۱۰۶
۷-۲-۲-۳-۳- مدلهای مبتنی بر وجود فرصت ۱۰۷
۷-۲-۲-۴- مدلهای احتمالی ۱۰۹
۷-۲-۲-۴-۱- مدل انتخاب فضایی ۱۰۹
۷-۲-۲-۴-۲- مدل جانشین برای مدل انتخاب فضایی ۱۰۹
۷-۲-۲-۴-۳- مدل ایوینگ ۱۱۰
۷-۲-۳- مروری بر نحوه پرداخت و اعتبارسنجی مدل جاذبه ۱۱۰
۷-۲-۳-۱- نحوه پرداخت و ارزیابی مدل جاذبه ۱۱۰
۷-۲-۳-۲- تعیین مقادیر مقاومت سفر ۱۱۱
۷-۲-۳-۳- آزمونهای اعتبارسنجی مدل جاذبه ۱۱۱
۷-۲-۳-۴- ضریب تطابق ۱۱۲
۷-۲-۳-۵- نکات مهم در مدلسازی توزیع سفر ۱۱۳
۷-۳- ساخت مدل شبکه حمل‌ونقل بار در افق‌های مطالعه ۱۱۶
۷-۴- بسط مدل مکان‌یابی برای مراکز اصلی حمل و توزیع بار به تفکیک گروه کالاهای عمده (حداکثر دو گروه کالا) ۱۲۶
۷-۴-۱- مقدمه ۱۲۶
۷-۴-۱-۱- کاربردهای مکان‌یابی ۱۲۶
۷-۴-۱-۲- اهمیت مطالعات مکان‌یابی ۱۲۷
۷-۴-۱-۳- انواع مسائل مکان‌یابی ۱۲۸
۷-۴-۱-۳-۱- مساله P -میانه ($MiniSum$) ۱۲۸
۷-۴-۱-۳-۲- مساله P-مرکز ($MiniMax$) ۱۲۹
۷-۴-۱-۳-۳- مساله مکان‌یابی مراکز با ظرفیت نامحدود ($UFLP$) ۱۲۹
۷-۴-۱-۳-۴- مساله مکان‌یابی مراکز با ظرفیت محدود ($CFLP$) ۱۲۹

۷-۴-۱-۳-۵- مساله تخصیص نمایی (QAP) ۱۲۹
۷-۴-۲- تعیین اهداف و شاخص‌ها در مکان‌یابی پایانه‌ها ۱۲۹
۷-۴-۲-۱- انواع اهداف در مسائل مکان‌یابی ۱۳۰
۷-۴-۲-۲- انواع فاصله در حل مسائل مکان‌یابی ۱۳۰
۷-۴-۲-۲-۱- فاصله پله‌ای ۱۳۱
۷-۴-۲-۲-۲- فاصله اقلیدسی ۱۳۱
۷-۴-۲-۲-۳- مجذور فاصله اقلیدسی ۱۳۱
۷-۴-۲-۲-۴- کوتاه‌ترین مسیر ۱۳۲
۷-۴-۲-۳- معیارها و زیرمعیارهای کلیدی در مکان‌یابی ۱۳۲
۷-۴-۳- ارائه مدل مفهومی و ریاضی برای مکانیابی پایانه‌ها ۱۳۳
۷-۴-۳-۱- روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ۱۳۳
۷-۴-۳-۲- روش‌های تصمیم‌گیری ترسیمی و شبکه‌ای ۱۳۳
۷-۴-۳-۳- روش‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری ریاضی ۱۳۴
۷-۴-۳-۳-۱- مساله $\boldsymbol{P}-$ مرکز ۱۳۴
۷-۴-۳-۳-۲- مساله $\boldsymbol{P}$- میانه ۱۳۵
۷-۴-۳-۳-۳- مساله $\boldsymbol{P}$- پراکندگی ۱۳۶
۷-۴-۳-۳-۴- مساله مکان‌یابی حداکثر مجموع ۱۳۷
۷-۴-۳-۳-۵- مکان‌یابی با هدف بدست آوردن بیشترین سهم بازار ۱۳۷
۷-۴-۳-۳-۶- مکان‌یابی تخصیص ۱۳۹
۷-۴-۳-۳-۱- مدل مکان‌یابی پایانه بار کلان‌شهر قم ۱۴۰

فهرست جداول

جدول ۷-۱ عوامل مختلف موثر در ساخت مدل‌های ایجاد سفرهای باری ۱۹
جدول ۷-۲ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار اول با متغیرهای تاثیرگذار ۲۴
جدول ۷-۳ مدل‌های تولید سفر گروه بار اول در کلانشهر قم ۲۵
جدول ۷-۴ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار دوم با متغیرهای تاثیرگذار ۲۸
جدول ۷-۵ مدل‌های تولید سفر گروه بار اول در کلانشهر قم ۲۹
جدول ۷-۶ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار سوم با متغیرهای تاثیرگذار ۳۱
جدول ۷-۷ مدل‌های تولید سفر گروه بار سوم در کلانشهر قم ۳۲
جدول ۷-۸ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار چهارم با متغیرهای تاثیرگذار ۳۴
جدول ۷-۹ مدل‌های تولید سفر گروه بار چهارم در کلانشهر قم ۳۵
جدول ۷-۱۰ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار پنجم با متغیرهای تاثیرگذار ۳۷
جدول ۷-۱۱ مدل‌های تولید سفر گروه بار پنجم در کلانشهر قم ۳۸
جدول ۷-۱۲ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار ششم با متغیرهای تاثیرگذار ۴۰
جدول ۷-۱۳ مدل‌های تولید سفر گروه بار ششم در کلانشهر قم ۴۱
جدول ۷-۱۴ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار هفتم با متغیرهای تاثیرگذار ۴۳
جدول ۷-۱۵ مدل‌های تولید سفر گروه بار هفتم در کلانشهر قم ۴۴
جدول ۷-۱۶ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار اول با متغیرهای تاثیرگذار ۴۶
جدول ۷-۱۷ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار اول در کلانشهر قم ۴۷
جدول ۷-۱۸ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار دوم با متغیرهای تاثیرگذار ۴۹
جدول ۷-۱۹ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار اول در کلانشهر قم ۵۰
جدول ۷-۲۰ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار سوم با متغیرهای تاثیرگذار ۵۳
جدول ۷-۲۱ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار سوم در کلانشهر قم ۵۴
جدول ۷-۲۲ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار چهارم با متغیرهای تاثیرگذار ۵۶
جدول ۷-۲۳ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار چهارم در کلانشهر قم ۵۷
جدول ۷-۲۴ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار پنجم با متغیرهای تاثیرگذار ۶۰
جدول ۷-۲۵ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار چهارم در کلانشهر قم ۶۱
جدول ۷-۲۶ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار ششم با متغیرهای تاثیرگذار ۶۴
جدول ۷-۲۷ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار ششم در کلانشهر قم ۶۵

جدول ۷-۲۸ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار هفتم با متغیرهای تاثیرگذار..... ۶۷
جدول ۷-۲۹ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار هفتم در کلانشهر قم..... ۶۸
جدول ۷-۳۱- *نتایج معیارهای آماری برای اهداف سفر مختلف*..... ۹۳
جدول ۷-۳۲- ضرایب نهایی، نوع تابع و نوع ماتریس مقاومت سفر انتخاب شده برای توزیع سفرها با مدل جاذبه به تفکیک گروه باری..... ۱۱۸

فهرست شکل‌ها

شکل ۷-۱ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار میوه و تره بار ۲۷
شکل ۷-۲ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار مواد غذایی فاسد شدنی ۳۰
شکل ۷-۳ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار مواد غذایی غیر فاشد شدنی (مواد غذایی بجز گروه بارهای یک و دو) ۳۳
شکل ۷-۴ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار لوازم خانگی و اداری ۳۶
شکل ۷-۵ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار لوازم خانگی و اداری ۳۹
شکل ۷-۶ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار مصالح ساختمانی ۴۲
شکل ۷-۷ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار گروه سایر ۴۵
شکل ۷-۸ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار میوه و تره بار ۴۸
شکل ۷-۹ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار مواد غذایی فاسد شدنی ۵۲
شکل ۷-۱۰ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار گروه سوم کالاهای عمده ۵۵
شکل ۷-۱۱ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار لوازم خانگی و اداری ۵۹
شکل ۷-۱۲ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار انواع کالاهای صنعتی ۶۳
شکل ۷-۱۳ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار مصالح ساختمانی و نخاله ۶۶
شکل ۷-۱۴ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب گروه عمده بار هفتم (سایر بارها) ۶۹
شکل ۷-۱۵ انواع ساختار مدل‌های لوجیت ۷۳
شکل ۷-۱۶ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی میوه و ترهبار در شهر قم ۷۹
شکل ۷-۱۷ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی مواد غذایی فاسد شدنی در شهر قم ۸۱
شکل ۷-۱۸ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی مواد غذایی فاسد شدنی در شهر قم ۸۳
شکل ۷-۱۹ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی لوازم خانگی و اداری در شهر قم ۸۴
شکل ۷-۲۰ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی محصولات و کالاهای صنعتی در شهر قم ۸۶
شکل ۷-۲۱ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی مصالح ساختمانی و نخاله در شهر قم ۸۸
شکل ۷-۲۲ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی سایر بارها در شهر قم ۹۰
شکل ۷-۲۳ ماتریس مبدأ- مقصد سفر ۹۵
شکل ۷-۲۴ نمودار انواع مختلف تابع مسافت ۹۶
شکل ۷-۲۵ نحوه نمایش توزیع طول سفرها در یک ناحیه شهری ۱۰۲
شکل ۷-۲۶ نمایشی شماتیک از توزیع طول سفرها در تکرارهای مختلف ۱۰۳

شکل ۷-۲۷ نحوه تصحیح برازش‌ها روی محور لگاریتمی ۱۰۴
شکل ۷-۲۸ فلوچارت ساخت و پرداخت مدل جاذبه ۱۱۶
شکل ۷-۲۹- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره یک (میوه و تره‌بار)..... ۱۱۸
شکل ۷-۳۰- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره دو (مواد غذایی فاسد شدنی) ۱۱۹
شکل ۷-۳۱- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره سه (سایر انواع مواد غذایی)..... ۱۱۹
شکل ۷-۳۲- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره چهار (کلیه انواع لوازم و مبلمان خانگی و اداری) ۱۲۰
شکل ۷-۳۳- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره پنج (کلیه محصولات و مواد خام صنعتی) ۱۲۰
شکل ۷-۳۴- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره شش (مصالح ساختمانی و نخاله‌های ساختمانی)..... ۱۲۱
شکل ۷-۳۵- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره هفت (سایر انواع کالا)..... ۱۲۱
شکل ۷-۳۶ تصویر شبکه شهر قم در سال پایه در نرم‌افزار کلان‌نگر ۱۲۲
شکل ۷-۳۷ تصویر شبکه شهر قم در سال افق نهایی در نرم‌افزار کلان‌نگر ۱۲۳
شکل ۷-۳۸ مقایسه شمارش حجم در ایستگاه‌های شمارش با نتایج تخصیص خودروهای باری در اوج صبح پیش از اعمال کالیبراسیون TFlowFuzzy ۱۲۴
شکل ۷-۳۹ مقایسه شمارش حجم در ایستگاه‌های شمارش با نتایج تخصیص خودروهای باری در اوج صبح پس از اعمال کالیبراسیون TFlowFuzzy ۱۲۴
شکل ۷-۴۰- نتایج تخصیص همزمان مسافری و باری در سال پایه ۱۳۹۵ ..... ۱۲۵
شکل ۷-۴۱ کاربری‌های مسکونی و حمل‌ونقل ۱۴۱
شکل ۷-۴۲ کاربری‌های مذهبی ۱۴۲
شکل ۷-۴۳ کاربری‌های تاریخی..... ۱۴۳
شکل ۷-۴۴ موقعیت شهر قم و خطوط راه‌آهن مرتبط با این شهر ۱۴۵
شکل ۷-۴۵ موقعیت کریدورهای جاده‌ای و ریلی کلان‌شهر قم..... ۱۴۶
شکل ۷-۴۶ موقعیت شهرک‌های صنعتی و تسهیلات حمل‌ونقلی استان قم..... ۱۴۷
شکل ۷-۴۷ موقعیت ایستگاه گار مانوری در ناحیه راه‌آهن قم ۱۴۸
شکل ۷-۴۸ مجاورت سایت گمرک کلان‌شهر قم با ایستگاه گار مانوری ۱۴۸
شکل ۷-۴۹ هاب لجستیکی چند وجهی قم ۱۴۹

۷- ساخت مدل‌های مورد نیاز برای پیش‌بینی تقاضای بار در سال افق مطالعه

در این بخش از مطالعات به ساخت و پرداخت مدل‌های مورد نیاز جهت پیشبینی تقاضای حمل‌ونقل بار در کلان‌شهر قم در سال افق مطالعه پرداخته شده است. بر این اساس نخست برای هفت گروه کالای عمده شناسایی شده مدل‌های تولید و جذب به صورت مدل‌های مرسوم رگرسیونی ساخته شده است. سپس برای تبدیل سفرها از تناژ به وسیله نقلیه به منظور تخصیص روی شبکه معابر، مدل‌های انتخاب وسیله نقلیه ساخته شده است. در همین گام متوسط عامل بار (متوسط نسبت وزن بار به ظرفیت وسیله نقلیه باری) هر نوع وسیله نقلیه باری تعیین شده است. سپس مدل توزیع سفرها ساخته و پرداخته شده است. مدل به کار رفته در این مطالعات از نوع جاذبه است و توضیحات آن در این گزارش ارائه شده و مدل در محیط نرم‌افزار کلان-نگر PTV-VISUM ساخته شده است. همچنین شبکه معابر کلان‌شهر قم برای سال پایه و افق مطالعات در نرم‌افزار کلان-نگر ساخته شده است. برای این کار وضع موجود معابر شهر به عنوان شبکه سال پایه و شبکه معابر طرح تفصیلی به عنوان شبکه افق طرح در نظر گرفته شده است. آخرین گام در این مرحله بسط مدل مکان‌یابی پایانه‌های بار در کلان‌شهر قم است. در گزارش فصل هفتم (گزارش پیش‌رو) مطابق شرح خدمات، اهداف و شاخص‌ها تعریف شده است و مدل ریاضی مکان‌یابی ارائه شده است. حل مدل و تعیین محل پایانه‌ها و تحلیل نتایج، مطابق شرح خدمات در بخش (۸-۲-۱) در فصل هشتم مطالعات صورت خواهد گرفت.

۷-۱- ساخت مدل‌های ایجاد سفرهای باری با رویکرد کالا مبنا و وسیله‌مبنا

یکی از بخش‌های اساسی در فرآیند برنامه‌ریزی کلان و بلندمدت حمل‌ونقل، برآورد تقاضای سفر آینده است. هسته اصلی این فرآیند، را مدل‌های چهارمرحله‌ای برآورد تقاضای سفر تشکیل می‌دهند که اولین گام آن، مدل‌های برآورد تعداد سفرهای باری ایجاد شده در نواحی ترافیکی کلان‌شهر قم است. این مدل‌ها با دو رویکرد ساخته می‌شوند.

الف) مدل‌های تولید و جذب تناژ بار در نواحی ترافیکی کلان‌شهر قم (مدل‌های کالا-مبنا)

ب) تبدیل تناژ تولید و جذب شده به وسیله نقلیه باری از طریق مدل‌های انتخاب وسیله (مدل‌های وسیله-مبنا)

در مدل‌های تولید و جذب سفرهای باری، از متغیرهای مختلفی مثل تعداد کارمندان، مساحت کاربری‌های مختلف تجاری، صنعتی و غیره و جمعیت ساکن در منطقه به عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده تناژ بار استفاده می‌شود.

همچنین به سبب ماهیت متفاوت سفرهایی که دارای گروه کالاهای مختلف هستند، مدل‌های ایجاد سفر باری به تفکیک گروه کالا برآورد می‌شوند. دسته‌بندی گروه‌های کالا در کلان‌شهر قم، قبلاً در گزارش فصل ششم ارائه شده است.

۷-۱-۱- تعاریف

در این بخش به منظور تبیین مفاهیم و تعاریف به کار رفته در این مطالعات، برخی تعاریف به‌صورت کلی ارایه شده است [۱و ۲].

- **سفر باری[1]:** سفر باری یعنی حرکت از یک مبدأ مشخص به یک مقصد مشخص با نوع بار معین و وسیله سفر باری معین.
- **مبدأ[2] و مقصد[3] سفر باری:** در تشریح جهت یک سفر باری، به نقطه شروع سفرباری، مبدأ سفر و به نقطه پایانی سفر باری، مقصد سفر می‌گویند.
- **تولید سفر باری[4] (تولید وسیله نقلیه باری):** تولید سفر باری، بیانگر تعداد سفرهای باری است که در یک مبدا مشخص توسط وسیله نقلیه باری انجام می‌شود.
- **تولید تناژ باری[5]:** تولید تناژ باری، بیانگر مجموع وزن گروه باری مشخصی است که در یک مبدا مشخص توسط وسیله نقلیه باری انجام می‌شود.
- **جذب سفر باری[6] (جذب وسیله نقلیه باری):** جذب سفر باری، بیانگر تعداد سفرهای باری است که در یک مقصد مشخص توسط وسیله نقلیه باری انجام می‌شود.
- **جذب تناژ باری[7]:** جذب تناژ باری، بیانگر مجموع وزن گروه باری مشخصی است که در یک مقصد مشخص توسط وسیله نقلیه باری انجام می‌شود.
- **ایجاد سفر باری[8]:** مجموعه تولید و جذب سفرهای باری (تناژ بار و وسیله نقلیه باری) را ایجاد سفر باری گویند.

۷-۱-۲- مروری بر مطالعات مشابه قبلی

۷-۱-۲-۱- تفاوت بین مدل‌های تولید مسافر، تولید بار و تولید سفر باری

به منظور درک درست و کامل تولید سفر مسافری و باری، لازم است که تفاوت آشکاری بین تولید تقاضا (مانند سفرهای مسافران، تناژ بار و غیره) و تولید ترافیک (مانند سفرهای سواری شخصی، سفرهای خودروهای باری و غیره) تعریف شود. با وجود اینکه تحلیلگران شبکه‌های حمل‌ونقلی بر این باورند که این اختلاف در حمل‌ونقل مسافر از درجه اهمیت کمی برخوردار

[1] Journey
[2] Origin
[3] Destination
[4] Freight Trip Production
[5] Freight Vehicle Production
[6] Freight Trip Attraction
[7] Freight Vehicle Attraction
[8] Freight Trip Generation

است، در حمل‌ونقل بار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این اختلاف نظر به دلیل درجه ارتباط بین تولید تقاضا و سفر است. در مطالعات حمل‌ونقل مسافر، ارتباط منسجمی بین تعداد سفرهای تولیدشده با تعداد سفرهای انجام شده با خودرو وجود دارد. این ارتباط بیشتر در محل‌هایی است که سهم حمل‌ونقل عمومی کم است، چرا که ضریب سرنشین خودروهای سواری کم و در حد ۱/۰ الی ۱/۲ است. در مقابل، در حمل‌ونقل بار بسیاری از مشاغل می‌توانند مقدار بار خود را به مقدار قابل قبولی تغییر دهند تا مجموع هزینه‌های لوجستیکی آنها به حداقل برسد. بنا به این دلیل، ارتباط قوی بین تقاضا و ترافیک وابسته در حمل‌ونقل مسافر در حمل‌ونقل بار دیده نمی‌شود. بنا به دلایل مشابه، امکان نسبت دادن تولید بار با تولید سفر باری هم به راحتی امکان‌پذیر نخواهد بود.

سفرهای مسافری عمدتا در سطح خانوار تولید می‌شوند و با خصوصیات اقتصادی-اجتماعی افراد و خانوار تعیین می‌شوند. سفرهای باری معمولا در محل‌های عمده تجاری، صنعتی، کشاورزی، زراعی، گمرک، ترمینال‌ها و مراکز عمده تولید کالا تولید می‌شوند و به فروشگاه‌ها و مراکز خرده فروشی جذب می‌شوند. این سفرها با خصوصیات تولیدکننده، فهرست سیاست‌های تولیدی و هزینه کلی لوجستیک تعیین می‌شوند.

همچنین برخورد با تولید تقاضای بار و تولید خودروهای باری دو رویکرد کاملا مجزا است. چرا که:

۱- صنایع تولید بار قادر هستند تا به میزان قابل توجهی اندازه و مقدار بار را تغییر دهند. بنابراین صنایع بزرگ تولید سفر باری کمتری از صنایع متوسط و کوچک دارند.

۲- به دلیل ناپایداری سفرهای خودروها، ممکن است که صنایع کوچکی که مقدار کمی بار جذب می‌کنند مقدار نسبتا بزرگی تولید سفر باری داشته باشند. (هم انتقال یک بسته کوچک و هم انتقال پنج بسته کوچک نیازمند یک سفر باری است).

بنا به این دلیل، معمولا نرخ سفرهای باری برای صنایع کوچک، بسیار بیشتر از نرخ سفرهای باری برای صنایع بزرگ است. بنابراین استفاده از روش‌های نرخ سفرهای باری برای پیش‌بینی تولید سفرهای باری پیشنهاد نمی‌شود.

۷-۱-۲-۱-۱- مزایا و معایب رویکردهای مختلف ساخت مدل‌های ایجاد بار

الف) ساخت مدل‌های ایجاد بار به کمک تناژ بار

مزایا:
- ارتباط قوی با متغیرهای اقتصادی
- قابلیت اعمال متغیر اندازه بار انتقالی

معایب:
- نیاز به استفاده از مدلی دیگر برای پیش‌بینی ایجاد سفرهای خودروهای باری پر و خالی
- نیاز به داده‌های کالاها

ب) ساخت مدل‌های ایجاد بار به کمک سفرهای خودروهای باری

مزایا:
- محاسبات آسان
- در نظر گرفتن سفرهای دارای بار و بدون بار

معایب:
- ارتباط بسیار ضعیف با متغیرهای اقتصادی
- در برخی موارد، بدون وابستگی به اندازه صنایع

ج) ساخت مدل‌های ایجاد سفرهای بار به کمک نقل و انتقالات

مزایا: - محاسبات آسان

معایب: - ارتباط بسیار ضعیف با متغیرهای اقتصادی
- در برخی موارد، بدون وابستگی به اندازه صنایع
- تنها در نظر گرفتن سفرهای دارای بار

۷-۱-۲-۲- عوامل موثر در تولید سفرهای باری

همانطور که پیشتر اشاره شد، تولید سفرهای باری تحت تاثیر برخی عوامل. از جمله عوامل موثر در تولید سفرهای باری که در ادبیات موضوع به آن اشاره شده است، به شرح زیر است [۱].

۱- کاربری زمین
۲- فعالیت‌های تجاری در محدوده مورد مطالعه
۳- ترکیبی از خصوصیات کارخانه مانند تعداد کارمندان و مساحت تجاری
۴- نوع صنعت
۵- نوع کالای تولیدی
۶- تعداد کل شاغل
۷- مساحت محل تولید بار
۸- مساحت زیربنا
۹- تعداد کارمندان غیر اداری

مطالعات متفاوتی نیز به منظور تعیین نرخ سفر خودروهای باری اجام شده‌اند که عوامل موثر در آن به شرح زیر است [۱].

۱- داده‌های سری زمانی برای پیش‌بینی تولید و جذب سفر باری
۲- ضرایب ورودی-خروجی
۳- داده‌های گذشته
۴- متوسط ضریب بار در خودروهای باری[1]: این ضریب عبارت است از حاصل تقسیم بار موجود در وسیله نقلیه باری به ظرفیت باری وسیله نقلیه باری (رابطه ۷-۱)

$$LF = \frac{W}{C} \qquad ۱-۷$$

که در آن:

LF: متوسط ضریب بار در خودروهای باری

W: وزن بار موجود در وسیله نقلیه باری

[1] Average loading factor

C: ظرفیت باری وسیله نقلیه باری

در جدول ۷-۱ عوامل مختلف موثر در ساخت مدل‌های تولید و جذب سفرهای باری ارائه شده است.

جدول ۷-۱ عوامل مختلف موثر در ساخت مدل‌های ایجاد سفرهای باری

نام متغیرها	زیرگروه‌ها
متغیرهای وابسته	سفرهای خودروهای باری
	وزن (تناژ) بار
	ارزش ریالی بار
متغیرهای مستقل	تعداد کارمندان و کارکنان
	مساحت محل
	کاربری زمین
	سایر داده‌های اقتصادی (فروشگاه‌ها، نوع صنعت . غیره)
	نوع وسیله نقلیه باری
	نوع کالا
نوع مدل	همفزون
	ناهمفزون
سطح جغرافیایی مطالعه	کلانشهر
	استان
	کشور
روش پیش‌بینی مدل	ضریب رشد سفرهای باری
	رگرسیون
	رگرسیون مکانی
	طبقه‌بندی چندتایی[1]
	داده‌های سری زمانی
	ورودی–خروجی
	شبکه عصبی
ساختار مدل	خطی
	غیرخطی

طبق مطالعات گذشته انجام شده در این زمینه، ۳۷درصد از مطالعات با سفرهای وسایل نقلیه باری و ۵۸درصد از مطالعات با تناژ بار مدلسازی می‌کنند. ۳۸درصد از مدل‌ها با داده‌های همفزون، ۴۸درصد با داده‌های ناهمفزون و بقیه ۱۴درصد قابل فهم از مرور ادبیات نیستند. کارمندان صنایع و کارخانه‌ها در ۴۹درصد مواقع، مساحت کاربری در ۹درصد مواقع، نوع کالا در ۱۳درصد مواقع، کاربری زمین در ۲درصد مواقع و سایر متغیرها در ۲۷درصد مواقع جزو متغیرهای مستقل مدل‌های پیش‌بینی ایجاد سفر باری هستند. ۳۱درصد از مدل‌ها با روش رگرسیون، ۱۰درصد با روش نرخ سفر، ۶درصد با روش طبقه‌بندی چندتایی و ۲۷درصد از سایر روش‌ها ساخته شده‌اند. بیش از ۶۶درصد از ساختار مدل‌ها خطی هستند [۱].

[1] Multiple Classification

۷-۱-۲-۳- مدل‌های همفزون و ناهمفزون

انواع مدل‌های تولید سفر را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود:

۱- مدل‌های بر پایه اطلاعات هر واحد اقتصادی و صنعتی که به آن‌ها مدل‌های ناهمفزون[1] گفته می‌شود.

۲- مدل‌های بر پایه اطلاعات ناحیه، که به آن‌ها مدل‌های همفزون[2] گفته می‌شود.

پیش‌بینی‌پذیری متغیرهای مورد نیاز در مدل‌های ایجاد سفر علت اصلی در رویکرد گسترده به سمت مدل‌های همفزون است. در مراحل ساخت مدل‌های ایجاد سفر، وجود یا عدم وجود اطلاعات برای متغیرهای مستقل مدل، از موارد بسیار مهم در انتخاب متغیرهاست. معمولاً تهیه اطلاعات و یا پیش‌بینی آن برای سال افق به مراتب دشوارتر و پیچیده‌تر از تهیه اطلاعات برای سال پایه است. در این حالت، مهم آن است که مدل‌ساز، از کاربرد متغیرهایی در مدل، که پیش‌بینی مقادیر آن‌ها برای آینده امکان‌پذیر است استفاده کند. بیشتر مدل‌هایی که برای برآورد تقاضای حمل کالا بصورت عملی تا امروز مورد استفاده قرار گرفته‌اند از نوع همفزون (تجمعی) بوده‌اند.

۷-۱-۳- انواع مدل‌های ایجاد سفر

به طور کلی از روش‌های زیر برای برآورد میزان تقاضای محل بار استفاده می‌شود:

- برای برخی از انواع کالاها می‌توان میزان عرضه و تقاضا را به طور مستقیم برآورد نمود. بطور مثال کالاهایی مانند شکر، مواد نفتی، آهن و زغال سنگ را می‌توان از این دسته کالاها بر شمرد. می‌توان برای برآورد عرضه و تقاضای این کالاها بطور مستقیم اطلاعات مربوط به آنها را از تولیدکنندگان بدست آورد. استفاده از این روش برای مدلسازی میزان عرضه و تقاضای کالاها در حالت برون‌شهری مناسب بوده ولی برای حالت درون‌شهری چندان کاربردی نداشته و پیشنهاد نمی‌شود.

- استفاده از مدل‌های کلان اقتصادی؛ به‌طور مثال استفاده از مدل‌های ورودی-خروجی[3] در مقیاس منطقه‌ای به جای مقیاس کشوری قابل پیگیری است.

- استفاده از مدل‌های ضرایب رشد که به طور مشابه در برآورد میزان تقاضای سفر مسافران استفاده می‌شود. این روش در سطح محلی و محدوده و برای یک کالای خاص استفاده می‌شود.

- استفاده از مدل‌های رگرسیون چندجمله‌ای برای هر ناحیه برای بدست آوردن برآوردهای مناسب از میزان عرضه و تقاضای کالا در سطح ناحیه‌ای بخصوص در مطالعات شهری استفاده می‌شود.

[1] Disaggregate
[2] Aggregate
3 - Input-Output Models

- میزان تقاضا را می‌توان براساس مقدار فضای خالی انبارها و کل فضای موجود برای حمل‌ونقل در هر ناحیه و به جای استفاده از میزان توسعه صنایع در مناطق شهری به دست آورد. این موضوع در مطالعات خرد کاربردهای فراوانی دارد.

۷-۱-۳-۱- تحلیل ضرایب رشد[1]

این مدل ابتدایی‌ترین روش در پیش‌بینی سفر روش ضریب رشد است که در رابطه ۷-۲ ارائه شده است و برای پیش‌بینی سطحی یا برآورد نرخ سفر در پروژه‌هایی در مقیاس کوچک مناسب است:

$$T_i = F_i . t_i \qquad ۷-۲$$

که در آن:

T_i : تعداد سفرهای آینده در ناحیه i

t_i : تعداد سفرهای حال در ناحیه i

F_i : ضریب رشد است که می‌تواند مانند رابطه ۷-۳ به دست آید.

$$F_i = \frac{f(E_i^d, A_i^d, LU_i^d, C_i^d)}{f(E_i^c, A_i^c, LU_i^c, C_i^c)} \qquad ۷-۳$$

و در آن: کارمندان صنایع و کارخانه‌ها در ۴۹درصد مواقع، مساحت کاربری در ۹درصد مواقع، نوع کالا در ۱۳درصد مواقع، کاربری زمین در ۲درصد مواقع و سایر متغیرها در ۲۷درصد مواقع جزو متغیرهای مستقل مدل‌های پیش‌بینی ایجاد سفر باری هستند

E : تعداد کارمندان صنایع و کارخانه‌ها در ناحیه i برای سال پایه (c) و برای سال طراحی (d)

A : مساحت کاربری در ناحیه i برای سال پایه (c) و برای سال طراحی (d)

LU : کاربری زمین در حوزهٔ i برای سال پایه (c) و برای سال طراحی (d)

C : نوع کالا در حوزهٔ i برای سال پایه (c) و برای سال طراحی (d)

۷-۱-۳-۲- مدل برازش خطی یا رگرسیون

مدل‌های رگرسیونی[2] معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های پیش‌بینی تولید سفر هستند. در این نوع مدل‌ها سعی می‌شود تا عدد ثابت (عرض از مبدأ) در برآورد خط رگرسیون ناچیز شود و یا به عبارتی خط برازش شده از مبدأ عبور کند. گاهی نیز عدد ثابت بزرگی به دست می‌آید که باعث رد شدن معادله رگرسیون می‌شود.

ممکن است برای بعضی از ناحیه‌ها، دسته‌ای از اطلاعات مربوط به بعضی از متغیرهای مستقل وجود نداشته باشند (به طور مثال، هیچ سفر باری از نوع خاصی از بار در یک ناحیه تولید نشده باشد). به این ناحیه‌ها، ناحیه‌های صفر (خنثی) می‌گویند[1]. در این شرایط ناحیه‌های صفر باید از تحلیل حذف شوند.

[1] Growth Factor Madels
[2] Regression Models

در مورد مدل‌های همفزون ذکر این نکته ضروری است که هرچه اندازه ناحیه کوچک‌تر باشد، تعداد سفرهای درون ناحیه‌ای کمتر می‌شود؛ ولی از طرف دیگر دو نتیجه ناخوشایند زیر را به دنبال دارد:

- پرهزینه‌تر شدن مدل‌ها از نظر جمع‌آوری داده‌ها، پرداخت و عملیاتی کردن مدل
- بزرگتر شدن خطاهای نمونه‌گیری

۷-۱-۳-۳- روش محاسبه نرخ سفر

برخی مطالعات کوتاه‌مدت به منظور ارزیابی نیازهای حمل‌ونقلی در یک کریدور، محله، محدوده مشخص و یا مطالعات اثرسنجی به علت تغییرات محلی در شبکه مثل ایجاد یک مرکز خرید، نیاز به بررسی و تعیین نرخ سفر دارند. به این منظور، روش تقریبی محاسبه نرخ سفر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش سفرهای تولید شده توسط کاربری‌های مولد سفر و سفرهای جذب شده توسط کاربری‌های جاذب سفر گروه‌بندی شده و منتج به دسته‌بندی نرخ‌های تولید سفر برای گروه‌های مختلف کاربری زمین می‌شوند.

۷-۱-۴- بررسی پارامترهای مدل ایجاد سفر در مطالعات حمل‌ونقل بار درون‌شهری کلان‌شهر قم

همان‌گونه که قبلا نیز اشاره شد با استفاده از اطلاعاتی که در اختیار مشاور قرار گرفته، پارامترهای ذیل *به تفکیک نواحی ترافیکی باری* استخراج شده‌اند که در مدل‌های تولید و جذب تناژ باری کلان‌شهر قم قابل استفاده هستند:

۱- جمعیت نواحی ترافیکی باری
۲- جمعیت شاغل در نواحی باری (شاغل در محل سکونت)
۳- سطح اشتغال در نواحی باری (شاغل در محل شغل)
۴- مساحت انواع کاربری‌ها در نواحی باری
۵- تعداد واحد خرده فروشی در نواحی باری
۶- مساحت مجوزهای صادر شده برای ساخت و ساز در نواحی باری
۷- وجود کاربری‌های خاص و بزرگ مرتبط با بار و کالا در نواحی باری

این اطلاعات از طریق مرکز ملی آمار ایران و طرح تفصیلی و کاربری اراضی کلان‌شهر قم و نیز مطالعات طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک این شهر استخراج شده‌اند. فرآیند آماده‌سازی اطلاعات شامل مراحل زیر است:

- پردازش اطلاعات خام،
- بررسی درستی داده‌ها و تصحیح آن‌ها در صورت نیاز،
- منطبق کردن داده‌ها بر نواحی ترافیکی کدگذاری شده،

[1] Null zone

- یکسان‌سازی مقطع زمانی اطلاعات.

در مطالعه حاضر استفاده از برازش (رگرسیون) خطی چندگانه به عنوان راهکاری برای ارائه مدل‌های تولید و جذب در ۲۰۵ ناحیه داخلی باری مورد توجه قرار گرفته است. در این مدل‌ها فرض می‌شود که تعداد سفرهای تولید یا جذب شده توسط یک ناحیه (متغیر وابسته) به تعدادی مشخصه قابل اندازه‌گیری (متغیر مستقل) مرتبط است. متغیر وابسته (y) تعداد سفرهای تولید یا جذب شده و متغیرهای مستقل ($x_1, x_2, \ldots, x_n$) عواملی از قبیل شرایط اقتصادی و اجتماعی و کاربری‌ها هستند که ممکن است به مدل اضافه شوند. در بسط معادلات همبستگی فرض بر اینست که تمام متغیرها کاملاً از هم مستقل، پیوسته و دارای توزیع نرمال باشند.

همچنین با توجه به همگون نبودن ناحیه‌بندی باری انجام شده در شهر قم، از لحاظ پارامترهای اقتصادی و اجتماعی و با توجه به اینکه این ناحیه‌بندی بر مبنای تقاضای باری برآورد شده منتج از مطالعات مسافری انجام شده است، لذا برای کاهش اثرات ناهمگونی نواحی باری، در ساخت و برازش مدل استفاده از متغیرهای مجازی استفاده شده است. تشریح این متغیرها در بخش‌های بعدی به طور مفصل انجام خواهد شد.

۷-۱-۴-۱- ارزیابی مدل

در این مطالعه ارزیابی مدل با توجه به معیار معناداری مدل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. معناداری مدل با استفاده از شاخص برازندگی (R^2) مشخص می‌شود. لازم به یادآوری است که رسم نمودار برآورد- مشاهده نیز از نظر بصری میزان دقت مدل را نشان می‌دهد.

۷-۱-۵- متغیرهای استفاده شده در مطالعات قم

در این مطالعات از متغیر جمعیت و برخی متغیرهای کاربری زمین از قبیل مساحت بازارهای میوه و تره‌بار، کاربری تجاری، صنعتی، کارگاهی و وجود برخی کاربری‌های خاص از قبیل سیلو مرکزی، کشتارگاه مرکزی و غیره استفاده شده است. متغیر جمعیت بر اساس آخرین آماربرداری نفوس و مسکن که در سال ۱۳۹۵ به عمل آمده در مدل‌ها استفاده شده است. پیگیری‌های مداوم کارفرمای محترم در تهیه این اطلاعات در زمان مناسب به نحوی که قابل استفاده در مدل‌ها باشد بسیار موثر بوده است. همچنین آخرین ویرایش مربوط به طرح تفصیلی (اسفند ماه ۱۳۹۶) و وضعیت موجود اراضی شهر رشت از طریق کارفرمای محترم تهیه و در اختیار مشاور قرار گرفته و به عنوان متغیر در مدل‌های پیش‌بینی تولید و جذب سفرهای باری استفاده شده است. پیشبینی تقاضای سفرهای باری برای سال افق مطالعات نیز بر مبنای پیش‌بینی‌های طرح تفصیلی و طرح جامع از کاربری زمین و جمعیت در سال افق مطالعات؛ انجام شده است.

۷-۱-۶- برازش مدل‌های تولید تناژ بار برای گروه‌های بار مختلف

در بخش‌های قبلی توضیحاتی در خصوص مدل‌های تولید و جذب سفر باری ارائه شد. در این بخش از گزارش فرایند ساخت و پرداخت مدل‌های تولید سفر برای هریک از گروه‌های عمده بار در کلانشهر قم –که شامل هفت گروه عمده است–

توضیح داده شده است. این مدل‌ها از نوع رگرسیون خطی هستند و روند مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار R انجام شده است. پس از آن در بخش‌های بعدی گزارش، میزان برازندگی مدل‌ها بررسی شده است.

۷-۱-۶-۱- تولید تناژ بار گروه عمده بار یک: میوه و تره‌بار

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های تولید سفر به کاربرد توضیح داده شده است. درخصوص مدل تولید سفرهای گروه بار اول متغیرهای مستقلی از قبیل تعداد واحدهای کسبی در ناحیه، وجود بازار عمده پخش میوه و تره‌بار مساحت کاربری باغ و زمین کشاورزی و غیره می‌توانند موثر باشند.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی تولید سفرهای گروه بار اول است. در جدول ۷-۲ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-۲ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار اول با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه یک	جمعیت ناحیه	تعداد واحد کسبی در ناحیه	مساحت کاربری بازارهای روز	مساحت کاربری باغ	مساحت کاربری زمین کشاورزی	مجموع مساحت زمین کشاورزی و باغ
تناژ تولیدی بار گروه یک	۱.۰۰۰	۰.۲۰۱	۰.۰۵۱	۰.۳۶۹	۰.۶۹۱	۰.۴۹۱	۰.۷۱۷
جمعیت ناحیه	۰.۲۰۱	۱.۰۰۰	۰.۱۵۴	۰.۵۳۲	۰.۰۷۶	۰.۰۷۵	۰.۰۸۴
تعداد واحد کسبی در ناحیه	۰.۰۵۱	۰.۱۵۴	۱.۰۰۰	۰.۰۹۴	۰.۱۸۲	۰.۰۵۹	۰.۱۷۷
مساحت کاربری بازارهای روز	۰.۳۶۹	۰.۵۳۲	۰.۰۹۴	۱.۰۰۰	۰.۰۱۹	۰.۰۲۰	۰.۰۲۱
مساحت کاربری باغ	۰.۶۹۱	۰.۰۷۶	۰.۱۸۲	۰.۰۱۹	۱.۰۰۰	۰.۴۱۳	۰.۹۹۱
مساحت کاربری زمین کشاورزی	۰.۴۹۱	۰.۰۷۵	۰.۰۵۹	۰.۰۲۰	۰.۴۱۳	۱.۰۰۰	۰.۵۳۷
مجموع مساحت زمین کشاورزی و باغ	۰.۷۱۷	۰.۰۸۴	۰.۱۷۷	۰.۰۲۱	۰.۹۹۱	۰.۵۳۷	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۲ متغیرهای مساحت کاربری باغ و مجموع مساحت زمین کشاورزی و باغ با متغیر وابسته تولید تناژ بار میوه و تره‌بار دارای همبستگی مناسب و قابل قبول است. از طرفی وجود سه میدان عمده میوه و تره‌بار

مرکزی، میدان مطهری و بازار کهنه به ترتیب در نواحی ترافیکی ۱۵۷، ۱۴۳ و ۹۷ به عنوان متغیر صفر و یکی[1] ممکن است در مدل اثر مثبت داشته باشد. با توجه به اینکه همبستگی دو متغیر مساحت کاربری باغ و مجموع مساحت زمین کشاورزی و باغ با هم بسیار زیاد و ۰.۹۱۱ است نباید این دو متغیر به صورت همزمان در مدل به کار روند. مدل‌های ساخته شده برای تناژ تولید میوه و تره بار در جدول ۷-۳ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ضریب ثابت مدل معمولا صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۳ مدل‌های تولید سفر گروه بار اول در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها						ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	Gar ضریب *(t-test)*	*GarAgr* ضریب *(t-test)*	*D157* ضریب *(t-test)*	*D143* ضریب *(t-test)*	*D97* ضریب *(t-test)*	*3D* ضریب *(t-test)*		
۱	۱۶.۲۴ (۵.۶۷)	–	–	–	–	–	۲۱.۴۵ (۳.۶۵)	۰.۴۳۱
۲	–	۴.۷۲ (۱۳.۸۶)	–	–	–	–	۱۳.۱۳ (۲.۹۱)	۰.۶۸۲
۳	–	۴.۸۵ (۱۹۸.۰۶)	۸۶۷.۳۰ (۱۹۴.۷۲)	۱۵۳.۷۱ (۳۴.۵۱)	۵۴.۱۰ (۱۲.۱۵)	–	۷.۳۹ (۲۲.۵۹)	۰.۸۷۷
۴	–	۴.۸۴ (۱۹.۸۳)	–	–	–	۳۵۸.۳۷ (۱۳.۸۸)	۷.۴۰ (۲.۲۶)	۰.۷۳۴

متغیرهای جدول ۷-۳ به شرح ذیل اند:

Gar: مساحت کاربری باغ (واحد: هکتار)

GarAgr: مجموع مساحت کاربری‌های باغ و زمین کشاورزی (واحد: هکتار)

D157: وجود میدان میوه و تره بار مرکزی (متغیر صفر–یک)

D143: وجود میدان میوه و تره بار بازار کهنه (متغیر صفر–یک)

D97: وجود میدان میوه و تره بار میدان مطهری (متغیر صفر–یک)

[1] Dummy Variable

3D: وجود هر سه میدان میوه و تره بار (متغیر صفر–یک)

C: مقدار عدد ثابت مدل

در این جدول متغیرهای صفر–یک به صورت وجود کاربری ضربدر مساحت آن تعریف شده است که به دلیل اختصار در جدول ذکر نشده اما در مدل نهایی در نظر گرفته شده است.

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶– نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره برای مدل‌های ۲، ۳ و ۴ نسبتاً خوب است اما مدل شماره سه با مقدار R^2 برابر با ۰.۸۷۷ بهترین مدل است. این مدل به فرم رابطه شماره ۷-۴ است:

$$PT1=4.85\times GarAgr+867.3\times D157\times SQ157+153.71\times D143\times SQ143+54.1\times D97\times SQ97+7.39 \quad (R^2=0.877) \qquad ۴\text{-}۷$$

در رابطه اخیر؛

PT1: تولید تاژ بار میوه و تره بار (واحد: تن)

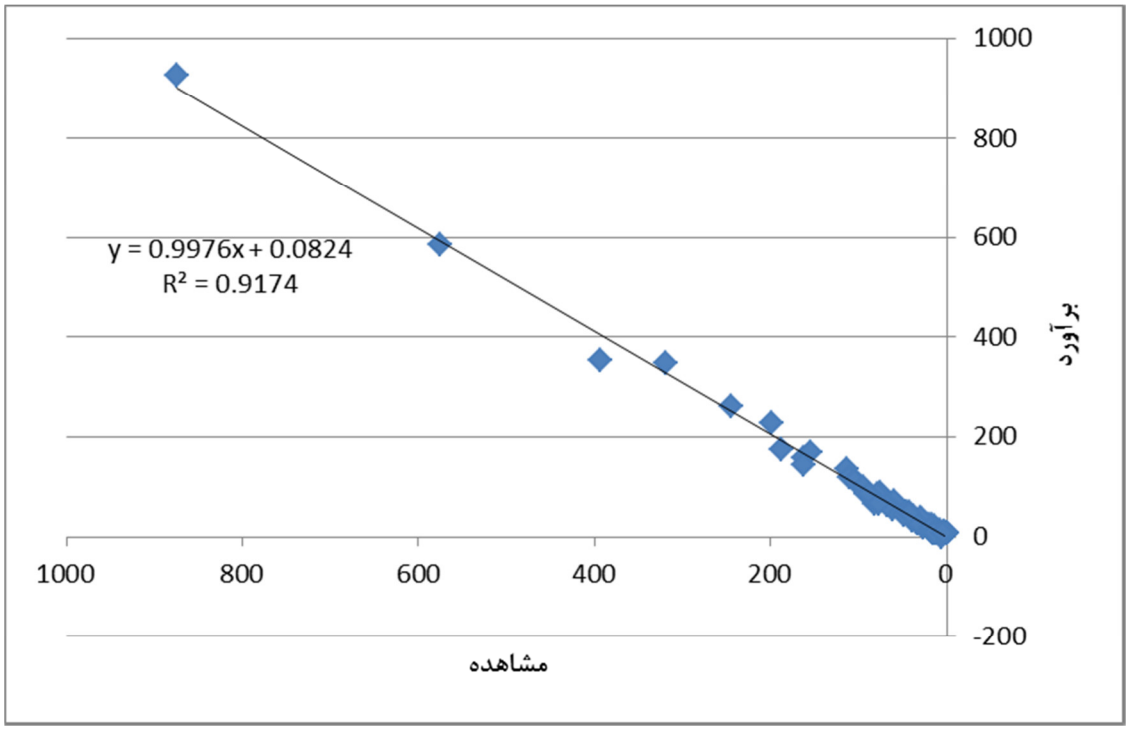
GarAgr : مجموع مساحت کاربری‌های باغ و زمین کشاورزی (واحد: هکتار)

D157×SQ157: وجود میدان میوه و تره بار مرکزی (متغیر صفر–یک) ضربدر مساحت آن (واحد: هکتار)

D143×SQ143 : وجود میدان میوه و تره بار بازار کهنه (متغیر صفر–یک) ضربدر مساحت آن (واحد: هکتار)

D97×SQ97 : وجود میدان میوه و تره بار میدان مطهری (متغیر صفر–یک) ضربدر مساحت آن (واحد: هکتار)

در شکل ۷-۱ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار میوه و تره بار

۷-۱-۶-۲- تولید تناژ بار گروه عمده بار دو: مواد غذایی فاسدشدنی

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های تولید سفر به کاربرد توضیح داده شده است. درخصوص مدل تولید سفرهای گروه بار دوم متغیرهای مستقلی از قبیل عمده فروشی‌ها، بازارهای روز، کارگاه‌های تولیدی، کشتارگاه‌ها، انبارها، سیلوها و غیره می‌توانند موثر باشند.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی تولید سفرهای گروه بار دوم است. در جدول ۷-۴ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-٤ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار دوم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه دو	مساحت عمده فروشی‌ها	مساحت مجتمع‌های تجاری	مساحت بازارهای روز	مساحت کارگاه‌های تولیدی	مساحت کشتارگاه‌ها	مساحت انبار، سیلو و سردخانه	مجموع مساحت کارگاه تولیدی و کشتارگاه
تناژ تولیدی بار گروه دو	۱.۰۰۰	۰.۳۶۸	۰.۰۲۳	۰.۱۸۲	۰۶۸۹	۰.۱۳۲	۰.۲۰۵	۰.۱۷۳
مساحت عمده فروشی‌ها	۰.۳۶۸	۱.۰۰۰	۰.۰۱۲	۰.۲۰۴	۰.۱۲۵	۰.۱۱۹	۰.۰۵۶	۰.۰۸۹
مساحت مجتمع‌های تجاری	۰.۰۲۳	۰.۰۱۲	۱.۰۰۰	۰.۰۱۱	۰.۰۱۵	۰.۰۱۹	۰.۱۱۵	۰.۰۵۴
مساحت بازارهای روز	۰.۱۸۲	۰.۲۰۴	۰.۰۱۱	۱.۰۰۰	۰.۰۵۶	۰.۰۷۴	۰.۱۶۱	۰.۱۴۴
مساحت کارگاه‌های تولیدی	۰۶۸۹	۰.۱۲۵	۰.۰۱۵	۰.۰۵۶	۱.۰۰۰	۰.۱۳۶	۰.۱۵۸	۰۶۵۵
مساحت کشتارگاه‌ها	۰.۱۳۲	۰.۱۱۹	۰.۰۱۹	۰.۰۷۴	۰.۱۳۶	۱.۰۰۰	۰.۰۵۹	۰.۷۰۱
مساحت انبار، سیلو و سردخانه	۰.۲۰۵	۰.۰۵۶	۰.۱۱۵	۰.۱۶۱	۰.۱۵۸	۰.۰۵۹	۱.۰۰۰	۰.۲۰۴
مجموع مساحت کارگاه تولیدی و کشتارگاه	۰.۱۷۳	۰.۰۸۹	۰.۰۵۴	۰.۱۴۴	۰۶۵۵	۰.۷۰۱	۰.۲۰۴	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۴ متغیرهای مساحت عمده فروشی‌ها و کاربری کارگاه‌های تولیدی دارای همبستگی مناسب و قابل قبول است. از طرفی وجود دو کشتارگاه و سردخانه عمده در نواحی ترافیکی ۱۹۷ و ۹۹ به عنوان متغیر صفر و یکی[1] ممکن است در مدل اثر مثبت داشته باشد. مدل‌های ساخته شده برای تناژ تولید میوه و تره بار در جدول ۷-۵ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ضریب ثابت مدل معمولا صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

[1] Dummy Variable

جدول ۷-۵ مدل‌های تولید سفر گروه بار اول در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها					ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	MSH ضریب *(t-test)*	***PW*** ضریب *(t-test)*	***D99*** ضریب *(t-test)*	***D197*** ضریب *(t-test)*	***2D*** ضریب *(t-test)*		
۱	۲۴۵.۰۲ (۵.۱۶)	-	-	-	-	۱۱.۳۷ (۵.۳۱)	۰.۵۸۱
۲	-	۷.۹۵ (۱۸.۴۳)	-	-	–	۶.۶۵ (۴.۶۹)	۰.۶۲۶
۳	–	۷.۷۳ (۲۸.۴۳)	۱۲۴.۰۱ (۹.۹۹)	۱۸۱.۸۸ (۱۴.۷۳)	–	۵.۳۵ (۵.۹۹)	۰.۸۵۵
۴	–	۷.۶۶ (۲۷.۵۸)	–	–	۱۵۳.۱۱ (۱۷.۰۵)	۵.۴۱ (۵.۹۲)	۰.۸۴۷

متغیرهای جدول ۷-۳ به شرح ذیل اند:

MSH: مساحت کاربری عمده فروشی‌ها (واحد: هکتار)

PW: مساحت کاربری کارگاه‌های تولیدی (واحد: هکتار)

D99: وجود سردخانه عمده (متغیر صفر–یک)

D197: وجود کشتارگاه مرکزی شهر در ناحیه (متغیر صفر–یک)

2D: هر دو متغیر دامی D197 و D99 (متغیر صفر–یک)

C: مقدار عدد ثابت مدل

در این جدول متغیرهای صفر–یک به صورت وجود کاربری ضربدر مساحت آن تعریف شده است که به دلیل اختصار در جدول ذکر نشده اما در مدل نهایی در نظر گرفته شده است.

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶– نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین

مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره برای مدل‌های ۲، ۳ و ۴ نسبتاً خوب است اما مدل شماره سه با مقدار R^2 برابر با ۰.۸۵۵ بهترین مدل است. این مدل به فرم رابطه شماره ۷-۵ است:

$$PT2=7.73\times PW+124.01\times D99\times SQ99+181.88\times D197\times SQ197+5.35 \quad (R^2=0.855)$$ ۵-۷

در رابطه اخیر؛

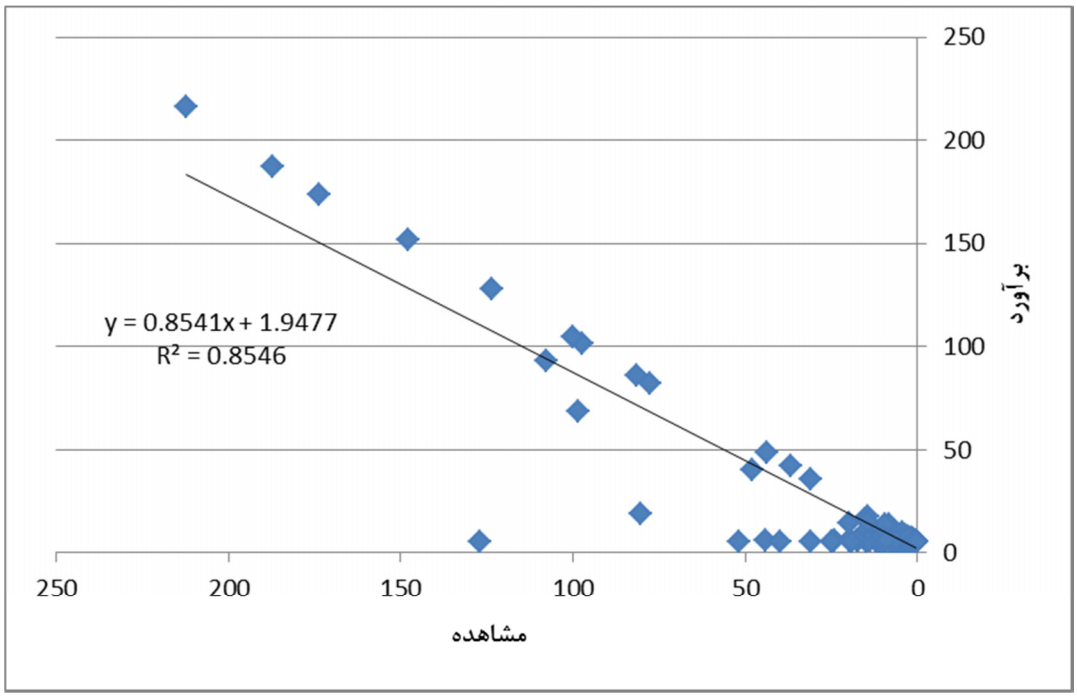
PT2: تولید تاژ بار مواد غذایی فاسد شدنی (واحد: تن)

PW: مساحت کاربری کارگاه‌های تولیدی (واحد: هکتار)

D99×SQ99: وجود سردخانه عمده (متغیر صفر-یک) ضربدر مساحت آن (واحد: هکتار)

D197×SQ197: وجود کشتارگاه مرکزی شهر در ناحیه (متغیر صفر-یک) ضربدر مساحت آن (واحد: هکتار)

در شکل ۷-۲ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار مواد غذایی فاسد شدنی

۷-۱-۶-۳- تولید تناژ بار گروه عمده بار سه: سایر مواد غذایی به جز میوه و تره‌بار و مواد غذایی فاسدشدنی

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های تولید سفر به کاربرد توضیح داده شده است. درخصوص مدل تولید سفرهای گروه بار سوم متغیرهای مستقلی از قبیل عمده فروشی‌ها، بازارهای روز، کارگاه‌های تولیدی، کشتارگاه‌ها، انبارها، سیلوها و غیره می‌توانند موثر باشند.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی تولید سفرهای گروه بار دوم است. در جدول ۷-۶ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-٦ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار سوم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه دو	مساحت عمده فروشی‌ها	مساحت مجتمع‌های تجاری	مساحت بازارهای روز	مساحت کارگاه‌های تولیدی	مساحت کشتارگاه‌ها	مساحت انبار، سیلو و سردخانه
تناژ تولیدی بار گروه دو	۱.۰۰۰	۰.۰۹۹	۰.۲۰۲	۰.۱۴۸	۰.۶۲۹	۰.۰۲۹	۰.۶۹۱
مساحت عمده فروشی‌ها	۰.۰۹۹	۱.۰۰۰	۰.۰۱۲	۰.۲۰۴	۰.۱۲۵	۰.۱۱۹	۰.۰۵۶
مساحت مجتمع‌های تجاری	۰.۲۰۲	۰.۰۱۲	۱.۰۰۰	۰.۰۱۱	۰.۰۱۵	۰.۰۱۹	۰.۱۱۵
مساحت بازارهای روز	۰.۱۴۸	۰.۲۰۴	۰.۰۱۱	۱.۰۰۰	۰.۰۵۶	۰.۰۷۴	۰.۱۶۱
مساحت کارگاه‌های تولیدی	۰.۶۲۹	۰.۱۲۵	۰.۰۱۵	۰.۰۵۶	۱.۰۰۰	۰.۱۳۶	۰.۱۵۸
مساحت کشتارگاه‌ها	۰.۰۲۹	۰.۱۱۹	۰.۰۱۹	۰.۰۷۴	۰.۱۳۶	۱.۰۰۰	۰.۰۵۹
مساحت انبار، سیلو و سردخانه	۰.۶۹۱	۰.۰۵۶	۰.۱۱۵	۰.۱۶۱	۰.۱۵۸	۰.۰۵۹	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۶ متغیرهای مساحت کارگاه‌های تولیدی و مساحت انبار، سیلو و سردخانه دارای همبستگی مناسب و قابل قبول است. مدل‌های ساخته شده برای تناژ تولید میوه و تره بار در جدول ۷-۷ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل

صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ضریب ثابت مدل معمولا صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۷ مدل‌های تولید سفر گروه بار سوم در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها		ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	PW ضریب *(t-test)*	***Dep*** ضریب *(t-test)*		
۱	۲۳۹.۹۴ (۱۳۸.۰۶)	--	۲۷.۰۹ (۴.۷۴)	۰.۷۷۲
۲	-	۱۱۵.۹۰ (۶.۷۸)	۱۵۵.۷۸ (۳.۱۳)	۰.۶۴۸
۳	۲۳۵.۰۴ (۱۴۱.۰۹)	۱۴.۱۷ (۷.۶۱)	۲۲.۲۴ (۴.۳۷)	۰.۸۰۹

متغیرهای جدول ۷-۷ به شرح ذیل اند:

PW: مساحت کاربری کارگاه‌های تولیدی (واحد: هکتار)

Dep: مساحت کاربری انبار، سیلو و سردخانه (واحد: هکتار)

C: مقدار عدد ثابت مدل

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره هر سه مدل ساخته شده، نسبتاً خوب هستند اما مدل شماره سه با مقدار R^2 برابر با ۰.۸۰۹ بهترین مدل است. این مدل به فرم رابطه شماره ۷-۶ است:

$PT3=235.04\times PW+14.17\times Dep+22.24$ $(R^2=0.809)$ ۶-۷

در رابطه اخیر؛

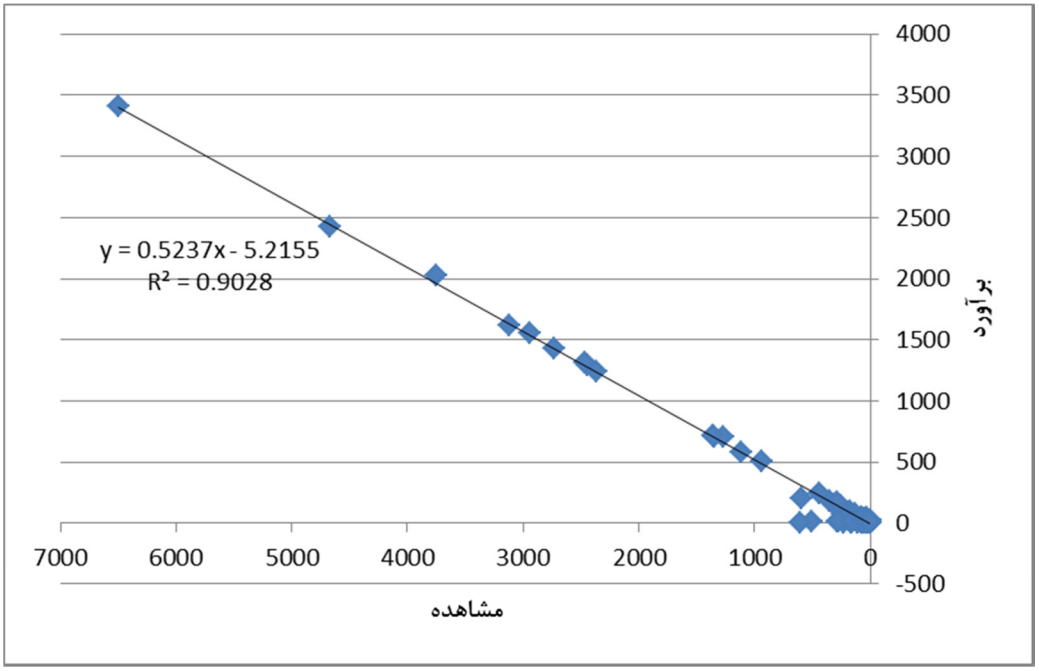
PT3: تولید تاژ بار مواد غذایی فاسد شدنی (واحد: تن)

PW: مساحت کاربری کارگاه‌های تولیدی (واحد: هکتار)

Dep: مساحت کاربری انبار، سیلو و سردخانه (واحد: هکتار)

C: مقدار عدد ثابت مدل

در شکل ۷-۳ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۳ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار مواد غذایی غیر فاشد شدنی (مواد غذایی بجز گروه بارهای یک و دو)

۷-۱-۶-۴- تولید تناژ بار گروه عمده بار چهار: لوازم منزل و اداری

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های تولید سفر به کاربرد توضیح داده شده است. درخصوص مدل تولید سفرهای گروه بار چهارم متغیرهای مستقلی از قبیل عمده فروشی‌ها، خرده فروشی‌ها، مراکز خرید و فروشگاه‌های زنجیره‌ای و غیره می‌توانند موثر باشند.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی تولید سفرهای گروه بار دوم است. در جدول ۷-۸ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای

مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-۸ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار چهارم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه چهار	تعداد واحدهای تجاری	مساحت عمده فروشی‌ها	مساحت خرده فروشی‌ها	مساحت مراکز خرید	مساحت فروشگاه‌های زنجیره‌ای	مساحت کلیه فضاهای تجاری
تناژ تولیدی بار گروه چهار	۱.۰۰۰	۰.۷۲۱	۰.۱۰۸	۰.۵۱۶	۰.۰۵۲	۰.۰۸۴	۰.۵۶۴
تعداد واحدهای تجاری	۰.۷۲۱	۱.۰۰۰	۰.۱۴۵	۰.۶۰۱	۰.۱۰۵	۰.۱۱۴	۰.۸۱۷
مساحت عمده فروشی‌ها	۰.۱۰۸	۰.۱۴۵	۱.۰۰۰	۰.۱۵۳	۰.۰۸۱	۰.۰۴۳	۰.۲۳۷
مساحت خرده فروشی‌ها	۰.۵۱۶	۰.۳۰۱	۰.۱۵۳	۱.۰۰۰	۰.۰۲۴	۰.۰۱۹	۰.۵۶۹
مساحت مراکز خرید	۰.۰۵۲	۰.۱۰۵	۰.۰۸۱	۰.۰۲۴	۱.۰۰۰	۰.۰۱۴	۰.۲۰۷
مساحت فروشگاه‌های زنجیره‌ای	۰.۰۸۴	۰.۱۱۴	۰.۰۴۳	۰.۰۱۹	۰.۰۱۴	۱.۰۰۰	۰.۱۱۶
مساحت کلیه فضاهای تجاری	۰.۵۶۴	۰.۴۱۷	۰.۲۳۷	۰.۵۶۹	۰.۲۰۷	۰.۱۱۶	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۸ متغیرهای تعداد واحد تجاری، مساحت خرده فروشی‌ها و مساحت کلیه واحدهای تجاری دارای همبستگی مناسب و قابل قبول است. در عین حال هر سه این متغیرها نیز خود با هم همبستگی بالایی دارند، لذا نباید بیش از یکی از آنها به صورت همزمان در مدل حاضر باشد. همچنین در ۲۳ ناحیه ترافیکی شهر قالیشویی وجود دارد که با توجه به انجام آماربرداری در هفته اول اسفند ماه، سهم قابل توجهی از سفرها از مبدا قالیشویی و یا به مقصد قالیشویی بوده و لذا ممکن است وارد شدن این متغیر به صورت صفر و یکی در مدل موثر باشد. مدل‌های ساخته شده برای تناژ تولید کالای خانگی و اداری در جدول ۷-۹ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از

آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ضریب ثابت مدل معمولا صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۹ مدل‌های تولید سفر گروه بار چهارم در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها				ثابت مدل (C) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	NoSh ضریب *(t-test)*	***Ret*** ضریب *(t-test)*	***TSH*** ضریب *(t-test)*	***K*** ضریب *(t-test)*		
۱	۰.۰۱۶ (۱۷.۷۲)	–	–	–	۱۷.۴۰ (۱۹.۵۶)	۰.۶۰۷
۲	–	۱۶.۷۱ (۸.۶۱)	–	–	۱۵.۹۱ (۱۰.۷۴)	۰.۵۷۱
۳	–	–	۱۶.۸۲ (۹.۷۴)	–	۱۴.۸۲ (۱۰.۲۲)	۰.۵۹۵
۴	۰.۰۱۶ (۱۷.۵۶)	–	–	۱.۶۳ (۶.۴۸)	۱۷.۱۲ (۱۸.۶۷)	۰.۶۸۱

متغیرهای جدول ۷-۹ به شرح ذیل اند:

NoSh: تعداد کل واحدهای تجاری (واحد: عدد)

Ret: مساحت کاربری خرده فروشی (واحد: هکتار)

TSH: مساحت کل کاربری‌های تجاری (واحد: هکتار)

K: تعداد قالیشویی در ناحیه ترافیکی (تعداد)

C: مقدار عدد ثابت مدل

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین

مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره مدل‌های شماره یک و چهار ساخته شده، نسبتاً خوب هستند اما مدل شماره چهار با مقدار R^2 برابر با ۰.۶۸۱ بهترین مدل است. این مدل به فرم رابطه شماره ۷-۷ است:

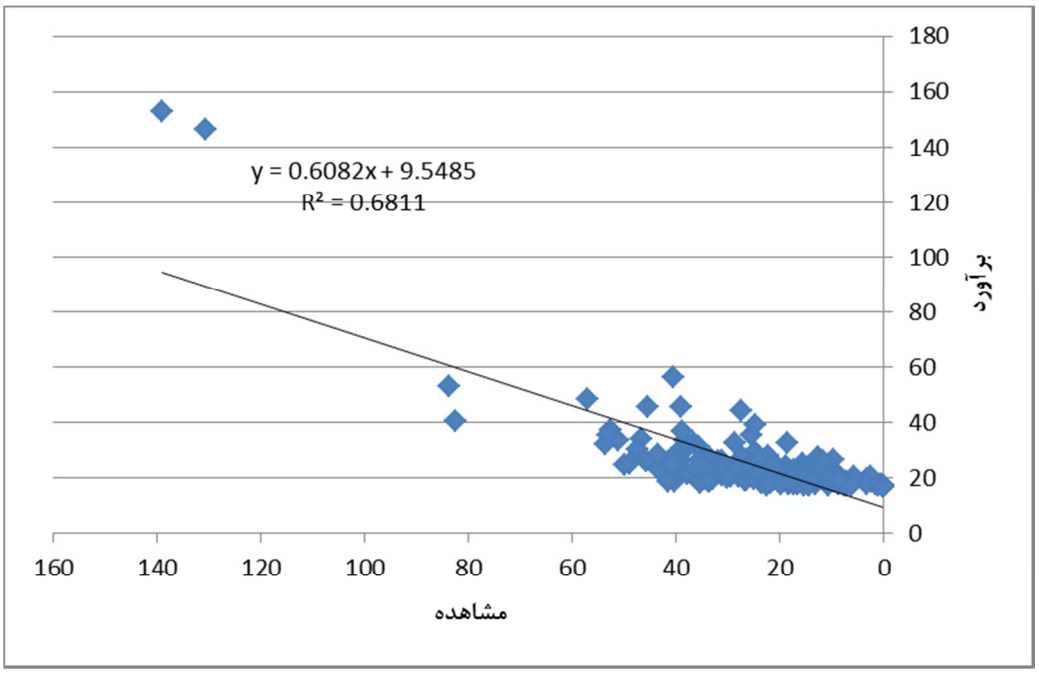
$$PT3=0.016\times NoSh+1.63\times K+17.12 \qquad (R^2=0.681) \qquad ۷-۷$$

در رابطه اخیر؛

NoSh: تعداد کل واحدهای تجاری (واحد: عدد)

K: تعداد قالیشویی در ناحیه ترافیکی (تعداد)

در شکل ۷-۴ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-٤ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار لوازم خانگی و اداری

۷-۱-۶-۵- تولید تناژ بار گروه عمده بار پنج: کالاهای صنعتی

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های تولید سفر به کاربرد توضیح داده شده است. درخصوص مدل تولید سفرهای گروه بار پنجم متغیرهای مستقلی از قبیل مساحت کاربری‌های مرتبط با اتوموبیل و لوازم یدکی، مساحت کارگاه‌های تولیدی، مساحت کارگاه‌های صنعتی و غیره می‌توانند موثر باشند.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی تولید سفرهای گروه بار دوم است. در جدول ۷-۱۰ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای

مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-۱۰ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار پنجم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه پنجم	مساحت کاربری اتوموبیل و لوازم یدکی	مساحت کارگاه-های تولیدی	مساحت کارگاه-های صنعتی	مجموع مساحت کارگاه‌های تولیدی و صنعتی
تناژ تولیدی بار گروه پنجم	۱.۰۰۰	۰.۰۹۸	۰.۳۶۳	۰.۴۹۳	۰.۹۰۴
مساحت کاربری اتوموبیل و لوازم یدکی	۰.۰۹۸	۱.۰۰۰	۰.۱۰۷	۰.۲۲۵	۰.۳۰۸
مساحت کارگاه‌های تولیدی	۰.۳۶۳	۰.۱۰۷	۱.۰۰۰	۰.۱۰۹	۰.۹۱۶
مساحت کارگاه‌های صنعتی	۰.۴۹۳	۰.۲۲۵	۰.۱۰۹	۱.۰۰۰	۰.۸۸۴
مجموع مساحت کارگاه‌های تولیدی و صنعتی	۰.۹۰۴	۰.۳۰۸	۰.۹۱۶	۰.۸۸۴	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۱۰ متغیرهای مساحت کارگاه‌های صنعتی، مساحت کارگاه‌های تولید و مجموع مساحت این دو کاربری دارای همبستگی مناسب و قابل قبول است. در عین حال دو متغیر اول با متغیر مجموع دارای همبستگی بالایی است، لذا نباید بیش از یکی از آنها به صورت همزمان در مدل حاضر باشد. مدل‌های ساخته شده برای تناژ تولید کالای صنعتی در جدول ۷-۱۱ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ضریب ثابت مدل معمولا صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۱۱ مدل‌های تولید سفر گروه بار پنجم در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها				ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	PW ضریب *(t-test)*	*IW* ضریب *(t-test)*	*TW* ضریب *(t-test)*	*SHO×SQ* ضریب *(t-test)*		
۱	۱۶.۷۲ (۶.۳۸)	–	–	–	۲۷.۵۹ (۳.۲۰)	۰.۴۷۱
۲	–	۱۴.۰۵ (۷.۴۶)	–	–	۲۸.۴۰ (۳.۴۳)	۰.۴۹۲
۳	–	–	۱۰.۱۹ (۸.۴۰)	–	۲۳.۴۶ (۲.۸۸)	۰.۶۷۷
۴	–	–	۱۰.۴۹ (۱۹.۳۶)	۱۴۴۰.۶۹ (۲۸.۵۹)	۱۵.۹۰ (۴.۳۵)	۰.۸۵۳

متغیرهای جدول ۷-۱۱ به شرح ذیل اند:

PW: مساحت کاربری کارگاه تولیدی (واحد: هکتار)

IW: مساحت کاربری کارگاه صنعتی (واحد: هکتار)

TW: مجموع مساحت کاربری‌های کارگاه تولیدی و کارگاه صنعتی (واحد: هکتار)

SHO×SQ: وجود شهرک شکوهیه در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک) ضربدر مساحت شهرک شکوهیه

C: مقدار عدد ثابت مدل

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره

مدل‌های شماره یک و چهار ساخته شده، نسبتاً خوب هستند اما مدل شماره چهار با مقدار R^2 برابر با ۰.۸۵۳ بهترین مدل است. این مدل به فرم رابطه شماره ۷-۸ است:

$$PT5=10.49\times TW+1440.69\times SHO\times SQ+15.90 \qquad (R^2=0.853) \qquad ۷-۸$$

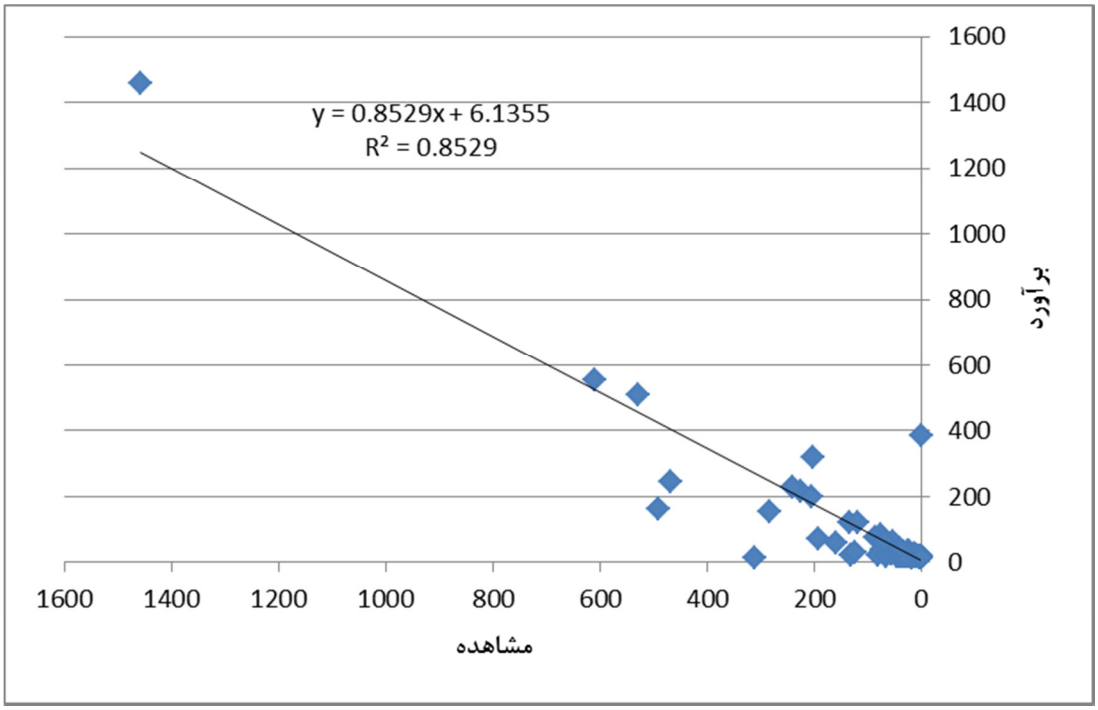
در رابطه اخیر؛

PT5: تولید تناژ بار صنعتی (واحد: هکتار)

TW: مجموع مساحت کاربری‌های کارگاه تولیدی و کارگاه صنعتی (واحد: هکتار)

SHO×SQ: وجود شهرک شکوهیه در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک) ضربدر مساحت شهرک شکوهیه

در شکل ۷-۵ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۵ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار لوازم خانگی و اداری

۷-۱-۶-۶- تولید تناژ بار گروه عمده بار شش: مصالح ساختمانی و نخاله

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های تولید سفر به کاربرد توضیح داده شده است. درخصوص مدل تولید سفرهای گروه بار پنجم با توجه به اینکه این گروه شامل کالای مطالح ساختمانی و نخاله است، تنها مجوزهای صادره جهت ساخت و ساز می‌تواند موثر و مرتبط باشد. این متغیر به صورت مساحت عرصه (مساحت زمین) و مساحت کل (مساحت زمین ضربدر تراکم) در نظر گرفته شده است.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی تولید سفرهای گروه بار ششم است. در جدول ۷-۱۲ ضریب همبستگی بین دو متغیر مستقل این گروه و متغیر وابسته نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند.

جدول ۷-۱۲ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار ششم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه ششم	مساحت عرصه مجوزهای صادر شده برای ساخت و ساز در ناحیه ترافیکی	مساحت اعیان مجوزهای صادر شده برای ساخت و ساز در ناحیه ترافیکی
تناژ تولیدی بار گروه ششم	۱.۰۰۰	۰.۴۸۴	۰.۷۵۵
مساحت عرصه مجوزهای صادر شده برای ساخت و ساز در ناحیه ترافیکی	۰.۴۸۴	۱.۰۰۰	۰.۴۵۷
مساحت اعیان مجوزهای صادر شده برای ساخت و ساز در ناحیه ترافیکی	۰.۷۵۵	۰.۴۵۷	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۱۲ هر دو متغیر مستقل دارای همبستگی مناسب و قابل قبول است. در عین این دو متغیر مستقلدارای همبستگی بالایی است، لذا نباید بیش از یکی از آنها به صورت همزمان در مدل حاضر باشد. همچنین در ۱۵ ناحیه ترافیکی از ۲۰۵ ناحیه ترافیکی کلان‌شهر قم، فروشندگان عمده مصالح ساختمانی وجود دارد، که وجود آنها در نواحی ترافیکی را می‌توان به صورت متغیر صفر–یک در مدل لحاظ کرد. مدل‌های ساخته شده برای تناژ تولید مصالح ساختمانی و نخاله در جدول ۷-۱۳ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ضریب ثابت مدل معمولا صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۱۳ مدل‌های تولید سفر گروه بار ششم در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها			ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	AS ضریب *(t-test)*	***TS*** ضریب *(t-test)*	***BMS*** ضریب *(t-test)*		
۱	۲.۹۱ (۷.۸۹)	–	–	۸۹.۲۶ (۵.۶۹)	۰.۴۵۲
۲	–	۱۳.۰۶ (۱۶.۴۱)	–	۳۵.۴۲ (۲.۸۴)	۰.۵۷۲
۳	۲.۸۸ (۸.۵۲)	–	۳۴۶.۸۹ (۶.۱۹)	۶۵.۷۳ (۴.۴۱)	۰.۵۶۵
۴	–	۱۲.۸۴ (۱۸.۴۷)	۳۲۱.۱۷ (۸.۰۵)	۱۴.۸۶ (۱.۳۳)	۰.۷۴۵

متغیرهای جدول ۷-۱۱ به شرح ذیل اند:

AS: مساحت عرصه مجوزهای ساخت و ساز صادر شده در ناحیه (واحد: هزار متر مربع)

TS: مساحت اعیان مجوزهای ساخت و ساز صادر شده در ناحیه (واحد: هزار متر مربع)

BMS: تعداد عرضه کنندگان عمده مصالح ساختمانی در ناحیه ترافیکی (تعداد)

C: مقدار عدد ثابت مدل

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره مدل‌های شماره دوم، سوم و چهار ساخته شده، نسبتاً خوب هستند اما مدل شماره چهار با مقدار R^2 برابر با ۰.۷۴۵ بهترین مدل است. با توجه به اینکه مقدار t-test برای عدد ثابت (C) مدل چهارم ۱.۳۳ به دست آمده که هم در سطح اطمینان ۰.۹۵ و هم

در سطح اطمینان ۰.۸۵ نامعتبر و بی اهمیت است، لذا می‌توان امدل را بدون عدد ثابت ساخت. این به آن معنی است که اگر در ناحیه‌ای ساخت و ساز نبوده و مرکز عمده عرضه مصالح ساختمانی نیز نباشد، هیچ تولید بار مصالح ساختمانی و نخاله از آن ناحیه ترافیکی انجام نمی‌شود. مدل برتر، با و بدون عدد ثابت به ترتیب به فرم رابطه شماره ۷-۹ و رابطه شماره ۷-۱۰ است:

$$PT6=12.48\times TS+321.17\times BMS+14.86 \quad (R^{-2}=0.745) \quad ۹-۷$$

$$PT6=13.17\times TS+333.28\times BMS \quad (R^{-2}=0.779) \quad ۱۰-۷$$

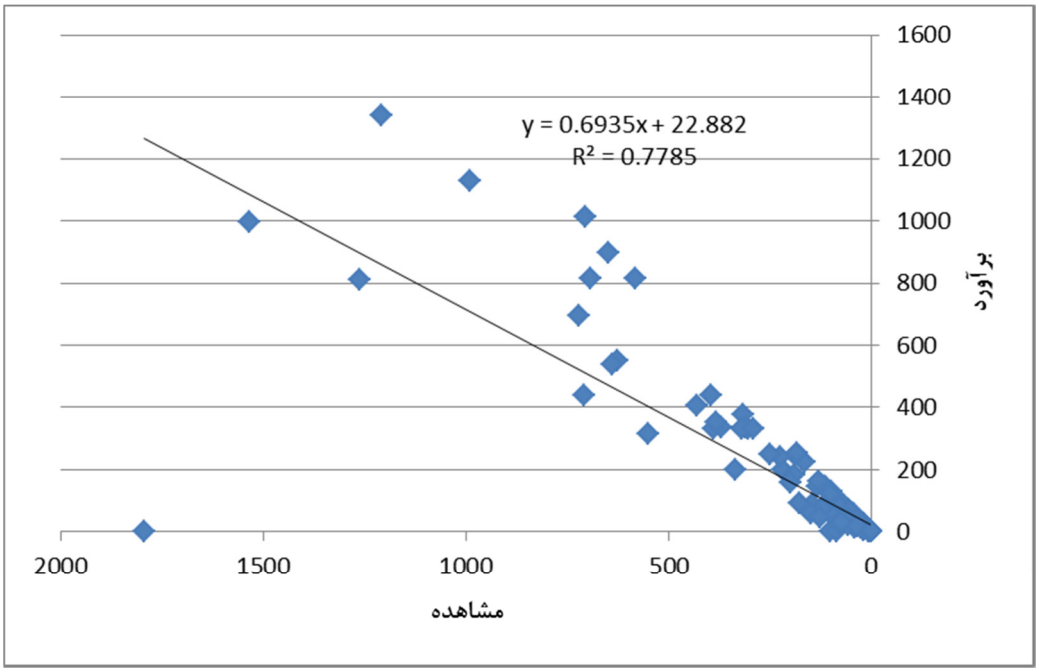
در رابطه اخیر؛

PT6: تولید تناژ بار صنعتی (واحد: هکتار)

TS: مساحت اعیان مجوزهای ساخت و ساز صادر شده در ناحیه (واحد: هزار متر مربع)

BMS: تعداد عرضه کنندگان عمده مصالح ساختمانی در ناحیه ترافیکی (تعداد)

طبیعی است که با توجه به توضیحات ارائه شده، مدل برگزیده مدل ۷-۱۰ است. در شکل ۷-۶ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-٦ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار مصالح ساختمانی

۷-۱-۶-۷- تولید تناژ بار گروه عمده بار هفت: سایر بارها

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های تولید سفر به کاربرد توضیح داده شده است. درخصوص مدل تولید سفرهای گروه بار هفتم باید به این نکته توجه داشت که بارهای عضو این گروه عمدتاً شامل چوب، دام زنده، مواد سوختی و زباله است. با این حساب باید به دنبال متغیرهایی گشت که با تولید زباله مرتبط هستند. در

خصوص مواد سوختی نیز مساحت و یا وجود جایگاه‌های سوخت در نواحی ترافیکی در جذب این مواد موثر است و نه در تولید آنها.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی تولید سفرهای گروه بار ششم است. در جدول ۷-۱۴ ضریب همبستگی بین دو متغیر مستقل این گروه و متغیر وابسته نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند.

جدول ۷-۱٤ همبستگی نرخ تولید سفرهای گروه بار هفتم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه هفتم	جمعیت ناحیه ترافیکی	مساحت کاربری مسکونی
تناژ تولیدی بار گروه هفتم	۱.۰۰۰	۰.۳۸۵	۰.۲۴۴
جمعیت ناحیه ترافیکی	۰.۳۸۵	۱.۰۰۰	۰.۱۳۱
مساحت کاربری مسکونی	۰۶۲۲	۰.۱۳۱	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۱۴ هر دو متغیر مستقل دارای همبستگی نسبتاً کمی هستند، با این وجود مرتبط ترین متغیرها بوده و ممکن است به کمک کاربرد متغیرهای صفر–یک بتوان نتایج معنی‌داری از آنها به دست آورد. همچنین انبار نفت شهر در ناحیه شماره ۱۲۰ واقع شده که این موضوع به صورت متغیر صفر–یک در مدل در نظر گرفته خواهد شد. همچنین در ۹ ناحیه ترافیکی از ۲۰۵ ناحیه ترافیکی کلان‌شهر قم، مراکز عمده عرضه چوب وجود دارد، که وجود آنها در نواحی ترافیکی را می‌توان به صورت متغیر صفر–یک در مدل لحاظ کرد. مدل‌های ساخته شده برای گروه هفتم کالاها در جدول ۷-۱۵ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ضریب ثابت مدل معمولا صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود. از طرفی بانک اطلاعاتی داده‌های گروه هفتم بارهای عمده دارای ۸۳ ناحیه با تولید صفر است، که این نواحی باید به عنوان ناحیه خنثی از فرآیند مدلسازی کنار گذاشته شوند. توجه شود که فرض شده است جمعیت یا کاربری مسکونی مولد زباله است، با این وجود بدیهی است خودروهای حمل زباله از تمامی نواحی ترافیکی و تمامی معابر عبور کرده و مبدا آنها صرفا در نقطه تجمیع محسوب می‌شود. در این نقطه زباله‌ها تجمیع شده و به سایت‌ها دفع پسماند منتقل می‌شوند.

بنابر این و با توجه به ماهیت تصادفی بودن آماربرداری، ناچار باید از مفهوم متغیر خنثی استفاده نموده و مدلسازی را برای تولید تناژ بار گروه هفتم فقط برای نواحی غیر خنثی انجام داد.

جدول ۷-۱۵ مدل‌های تولید سفر گروه بار هفتم در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها				ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	Pop ضریب *(t-test)*	***RS*** ضریب *(t-test)*	***DOB*** ضریب *(t-test)*	***WSH*** ضریب *(t-test)*		
۱	۰.۰۰۰۸ (۹.۲۲)	–	–	–	۱۹۲.۲۲ (۲.۴۴)	۰.۵۳۹
۲	–	۲۷۴.۶ (۱۱.۳۴)	–	–	۴۴.۲۹ (۲.۹۱)	۰.۴۷۱
۳	۰.۰۰۰۷ (۳.۶۱)	–	-۷۸.۸۳ (۴.۹۷)	–	۱۹۵.۱۸ (۲.۵۲)	۰.۵۴۷
۴	۰.۰۱۵۱ (۷۲.۸۲)	–	–	۱۰۴۹.۲۳ (۸۱.۸۷)	-۰.۰۰۱ (-۲.۴۷)	۰.۶۸۸

متغیرهای جدول ۷-۱۱ به شرح ذیل اند:

Pop: جمعیت ناحیه ترافیکی (واحد: نفر)

RS: مساحت کاربری مسکونی در ناحیه ترافیکی (واحد: هزار متر مربع)

DOB: وجود انبار نفت در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک)

WSH: وجود عرضه کنندگان عمده چوب در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک)

C: مقدار عدد ثابت مدل

در این جدول متغیرهای صفر-یک به صورت وجود کاربری ضربدر مساحت آن تعریف شده است که به دلیل اختصار در جدول ذکر نشده اما در مدل نهایی در نظر گرفته شده است.

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره

عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره تنها برای مدل شماره چهار، خوب است. مقدار R^2 برای مدل چهارم برابر با با ۰.۶۸۸ بهترین مدل است. همچنین مقدار عدد ثابت در این مدل بسیاری جزئی است که به راحتی می‌توان آنرا از مدل کنار گذاشت. این مدل به فرم رابطه شماره ۷-۱۱ است:

$$PT7=0.0151\times Pop+1049.23\times DOB\times SQ \qquad (R^2=0.688) \qquad ۷-۱۱$$

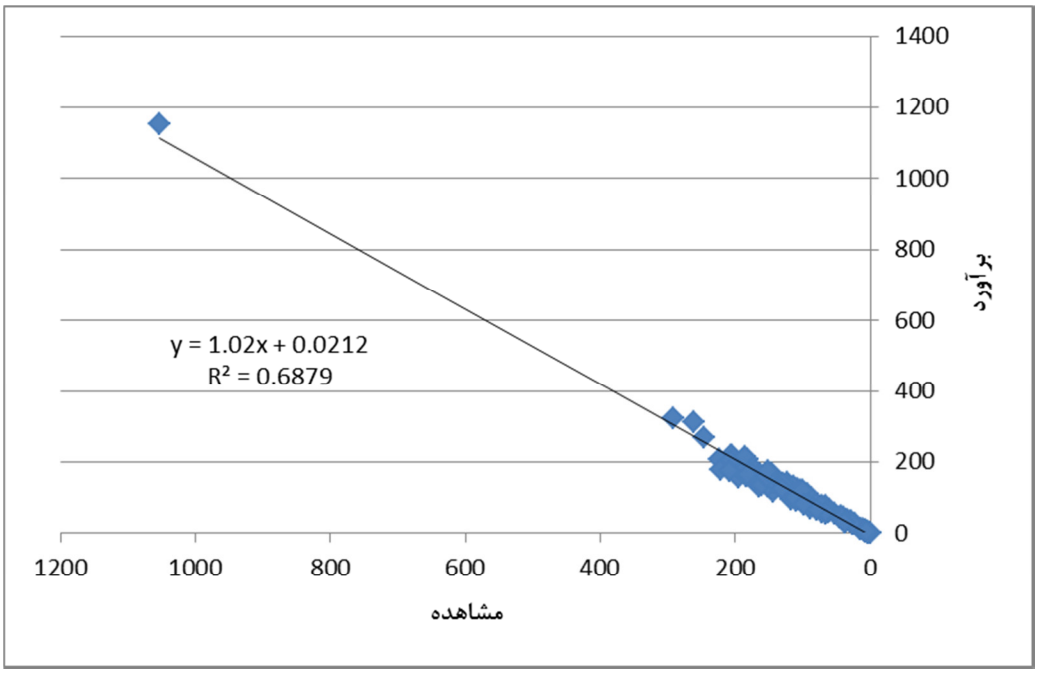
در رابطه اخیر؛

PT7: تولید تناژ بار صنعتی (واحد: هکتار)

Pop: جمعیت ناحیه ترافیکی (واحد: نفر)

DOB×SQ: وجود انبار نفت در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک) ضربدر مساحت آن

در شکل ۷-۷ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۷ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ تولید بار گروه سایر

۷-۱-۷- برازش مدل‌های جذب تناژ بار برای گروه‌های بار مختلف

در بخش‌های قبلی توضیحاتی در خصوص مدل‌های تولید بار ارائه شد. در این بخش از گزارش فرایند ساخت و پرداخت مدل‌های جذب تناژ بار برای هریک از گروه‌های عمده بار در کلانشهر قم -که شامل هفت گروه عمده است- توضیح داده

شده است. این مدل‌ها از نوع رگرسیون خطی هستند و روند مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار R انجام شده است. پس از آن در بخش‌های بعدی گزارش، میزان برازندگی مدل‌ها بررسی شده است.

۷-۱-۷-۱- جذب تناژ بار گروه عمده بار یک: میوه و تره‌بار

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های جذب تناژ باری به کار برد توضیح داده شده است. درخصوص مدل جذب تناژ بار گروه بار اول متغیرهای مستقلی از قبیل تعداد واحد کسبی، جمعیت، وجود بازارچه‌های ریحان، مساحت کاربری بازارهای روز و غیره می‌توانند موثر باشند.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی جذب تناژ بار گروه بار اول است. در جدول ۷-۱۶ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-۱۶ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار اول با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه یک	جمعیت ناحیه	تعداد واحد کسبی در ناحیه	مساحت کاربری بازارهای روز
تناژ تولیدی بار گروه یک	۱.۰۰۰	۰.۶۹۵	۰.۱۹۳	۰.۳۳۸
جمعیت ناحیه	۰.۶۹۵	۱.۰۰۰	۰.۱۵۴	۰.۰۲۹
تعداد واحد کسبی در ناحیه	۰.۱۹۳	۰.۱۵۴	۱.۰۰۰	۰.۱۶۶
مساحت کاربری بازارهای روز	۰.۳۳۸	۰.۰۲۹	۰.۱۶۶	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۱۶ متغیرهای جمعیت و مساحت کاربری بازار روز همبستگی نسبتاً خوبی با متغیر وابسته یعنی جذب سفرهای باری گروه یک (میوه و تره بار) دارند.

با این متغیرها تعدادی مدل مختلف می‌توان ساخت، برخی از این مدل‌ها در جدول ۷-۱۷ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر

باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ممکن است ضریب ثابت مدل صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۱۷ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار اول در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها			ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	Pop ضریب *(t-test)*	***DBA*** ضریب *(t-test)*	***RD*** ضریب *(t-test)*		
۱	۰.۰۰۹۸ (۲۱.۷۶)	–	–	۵.۸۱ (۱.۶۶)	۰.۶۹۹
۲	–	۶.۹۸ (۲.۸۱)	–	۶۶.۸۳ (۱۸.۲۰)	۰.۳۷۴
۳	۰.۰۱۰۱ (۲۵.۷۲)	۹.۹۱ (۸.۱۹)	–	۲.۷۹ (۰.۹۱)	۰.۷۷۵
۴	۰.۰۰۹۳ (۲۷.۹۶)	–	۵۸.۱۸ (۱۲.۹۱)	۰.۷۴ (۰.۲۸)	۰.۸۳۶

متغیرهای جدول ۷-۱۷ به شرح ذیل اند:

Pop: جمعیت در هر ناحیه (واحد: نفر)

DBA: مساحت کاربری بازارهای روز (واحد: هکتار)

RD: تعداد بازارچه‌های ریحان در ناحیه ترافیکی (تعداد)

C: مقدار عدد ثابت مدل

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین

مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره برای مدل‌های اول، سوم و چهارم خوب است، اما با نگاهی مجدد به جدول ۷-۱۷ مدل چهارم را می‌توان بهترین مدل ساخته شده توصیف نمود. به علاوه، مقدار t-test به دست آمده برای عدد ثابت این مدل در سطوح اطمینان ۰.۹۵ و ۰.۸۵ و حتی ۰.۵ بی معنی است و می‌توان با اطمینان عدد ثابت را از مدل حذف کرد. این مدل با و بدون عدد ثابت به ترتیب به فرم رابطه شماره ۷-۱۲ و رابطه شماره ۷-۱۳ است:

$$AT1=0.0093\times Pop+58.18\times RD+0.74 \qquad (R^2=0.836) \qquad ۷-۱۲$$

$$AT1=0.0095\times Pop+58.37\times RD \qquad (R^2=0.936) \qquad ۷-۱۳$$

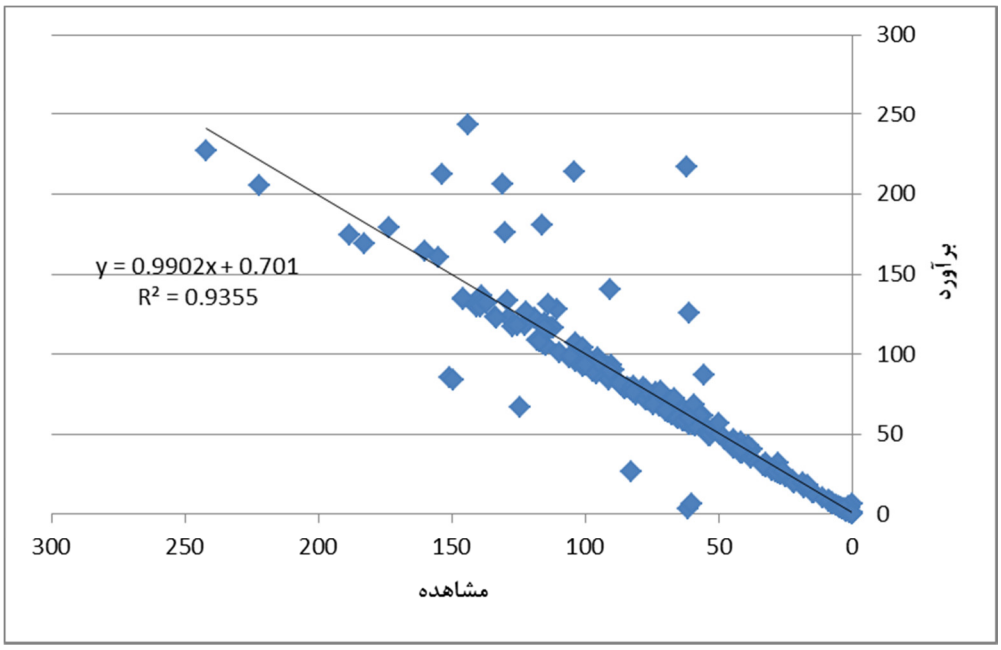
در رابطه اخیر؛

AT1: تناژ بار جذب شده در ناحیه از گروه کالای یک (واحد: تناژ)

Pop: جمعیت در هر ناحیه (واحد: نفر)

RD: تعداد بازارچه‌های ریحان در ناحیه ترافیکی (تعداد)

در شکل ۷-۸ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۸ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار میوه و تره بار

۷-۱-۷-۲- جذب تناژ بار گروه عمده بار دو: مواد غذایی فاسدشدنی

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های جذب تناژ باری به کار برد توضیح داده شده است. درخصوص مدل جذب تناژ بار گروه بار دوم (مواد غذایی فاسد شدنی) متغیرهای مستقلی از قبیل تعداد واحد کسبی،

جمعیت، وجود و مساحت مراکز آموزش عالی، وجود و مساحت هتل‌ها، مساحت کاربری خدمات مواد غذایی و غیره می‌توانند موثر باشند.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی جذب تناژ بار گروه بار دوم است. در جدول ۷-۱۸ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-۱۸ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار دوم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه دوم	جمعیت ناحیه	تعداد واحد کسبی در ناحیه	مساحت عمده فروشی‌ها	مساحت واحدهای فروش مواد غذایی	مساحت مراکز آموزش عالی	مساحت هتل‌ها
تناژ تولیدی بار گروه دوم	۱.۰۰۰	۰.۴۹۵	۰.۷۹۹	۰.۲۰۴	۰.۳۰۳	۰.۰۴۱	۰.۱۷۷
جمعیت ناحیه	۰.۴۹۵	۱.۰۰۰	۰.۱۵۴	۰.۰۴۸	۰.۲۱۶	۰.۳۴۸	۰.۲۰۱
تعداد واحد کسبی در ناحیه	۰.۷۹۹	۰.۱۵۴	۱.۰۰۰	۰.۱۲۱	۰.۲۵۵	۰.۰۱۱	۰.۰۶۷
مساحت کاربری بازارهای روز	۰.۲۰۴	۰.۰۴۸	۰.۱۲۱	۱.۰۰۰	۰.۰۳۱	۰.۱۱۵	۰.۰۷۲
مساحت واحدهای فروش مواد غذایی	۰.۳۰۳	۰.۲۱۶	۰.۲۵۵	۰.۰۳۱	۱.۰۰۰	۰.۱۱۴	۰.۲۱۹
مساحت مراکز آموزش عالی	۰.۰۴۱	۰.۳۴۸	۰.۰۱۱	۰.۱۱۵	۰.۱۱۴	۱.۰۰۰	۰.۰۴۴
مساحت هتل‌ها	۰.۱۷۷	۰.۲۰۱	۰.۰۶۷	۰.۰۷۲	۰.۲۱۹	۰.۰۴۴	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۱۸ متغیرهای جمعیت و تعداد واحد کسبی همبستگی نسبتاً خوبی با متغیر وابسته یعنی جذب سفرهای باری گروه دو (مواد غذایی فاسد شدنی) دارند. همچنین مساحت واحدهای فروش مواد غذایی با تناژ جذب بار این گروه همبستگی نسبی دارد، که ممکن است استفاده از متغیر صفر-یک وجود این کاربری در ناحیه موجب بهبود مدل شود. همین طور می‌توان اثر متغیر صفر-یک وجود حرم مطهر حضرت معصومه (س) و وجود جمکران در ناحیه ترافیکی را نیز در مدل آزمود.

با این متغیرها تعدادی مدل مختلف می‌توان ساخت، برخی از این مدل‌ها در جدول ۷-۱۹ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان

داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ممکن است ضریب ثابت مدل صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۱۹ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار اول در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها				ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	Pop ضریب *(t-test)*	***NoSH*** ضریب *(t-test)*	***DFS*** ضریب *(t-test)*	***DHP*** ضریب *(t-test)*		
۱	۰.۰۰۴۲ (۴.۶۴)	–	–	–	۴۸.۵۶ (۶.۸۴)	۰.۳۹۵
۲	–	۰.۰۵۹ (۲۱.۰۴)	–	–	۴۸.۴۹ (۱۷.۵۷)	۰.۶۸۶
۳	۰.۰۰۶۱ (۱۸.۲۵)	۰.۰۶۴ (۳۶.۵۶)	–	–	۷.۵۹ (۲.۷۰)	۰.۸۸۱
۴	۰.۰۰۵۵ (۱۶.۸۰)	۰.۰۶۳ (۳۸.۵۶)	۱۶.۷۷ (۵.۶۶)	–	۳.۶۱ (۱.۳۳)	۰.۸۹۸
۵	۰.۰۰۶۱ (۱۸.۱۹)	۰.۰۶۴ (۳۶.۴۸)	–	۵.۰۹ (۰.۳۳)	۷.۴۹ (۲.۶۵)	۰.۸۸۱

متغیرهای جدول ۷-۱۷ به شرح ذیل اند:

Pop: جمعیت در هر ناحیه (واحد: نفر)

NoSH: تعداد واحد کسبی در ناحیه ترافیکی (واحد: تعداد)

DFS: تعداد اغذیه فروشی‌ها و خدمات مواد غذایی در ناحیه ترافیکی (واحد: تعداد)

DHP: وجود حرم مطهر حضرت معصومه (س) یا مسجد جمکران در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک)

C: مقدار عدد ثابت مدل

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها

کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره برای مدل‌های سوم، چهارم و پنج خیلی خوب است، اما با نگاهی مجدد به جدول ۷-۱۷ مدل چهارم را می‌توان بهترین مدل ساخته شده توصیف نمود، همچنین اگرچه مقدار R^2 به دست آمده در مدل پنجم خوب است، اما متغیر صفر-یک وجود اماکن مذهبی (حرم حضرت معصومه (س) و مسجد جمکران) در این مدل از نظر t-test بی معنی به دست آمده است. به علاوه، مقدار t-test به دست آمده برای عدد ثابت این مدل در سطوح اطمینان ۰.۹۵ و ۰.۸۵ بی معنی است و می‌توان با اطمینان عدد ثابت را از مدل حذف کرد. این مدل با و بدون عدد ثابت به ترتیب به فرم رابطه شماره ۷-۱۴ و رابطه شماره ۷-۱۵ است:

$$AT2=0.0055\times Pop+0.063\times NoSH+16.77\times DFS+3.61 \quad (R^2=0.898) \quad ۷-۱۴$$

$$AT2=0.0069\times Pop+0.066\times NoSH+9.1\times DFS \quad (R^2=0.950) \quad ۷-۱۵$$

در رابطه اخیر؛

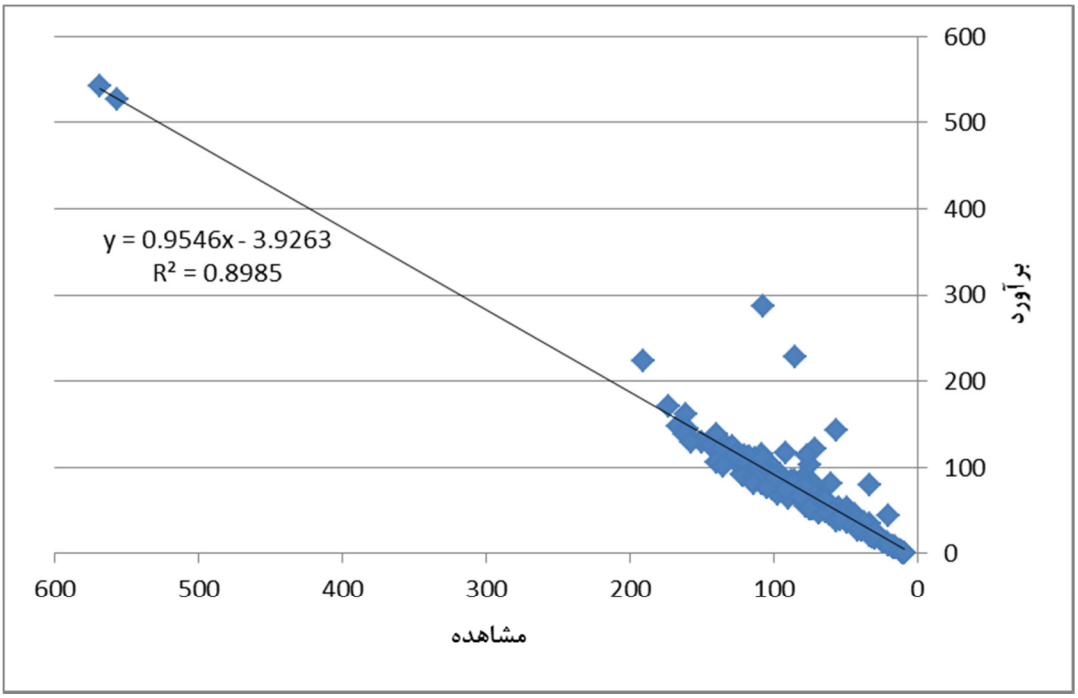
AT2: تناژ بار جذب شده در ناحیه از گروه کالای یک (واحد: تناژ)

Pop: جمعیت در هر ناحیه (واحد: نفر)

NoSH: تعداد واحد کسبی در ناحیه ترافیکی (واحد: تعداد)

DFS: تعداد اغذیه فروشی‌ها و خدمات مواد غذایی در ناحیه ترافیکی (واحد: تعداد)

در شکل ۷-۹ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۹ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار مواد غذایی فاسد شدنی

۷-۱-۷-۳- جذب تناژ بار گروه عمده بار سه: سایر مواد غذایی به جز میوه و تره‌بار و مواد غذایی فاسدشدنی

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های جذب تناژ باری به کار برد توضیح داده شده است. درخصوص مدل جذب تناژ بار گروه بار سوم (سایر مواد غذایی به جز میوه و تره‌بار و مواد غذایی فاسدشدنی) متغیرهای مستقلی از قبیل تعداد واحد کسبی، جمعیت، مساحت عمده فروشی‌ها، مساحت خرده فروشی‌ها، مساحت مراکز خرید، مساحت بازارهای روز و غیره می‌توانند موثر باشند.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی جذب تناژ بار گروه بار سوم است. در جدول ۷-۲۰ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-۲۰ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار سوم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه سوم	جمعیت ناحیه	تعداد واحد کسبی در ناحیه	مساحت عمده فروشی‌ها	مساحت خرده فروشی	مساحت مراکز خرید	مساحت فروشگاه‌های زنجیره‌ای	مساحت بازارهای روز	کل مساحت تجاری ناحیه
تناژ تولیدی بار گروه سوم	۱.۰۰۰	۰.۷۵۲	۰.۲۵۸	۰.۲۳۱	۰.۴۸۹	۰.۲۹۱	۰.۴۰۶	۰.۶۱۸	۰.۷۲۳
جمعیت ناحیه	۰.۷۵۲	۱.۰۰۰	۰.۱۵۴	۰.۱۱۶	۰.۱۸۴	۰.۰۵۵	۰.۰۷۲	۰.۰۱۲	۰.۳۱۱
تعداد واحد کسبی در ناحیه	۰.۲۵۸	۰.۱۵۴	۱.۰۰۰	۰.۰۶۷	۰.۳۰۳	۰.۱۰۹	۰.۰۴۷	۰.۰۳۹	۰.۲۸۹
مساحت عمده فروشی‌ها	۰.۲۳۱	۰.۱۱۶	۰.۰۶۷	۱.۰۰۰	۰.۱۲۹	۰.۰۸۸	۰.۱۰۳	۰.۱۰۷	۰.۳۱۶
مساحت خرده فروشی	۰.۰۸۹	۰.۱۸۴	۰.۳۰۳	۰.۱۲۹	۱.۰۰۰	۰.۰۶۶	۰.۱۰۴	۰.۰۸۲	۰.۴۰۳
مساحت مراکز خرید	۰.۲۹۱	۰.۰۵۵	۰.۱۰۹	۰.۰۸۸	۰.۰۶۶	۱.۰۰۰	۰.۰۴۷	۰.۰۵۵	۰.۳۲۲
مساحت فروشگاه‌های زنجیره‌ای	۰.۴۰۶	۰.۰۷۲	۰.۰۴۷	۰.۱۰۳	۰.۱۰۴	۰.۰۴۷	۱.۰۰۰	۰.۱۴۴	۰.۲۹۴
مساحت بازارهای روز	۰.۶۱۸	۰.۰۱۲	۰.۰۳۹	۰.۱۰۷	۰.۰۸۲	۰.۰۵۵	۰.۱۴۴	۱.۰۰۰	۰.۲۷۵
کل مساحت تجاری ناحیه	۰.۷۲۳	۰.۳۱۱	۰.۲۸۹	۰.۳۱۶	۰.۴۰۳	۰.۳۲۲	۰.۲۹۴	۰.۲۷۵	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۲۰ بجز سه متغیر سه متغیر تعداد واحدهای کسب، مساحت عمده فروشی‌ها و مساحت مراکز خرید، سایر متغیرها همبستگی نسبتاً خوبی با متغیر وابسته یعنی جذب سفرهای باری گروه سه دارند. البته کل مساحت تجاری ناحیه با سایر انواع مساحت‌ها فروشگاهی و تجاری همبستگی دارد، لذا مناسب است تنها دو متغیر جمعیت ناحیه و کل مساحت تجاری ناحیه در مدل در نظر گرفته شوند.

با این متغیرها تعدادی مدل مختلف می‌توان ساخت، برخی از این مدل‌ها در جدول ۷-۲۱ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه

است، بنابراین ممکن است ضریب ثابت مدل صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۲۱ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار سوم در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها		ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	Pop ضریب *(t-test)*	***TC*** ضریب *(t-test)*		
۱	۰.۰۱۰۸ (۱۶.۳۰)	-	۳۰.۵۶ (۵.۹۲)	۰.۵۶۷
۲	-	۶۵.۹۳ (۱۴.۹۰)	۵۹.۵۸ (۱۴.۴۶)	۰.۵۲۲
۳	۰.۰۱ (۱۵.۸۳)	۶۰.۲۸ (۱۵.۰۷)	-۰.۰۳ (-۷.۴۱)	۰.۸۹۲

متغیرهای جدول ۷-۱۷ به شرح ذیل اند:

Pop: جمعیت در هر ناحیه (واحد: نفر)

TC: کل مساحت تجاری ناحیه ترافیکی (واحد: هکتار)

C: مقدار عدد ثابت مدل

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره برای مدل‌های مقدار متوسطی است، اما هنگامی که هر دو متغیر جمعیت و کل مساحت تجاری ناحیه ترافیکی به صورت همزمان در مدل ظاهر شده‌اند مقدار این آماره به ۰.۸۹۲ افزایش یافته است. لذا مطابق جدول ۷-۱۷ مدل سوم را می‌توان

بهترین مدل ساخته شده توصیف نمود، همچنین مقدار عدد ثابت در این مدل با علامت منفی و بسیار جزئی به دست آمده است که به راحتی می‌توان از آن صرف نظر کرد. این مدل به فرم رابطه شماره ۷-۱۶ است:

$$AT3=0.01\times Pop+60.28\times TC \qquad (R^2=0.892) \qquad ۱۶-۷$$

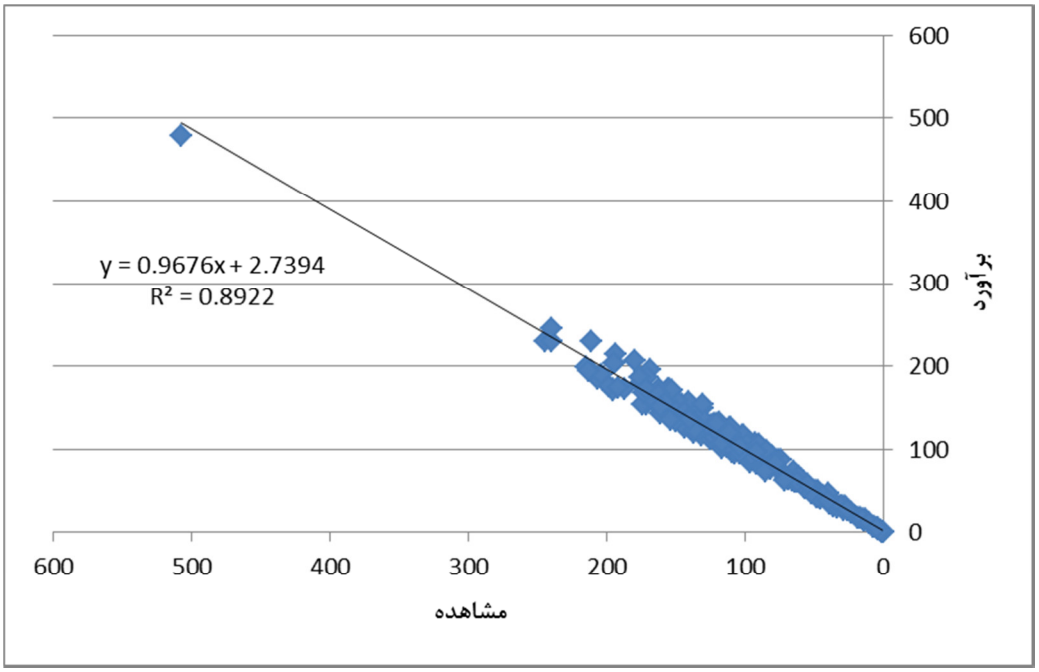
در رابطه اخیر؛

AT3: تناژ بار جذب شده در ناحیه از گروه کالای یک (واحد: تناژ)

Pop: جمعیت در هر ناحیه (واحد: نفر)

TC: کل مساحت تجاری ناحیه ترافیکی (واحد: هکتار)

در شکل ۷-۱۰ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۰ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار گروه سوم کالاهای عمده

۷-۱-۷-۴- جذب تناژ بار گروه عمده بار چهار: لوازم خانگی و اداری

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های جذب تناژ باری به کار برد توضیح داده شده است. درخصوص مدل جذب تناژ بار گروه بار چهارم (لوازم خانگی و اداری) متغیرهای مستقلی از قبیل تعداد واحد کسبی، جمعیت، مساحت عمده فروشی‌ها، مساحت خرده فروشی‌ها، مساحت مراکز خرید، مساحت مسکونی، مساحت اداری و غیره می‌توانند موثر باشند.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی جذب تناژ بار گروه بار چهارم است. در جدول ۷-۲۲ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر

چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-۲۲ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار چهارم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ تولیدی بار گروه چهارم	جمعیت ناحیه	تعداد واحد کسبی در ناحیه	مساحت عمده فروشی‌ها	مساحت خرده فروشی	مساحت مراکز خرید	مساحت فروشگاه‌های زنجیره‌ای	مساحت مسکونی	مساحت اداری	کل مساحت تجاری ناحیه
تناژ تولیدی بار گروه چهارم	۱.۰۰۰	۰.۵۴۲	۰.۱۳۲	۰.۱۳۹	۰.۰۷۹	۰.۲۹۰	۰.۲۶۹	۰.۳۰۱	۰.۳۱۶	۰.۷۲۳
جمعیت ناحیه	۰.۵۴۲	۱.۰۰۰	۰.۱۵۴	۰.۱۱۶	۰.۱۸۴	۰.۰۵۵	۰.۰۷۲	۰.۷۰۷	۰.۱۹۹	۰.۳۱۱
تعداد واحد کسبی در ناحیه	۰.۱۳۲	۰.۱۵۴	۱.۰۰۰	۰.۰۶۷	۰.۳۰۳	۰.۱۰۹	۰.۰۴۷	۰.۱۰۲	۰.۱۰۷	۰.۲۸۹
مساحت عمده فروشی-ها	۰.۱۳۹	۰.۱۱۶	۰.۰۶۷	۱.۰۰۰	۰.۱۲۹	۰.۰۸۸	۰.۱۰۳	۰.۰۱۱	۰.۲۰۲	۰.۳۱۶
مساحت خرده فروشی	۰.۰۷۹	۰.۱۸۴	۰.۳۰۳	۰.۱۲۹	۱.۰۰۰	۰.۰۶۶	۰.۱۰۴	۰.۱۳۳	۰.۲۲۹	۰.۴۰۳
مساحت مراکز خرید	۰.۲۹۰	۰.۰۵۵	۰.۱۰۹	۰.۰۸۸	۰.۰۶۶	۱.۰۰۰	۰.۰۴۷	۰.۰۵۸	۰.۱۰۵	۰.۳۲۲
مساحت فروشگاه‌های زنجیره‌ای	۰.۲۶۹	۰.۰۷۲	۰.۰۴۷	۰.۱۰۳	۰.۱۰۴	۰.۰۴۷	۱.۰۰۰	۰.۰۸۴	۰.۰۶۴	۰.۲۹۴
مساحت مسکونی	۰.۳۰۱	۰.۷۰۷	۰.۱۰۲	۰.۰۱۱	۰.۱۳۳	۰.۰۵۸	۰.۰۸۴	۱.۰۰۰	۰.۰۵۱	۰.۲۷۵
مساحت اداری	۰.۳۱۶	۰.۱۹۹	۰.۱۰۷	۰.۲۰۲	۰.۲۲۹	۰.۱۰۵	۰.۰۶۴	۰.۰۵۱	۱.۰۰۰	۰.۱۰۱
کل مساحت تجاری ناحیه	۰.۷۲۳	۰.۳۱۱	۰.۲۸۹	۰.۳۱۶	۰.۴۰۳	۰.۳۲۲	۰.۲۹۴	۰.۲۷۵	۰.۱۰۱	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در در جدول ۷-۲۲ متغیرهای جمعیت و کل مساحت تجاری ناحیه همبستگی بسیار خوبی با متغیر مستقل دارد. در خصوص دو متغیر مساحت مسکونی و مساحت اداری نیز با اغماض می‌توان آنها را در روند مدلسازی وارد کرد، هر چند به نظر نمی‌رسد اثر مثبتی در مدل داشته باشند. بالاخره در نواحی ترافیکی ۱، ۳، ۱۲ و ۲۳ بازار سنتی قم وجود دارد و

در نواحی ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۴۵، ۱۴۶ و ۱۴۷ نیز مراکز عمده و بورس فروشندگان لوازم خانگی و اداری وجود دارد. این دو نیز به صورت متغیر صفر–یک در روند مدلسازی در نظر گرفته شده‌اند.

با این متغیرها تعدادی مدل مختلف می‌توان ساخت، برخی از این مدل‌ها در جدول ۷-۲۳ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ممکن است ضریب ثابت مدل صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۲۳ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار چهارم در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها						ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	Pop ضریب *(t-test)*	***RS*** ضریب *(t-test)*	***OS*** ضریب *(t-test)*	***TC*** ضریب *(t-test)*	***DTB*** ضریب *(t-test)*	***DHA*** ضریب *(t-test)*		
۱	۰.۰۰۴۷ (۹.۱۲)	–	–	–	–	–	۱۷.۶۷ (۴.۴۵)	۰.۶۲۸
۲	-	۶.۴۲ (۲.۵۵)	-	-	-	-	۴۱.۳۵ (۸.۴۷)	۰.۴۱۴
۳	-	-	۱۷.۵۵ (۳.۹۴)	-	-	-	۳۹.۵۲ (۱۱.۰۷)	۰.۴۵۱
۴	-	-	-	۱۲۹.۵۳ (۱۴.۹۲)	-	-	۳۹.۱۴ (۱۹.۸۰)	۰.۶۹۴
۵	۰.۰۰۶ (۷۴.۹۴)	–	–	۱۵۱.۵۱ (۹۱.۹۳)	–	–	۰.۱۷ (۰.۲۸)	۰.۸۳۴
۶	۰.۰۰۶ (۷۶.۰۲)	–	–	۱۴۸.۷۱ (۷۶.۸۵)	۸.۱۹ (۲.۷۱)	–	۰.۲۲ (۰.۳۵)	۰.۸۴۲
۷	۰.۰۰۶ (۷۵.۰۱)	–	–	۱۵۱.۶۰ (۹۲.۰۱)	–	۲.۴۵ (۱.۱۶)	۰.۱۰ (۰.۱۵)	۰.۸۳۵
۸	۰.۰۰۶ (۷۶.۱۱)	–	–	۱۴۸.۷۰ (۷۶.۹۴)	۸.۲۲ (۲.۷۲)	۲.۵۰ (۱.۲۰)	۰.۱۴ (۰.۲۳)	۰.۸۴۴

متغیرهای جدول ۷-۱۷ به شرح ذیل اند:

Pop: جمعیت در هر ناحیه (واحد: نفر)

RS: مساحت مسکونی ناحیه ترافیکی (واحد: هکتار)

OS: مساحت اداری ناحیه ترافیکی (واحد: هکتار)

TC: کل مساحت تجاری ناحیه ترافیکی (واحد: هکتار)

DTB: وجود بازار سنتی قم در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک)

DHA: وجود بازار مراکز عمده و بورس فروش لوازم خانگی و اداری در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک)

C: مقدار عدد ثابت مدل

در این جدول متغیرهای صفر-یک به صورت وجود کاربری ضربدر مساحت آن تعریف شده است که به دلیل اختصار در جدول ذکر نشده اما در مدل نهایی در نظر گرفته شده است.

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره برای مدل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ بسیار خوب به دست آمده است. بهترین مقدار به مدل شماره هشت اختصاص دارد اما متغیر وجود بازار مراکز عمده و بورس فروش لوازم خانگی و اداری در ناحیه ترافیکی با t-test برابر با ۱.۲ در این مدل د سطوح اطمینان ۰.۸۵ و ۰.۹۵ بی معنی به دست آمده است. در نتیجه مدل منتخب مدل شماره شش است. البته در این مدل نیز مقدار ثابت مدل با t-test برابر با ۰.۳۵ در تمامی سطوح اطمینان بی معنی است. لذا می‌توان مدل را با اطمینان کافی بدون مقدار ثابت ساخت. این مدل با و بدون عدد ثابت به ترتیب به فرم رابطه شماره ۷-۱۷ و ۷-۱۸ است:

$$AT4=0.006\times Pop+148.71\times TC+8.19\times DTB\times SQ+0.22 \quad (R^2=0.842) \quad ۱۷\text{-}۷$$

$$AT4=0.006\times Pop+148.90\times TC+8.16\times DTB\times SQ \quad (R^2=0.934) \quad ۱۸\text{-}۷$$

در رابطه اخیر؛

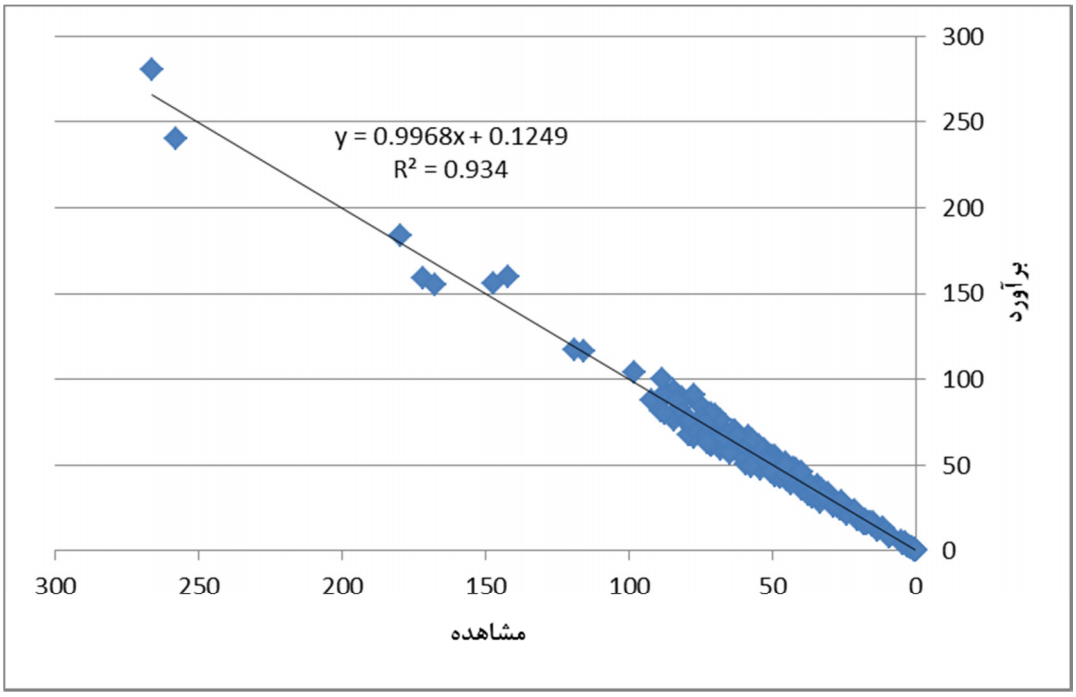
AT4: تناژ بار جذب شده در ناحیه از گروه کالای یک (واحد: تناژ)

Pop: جمعیت در هر ناحیه (واحد: نفر)

TC: کل مساحت تجاری ناحیه ترافیکی (واحد: هکتار)

DTB×SQ: وجود بازار سنتی قم در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر–یک) ضربدر مساحت آن

در شکل ۷-۱۱ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۱ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار لوازم خانگی و اداری

۷-۱-۷-۵- جذب تناژ بار گروه عمده بار پنج: کالای صنعتی

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های جذب تناژ باری به کار برد توضیح داده شده است. درخصوص مدل جذب تناژ گروه بار پنجم (انواع کالای صنعتی) متغیرهای مستقلی از قبیل مساحت کاربری‌های عرضه و تعمیرات خودرو و لوازم یدکی و مساحت کارگاه‌های صنعتی و مساحت کارگاه‌های تولیدی و غیره می‌توانند موثر باشند.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی جذب تناژ بار گروه بار پنجم است. در جدول ۷-۲۴ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-۲۴ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار پنجم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ جذب بار گروه پنجم	مساحت کاربری اتوموبیل و لوازم یدکی	مساحت کارگاه-های تولیدی	مساحت کارگاه-های صنعتی	مجموع مساحت کارگاه‌های تولیدی و صنعتی
تناژ جذب بار گروه پنجم	۱.۰۰۰	۰.۳۰۵	۰.۵۹۸	۰.۶۵۱	۰.۷۲۴
مساحت کاربری اتوموبیل و لوازم یدکی	۰.۳۰۵	۱.۰۰۰	۰.۱۰۷	۰.۲۲۵	۰.۳۰۸
مساحت کارگاه‌های تولیدی	۰.۵۹۸	۰.۱۰۷	۱.۰۰۰	۰.۱۰۹	۰.۹۱۶
مساحت کارگاه‌های صنعتی	۰.۶۵۱	۰.۲۲۵	۰.۱۰۹	۱.۰۰۰	۰.۸۸۴
مجموع مساحت کارگاه‌های تولیدی و صنعتی	۰.۷۲۴	۰.۳۰۸	۰.۹۱۶	۰.۸۸۴	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۲۴ هر چهار متغیر مستقل همبستگی قابل قبولی دارند و می‌توانند در مدل به کار روند. البته از میان دو متغیر مساحت کارگاه تولیدی و مساحد کارگاه صنعتی با مساحت کل کارگاه‌های تولیدی–صنعتی فقط یکی می‌تواند همزمان در مدل وارد شود، چرا که دو متغیر فوق‌الذکر با مجموع مساحت‌ها همبستگی دارد. ضمناً ناحیه ۱۶۱ به دلیل وجود شهرک صنعتی شکوهیه به صورت یک متغیر صفر–یک در مدل در نظر گرفته خواهد شد.

با این متغیرها تعدادی مدل مختلف می‌توان ساخت، برخی از این مدل‌ها در جدول ۷-۲۵ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ممکن است ضریب ثابت مدل صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۲۵ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار چهارم در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها					ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	SP ضریب *(t-test)*	***PW*** ضریب *(t-test)*	***IW*** ضریب *(t-test)*	***TW*** ضریب *(t-test)*	***SHO×SQ*** ضریب *(t-test)*		
۱	۷۶.۰۸ (۴.۵۶)	–	–	–	–	۳۷.۸۶ (۲.۴۶)	۰.۲۸۹
۲	–	۴۱.۱۲ (۱۰.۶۴)	–	–	–	۲۵.۶۶ (۲.۰۲)	۰.۳۵۸
۳	–	–	۳۳.۱۴ (۱۲.۲۱)	–	–	۲۸.۹۷ (۲.۴۳)	۰.۴۲۳
۴	–	۲۵.۱۹ (۶.۵۸)	۲۳.۹۳ (۸.۴۳)	–	–	۱۶.۴۴ (۱.۴۹)	۰.۵۲۵
۵	–	–	–	۲۴.۴۴ (۱۴.۹۸)	–	۱۶.۶۰ (۱.۵۱)	۰.۵۲۴
۶	۱۴.۱۰ (۱.۰۹)	۲۴.۱۸ (۶.۱۴)	۲۳.۴۹ (۸.۲۰)	–	–	۱۳.۵۶ (۱.۱۹)	۰.۶۲۸
۷	۱۴.۲۴ (۱.۱۰)	–	–	۲۳.۷۶ (۱۳.۶۴)	–	۱۳.۶۱ (۱.۲۱)	۰.۶۲۴
۸	–	۲۵.۸۷ (۴۴.۲۴)	۲۴.۲۲ (۵۵.۹۰)	–	۲۱۳۷.۵۷ (۹۲.۰۴)	۵.۱۸ (۳.۰۷)	۰.۸۹۰
۹	–	–	–	۲۴.۸۸ (۹۹.۰۴)	۲۱۳۷.۳۶ (۹۱.۴۷)	۵.۳۸ (۳.۱۸)	۰.۸۸۸

متغیرهای جدول ۷-۱۷ به شرح ذیل اند:

SP: مساحت کاربری عرضه، خدمات و تعمیرات اتوموبیل و لوازم یدکی (واحد: هکتار)

PW: مساحت کاربری کارگاه تولیدی (واحد: هکتار)

IW: مساحت کاربری کارگاه صنعتی (واحد: هکتار)

TW: مجموع مساحت کاربری‌های کارگاه تولیدی و کارگاه صنعتی (واحد: هکتار)

SHO: وجود شهرک شکوهیه در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک) ضربدر مساحت آن

C: مقدار عدد ثابت مدل

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز

خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از اسنفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آماره برای مدل‌های ۴ و ۵ به وضوح بهتر از مدل‌های ۱ و ۲ و ۳ است . با این وجود همچنان مقدار R^2 در این مدل‌ها در حدود ۰.۵۲ و کم است. در مدل‌های ۶ و ۷ مقدار R^2 رشد خوبی داشته است، اما مقدار t-test متناظر با متغیر مساحت خدمات اتوموبیل و لوازم یدکی در این دو مدل بسیار کم و به ترتیب برابر با ۱.۰۹ و ۱.۱۰ است که در هیچ سطح اطمینانی معنی‌دار نمی‌باشد. از میان دو مدل ۸ و ۹ نیز مدل ۸ مقدار R^2 بهتری برابر با ۰.۸۹۰ دارد و لذا مدل منتخب است. این مدل به فرم رابطه شماره ۷-۱۹ است:

$$AT5=0.006\times Pop+148.71\times TC+8.19\times DTB+0.22 \qquad (R^2=0.890) \qquad ۱۹\text{-}۷$$

در رابطه اخیر؛

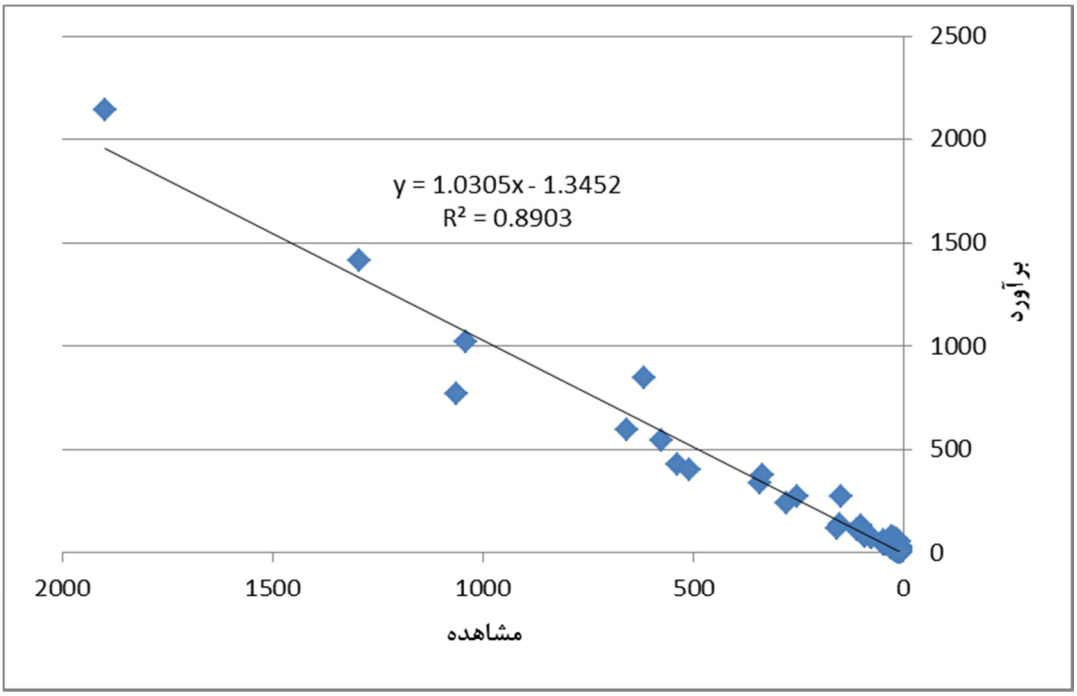
AT5: تناژ بار جذب شده در ناحیه از گروه کالای یک (واحد: تناژ)

PW: مساحت کاربری کارگاه تولیدی (واحد: هکتار)

IW: مساحت کاربری کارگاه صنعتی (واحد: هکتار)

SHO: وجود شهرک شکوهیه در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک) ضربدر مساحت آن

در شکل ۷-۱۲ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۲ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار انواع کالاهای صنعتی

۷-۱-۷-۶- جذب تناژ بار گروه عمده بار شش: مصالح ساختمانی و نخاله

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های جذب تناژ باری به کار برد توضیح داده شده است. درخصوص مدل جذب تناژ گروه بار ششم (مصالح ساختمانی و نخاله) تنها مجوزهای صادره جهت ساخت و ساز می‌تواند موثر و مرتبط باشد. این متغیر به صورت مساحت عرصه (مساحت زمین) و مساحت اعیان (مساحت زمین ضربدر تراکم) در نظر گرفته شده است. این مسئله به آن دلیل است که جذب مصالح ساختمانی و نخاله تنها به مسئله ساخت و ساز مرتبط است.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی جذب تناژ بار گروه بار ششم است. در جدول ۷-۲۶ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-۲۶ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار ششم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ جذب بار گروه ششم	مساحت عرصه مجوزهای صادر شده برای ساخت و ساز در ناحیه ترافیکی	مساحت اعیان مجوزهای ساخت و ساز صادر شده در ناحیه ترافیکی
تناژ جذب بار گروه ششم	۱.۰۰۰	۰.۳۱۱	۰.۴۵۷
مساحت عرصه مجوزهای صادر شده برای ساخت و ساز در ناحیه ترافیکی	۰.۳۱۱	۱.۰۰۰	۰.۴۵۷
مساحت اعیان مجوزهای ساخت و ساز صادر شده در ناحیه ترافیکی	۰.۴۵۷	۰.۴۵۷	۱.۰۰۰

مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۲۶ هر دو متغیر مستقل همبستگی قابل قبولی دارند و می‌توانند در مدل به کار روند. البته از میان این دو متغیر به دلیل همبستگی که خود آنها با هم دارند، فقط یکی از آنها به صورت همزمان باید در مدل استفاده شود. ضمناً در چهارده ناحیه ترافیکی فروشندگان عمده مصالح ساختمانی وجود دارد که این موضوع به صورت متغیر صفر–یک در مدل لحاظ شده است.

با این متغیرها تعدادی مدل مختلف می‌توان ساخت، برخی از این مدل‌ها در جدول ۷-۲۷ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ممکن است ضریب ثابت مدل صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۲۷ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار ششم در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها			ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	AS ضریب *(t-test)*	***TS*** ضریب *(t-test)*	***BMS*** ضریب *(t-test)*		
۱	۴.۴۰ (۴.۶۷)	–	–	۱۹۴.۵۱ (۴.۸۳)	۰.۶۹۳
۲	–	۳۶.۴۶ ۲۸.۲۵)	–	۱۲.۹۳ (۰.۶۴)	۰.۷۹۷
۳	۴.۳۹ (۴.۶۶)	–	۱۵۴.۹۹ (۰.۹۹)	۱۸۴.۰۰ ۴.۴۲)	۰.۷۰۱
۴	–	۳۶.۴۰ (۲۸.۱۸)	۷۶.۱۶ (۱.۰۳)	۸.۰۶ (۰.۳۹)	۰.۷۹۸

متغیرهای جدول ۷-۲۷ به شرح ذیل اند:

AS: مساحت عرصه مجوزهای ساخت و ساز صادر شده در ناحیه (واحد: هزار متر مربع)

TS: مساحت کل مجوزهای ساخت و ساز صادر شده در ناحیه (واحد: هزار متر مربع)

BMS: تعداد عرضه کنندگان عمده مصالح ساختمانی در ناحیه ترافیکی (واحد: تعداد)

C: مقدار عدد ثابت مدل

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از اسنفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. مقادیر این آمار برای مدل‌های ۲ و ۴ بیش از مدل‌های ۱ و ۳ است. از میان دو مدل ۲ و ۴، مقدار t-test به دست آمده برای متغیر وجود فروشنده عمده مصالح ساختمانی در مدل شماره ۴ بسیار کم (۱.۰۳) است و در هیچ سطحی معنی‌دار نمی‌باشد. لذا مدل منتخب مدل شماره ۲ است. در این مدل

هم مقدار t-test متناظر عدد ثابت مدل برابر با ۰.۶۴ و بسیار کم به دست آمده که در نتیجه می‌توان با اطمینان عدد ثابت را از مدل حذف کرد. به معنی آن است که اگر در ناحیه‌ای ساخت و ساز نباشد جذب مصالح ساختمانی هم وجود نخواهد داشت. این مدل با و بدون عدد ثابت به ترتیب به فرم رابطه شماره ۷-۲۰ و ۷-۲۱ است:

$AT6=36.46\times TS+12.93$ $(R^2=0.797)$ ۷-۲۰

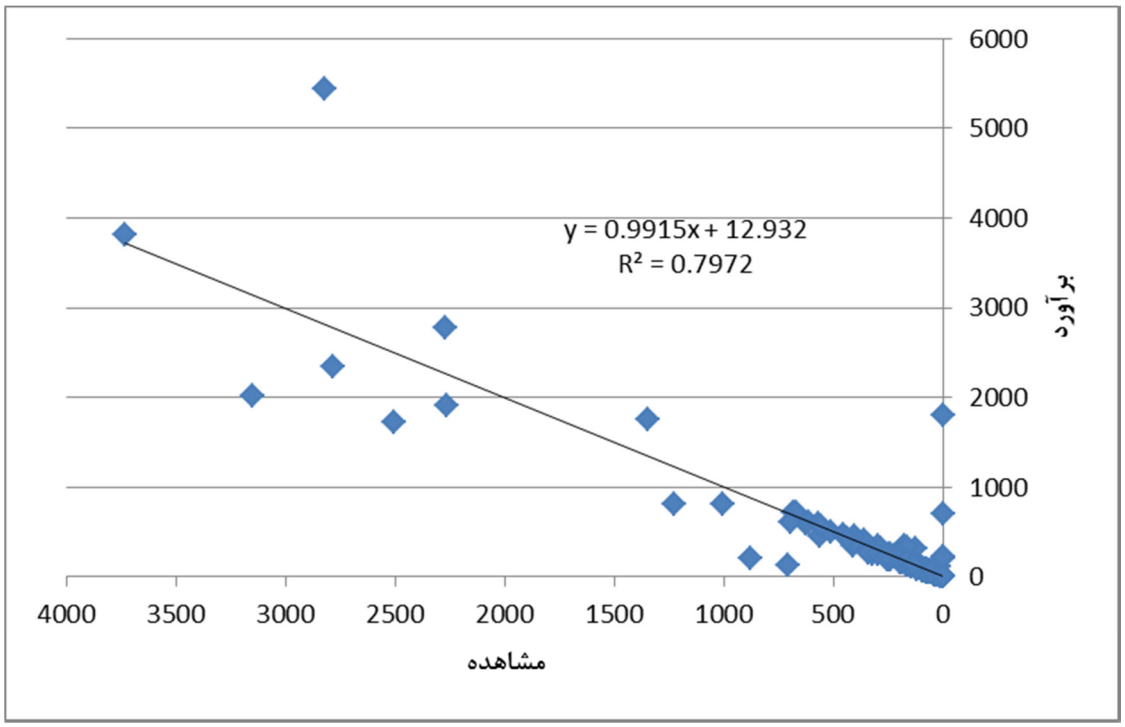
$AT6=36.77\times TS$ $(R^2=0.824)$ ۷-۲۱

در رابطه اخیر؛

AT6: تناژ بار جذب شده در ناحیه از گروه کالای یک (واحد: تناژ)

TS: مساحت کل مجوزهای ساخت و ساز صادر شده در ناحیه (واحد: هزار متر مربع)

در شکل ۷-۱۳ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۳ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب بار مصالح ساختمانی و نخاله

۷-۱-۷-۷- جذب تناژ بار گروه عمده بار هفت: سایر بارها

پیش از این درخصوص انواع متغیرهایی که می‌توان در ساخت و پرداخت مدل‌های جذب تناژ باری به کار برد توضیح داده شده است. درخصوص مدل جذب تناژ گروه بار هفتم (سایر بارها) باید به این نکته توجه داشت که بارهای عضو این گروه عمدتاً شامل چوب، دام زنده، مواد سوختی و زباله است. با این حساب باید به دنبال متغیرهایی گشت که با جذب سوخت مرتبط

هستند. در خصوص زباله، تولید آن در نواحی شهری و جذب آن در مراکز پسماند در خارج شهر انجام می‌شود. همچنین مراکزی که جذب عمده چوب و دام زنده داشته باشند، مثل سازندگان مبلمان و کشتارگاه‌ها نیز در این مدل موثر خواهند بود.

اولین گام در ساخت و پرداخت مدل‌های رگرسیونی تعیین همبستگی هریک از متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته یعنی جذب تناژ بار گروه بار هفتم است. در جدول ۷-۲۸ ضریب همبستگی بین این متغیرها نشان داده شده است. هر چقدر ضریب همبستگی به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وابستگی بیشتر متغیرها به یکدیگر است. بنابراین متغیرهای مستقلی که ضریب همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته مدل بیشتر است، متغیرهای موثرتری هستند، از طرفی در یک مدل رگرسیون خطی نباید متغیرهای مستقلی که با هم دارای همبستگی زیادی هستند به صورت همزمان استفاده شوند.

جدول ۷-۲۸ همبستگی نرخ جذب تناژ بار گروه بار هفتم با متغیرهای تاثیرگذار

	تناژ جذب بار گروه هفتم	مساحت جایگاه‌های سوخت
تناژ جذب بار گروه هفتم	۱.۰۰۰	۰۶۸۴
مساحت جایگاه‌های سوخت	۰۶۸۴	۱.۰۰۰

در ساخت مدل جذب گروه بار سایر تنها یک متغیر مستقل پیوسته معنی‌دار وجود دارد که مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۷-۲۸ همبستگی قابل قبولی با متغیر وابسته دارد. همچنین وجود کشتارگاه در ناحیه شماره ۹۹ و وجود عرضه کنندگان عمده چوب و مبلمان در ۹ ناحیه از ۲۰۵ ناحیه ترافیکی به صورت متغیر صفر-یک در مدل در نظر گرفته شده است.

با این متغیرها تعدادی مدل مختلف می‌توان ساخت، برخی از این مدل‌ها در جدول ۷-۲۹ خلاصه شده است. این جدول صرفاً دربردارنده برخی از بهترین مدل‌های ساخته شده است. در این جدول منظور از C مقدار ثابت مدل است. در مدل‌های رگرسیونی، عدد ثابت به صورت متوسط اختلاف میان مشاهده و برآورد توسط مدلی متشکل از فقط متغیرهای مستقل را نشان داده و در حقیقت موجب کاهش خطای برآورد می‌شود. از آنجا که C یک عدد ثابت است؛ یعنی بدون توجه به مقداری که متغیر مستقل می‌گیرد مقدار آن فرقی نمی‌کند، آن را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد: "مقدار متغیر وابسته، وقتی متغیر مستقل صفر باشد." به‌طوری‌که می‌تواند منفی، مثبت یا صفر باشد. از آنجا که عمدتاً تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مورد توجه است، بنابراین ممکن است ضریب ثابت مدل صفر در نظر گرفته می‌شود تا صرفا اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دیده شود.

جدول ۷-۲۹ مدل‌های جذب تناژ بار گروه بار هفتم در کلانشهر قم

ردیف	متغیرها			ثابت مدل (*C*) مقدار *(t-test)*	R^2 اصلاح شده
	PS ضریب *(t-test)*	***SLD*** ضریب *(t-test)*	***W*** ضریب *(t-test)*		
۱	۸۸۴۱.۲۸ (۵۵.۴۱)	–	–	۴۴.۲۷ (۲.۹)	۰.۸۳۸
۲	۸۸۷۲.۴۹ (۸۳.۱۹)	۲۲۵۱.۲۶ (۱۵.۹۰)	–	۳۲.۵۳ (۳.۱۸)	۰.۸۷۲
۳	۸۷۲۸.۰۹ (۷۱.۹۰)	–	۶۷۳.۳۳ (۱۲.۲۸)	۱۷.۴۷ (۱.۴۸)	۰.۸۶۴
۴	۸۷۵۷.۹۰ (۵۸.۵۱)	۲۲۷۸.۶۳ (۸۸.۳۲)	۶۸۳.۹۴ (۶۵.۷۷)	۵.۱۶ (۵.۸۰)	۰.۸۹۸

متغیرهای جدول ۷-۲۹ به شرح ذیل اند:

PS: مساحت جایگاه‌های در ناحیه ترافیکی (واحد: هکتار)

SLD: وجود کشتارگاه در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک)

W: تعداد عرضه کنندگان عمده چوب و مبلمان در ناحیه ترافیکی (واحد: تعداد)

C: مقدار عدد ثابت مدل

در این جدول متغیرهای صفر-یک به صورت وجود کاربری ضربدر مساحت آن تعریف شده است که به دلیل اختصار در جدول ذکر نشده اما در مدل نهایی در نظر گرفته شده است.

ضریب هر متغیر در مدل، میزان اثرگذاری آن متغیر بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار t-test بیانگر آن است که هر متغیر چه مقدار معنادار است. مقدار t-test بزرگتر از ۱.۹۶ یا کوچکتر از ۱.۹۶- نشان می‌دهد متغیر انتخاب شده در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنادار است، متغیرهایی که مقدار ضریب آن‌ها منفی به دست می‌آید، مقدار t-test متناظر منفی نیز خواهند داشت. مقدار t-test کمتر از ۱.۹۶ فرض معناداری متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ را نقض نموده و بهتر است از استفاده از آن در ساختار مدل صرف‌نظر شود. وجود عدد ثابت در مدل برای تصحیح مقدار خطای باقی‌مانده تخمین نسبت به مشاهده است و وجود آن برای رعایت فرضیات مدل‌های رگرسیونی ضروری است، مگر آن‌که مقدار t-test به دست آمده برای آن‌ها کم باشد، که در این‌صورت گویای این حقیقت است که بدون تخطی از فرضیات بنیادی رگرسیون می‌توان عدد ثابت را از مدل حذف نمود. مقدار R^2 که در حقیقت همان R^2 پیرسون است یکی از شاخص‌های سنجش دقت و برازش مدل است. این آماره عددی است بین صفر تا یک و هر اندازه به یک نزدیک‌تر شود مدل تخمین بهتری از مشاهدات را ارایه نموده است. درصورتی‌که تعداد متغیرهای مدل رگرسیونی زیاد شود توصیه شده است از R^2 اصلاح شده برای سنجش برازش چنین مدل‌هایی استفاده شود. از نظر متون آماری R^2 اصلاح شده بیش از مقدار اولیه R^2 قابل اعتماد و درست است. با بررسی جدول

اخیر مشخص است، مدل شماره ۴ که هر سه متغیر در آن ظاهر شده است با مقدار آماره R^2 برابر با ۰.۸۹۸ بهترین مدل است. فرم ریاضی این مدل به صورت رابطه ۷-۲۲ است:

$$AT7=8757.90\times PS+2278.63\times SLD\times SQ+683.94\times W+5.16 \quad (R^2=0.898)$$ ۷-۲۲

در رابطه اخیر؛

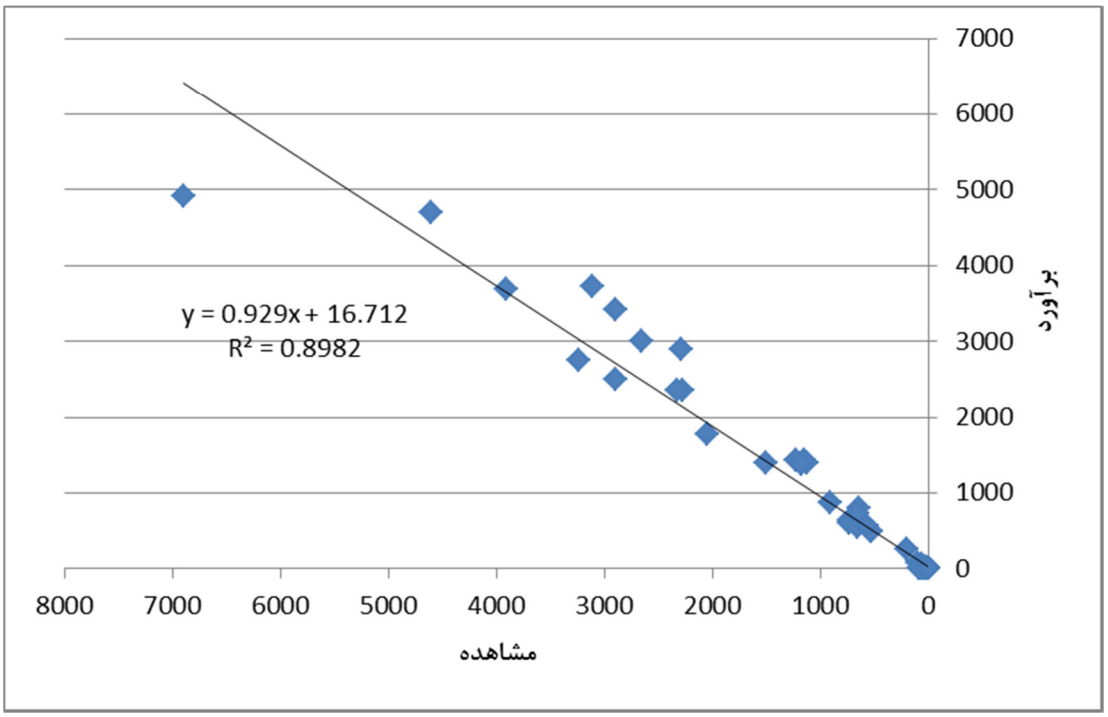
AT7: تناژ بار جذب شده در ناحیه از گروه کالای یک (واحد: تناژ)

PS: مساحت جایگاه‌های در ناحیه ترافیکی (واحد: هکتار)

SLD×SQ: وجود کشتارگاه در ناحیه ترافیکی (متغیر صفر-یک) ضربدر مساحت آن

W: تعداد عرضه کنندگان عمده چوب و مبلمان در ناحیه ترافیکی (واحد: تعداد)

در شکل ۷-۱۴ مقایسه‌ای از دقت مدل به عمل آمده است. در این نمودار محور افقی مشاهده و محور قائم برآورد توسط مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۴ نمودار مقایسه مشاهده و برآورد تناژ جذب گروه عمده بار هفتم (سایر بارها)

۷-۲- ساخت و پرداخت مدل‌های انتخاب وسیله نقلیه باری

هدف از ساخت این مدل‌ها آن است که ماتریس کالا–مبنای باری به ماتریس وسیله مبنا تبدیل شود. در نتیجه تولید و جذب سفرها از شکل تناژ به شکل وسیله نقلیه باری درآمده و قابل تخصیص به شبکه معابر خواهد بود.

به طور کلی پس از آنکه تولید و جذب سفر در یک ناحیه مشخص شد نوبت به تفکیک سفر می‌رسد. تفکیک سفرها عبارتند از تبدیل اطلاعات سفر نواحی به سفر وسایل نقلیه. در خصوص سفرهای باری، در مرحله ساخت مدل‌های تولید و جذب، تناژ تولیدی و جذبی هر گروه عمده کالا در هر یک از نواحی ترافیکی محاسبه می‌شود. سپس باید مشخص نمود که هر نوع وسیله نقلیه باری چه سهمی در جابجایی انواع بار دارد. این کار در مطالعات باری قبلاً در بخش مدلسازی بار در مطالعات طرح جامع شهر زنجان توسط مهندسین مشاور طرح هفتم و در بخش مدلسازی بار در مطالعات طرح جامع شهر گرگان توسط مهندسین مشاور طرح راه ابریشم انجام شده است. در مطالعات طرح جامع حمل‌ونقل بار درون‌شهری مشهد نیز همین رویکرد توسط دانشگاه علم و صنعت ایران به کار گرفته شده است. به علاوه در مطالعات طرح جامع بار درون‌شهری اصفهان که به صورت همزمان با مطالعات طرح جامع بار درون‌شهر کلان‌شهر قم و توسط تیم همکاری مهندسین مشاور آیریانا طرح و برنامه و مهندسین مشاور آوند طرح و اندیشه در جریان است، نیز همین رویکرد برای مدلسازی انتخاب وسیله نقلیه باری و در نتیجه تبدیل ماتریس کالا–مبنا به ماتریس وسیله–مبنا استفاده شده است. در ادامه مطالب تئوری در خصوص مدلسازی انتخاب وسیله حمل بار ارائه شده است.

۷-۲-۱- فرضیات مدل‌های انتخاب گسسته[۱]

پایه و اساس مدل‌های انتخاب گسسته، تئوری مطلوبیت‌های احتمالی است که به طور کلی موارد زیر را بیان می‌دارد:

۱- افرادی که در یک جامعه یکسان و همگون Q زندگی می‌کنند رفتار منطقی دارند و اطلاعات آنان در رابطه با محیط اطرافشان کامل است. یعنی این افراد همیشه گزینه‌هایی را انتخاب می‌کنند که مطلوبیت فردی آنان را حداکثر کند. این انتخاب با توجه به محدودیت‌های قانونی، اجتماعی، فیزیکی و بودجه‌ای (هم اقتصادی و هم زمانی) صورت می‌گیرد[۲].

۲- تعداد مشخصی گزینه برای انتخاب وجود دارد، $A = \{A_1,...,A_j,...,A_N\}$، و برداری که مربوط به خصوصیات فرد وگزینه‌ها باشد، X، نیز موجود است. هر فرد q دارای تعدادی خصوصیات، $x \in X$، است که باید از بین مجموعه‌ای از گزینه‌ها، $A(q) \in A$، گزینه‌ای را انتخاب نماید. در ادامه فرض می‌شود که مجموعه انتخاب‌هایی (گزینه‌هایی) که فرد پیش‌رو دارد، مشخص باشد. این بدان معنی است که این محدودیت‌ها قبلاً مورد بررسی قرار گرفته و گزینه‌هایی که به علت این محدودیت‌ها انتخابشان امکان‌پذیر نباشد از مجموعه گزینه-ها حذف شده و هر شخصی می‌تواند هر گزینه‌ای را که دوست دارد انتخاب نماید [۲].

---

[۱] Discrete Choice

هر گزینه $A_j \in A$ برای شخص q دارای مطلوبیتی به شکل U_{jq} است. مدل‌ساز که در واقع یک مشاهده‌گر است، اطلاعات کاملی نسبت به عوامل موثر در تصمیم‌گیری افراد و مطلوبیت آن‌ها ندارد، در نتیجه U_{jq} که تابع مطلوبیت است از نظر وی دارای دو بخش خواهد بود. یک قسمت مشخص و قابل محاسبه به نام V_{jq} که بر اساس مشخصات کمی افراد و گزینه‌ها (x) تعیین می‌شود. یک قسمت احتمالاتی ε_{jq} که نشان‌دهنده خطاها و سلایق خاص افراد مورد مطالعه است. در نتیجه لازم است رابطه زیر مدنظر قرار گیرد:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \qquad (۱)$$

با استفاده از این رابطه می‌توان دو حالت استثنایی را مدل‌سازی نمود؛ حالت اول مربوط به هنگامی است که دو نفر با خصوصیات یکسان که می‌توانند از مجموعه گزینه‌های یکسانی انتخاب نمایند، ممکن است انتخاب‌های متفاوتی انجام دهند. حالت دوم، هنگامی است که فرد یا از روی نداشتن اطلاعات کافی از وضعیت سیستم و خطا در تشخیص بهترین گزینه به دست آمده توسط پارامترهای مدل را انتخاب نمی کند و یا برخی عوامل در انتخاب او علاوه بر موارد فوق وجود دارد که در مدل در نظر گرفته نشده است[۲].

برای استفاده از این مدل‌ها باید توجه داشت که افراد باید مجموعه انتخاب و محدودیت‌های یکسانی داشته باشند. در این رابطه ε متغیر تصادفی است که دارای میانگین صفر و توزیع احتمالی بوده و تابع V نیز مطابق زیر تعریف می‌شود:

$$V_{jq} = \sum_k \theta_{kj} x_{jkq} \qquad (۲)$$

در این تابع X نشان‌دهنده خصوصیات و θ متغیر ثابتی است که می‌تواند برای هر انتخاب مقدار متفاوتی داشته باشد[۲].

۳- شخص q گزینه‌ای را انتخاب می‌نماید که دارای بیشترین مطلوبیت برای او خواهد بود، بدین سان یک گزینه فقط در صورتی انتخاب می‌شود که:

$$U_{jq} \geq U_{iq}, \quad \forall A_i \in A(q) \qquad (۳)$$

و همچنین:

$$V_{jq} - V_{iq} \geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \qquad (۴)$$

در نتیجه بدون صرف نظر کردن از مقدار متغیر تصادفی موجود در مدل می‌توان رابطه زیر را نوشت:

$$P_{jq} = \Pr\left\{\varepsilon_{iq} \leq \varepsilon_{jp} + \left(V_{jq} - V_{iq}\right), \quad \forall A_i \in A(q)\right\} \qquad (۵)$$

از آنجا که توزیع احتمالی این متغیر تصادفی مشخص نیست. در این مرحله امکان ایجاد یک مدل برای تحلیل آن وجود ندارد. تنها چیزی را که در اینجا می‌توان بیان نمود آن است که این خطاها دارای یک توزیع احتمالی هستند. همچنین لازم به ذکر است که تابع مطلوبیت نیز دارای همان توزیع احتمالی خطاهاست، ولی مقدار متوسط آن به جای صفر برابر مقدار V خواهد بود. در نتیجه می‌توان رابطه فوق را به صورت زیر بازنویسی نمود:

$$P_{jq} = \int_{R_N} f(\varepsilon) d\varepsilon \qquad (۶)$$

که در این رابطه:

$$R_N = \begin{cases} \varepsilon_{iq} \le \varepsilon_{jq} + \left(V_{jq} - V_{iq}\right) & \forall A_i \in A(q) \\ V_{jq} + \varepsilon_{jq} \ge 0 \end{cases}$$

مدل‌های مختلفی را می‌توان بر اساس اینکه خطاها دارای چه تابع توزیعی هستند ساخت. یکی از مهمترین انواع مدل‌ها آن‌هایی هستند که با استفاده از اصل استقلال و یکسان بودن توزیع خطاها[1] ساخته می‌شوند. در این-صورت می‌توان رابطه زیر را برای تجزیه تابع احتمالی خطا بازنویسی کرد:

$$f(\varepsilon_1, \ldots, \varepsilon_N) = \prod_n g(\varepsilon_n) \qquad (۷)$$

که در این رابطه $g(\varepsilon_n)$ توزیع مطلوبیت مربوط به گزینه A_n است و در نتیجه رابطه کلی ۷ به صورت رابطه ۸ نوشته می‌شود:

$$P_j = \int_{-\infty}^{\infty} g(\varepsilon_j) d(\varepsilon_j) \prod_{i \ne j} \int_{-\infty}^{V_j - V_i + \varepsilon_j} g(\varepsilon_i) d\varepsilon_i \qquad (۸)$$

لازم به ذکر است تلاش‌های بسیار زیادی به منظور یافتن شکل مناسبی برای تابع g و حل مساله فوق توسط محققان انجام گرفته است[۲].

از طرفی باید توجه شود که شرط استقلال و یکسان بودن توزیع خطاها نشان می‌دهد که گزینه‌ها باید مستقل باشند، در حالی‌که به کار بردن وسایل سفر ترکیبی مانند خودرو- قطار از این اصل پیروی نمی‌کند [۲].

۷-۲-۲- مدل‌های لوجیت چند گانه

این مدل‌ها ساده‌ترین و کاربردی‌ترین مدل‌های انتخاب گسسته هستند. برای استخراج این روابط می‌توان توزیع خطاها را از نوع گامبل مستقل و یکسان فرض نمود و بدین سان به رابطه زیر رسید:

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta V_{iq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta V_{jp})} \qquad (۹)$$

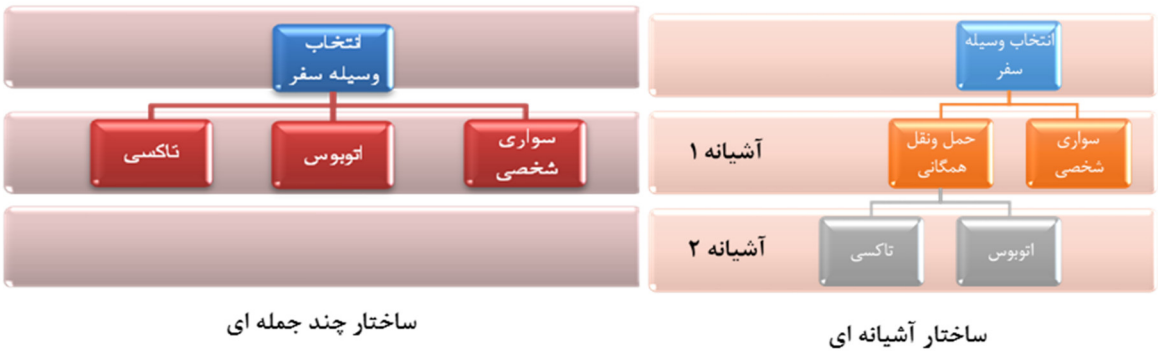
که در آن تابع مطلوبیت، عموماً حالتی خطی خواهد داشت و متغیر β که در عمل بیشتر مقدار یک به آن داده می‌شود با میزان انحراف معیار توزیع گامبل مطابق رابطه زیر ارتباط دارد:

$$\beta^2 = \frac{\pi^2}{6\sigma^2} \qquad (۱۰)$$

1-Independent and Identically Distributed (IID) residuals

۷-۲-۳- انواع ساختار مدل‌های لوجیت

به طور کلی به دو صورت می‌توان مدل‌های لوجیت را به کار برد: به صورت چند جمله‌ای[1] و آشیانه‌ای[2] (یا سلسله مراتبی). در مدل‌های چند جمله‌ای، وسایل حمل و نقلی در کنار یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند و تمامی آن‌ها به یک نسبت ثابت بر روی یکدیگر تأثیرگذار خواهند بود. ولی در ساختار آشیانه‌ای، وسایل موجود یک آشیانه بیشترین تأثیر را بر یکدیگر می‌گذارند و سپس تأثیر خود را از طریق آشیانه‌های بالاتر بر سایر آشیانه‌ها اعمال می‌نمایند. شکل ۷-۱۵ این دو نوع ساختار را نشان می‌دهد[۱].



شکل ۷-۱۵ انواع ساختار مدل‌های لوجیت

۷-۲-۴- برخی از خصوصیات مدل‌های لوجیت چند جمله‌ای

این مدل‌ها اصل استقلال از گزینه‌های غیرمرتبط را که به صورت زیر عنوان می‌گردد ارضاء می‌نماید: "در هرجا که دو گزینه دارای احتمال‌های انتخاب غیرصفر باشند نسبت احتمال انتخاب یکی نسبت به دیگری به وجود یا عدم وجود گزینه‌های دیگری بستگی نخواهد داشت."

می‌توان در حالت مدل‌های لوجیت چند متغیر رابطه زیر را مشاهده نمود:

$$\frac{P_j}{P_i} = \exp\{\beta(V_j - V_i)\} \qquad (۱۱)$$

این رابطه همان‌گونه که عنوان شد دارای مقدار ثابتی است که بستگی به وجود یا عدم وجود گزینه‌های دیگر ندارد. در ابتدا این خصوصیت مدل‌های لوجیت به عنوان یکی از نقاط قوت آن‌ها شناخته می‌شد زیرا با استفاده از این خصوصیت امکان مدل‌سازی گزینه‌های جدید، وجود داشت (چنانچه مشخصات یک وسیله سفر جدید که در هنگام پرداخت[3] مدل‌ها وجود نداشته مشخص شود، می‌توان با این اصل سهم آن را به دست آورد). ولی امروزه این اصل به عنوان یکی از نقاط ضعف این مدل‌ها

[1] Multinomial logit models
[2] Hierarchical logit models
[3] Calibration

شناخته می‌شود به این علت که برخی از مواقع وسایل مختلف با هم همبستگی دارند و از این اصل پیروی نمی‌نمایند (به طور نمونه می‌توان به مثال معروف اتوبوس آبی و قرمز اشاره کرد) [۱].

چنانچه گزینه‌های زیادی برای انتخاب وجود داشته باشد، همانند آنچه در مدل‌های توزیع سفر یا انتخاب مقصد مشاهده می‌گردد، ثابت می‌شود که می‌توان با استفاده از یک نمونه تصادفی که نشان‌دهنده گزینه‌های در دسترس هر فرد است، متغیرهایی با حداقل خطای ممکن ایجاد نمود (به طور مثال برای هر فرد، هفت مقصد را می‌توان در نظر گرفت). مدل‌هایی که دارای این خاصیت نیستند حتی اگر از لحاظ پرداخت خیلی مشکل نباشند نیازمند تعداد نمونه‌ها و زمان زیادی بدین منظور خواهند بود این موضوع در شرایطی که تعداد گزینه‌ها در حدود ۵۰ گزینه باشد کاملاً مشهود خواهد بود [۱].

چنانچه برای ساختن مدل از اطلاعات یک زیر ناحیه و یا از اطلاعات مربوط به یک نمونه دارای خطا استفاده شود، می‌توان نشان داد که اگر همه گزینه‌ها در دسترس همه افراد باشند و مدل نیز دارای مجموعه کاملی از ثابت‌های مخصوص وسایل سفر باشد، می‌توان فقط با تغییر مقدار عدد ثابت این مدل، مطابق رابطه زیر یک مدل درست و بدون خطا به دست آورد:

$$K_i' = K_i - \log\left(\frac{q_i}{Q_i}\right) \qquad (۱۲)$$

که در آن q_i سهم گزینه A_i در نمونه و Q_i سهم گزینه در جامعه است. تمام ثابت‌ها حتی ثابت مبدا که عموماً برابر صفر در نظر گرفته می‌شود باید با استفاده از این روش اصلاح گردد [۱].

۷-۲-۵- مدل‌های لوجیت سلسله مراتبی یا آشیانه‌ای

در بخش قبلی به مدل‌های لوجیت چند گانه اشاره گردید. این مدل‌ها به علت ماتریس کوواریانس ساده‌ای که مطابق رابطه (۱۳) دارند، ممکن است در شرایط زیر باعث بروز مشکلاتی در مدل‌سازی شوند:

$$\sum = \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \qquad (۱۳)$$

- وقتی گزینه‌ها کاملا مستقل نیستند (هنگامی که تعدادی از گزینه‌ها با همدیگر ارتباط بیشتری دارند مانند وسایل حمل و نقل همگانی در مقابل خودروهای شخصی).
- وقتی که بین افراد اختلاف سلیقه وجود داشته باشد (به طور مثال وقتی درک افراد از هزینه با توجه به درآمدشان فرق کند در حالی که مدل‌ساز این قضیه را در مدل‌سازی در نظر نگرفته باشد) در این حالت به مدل‌هایی نیاز خواهد بود که دارای متغیرهای تصادفی به جای مقادیر متوسط باشد.
- برای برطرف نمودن مشکلات فوق می‌توان از مدل‌های پروبیت که در آن به جای توزیع گامبل از فرض بر توزیع نرمال چند جمله‌ای استفاده شده است بهره جست، به این علت که کاملاً کلی بوده و می‌تواند دارای هر ماتریس کوواریانسی باشد. ولی همان‌گونه که در بخش‌های بعدی خواهیم دید استفاده از این مدل‌ها در شرایطی که بیش از سه گزینه وجود داشته باشد، بسیار مشکل خواهد بود.

برخی مواقع نیز کاربرد مدل‌های پروبیت که دارای قابلیت‌های بسیار زیاد هستند، بیهوده بوده و در عمل نیازی به آن همه توانایی برای مدل‌سازی نخواهد بود. بهترین مثالی که در این رابطه می‌توان به آن اشاره نمود حالت انتخاب دو بعدی است که در آن به طور مثال هدف، انتخاب همزمان مقصد (D) و وسیله سفر (M) است. در این حالت انتخاب‌ها وابسته بوده ولی اختلاف سلیقه خیلی قابل توجه نیست. می‌توان برای مدل‌سازی، گزینه‌های مربوط به مقصد و وسیله سفر را با هم ترکیب نمود و مجموعه جدیدی از گزینه‌ها به نام A ایجاد و از آن برای انجام فعالیت خاصی استفاده نمود.

می‌توان از تابع زیر برای مدل‌سازی این رفتارها استفاده نمود این رابطه در حقیقت رابطه کلی مدل لوجیت آشیانه‌ای است:

$$P(d,m)=\frac{\exp\left\{\beta(V_d+V_d^*)\right\}\exp(\lambda V_{dm})}{\sum_{d'}\exp\left\{\beta(V_{d'}+V_{d'}^*)\right\}\sum_{m'}\exp(\lambda V_{dm'})} \quad (۱۴)$$

که در آن:

$$V_d^*=(\frac{1}{\lambda})\log\sum_{m''}\exp(\lambda V_{dm'}) \quad (۱۵)$$

به سادگی می‌توان نشان داد که اگر $\lambda=\beta$ باشد، مدل لوجیت سلسله مراتبی به شکل مدل‌های لوجیت چند گانه تک متغیری تبدیل خواهد شد.

۷-۲-۶- مدل پروبیت چند متغیره[1]

در این مدل‌ها فرض می‌شود که فاکتور تصادفی ε دارای توزیع نرمال چند متغیره با میانگین صفر و کواریانس مفروضی باشد. این امر باعث می‌شود که مدل‌ساز نتواند از مدل‌های ساده شده‌ای مانند مدل‌های لوجیت‌های چند جمله‌ای برآورد میزان تفکیک سفر استفاده نماید. به همین دلیل برای حل این مدل‌ها باید با استفاده از برخی فرضیات از روش‌های عددی استفاده نمود.

۷-۲-۷- مدل پروبیت دو دویی[2]

در این مدل‌ها همان‌گونه که قبلا نیز بیان گردید می‌توآن مدل مطلوبیت را مطابق روابط زیر نوشت:

$$U_1(\theta,Z)=V_1(\theta,Z)+\varepsilon_1(\theta,Z)$$
$$U_2(\theta,Z)=V_2(\theta,Z)+\varepsilon_2(\theta,Z)$$

که در آن $\varepsilon(\theta,Z)$ دارای توزیع دو جمله‌ای به صورت $N(\theta,\Sigma)$ بوده و در آن:

$$\Sigma=\begin{pmatrix}\sigma_1^2 & \rho\sigma_1\sigma_2\\ \rho\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2\end{pmatrix} \quad (۱۶)$$

[1] Multi Nominal Probit
[2] Binary Probit

که در این رابطه ρ ضریب همبستگی بین U_1 و U_2 است. در نتیجه احتمال انتخاب گزینه ۱ در این مجموعه دوتایی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_1(\theta, Z) = \Pr\{\varepsilon_2 - \varepsilon_1 \le V_1 - V_2\} \quad (۱۷)$$

بنابراین می‌توان با توجه به نرمال فرض شدن توزیع خطاها در این مدل، رابطه زیر را در این‌باره نوشت:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\rho\sigma_1\sigma_2 \quad (۱۸)$$

با تقسیم کردن مقدار $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$ بر σ_ε می‌توان به توزیع نرمال دو جمله‌ای استاندارد دست یافت. در نتیجه می‌توان مدل دوتایی پروبیت را به صورت زیر نوشت:

$$P_1(0, Z) = \Phi\left\{\frac{V_1 - V_2}{\sigma_\varepsilon}\right\} \quad (۱۹)$$

که در این رابطه تابع $\Phi\{x\}$ تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است که در بسیاری از منابع آماری دارای مقادیر مشخصی است. هر چند این مدل دارای ساختار ساده‌ای است. ولی دارای کاربردهای وسیع، کامل و جامعی در این زمینه است. لازم به ذکر است که معادله (۱۹) را نمی‌توان به صورت مستقیم برآورد نمود که علت این امر وابستگی متغیر θ در تابع مطلوبیت به میزان σ_ε است و باید مقدار این دو متغیر را به صورت همزمان به دست آورد.

۷-۲-۸- روش تخمین تمایل بیشینه[1]

در این بخش، برخی مفاهیم مورد استفاده در محاسبه شاخص‌ها و معیارهای آماری مورد استفاده در ساخت مدل‌های تفکیک سفر مورد اشاره قرار می‌گیرد.

در بعضی از آزمون‌های آماری روند کار بدین صورت است که حالت برآورد شده برای مدل با حالتی که سهم تمام وسایل سفر مورد نظر یکسان باشد و یا حالتی که سهم تمام وسایل سفر مورد نظر برابر با درصد استفاده از وسایل سفر در وضع موجود باشد، مقایسه می‌گردد. براین اساس چهار حالت به صورت زیر تعریف می‌گردد:

۱- حالتی که تمام ضرایب در مدل صفر باشد[2] و سهم تمام وسایل با هم برابر در نظر گرفته شود.

۲- حالتی که تابع مطلوبیت هر وسیله سفر برابر با سهم آن در وضع موجود قرار داده شود.[3]

۳- حالتی که ضرایب در توابع مطلوبیت بر اساس روش تمایل بیشینه تخمین زده شود.

۴- حالتی که مدل ارایه شده پیش‌بینی آینده را بسیار مناسب و کامل انجام داده است[4] که این حالت به عنوان حد نهـایی فرض شده و قابل دستیابی نیست.

---

[1] Maximum Likelihood Estimation
[2] Zero Coefficients Models
[3] Constants-Only Models
[4] Perfect Prediction Model

حالت ۴ در واقع ماکزیمم مقدار تمایل را نشان می‌دهد که در این حالت مدل کاملاً بر مشاهدات منطبق است. در مقام تمثیل می‌توان آن را در مدل‌های رگرسیون با برازش $R^2 = 1$ مشابه دانست.

با توجه به دسته‌بندی فوق، در ادامه، توضیحاتی در مورد تئوری روش تخمین تمایل بیشینه داده می‌شود.

روش تخمین تمایل بیشینه شامل دو گام مهم است:

۱- یافتن تابع چگالی احتمال توام[1] برای نمونه مشاهده شده که تابع تمایل نامیده می‌شود.

۲- یافتن مقادیر متغیرها به گونه‌ای که تابع تمایل را بیشینه کنند.

روش تمایل بیشینه، شامل یافتن متغیرهای مدل به گونه‌ای است که احتمال رخ دادن مشاهدات صورت گرفته را بیشینه کند. بدین ترتیب، اگر تابع احتمال مورد نظر از نوع لوجیت باشد، ضرایب مورد نظر در توابع مطلوبیت گزینه‌های مختلف به گونه‌ای تخمین زده می‌شود که احتمال به دست آمده از تابع احتمال، به احتمال به دست آمده از مشاهدات وضع موجود بسیار نزدیک باشد. بر این اساس، برای نمونه‌ای با T مشاهده که هرکدام امکان انتخاب از بین J گزینه را دارند، تابع تمایل به صورتی که در ادامه آورده می‌شود، تعریف می‌گردد:

$$L(\beta) = \prod_{\forall t \in T} \prod_{\forall j \in J} (P_{jt}(\beta))^{\delta_{jt}}$$

که در آن:

δ_{jt} : اگر توسط فرد t، گزینه j انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این‌صورت صفر است.

P_{jt} : احتمال انتخاب گزینه j توسط فرد t.

یک فرض اساسی در تعریف تابع تمایل در این روش آن است که تصمیم افراد از هم مستقل است و بنابراین احتمال توام آن‌ها برابر حاصل‌ضرب احتمال‌ها می‌شود.

با برابر صفر قراردادن مشتق اول تابع تمایل، مقادیر متغیرهایی که تابع تمایل را بیشینه می‌کنند به دست می‌آید. از آن جا که مقدار بیشینه لگاریتم یک تابع در جایی رخ می‌دهد که مقدار بیشینه خود تابع مذکور رخ می‌دهد و از طرفی مشتق‌گیری از تابع لگاریتم راحت‌تر است، تابع لگاریتم تمایل به جای تابع تمایل، بیشینه می‌گردد. تابع لگاریتم تمایل و مشتق اول آن در معادلات زیر آورده شده است:

$$LL(\beta) = \text{Log}\,(\text{L}(\beta)) + \sum_{\forall t \in T} \sum_{\forall j \in J} \left(\delta_{\text{jt}} \quad \ln(\text{p}_{\text{jt}}(\beta))\right)$$

$$\frac{\partial(\text{LL})}{\partial \beta_{\text{K}}} = \sum_{\forall t \in T} \sum_{\forall j \in J} \delta_{\text{jt}} \quad \frac{1}{\text{p}_{\text{jt}}} \quad \frac{\partial P_{jt}(\beta)}{\partial \beta} \qquad \forall_{\text{k}}$$

که در آن K برابر با تعداد متغیرهای به کار رفته در مدل خواهد بود.

و از آن جا که تابع احتمال لوجیت در نظر گرفته می‌شود، خواهیم داشت:

$$P_{jt} = \frac{\exp(\text{X}'_{\text{jt}}\beta)}{\sum_{\text{j}'} \exp(X'_{j't}\beta)}$$

[1] Join Probability Demsity Function

$$\frac{\partial P_{jt}}{\partial \beta_k} = P_{\mathrm{jt}}(X'_{jkt} \quad \sum_{j'} P_{j't}.X_{j'kt}) \qquad \forall_K$$

که در آن X_{jt} برداری شامل متغیرهای موجود در تابع مطلوبیت فرد t در انتخاب گزینه j و X' نیز ترانهاده ماتریس است. با جایگزین کردن معادلات بالا، داریم:

$$\frac{\partial (LL)}{\partial \beta_k} = \sum_{\forall t \epsilon T} \sum_{\forall j \in J} \delta_{\mathrm{jt}} \quad (X'_{jt} \quad \sum_{j't} P_{j't}.X_{j't})$$

$$= \sum_{\forall t \epsilon T} \sum_{\forall j \in J} (\delta_{jt} \quad P_{j\prime t}) X'_{jt} \quad \forall k$$

با به دست آوردن این رابطه برای مشتق اول، باید این رابطه را برای هر β برابر با صفر قرار داد و بهترین مقادیر را به منظور بیشینه کردن تابع تمایل، تخمین زد. برای اطمینان از این که جواب بهینه، تابع را بیشینه می‌کند نه کمینه، لازم است مشتق دوم تابع تمایل محاسبه و مقدار آن یک عدد منفی غیر بی‌نهایت شود. بر این اساس:

$$\frac{\partial^2 LL}{\partial \beta \, \partial \beta'} = \sum_{\forall t \epsilon T} \sum_{\forall \mathrm{j} \in \mathrm{J}} \mathrm{P_{j't}}\left(X'_{jt} \quad \bar{X}_t\right)\left(X'_{jt} \quad \bar{X}_t\right)$$

که برای تمام مقادیر β منفی بوده و مطلوب است. برای حل این مسئله و به دست آوردن ضرایب در روش تمایل بیشینه از نرم افزار آماری Biogeme بهره گرفته می‌شود. از نشانه LL() برای نشان دادن مقدار لگاریتم تابع تمایل استفاده و بر این اساس، مقادیر لگاریتم تابع تمایل برای چهار حالت عنوان شده در ابتدای بند ۱ به ترتیب با LL(0), LL(C), LL(β), LL(*) نشان داده می‌شود. بین مقادیر لگاریتم تابع تمایل در چهار حالت مذکور باید شرطی به صورت زیر برقرار باشد:

$$LL(0) \leq LL(C) \leq LL(\beta) \leq LL(*) = 0$$

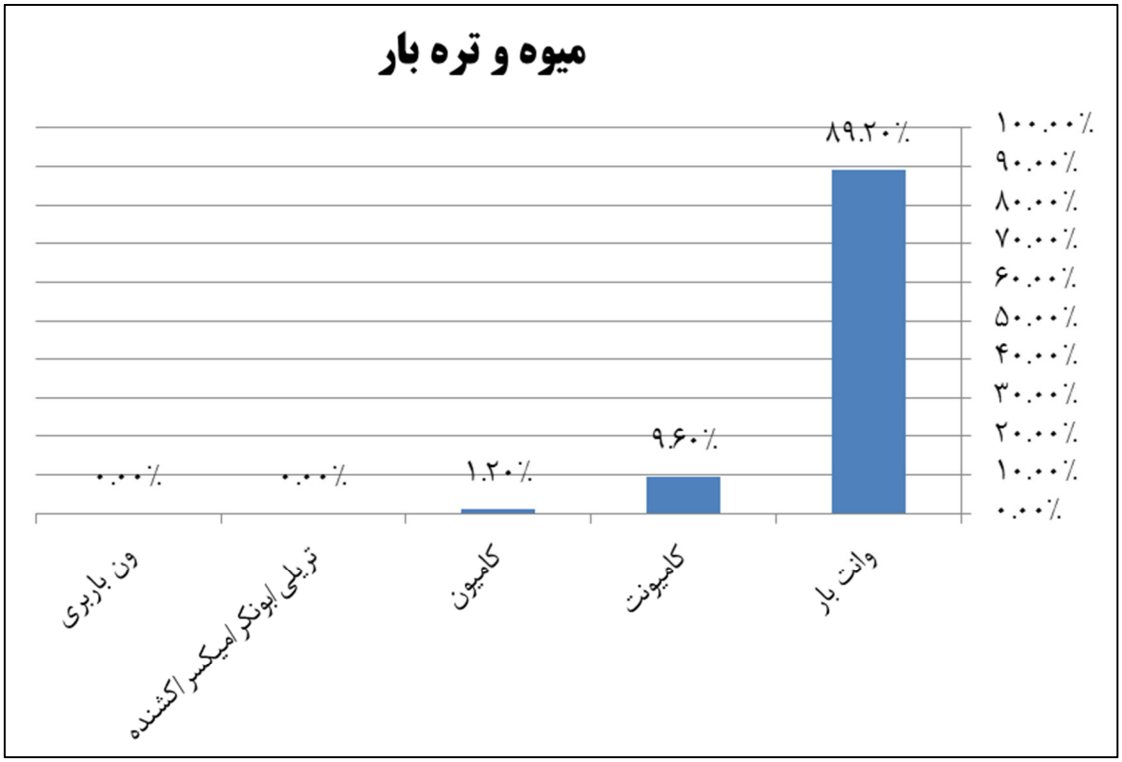
با توجه به این رابطه، باید مقدار لگاریتم تابع تمایل در حالتی که تابع مطلوبیت تنها یک عدد ثابت است (حالت دوم) همواره بزرگتر یا مساوی حالتی باشد که احتمال انتخاب وسایل مختلف، یکسان در نظر گرفته می‌شود (حالت اول) و همچنین، باید لگاریتم تابع تمایل در حالت سوم همواره بزرگتر یا مساوی حالت دوم باشد و هرچه از آن بیشتر فاصله داشته باشد، مطلوب‌تر است. علاوه بر این، نزدیک بودن مقدار لگاریتم تابع تمایل در مدل‌سازی (حالت سوم) به مقدار لگاریتم تابع تمایل در حالت دوم، بدین معناست که وضعیت موجود انتخاب وسایل سفر که از مشاهدات به دست آمده، بهتر از هر مدل دیگری است و بهتر است به جای هر مدلی از آن استفاده شود.

در ادامه برای هر یک از هفت گروه عمده کالا مدل انتخاب وسیله نقلیه باری ساخته و پرداخته شده است. با توجه به اینکه برای انتخاب مدل مناسب معمولاً تعداد بسیار زیادی مدل برای هر گروه کالا (یا هر هدف سفر در مطالعات طرح جامع حمل-ونقل و ترافیک)، ساخته می‌شود و امکان ارائه جزئیات تمامی این مدل‌ها وجود ندارد، لذا همانند سایر مطالعات طرح جامع مسافری و بار انجام شده در کشور، در ادامه صرفا به بیان مدل منتخب اکتفا شده است. به علاوه بر اساس منابع مختلف داخلی و خارجی ساخت مدل صرفا برای مُــدهایی انجام می‌شود که سهم آنها بیش از ۵ درصد سفرها یا بار جابجا شده باشد.

۷-۳- ساخت و پرداخت مدل‌های انتخاب وسیله نقلیه باری برای شهر قم

۷-۳-۱- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار یک: میوه و تره بار

در شکل ۷-۱۶ سهم هر یک از وسایل نقلیه باری که در این مطالعه در نظر گرفته شده است از سفرهای باری گروه عمده شماره یک، یعنی میوه و تره‌بار ارائه شده است.



شکل ۷-۱۶ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی میوه و تره‌بار در شهر قم

مطابق شکل اخیر تنها دو مُـد وانت‌بار و کامیونت سهم بیش از ۵درصدی در جابجایی میوه و تره بار در کلان‌شهر قم دارند. برای ساخت مدل، از اطلاعات تعمیم نیافته (نمونه آماری) بانک اطلاعاتی آمارگیری مبدا- مقصد سفرهای باری استفاده شده است. در تخمین این مدل‌ها می‌توان از متغیرهایی همانند تقاضا دهنده بار (شخصی، شرکت خصوصی، دولتی) و مدت زمان بارگیری نیز استفاده کرد، اما از آنجا که باید مدل‌ها ابزاری برای پیشبینی آینده باشند و متغیرهای آنها نیز در آینده باید قابل پیشبینی باشد، لذا ناچار فقط از تعداد بسیار محدودی متغیر مانند متغیرهای مربوط به مبا و مقصد بار و زمان سفر می‌توان استفاده کرد. به کمک نرم‌افزار Biogeme و روش بیشینه احتمال، تابع مطلوبیت وانت‌بار و کامیونت به دست آمد که به شکل زیر است:

$$U_1 = 0 + 1.11 \times DC - 0.068 \times TT1 - 0.0065 \times TC1$$
$$U_2 = -1.15 + 0.34 \times DS - 0.073 \times TT2 - 0.0061 \times TC2$$

که در آن:

U_1= مطلوبیت وانت بار.

U_2= مطلوبیت کامیونت.

DC= اگر مقصد در محدوده مرکزی شهر و محدوده طرح ترافیک است برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر. این منطقه شامل نواحی شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۱۲ است.

DS= اگر مقصد در نواحی منتهی به دروازه‌های شهر است برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر. این منطقه شامل نواحی شماره ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۱۵۴، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۰۳ و ۲۰۵ است.

TT1= زمان سفر وانت‌بار، با واحد ساعت.

TT2= زمان سفر کامیونت، با واحد ساعت.

TC1= هزینه سفر وانت بار با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

TC2= هزینه سفر کامیونت با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

در انتها پس از ساخت مدل‌های تفکیک و به دست آوردن توابع مطلوبیت وسایل مختلف بر پایه سفرهای تعمیم نیافته، به منظور برابر شدن تعداد کل سفرهای تخمین زده شده و مشاهده شده در حالت تعمیم نیافته، ضریب ثابت توابع مطلوبیت، دستخوش تغییراتی می‌شود. از رابطه زیر به منظور تصحیح توابع مطلوبیت استفاده شده است:

$$K_i' = K_i - \ln\left(\frac{Test_i}{Tobs_i}\right)$$

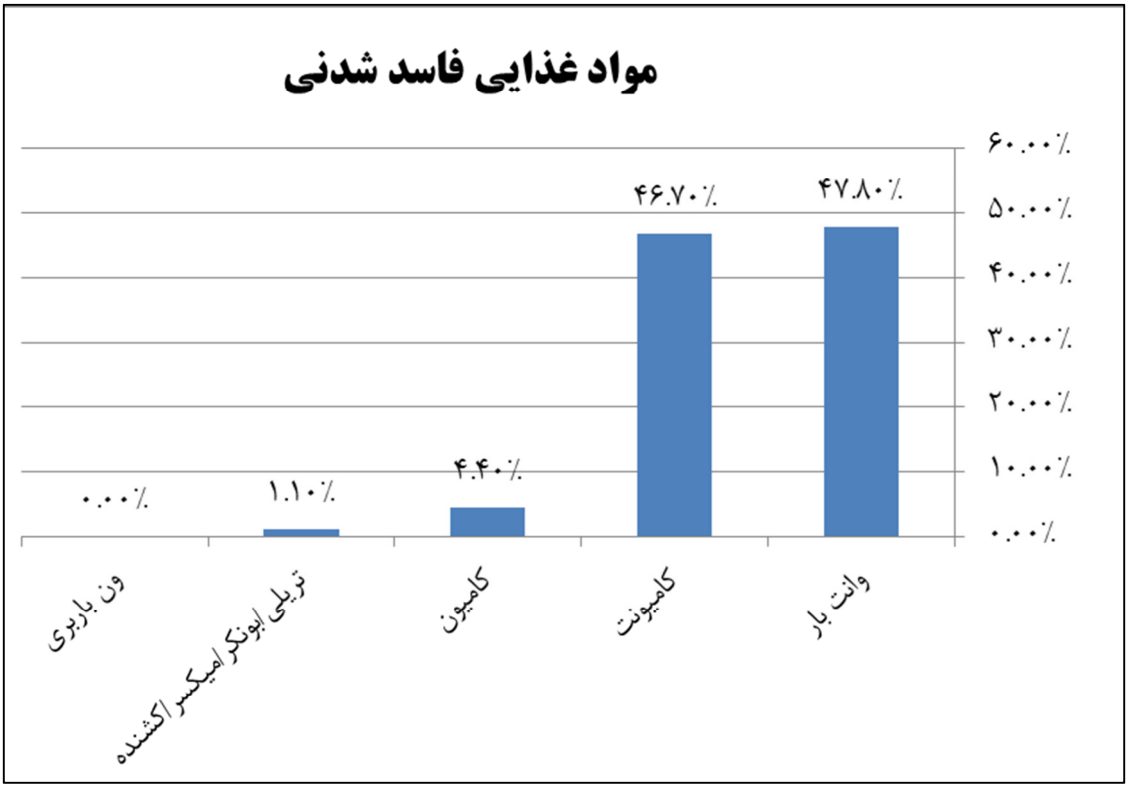
که در آن K_i و K_i' به ترتیب ضریب ثابت تابع مطلوبیت گزینه i قبل از تصحیح و بعد از تصحیح بوده و $Tobs_i$ تعداد کل سفرهای مشاهده شده در حالت تعمیم نیافته برای گزینه i و $Test_i$ تعداد کل سفرهای برآورد شده در حالت تعمیم نیافته برای گزینه i است که با توجه به توابع مطلوبیت در حالت تعمیم نیافته به دست آمده است. عملیات تصحیح ضرایب ثابت شامل یک مرحله نمی‌شود و در چند مرحله صورت می‌گیرد و تا آنجا پیش می‌رود که برآورد سفرهای انجام شده به دقت مورد نظر برسد. به عنوان یک مثال کاملاً فرضی، اگر تعداد کل سفرهای برآورد شده برای وسیله وانت‌بار در حالت تعمیم نیافته، در سفرهای حامل میوه و تره بار، ۱۰۰ سفر بوده و ضریب ثابت ۰/۵- باشد و در مقابل تعداد سفرهای مشاهده شده، ۹۰ سفر باشد، ضریب ثابت به صورت زیر تغییر می‌کند:

چون مدل تعداد سفرهای وانت‌بار را بیش از حد $K_2' = -0.50 - \ln\left(\frac{100}{90}\right) = -0.50 - 0.105 = -0.605$ برآورد کرده، در نتیجه مطلوبیت سواری در مدل باید کاهش یابد. رابطه بالا نشان می‌دهد مطلوبیت سواری باید ۰.۱۰۵ کاهش یابد. توابع مطلوبیت مذکور پس از تصحیح اشاره شده به صورت زیر تبدیل می‌شوند:

$$U_1 = 0.047 + 1.11 \times DC - 0.068 \times TT1 - 0.0065 \times TC1$$
$$U_2 = -1.109 + 0.34 \times DS - 0.073 \times TT2 - 0.0061 \times TC2$$

۷-۳-۲- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار دو: مواد غذایی فاسد شدنی

در شکل ۷-۱۷ سهم هر یک از وسایل نقلیه باری که در این مطالعه در نظر گرفته شده است از سفرهای باری گروه عمده شماره دو، یعنی مواد غذایی فاسد شدنی ارائه شده است.



شکل ۷-۱۷ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی مواد غذایی فاسد شدنی در شهر قم

مطابق شکل اخیر تنها دو مُد وانت‌بار و کامیونت سهم بیش از ۵درصدی در جابجایی مواد غذایی فاسد شدنی در کلان-شهر قم دارند. برای ساخت مدل، از اطلاعات تعمیم نیافته (نمونه آماری) بانک اطلاعاتی آمارگیری مبدا- مقصد سفرهای باری استفاده شده است. در تخمین این مدل‌ها می‌توان از متغیرهایی همانند تقاضا دهنده بار (شخصی، شرکت خصوصی، دولتی) و مدت زمان بارگیری نیز استفاده کرد، اما از آنجا که باید مدل‌ها ابزاری برای پیشبینی آینده باشند و متغیرهای آنها نیز در آینده باید قابل پیشبینی باشد، لذا ناچار فقط از تعداد بسیار محدودی متغیر مانند متغیرهای مربوط به مبا و مقصد بار و زمان سفر می-توان استفاده کرد. به کمک نرم‌افزار Biogeme و روش بیشینه احتمال، تابع مطلوبیت وانت‌بار و کامیونت به دست آمد که به شکل زیر است:

$$U_1 = 0 + 0.73 \times DC - 0.055 \times TT1 - 0.0042 \times TC1$$
$$U_2 = - 0.99 + 0.16 \times DS - 0.064 \times TT2$$

که در آن:

U_1= مطلوبیت وانت بار.

U_2= مطلوبیت کامیونت.

DC= اگر مقصد در محدوده مرکزی شهر و محدوده طرح ترافیک است برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر. این منطقه شامل نواحی شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۱۲ است.

DS= اگر مقصد در نواحی منتهی به دروازه‌های شهر است برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر. این منطقه شامل نواحی شماره ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۱۵۴، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۰۳ و ۲۰۵ است.

TT1= زمان سفر وانت‌بار، با واحد ساعت.

TT2= زمان سفر کامیونت، با واحد ساعت.

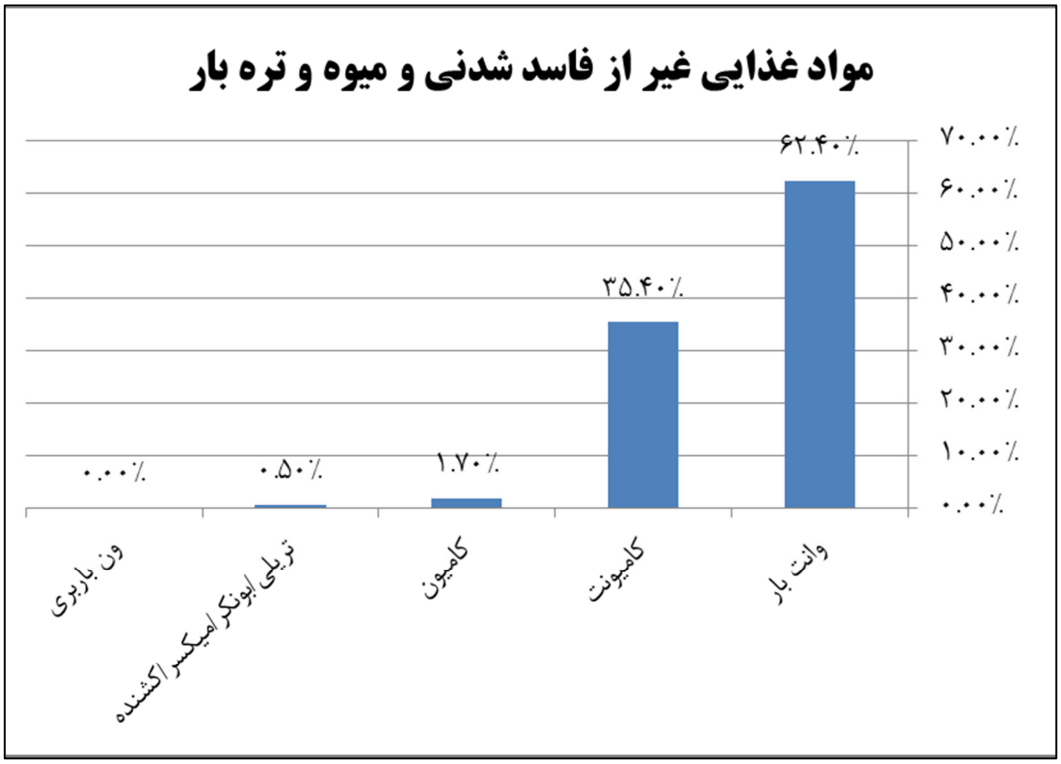
TC1= هزینه سفر وانت بار با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

روند تصحیح توابع مطلوبیت به شیوه‌ای که در بخش قبل گفته شده است در این مورد هم انجام شده که توابع مطلوبیت مذکور پس از تصحیح به صورت زیر است:

$$U_1 = 0.31 + 0.73 \times DC - 0.055 \times TT1 - 0.0042 \times TC1$$
$$U_2 = -1.17 + 0.16 \times DS - 0.064 \times TT2$$

۷-۳-۳- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار سه: سایر انواع مواد غذایی بجز گروه‌های ۱ و ۲

در شکل ۷-۱۸ سهم هر یک از وسایل نقلیه باری که در این مطالعه در نظر گرفته شده است از سفرهای باری گروه عمده شماره سه، یعنی سایر انواع مواد غذایی بجز مواد غذایی گروه‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.



شکل ۷-۱۸ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی مواد غذایی فاسد شدنی در شهر قم

مطابق شکل اخیر تنها دو مُد وانت‌بار و کامیونت سهم بیش از ۵درصدی در جابجایی مواد غذایی گروه سه در کلان‌شهر قم دارند. برای ساخت مدل، از اطلاعات تعمیم نیافته (نمونه آماری) بانک اطلاعاتی آمارگیری مبدا- مقصد سفرهای باری استفاده شده است. در تخمین این مدل‌ها می‌توان از متغیرهایی همانند تقاضا دهنده بار (شخصی، شرکت خصوصی، دولتی) و مدت زمان بارگیری نیز استفاده کرد، اما از آنجا که باید مدل‌ها ابزاری برای پیشبینی آینده باشند و متغیرهای آنها نیز در آینده باید قابل پیشبینی باشد، لذا ناچار فقط از تعداد بسیار محدودی متغیر مانند متغیرهای مربوط به مبا و مقصد بار و زمان سفر می‌توان استفاده کرد. به کمک نرم‌افزار Biogeme و روش بیشینه احتمال، تابع مطلوبیت وانت‌بار و کامیونت به دست آمد که به شکل زیر است:

$$U_1 = 0 + 1.39 \times DC - 0.103 \times TT1 - 0.0109 \times TC1$$
$$U_2 = -0.99 - 0.094 \times TT2 - 0.0096 \times TC2$$

که در آن:

U_1= مطلوبیت وانت بار.

U_2= مطلوبیت کامیونت.

DC= اگر مقصد در محدوده مرکزی شهر و محدوده طرح ترافیک است برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر. این منطقه شامل نواحی شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۱۲ است.

TT1= زمان سفر وانت‌بار، با واحد ساعت.

TT2= زمان سفر کامیونت، با واحد ساعت.

TC1= هزینه سفر وانت بار با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

TC2= هزینه سفر کامیونت با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

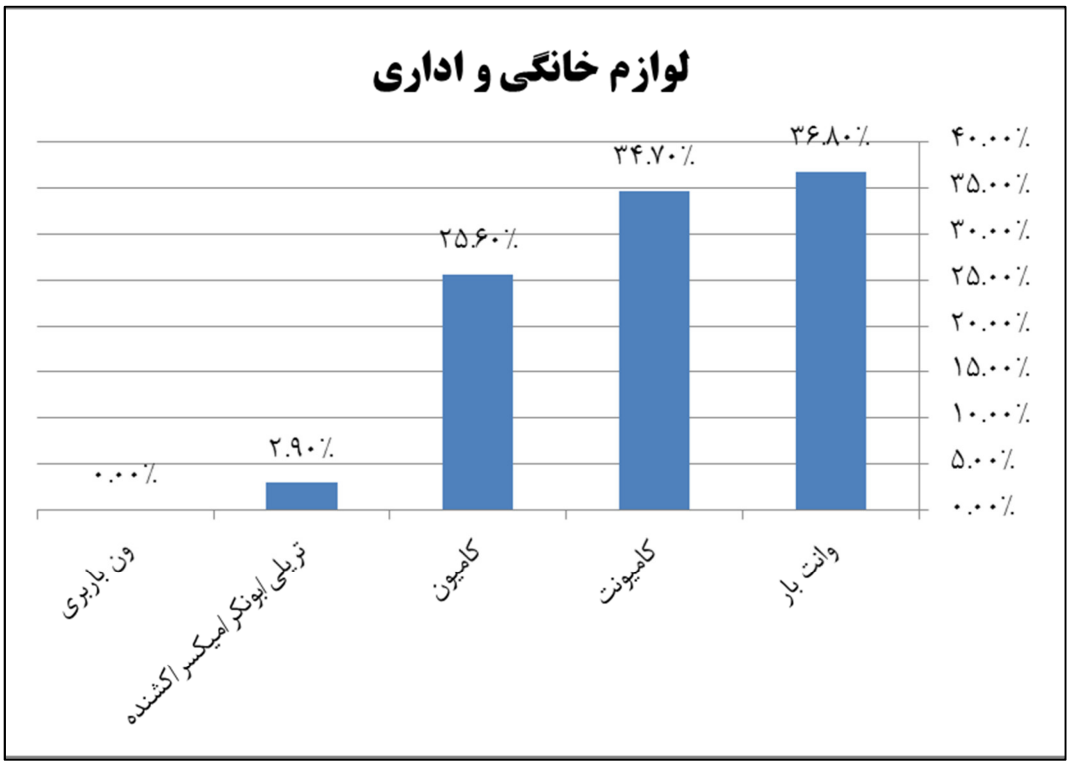
روند تصحیح توابع مطلوبیت به شیوه‌ای که در بخش قبل گفته شده است در این مورد هم انجام شده که توابع مطلوبیت مذکور پس از تصحیح به صورت زیر است:

$$U_1 = -0.66 + 1.39 \times DC - 0.103 \times TT1 - 0.0109 \times TC1$$

$$U_2 = -0.37 - 0.094 \times TT2 - 0.0096 \times TC2$$

۷-۳-۴- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار چهار: لوازم خانگی و اداری

در شکل ۷-۱۹ سهم هر یک از وسایل نقلیه باری که در این مطالعه در نظر گرفته شده است از سفرهای باری گروه عمده شماره چهار، یعنی لوازم خانگی و اداری ارائه شده است.



شکل ۷-۱۹ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی لوازم خانگی و اداری در شهر قم

مطابق شکل اخیر سه مُـد وانت‌بار، کامیونت و کامیون سهم بیش از ۵درصدی در جابجایی لوازم خانگی و اداری در کلان-شهر قم دارند. برای ساخت مدل، از اطلاعات تعمیم نیافته (نمونه آماری) بانک اطلاعاتی آمارگیری مبدا- مقصد سفرهای باری استفاده شده است. در تخمین این مدل‌ها می‌توان از متغیرهایی همانند تقاضا دهنده بار (شخصی، شرکت خصوصی، دولتی) و

مدت زمان بارگیری نیز استفاده کرد، اما از آنجا که باید مدل‌ها ابزاری برای پیشبینی آینده باشند و متغیرهای آنها نیز در آینده باید قابل پیشبینی باشد، لذا ناچار فقط از تعداد بسیار محدودی متغیر مانند متغیرهای مربوط به مبا و مقصد بار و زمان سفر می-توان استفاده کرد. به کمک نرم‌افزار Biogeme و روش بیشینه احتمال، تابع مطلوبیت وانت‌بار و کامیونت به دست آمد که به شکل زیر است:

$$U_1 = 0 - 0.55 \times DS - 0.0.71 \times TT1 - 0.0070 \times TC1$$
$$U_2 = -0.47 - 0.077 \times TT2 - 0.0064 \times TC2$$
$$U_3 = 0.08 - 0.137 \times TT3 - 0.0092 \times TC3$$

که در آن:

U_1= مطلوبیت وانت بار.

U_2= مطلوبیت کامیونت.

U_3= مطلوبیت کامیون.

DS= اگر مقصد در نواحی منتهی به دروازه‌های شهر است برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر. این منطقه شامل نواحی شماره ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۱۵۴، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۰۳ و ۲۰۵ است.

TT1= زمان سفر وانت‌بار، با واحد ساعت.

TT2= زمان سفر کامیونت، با واحد ساعت.

TT3= زمان سفر کامیون، با واحد ساعت.

TC1= هزینه سفر وانت بار با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

TC2= هزینه سفر کامیونت با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

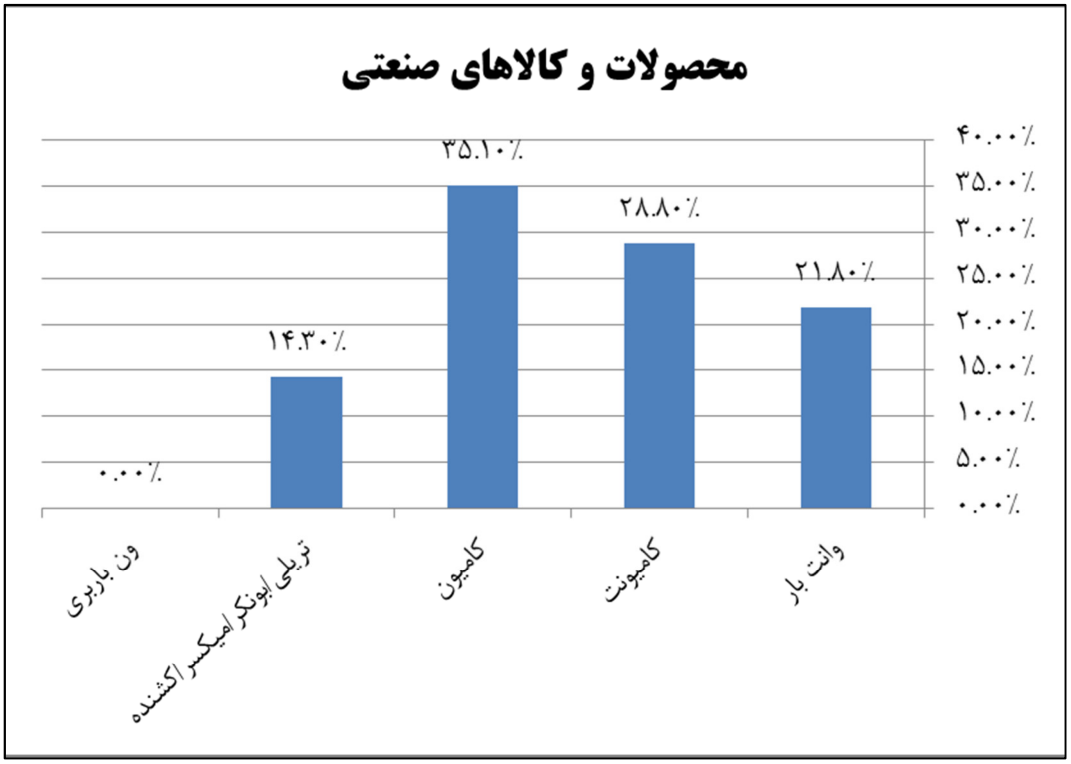
TC3= هزینه سفر کامیون با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

روند تصحیح توابع مطلوبیت به شیوه‌ای که در بخش قبل گفته شده است در این مورد هم انجام شده که توابع مطلوبیت مذکور پس از تصحیح به صورت زیر است:

$$U_1 = 0.14 - 0.55 \times DS - 0.0.71 \times TT1 - 0.0070 \times TC1$$
$$U_2 = -0.74 - 0.077 \times TT2 - 0.0064 \times TC2$$
$$U_3 = 0.15 - 0.137 \times TT3 - 0.0092 \times TC3$$

۷-۳-۵- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار پنجم: محصولات و کالاهای صنعتی

در شکل ۷-۲۰ سهم هر یک از وسایل نقلیه باری که در این مطالعه در نظر گرفته شده است از سفرهای باری گروه عمده شماره پنج، یعنی محصولات و کالاهای صنعتی ارائه شده است.



شکل ۷-۲۰ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی محصولات و کالاهای صنعتی در شهر قم

مطابق شکل اخیر چهار مُـد وانت‌بار، کامیونت، کامیون و تریلی/بونکر/میکسر/کشنده سهم بیش از ۵درصدی در جابجایی کالاها و محصولات صنعتی در کلان‌شهر قم دارند. برای ساخت مدل، از اطلاعات تعمیم نیافته (نمونه آماری) بانک اطلاعاتی آمارگیری مبدا- مقصد سفرهای باری استفاده شده است. در تخمین این مدل‌ها می‌توان از متغیرهایی همانند تقاضا دهنده بار (شخصی، شرکت خصوصی، دولتی) و مدت زمان بارگیری نیز استفاده کرد، اما از آنجا که باید مدل‌ها ابزاری برای پیشبینی آینده باشند و متغیرهای آنها نیز در آینده باید قابل پیشبینی باشد، لذا ناچار فقط از تعداد بسیار محدودی متغیر مانند متغیرهای مربوط به مبدا و مقصد بار و زمان سفر می‌توان استفاده کرد. به کمک نرم‌افزار Biogeme و روش بیشینه احتمال، توابع مطلوبیت به دست آمده است که به شکل زیر است:

$$U_1 = 0 - 0.083 \times TT1 - 0.0090 \times TC1$$
$$U_2 = -0.35 - 0.091 \times TT2 - 0.0080 \times TC2$$
$$U_3 = -0.71 - 0.107 \times TT3 - 0.0071 \times TC3$$
$$U_4 = -1.24 + 1.19 \times DS$$

که در آن:

U_1= مطلوبیت وانت بار.

U_2= مطلوبیت کامیونت.

U_3= مطلوبیت کامیون.

U_4= مطلوبیت تریلی/بونکر/میکسر/کشنده.

DS= اگر مقصد در نواحی منتهی به دروازه‌های شهر است برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر. این منطقه شامل نواحی شماره ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۱۵۴، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۰۳ و ۲۰۵ است.

TT1= زمان سفر وانت‌بار، با واحد ساعت.

TT2= زمان سفر کامیونت، با واحد ساعت.

TT3= زمان سفر کامیون، با واحد ساعت.

TC1= هزینه سفر وانت بار با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

TC2= هزینه سفر کامیونت با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

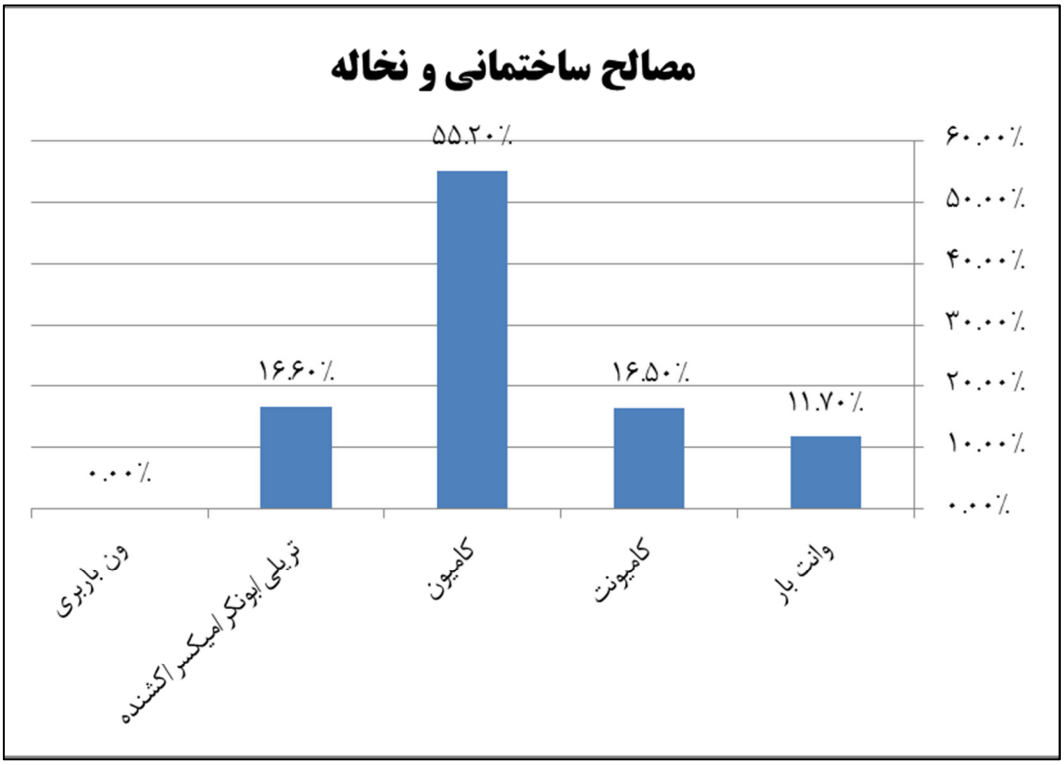
TC3= هزینه سفر کامیون با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

روند تصحیح توابع مطلوبیت به شیوه‌ای که در بخش قبل گفته شده است در این مورد هم انجام شده که توابع مطلوبیت مذکور پس از تصحیح به صورت زیر است:

$$U_1 = 2.02 - 0.083 \times TT1 - 0.0090 \times TC1$$
$$U_2 = -0.47 - 0.091 \times TT2 - 0.0080 \times TC2$$
$$U_3 = -0.85 - 0.107 \times TT3 - 0.0071 \times TC3$$
$$U_4 = -1.41 + 1.19 \times DS$$

۷-۳-۶- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار ششم: مصالح ساختمانی و نخاله

در شکل ۷-۲۰ سهم هر یک از وسایل نقلیه باری که در این مطالعه در نظر گرفته شده است از سفرهای باری گروه عمده شماره شش، یعنی مصالح ساختمانی و نخاله ارائه شده است.



شکل ۷-۲۱ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی مصالح ساختمانی و نخاله در شهر قم

مطابق شکل اخیر چهار مُـد وانت‌بار، کامیونت، کامیون و تریلی/بونکر/میکسر/کشنده سهم بیش از ۵درصدی در جابجایی مصالح ساختمانی و نخاله در کلان‌شهر قم دارند. برای ساخت مدل، از اطلاعات تعمیم نیافته (نمونه آماری) بانک اطلاعاتی آمارگیری مبدا- مقصد سفرهای باری استفاده شده است. در تخمین این مدل‌ها می‌توان از متغیرهایی همانند تقاضا دهنده بار (شخصی، شرکت خصوصی، دولتی) و مدت زمان بارگیری نیز استفاده کرد، اما از آنجا که باید مدل‌ها ابزاری برای پیشبینی آینده باشند و متغیرهای آنها نیز در آینده باید قابل پیشبینی باشد، لذا ناچار فقط از تعداد بسیار محدودی متغیر مانند متغیرهای مربوط به مبدا و مقصد بار و زمان سفر می‌توان استفاده کرد. به کمک نرم‌افزار Biogeme و روش بیشینه احتمال، توابع مطلوبیت به دست آمده است که به شکل زیر است:

$$U_1 = 0 - 0.058 \times TT1 - 0.0074 \times TC1$$
$$U_2 = 0.34 - 0.073 \times TT2 - 0.0080 \times TC2$$
$$U_3 = 0.45 - 0.079 \times TT3 - 0.0071 \times TC3$$
$$U_4 = 0.73 + 2.23 \times DS - 0.107 \times TT4$$

که در آن:

U_1= مطلوبیت وانت بار.

U_2= مطلوبیت کامیونت.

U_3= مطلوبیت کامیون.

U_4= مطلوبیت تریلی/بونکر/میکسر/کشنده.

DS= اگر مقصد در نواحی منتهی به دروازه‌های شهر است برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر. این منطقه شامل نواحی شماره ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۱۵۴، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۰۳ و ۲۰۵ است.

TT1= زمان سفر وانت‌بار، با واحد ساعت.

TT2= زمان سفر کامیونت، با واحد ساعت.

TT3= زمان سفر کامیون، با واحد ساعت.

TT4= زمان سفر تریلی/بونکر/میکسر/کشنده، با واحد ساعت.

TC1= هزینه سفر وانت بار با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

TC2= هزینه سفر کامیونت با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

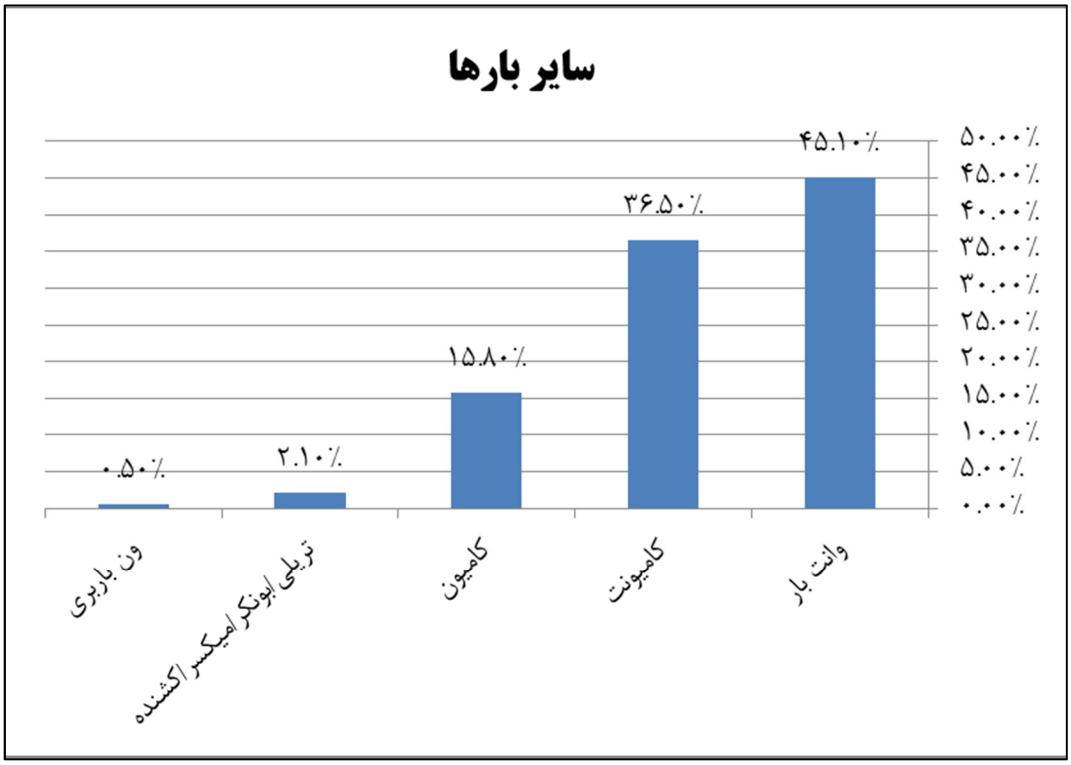
TC3= هزینه سفر کامیون با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

روند تصحیح توابع مطلوبیت به شیوه‌ای که در بخش قبل گفته شده است در این مورد هم انجام شده که توابع مطلوبیت مذکور پس از تصحیح به صورت زیر است:

$$U_1 = -0.015 - 0.058 \times TT1 - 0.0074 \times TC1$$
$$U_2 = 0.22 - 0.073 \times TT2 - 0.0080 \times TC2$$
$$U_3 = 0.65 - 0.079 \times TT3 - 0.0071 \times TC3$$
$$U_4 = 0.24 + 2.23 \times DS - 0.107 \times TT4$$

۷-۳-۷- ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه باری برای گروه بار هفتم: سایر کالاها

در شکل ۷-۲۲ سهم هر یک از وسایل نقلیه باری که در این مطالعه در نظر گرفته شده است از سفرهای باری گروه عمده شماره هفتم، یعنی سایر بارها شامل زباله، سوخت دام زنده و غیره ارائه شده است.



شکل ۷-۲۲ سهم وسایل نقلیه باری مختلف از جابجایی سایر بارها در شهر قم

مطابق شکل اخیر سه مُـد وانت‌بار، کامیونت و کامیون سهم بیش از ۵درصدی در جابجایی سایر بارها در کلان‌شهر قم دارند. برای ساخت مدل، از اطلاعات تعمیم نیافته (نمونه آماری) بانک اطلاعاتی آمارگیری مبدا- مقصد سفرهای باری استفاده شده است. در تخمین این مدل‌ها می‌توان از متغیرهایی همانند تقاضا دهنده بار (شخصی، شرکت خصوصی، دولتی) و مدت زمان بارگیری نیز استفاده کرد، اما از آنجا که باید مدل‌ها ابزاری برای پیشبینی آینده باشند و متغیرهای آنها نیز در آینده باید قابل پیشبینی باشد، لذا ناچار فقط از تعداد بسیار محدودی متغیر مانند متغیرهای مربوط به مبدا و مقصد بار و زمان سفر می‌توان استفاده کرد. به کمک نرم‌افزار Biogeme و روش بیشینه احتمال، توابع مطلوبیت به دست آمده است که به شکل زیر است:

$$U_1 = 0 - 0.074 \times TT1 - 0.0094 \times TC1$$

$$U_2 = -0.62 - 0.058 \times TT2 - 0.0069 \times TC2$$

$$U_3 = -0.99 - 0.065 \times TT3 - 0.0072 \times TC3 + 2.02 \times DS$$

که در آن:

U_1= مطلوبیت وانت بار.

U_2= مطلوبیت کامیونت.

U_3= مطلوبیت کامیون.

DS= اگر مقصد در نواحی منتهی به دروازه‌های شهر است برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر. این منطقه شامل نواحی شماره ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۱۵۴، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۰۳ و ۲۰۵ است.

TT1= زمان سفر وانت‌بار، با واحد ساعت.

TT2= زمان سفر کامیونت، با واحد ساعت.

TT3= زمان سفر کامیون، با واحد ساعت.

TC1= هزینه سفر وانت بار با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

TC2= هزینه سفر کامیونت با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

TC3= هزینه سفر کامیون با واحد ۱۰۰۰ ریال. این هزینه بر اساس هر ده کیلومتر طول سفر طبق اظهارات راننده در هزینه سوخت به دست آمده است.

روند تصحیح توابع مطلوبیت به شیوه‌ای که در بخش قبل گفته شده است در این مورد هم انجام شده که توابع مطلوبیت مذکور پس از تصحیح به صورت زیر است:

$$U_1 = 0.34 - 0.074 \times TT1 - 0.0094 \times TC1$$
$$U_2 = -0.55 - 0.058 \times TT2 - 0.0069 \times TC2$$
$$U_3 = -0.73 - 0.065 \times TT3 - 0.0072 \times TC3 + 2.02 \times DS$$

۷-٤- اعتبار سنجی مدل‌های انتخاب وسیله نقلیه باری

این معیارها عبارتند از:

۱- ρ_0^2 که معیار سنجش آن $LL(0)$ است.

۲- ρ_c^2 که معیار سنجش آن $LL(c)$ است.

۳- $\bar{\rho}_0^2$ که با در نظر گرفتن درجات آزادی (تعداد متغیرها) در مدل‌سازی، ρ_0^2 را اصلاح می‌کند.

۴- $\bar{\rho}_c^2$ که با در نظر گرفتن درجات آزادی در مدل‌سازی و در حالت تابع مطلوبیت هر وسیله ثابت، $\bar{\rho}_0^2$ را اصلاح می‌کند.

۵- مقایسه سفرهای مشاهده شده و برآورد شده توسط مدل

چهار معیار اول به کمک خروجی‌های دریافت شده از نرم‌افزار بایوجم در حالات مختلف، شامل تمام ضرایب برابر با صفر، تابع مطلوبیت هر وسیله برابر عدد ثابت، تابع ساخته شده در مدل‌سازی و توابع کامل، تعریف می‌شوند. معیار پنجم نتایج به دست آمده از مدل‌های تفکیک سفر و واقعیت را در حال حاضر مقایسه می‌کند.

آماره ρ^2 برازندگی کلی مدل را نشان می‌دهد و بر اساس معیار سنجش مورد استفاده، انواع آن تعریف می‌گردد. در ادامه توضیحاتی در مورد هر کدام از انواع این آماره‌ها داده می‌شود.

ρ_0^2، برابر است با اختلاف بین لگاریتم تابع تمایل در حالت ضرایب صفر با ضرایب به دست آمده از روش تخمین تمایل بیشینه نسبت به اختلاف بین لگاریتم تابع تمایل در حالت ضرایب صفر با ضرایب به دست آمده در بهترین حالت ممکن که کامل و بی‌نقص است و به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$\rho_{.}^2 = \frac{LL(\hat{\beta})-LL(0)}{LL(*)-LL(0)}$ حالت کامل و بی‌نقصی که به آن اشاره شد، احتمال پیامد هر وسیله را به گونه‌ای ارایه و برآورد می‌کند که احتمال وقوع در حالت کلی برابر با یک باشد. بر این اساس مقدار $LL(*)$ که در واقع $L(1)$ است، برابر با صفر خواهد شد و رابطه به صورت زیر در می‌آید:

$$\rho_{.}^2 = 1-\frac{LL(\hat{\beta})}{LL(0)}$$

مقدار $\rho^2 = 0$ بیان می‌کند که مدل به دست آمده بهتر از مدل مرجع نبوده و بهتر است که مدل مرجع ارایه گردد و برعکس $\rho^2 = 1$ بیان می‌کند که مدل به دست آمده مدل کامل و بی‌نقصی است.

نکات مهم مورد توجه در ارجاعات صورت گرفته به آماره‌های ρ^2

۱- ضریب ρ_0^2 بهبود مدل را به طور کلی و به خاطر وجود تمام اجزای مدل، اندازه‌گیری می‌کند و اثر تمام ضرایب موجود در مدل‌ها را می‌بینند. اما از آن جا که در اندازه‌گیری ضریب $\rho_{.}^2$، مرجع حالتی است که ضرایب تماماً صفر باشند (بدین معنا که مطلوبیت تمام گزینه‌ها صفر و با هم برابر است)، استفاده از این معیار ارزیابی برای حالتی که سهم وسایل سفر غالب در نمونه و مشاهدات با هم برابر نباشد، مطلوب نبوده و بهتر است برای ارزیابی چنین مدل‌هایی مورد استفاده قرار نگیرد. از آن جا که احتمال وقوع چنین حالتی در مشاهدات صورت گرفته بسیار ناچیز است، استفاده از حالتی که توابع مطلوبیت مدل را ثابت در نظر می‌گیرد به عنوان مرجع مقایسه، برای ارزیابی مدل مناسب‌تر است.

۲- مشکلی که در مورد هر دو معیار اندازه‌گیری ρ^2 وجود دارد، این است که هیچ معیاری برای سنجش خوب بودن یا بد بودن ρ^2 وجود ندارد. این ضرایب معمولا در بازهٔ محدودی تغییر می‌کنند و باید به این نکته در مقایسه بین گزینه-های مختلف توجه داشت و شاید بهتر باشد که از این معیارها برای تایید انتخاب یک مدل مطلوب از بین مدل‌های مختلف، استفاده کرد.

۳- مشکل دیگری که در رابطه با این معیارها وجود دارد این است که بهبودهای حاصل از اضافه کردن یک متغیر به مدل را، گذشته از این‌که اهمیت آن متغیر چه اندازه است، شناسایی نمی‌کنند. این اشکال مستقیما به این مسئله بر-می‌گردد که با اضافه شدن یک متغیر به مدل و زیاد شدن درجات آزادی آن که گاهی اوقات می‌تواند بیشتر از ۱ نیز باشد، هنوز از یک سری اطلاعات یکسان برای تخمین خوب بودن مدل بهره برده می‌شود. یک راه حل برای این مشکل آن است که معیار ρ^2 را با معیار بهبود یافته و اصلاح شده $\overline{\rho}^2$ جایگزین کنیم که به نوعی می‌خواهد مشکل بوجود آمده را تا حدی کاهش دهد. بر این اساس $\overline{\rho}^2$ به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$\rho_{.}^{-2} = \frac{[LL(\hat{\beta})-k]-LL(0)}{LL(*)-LL(0)} = 1-\frac{LL(\hat{\beta})-k}{LL(0)}$$

که k تعداد درجات آزادی (تعداد متغیرهای) استفاده شده در مدل است. در جدول ۷-۳۰ معیارهای سنجش اشاره شده برای اهداف سفر مختلف، ارایه شده است.

جدول ۷-۳۰- *نتایج معیارهای آماری برای اهداف سفر مختلف*

گروه کالا	*LL(0)*	*LL(C)*	*LL(β)*	*K*	*Likelihood Ratio Test*	ρ_0^2	$\bar{\rho}_0^2$
گروه یک	-۱۰۲۷.۲۴	-۷۲۳.۲۱	-۶۴۴.۵۹	۷	۷۲۴.۶۲	۰.۳۵۳	۰.۳۴۱
گروه دو	-۷۰۹.۷۸	-۶۰۵.۰۹	-۵۷۱.۱۹	۶	۲۸۷.۰۶	۰.۲۰۲	۰.۱۸۱
گروه سه	-۳۵۳.۷۵	-۲۸۵.۱۹	-۲۵۹.۱۹	۶	۱۸۷.۰۱	۰.۲۶۴	۰.۲۳۰
گروه چهار	-۸۶۶.۴۳	-۶۵۲.۴۱	-۲۹۱.۵۵	۹	۵۳۵.۴۳	۰.۳۰۹	۰.۲۹۷
گروه پنج	-۶۳۷.۷۰	-۵۶۲.۱۹	-۵۰۲.۳۳	۱۰	۲۷۲.۷۴	۰.۲۱۴	۰.۱۹۵
گروه شش	-۶۲۹.۵۱	-۳۹۳.۵۵	-۳۸۸.۴۵	۱۱	۴۸۲.۹۲	۰.۳۸۴	۰.۳۶۸
گروه هفت	-۴۷۵.۵۶	-۳۰۲.۱۶	-۲۹۷.۷۵	۹	۴۱۹.۸۸	۰.۳۶۵	۰.۳۵۲

۷-۵- ساخت مدل توزیع سفرهای باری در شبکه معابر شهر مقدس قم

برای برآورد تقاضای سفر آینده برای استفاده از شبکه معابر، لازم است تبادل سفر بین نواحی مختلف با در نظر گرفتن جهت آن‌ها بین مبادی و مقاصد مشخص شود و یا به عبارت دیگر ماتریس سفرها برآورد شود. این کار در مدل‌های مرسوم و متداول چهارمرحله‌ای برآورد تقاضای سفر، در مرحله دوم و توسط مدل‌های توزیع سفر صورت می‌گیرد. در ادامه ابتدا به تعاریف و مبانی تئوری این مدل‌ها و نحوه پرداخت و ارزیابی آن‌ها اشاره شده و سپس روش به کارگیری این مدل در شهر مقدس قم ارائه می‌شود.

۷-۵-۱- تعاریف اولیه

۷-۵-۱-۱- هزینه عمومی سفر

یکی از عوامل موثر برای تعیین مدل‌های توزیع سفر، متغیر هزینه است که می‌توان آن را به صورت واحد مسافت، زمان یا پول به دست آورد. شکل معمول برای محاسبه تابع هزینه استفاده از شاخصی است مرکب از تمام خصوصیاتی که به نوعی عدم مطلوبیت سفر[۱] را نشان می‌دهند؛ این شاخص را هزینه عمومی[۲] سفر می‌نامند که در رابطه ۷-۲۳ شرح داده شده است [۱]:

$$C_{ij} = a_1 t_{ij}^{v} + a_2 t_{ij}^{w} + a_3 t_{ij}^{t} + a_4 t_{nij} + a_5 F_{ij} + a_6 \phi_j + \delta \qquad ۲۳\text{-}۷$$

که در آن:

t_{ij}^{v} = زمان درون وسیله نقلیه[۳]،

t_{ij}^{w} = زمان پیاده‌روی[۴] به و یا از ایستگاه،

t_{ij}^{t} = زمان انتظار[۵] در ایستگاه،

t_{nij} = زمان انتقال بین وسایل سفر[۶]،

F_{ij} = مقدار کرایه پرداخت شده،

ϕ_j = هزینه ترمینال و

δ = جریمه مدی[۷] است.

---

[1] Disutility of Movement
[2] Generalized Cost of Travel
[3] In-vehicle Travel Time
[4] Walking Time
[5] Waiting Time
[6] Interchange Time
[7] Modal Penalty

۷-۵-۱-۲- ماتریس سفر

روال مرسوم برای نمایش الگوی سفر در محدوده مورد مطالعه استفاده از ماتریس سفر[1] است که شمای کلی آن در شکل ۷-۲۳ و رابطه ۷-۲۴ مشاهده می‌شود. T_{ij} تعداد سفرهای بین ناحیه‌ای از مبدا i به مقصد j و T تعداد کل سفرهاست. O_i تعداد کل سفرهایی است که مبدأ آن‌ها در ناحیه i است و D_j تعداد کل سفرهایی است که به ناحیه j وارد می‌شود.

جمع تمام سفرهای موجود در یک ردیف باید با تعداد کل سفرهایی که از آن ناحیه سرچشمه می‌گیرند، برابر باشد و جمع سفرهای موجود در یک ستون باید با تعداد کل سفرهایی که به آن ناحیه ختم می‌شوند، مساوی شود. این شرایط محدودیت‌های (قیدهای) مدل‌های توزیع سفر را بیان می‌کنند [۱]:

$$\sum_j T_{ij} = O_i$$

$$\sum_i T_{ij} = D_j$$

۷-۲۴

Origins	Destinations 1	2	3	... j	... z	$\sum_j T_{ij}$
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	... T_{1j}	... T_{1z}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	... T_{2j}	... T_{2z}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	... T_{3j}	... T_{3z}	O_3
⋮						
i	T_{i1}	T_{i2}	T_{i3}	... T_{ij}	... T_{iz}	O_i
⋮						
z	T_{z1}	T_{z2}	T_{z3}	... T_{zj}	... T_{zz}	O_z
$\sum_i T_{ij}$	D_1	D_2	D_3	... D_j	... D_z	$\sum_{ij} T_{ij} = T$

شکل ۷-۲۳ ماتریس مبدأ- مقصد سفر

۷-۵-۱-۳- تابع مقاومت (مسافت) سفر

تابع مقاومت[2] تابعی است از هزینه عمومی سفر و در مدل جاذبه[3] برای لحاظ کردن هزینه در روند مدل‌سازی استفاده می‌شود. معروف‌ترین و پرکاربردترین توابع مسافت عبارتند از [۱]:

$$f(c_{ij}) = \exp(\beta c_{ij})$$ ۷-۲۵

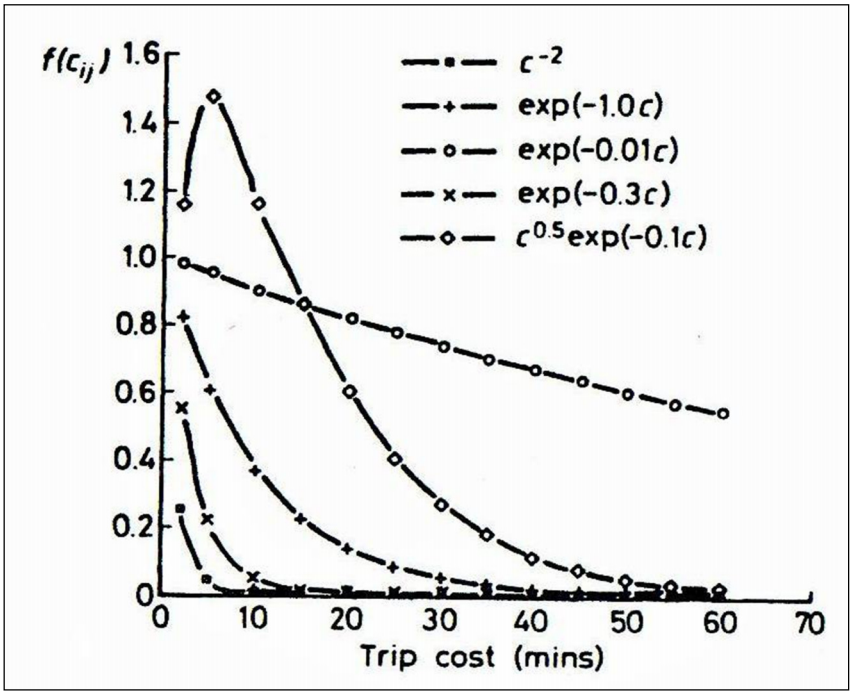
$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{\ n}$$ ۷-۲۶

[1] Trip Matrix
[2] Impedence (Friction)
[3] Gravity Model

$$f(c_{ij}) = {c_{ij}}^{n} \exp(\beta c_{ij}) \qquad ۲۷-۷$$

$$f(c_{ij}) = J_{bin} \qquad ۲۸-۷$$

شکل ۷-۲۴ نمودار انواع مختلف تابع مسافت را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۷-۲۴ نمودار انواع مختلف تابع مسافت

۷-۵-۲- مدل‌های مرسوم توزیع سفر

۷-۵-۲-۱- مدل‌های رشد

۷-۵-۲-۱-۱- رشد یکنواخت

در این روش برای کل منطقه مورد مطالعه یک ضریب عمومی رشد λ در نظر گرفته شده و ماتریس توزیع سفر سال پایه در آن ضرب می‌شود [۱] تا ماتریس توزیع سفر سال‌های افق به دست آید.

$$T_{ij} = \lambda\, t_{ij} \qquad ۲۹-۷$$

t_{ij} = تعداد سفر در سال پایه

T_{ij} = تعداد سفر در سال افق

۷-۵-۲-۱-۲- مدل رشد یک قیدی

با توجه به اطلاعاتی که در مورد مبدأ یا مقصد سفرها در سال پایه وجود دارد، می‌توان از محدودیت مربوط به مبدأ یا مقصد برای توزیع سفرها در سال‌های افق استفاده کرد [۱]. اگر رشد سفرهای تولید شده در مبدأها (λ_i) را داشته باشیم از رابطه ۷-۳۰ استفاده می‌کنیم:

$$T_{ij} = \lambda_i \, t_{ij} \qquad ۷-۳۰$$

اگر رشد سفرهای تولید شده در مقصدها (λ_j) را داشته باشیم، از رابطه ۷-۳۱ استفاده می‌کنیم:

$$T_{ij} = \lambda_j \, t_{ij} \qquad ۷-۳۱$$

۷-۵-۲-۱-۳- مدل رشد دو قیدی

هنگامی که اطلاعات مربوط به سفرهای آغاز شده از همه مبادی و پایان یافته در همه مقصدها موجود باشد، یعنی برای هر ناحیه یک ضریب رشد تولید سفر λ_i و یک ضریب رشد جذب سفر γ_j داشته باشیم، مدل رشد دو قیدی خواهد بود و سفرهای سال طرح برای دو ناحیه i و j رابطه مستقیمی با سفرهای سال پایه، ضریب رشد تولید در ناحیه i و ضریب جذب در ناحیه j دارند و می‌توان رابطه ۷-۳۲ را نوشت:

$$T_{ij} \sim \lambda_i \, \gamma_j \, t_{ij} \qquad ۷-۳۲$$

برای برقراری تعادل در راستای ارضای هر دو قید، ضرایب تعادل A_i و B_j در رابطه ۷-۳۲ گنجانده می‌شوند و رابطه ۷-۳۳ به دست می‌آید:

$$T_{ij} = A_i \, B_j \, \lambda_i \, \gamma_j \, t_{ij} \qquad ۷-۳۳$$

برای به دست آوردن T_{ij} از روش تکرار و تصحیح فرنس[1] استفاده می‌شود. معمولاً پس از چند مرحله می‌توان به دقت ۳ تا ۵ درصد رسید [۱].

۷-۵-۲-۱-۴- مدل دیترویت

برخی از مدل‌های رشد، تنها تبادل سفرها را بدون در نظر داشتن جهت سفرها، در نظر می‌گیرند. یعنی مثلاً منطقه i بدون توجه به جذب یا تولید یک ضریب رشد λ_iدارد. از این نوع مدل‌ها می‌توان به مدل‌های دیترویت[2] و فراتر[3] اشاره کرد. در روش دیترویت با استفاده از ضریب رشد هر ناحیه (λ_i) و رشد میانگین کل محدوده مورد مطالعه ($\lambda_{av.}$)، توزیع سفر در سال طرح به صورت رابطه ۷-۳۴ به دست می‌آید:

[1] Furness (1965)
[2] Detroit
[3] Faratar

$$T_{ij} = t_{ij} \frac{\lambda_i \times \lambda_j}{\lambda_{av.}} \qquad ۳۴-۷$$

سپس نسبت سفرهای به دست آمده از رابطه ۳۴-۷ به سفرهای سال طرح برای هر ناحیه محاسبه می‌شود. اگر اختلاف در حد مطلوب بود که به جواب رسیده‌ایم وگرنه از فرمول تکرار در رابطه ۳۵-۷ استفاده می‌شود که در آن k شماره مرحله است.

$$T_{ij}^{k} = T_{ij}^{k-1} \frac{\lambda_i^{k-1} \times \lambda_j^{k-1}}{\lambda_{av.}^{k-1}} \qquad ۳۵-۷$$

۷-۵-۲-۱-۵- مدل فراتر

در این مدل T_{ij} و T_{ji} به طور جداگانه از روابط ۳۶-۷و ۳۷-۷محاسبه شده و سپس میانگین آن‌ها به عنوان تبادل سفر بین دو ناحیه در نظر گرفته می‌شود [۲و۳].

$$T_{ij} = \frac{t_{ij}.\lambda_j}{\sum_j (t_{ij}.\lambda_j)} \lambda_i . \sum_j t_{ij} \qquad ۳۶-۷$$

$$T_{ji} = \frac{t_{ji}.\lambda_i}{\sum_i (t_{ji}.\lambda_i)} \lambda_j . \sum_i t_{ji} \qquad ۳۷-۷$$

روند تکرار در این روش مانند روش دیترویت است.

۷-۵-۲-۱-۶- ویژگی‌های مدل‌های رشد

هرچند خصوصیات مدل‌های رشد در همه آن‌ها یکسان نیست، اما به طور کلی می‌توان نقاط قوت و ضعف آن‌ها را به صورت زیر برشمرد:

مزایای مدل‌های رشد

- ساده‌اند و به کارگیری آن‌ها هزینه چندانی نخواهد داشت.
- غیر از مدل‌های رشد دوقیدی، فرآیندی برای پرداخت (کالیبره کردن) ندارند.
- برای جاهایی که رشد یکنواخت دارند و تحول زیادی نداشته باشند، مناسب هستند.

معایب مدل‌های رشد

- در نواحی که تازه به وجود آمده‌اند توزیع سفرهای سال پایه صفر در نظر گرفته خواهد شد.
- وجود هرگونه خطا در آمار سفرهای سال پایه موجب جواب‌های نادرست در سال افق است.
- تغییرات اساسی کاربری زمین یا فعالیت‌های بین منطقه‌ای را در نظر نمی‌گیرند.
- به تابع مقاومت سفر حساس نبوده و آن را در نظر نمی‌گیرند.

۷-۵-۲-۲- مدل‌های جاذبه

۷-۵-۲-۲-۱- مقدمه

معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل توزیع سفر، مدل جاذبه است که برای به دست آوردن آن از مفهوم قانون جاذبه نیوتن استفاده شده است. در مدل جاذبه بدون استفاده مستقیم از ماتریس سفرهای سال پایه سفرهای سال طرح پیش‌بینی می‌شود. احتمالاً مدل جاذبه اولین بار توسط کیسی[1] در سال ۱۹۵۵ [۱] برای سفرهای خرید بین شهری به صورت رابطه ۷-۳۸ به کار رفته است:

$$T_{ij} = \alpha \frac{p_i \times p_j}{d_{ij}^{2}} \qquad ۷-۳۸$$

که در آن p_i و p_j به ترتیب جمعیت شهرهای مبدأ و مقصد، d_{ij} فاصله بین آنها و α ضریب تناسب است. پس از مدتی شکل کلی مدل به صورت رابطه ۷-۳۹ در آمد:

$$T_{ij} = \alpha\, O_i\, D_j f(c_{ij}) \qquad ۷-۳۹$$

که در آن:

O_i = تعداد سفر از مبدا i

$f(C_{ij})$ = تابع مقاومت سفر بین مبدا i و مقصد j

D_j = تعداد سفر به مقصد j

α = ضریب تناسب

۷-۵-۲-۲-۲- مدل‌های جاذبه یک قیدی

در مدل‌های جاذبه مرسوم به جای استفاده از ضریب تناسب α، از دو مجموعه ضریب A_i و B_j به نام ضرایب تعادل[2] استفاده شده و شکل کلی مدل به صورت رابطه ۷-۴۰ نوشته می‌شود:

$$T_{ij} = A_i\, B_j\, O_i\, D_j f(c_{ij}) \qquad ۷-۴۰$$

هرگاه یکی از قیدهای مربوط به مبادی یا مقاصد وجود داشته باشند، مدل جاذبه یک قیدی[3] است. مثلاً اگر تنها محدودیت مبادی برقرار باشد، همه B_jها مساوی با یک بوده و ضرایب A_i به صورت رابطه ۷-۴۱ به دست می‌آیند:

[1] Casey
[2] Ballancing factors
[3] Singly constrained

$$\sum_j T_{ij} = O_i \;\Rightarrow\; \sum_j T_{ij} = \sum_j A_i\, O_i\, D_j f(c_{ij}) = A_i\, O_i \sum_j D_j f(c_{ij}) = O_i$$
$$\Rightarrow A_i = 1/\sum_j D_j f(c_{ij}) \qquad ۴۱\text{-}۷$$

۷-۵-۲-۲-۳- مدل‌های جاذبه دو قیدی[1]

اگر در مدل جاذبه هم محدودیت مبادی و هم محدودیت مقاصد برقرار باشد، با اثباتی مشابه روابط ۷-۴۲ و ۷-۴۳ خواهیم داشت:

$$A_i = 1/\sum_j B_j D_j f(c_{ij}) \qquad ۴۲\text{-}۷$$

$$B_j = 1/\sum_i A_i\, O_i f(c_{ij}) \qquad ۴۳\text{-}۷$$

در این حالت با استفاده از روش فرنس A_i و B_j به دست می‌آیند؛ به این صورت که با ثابت فرض کردن یکی از ضرایب بالانس دیگری به دست می‌آید و سپس همین کار برای ضریب دیگر انجام می‌شود و این کار تا به دست آمدن مقادیری در فاصله همگرایی دلخواه تکرار می‌شود.

۷-۵-۲-۲-۴- مدل‌های جاذبه با شاخص جذابیت در مقصد

در برخی از مدل‌های جاذبه (که شرح آن‌ها در مرجع [۳] آمده است) به جای استفاده از مقدار سفرهای جذب شده در مقاصد (D_j)، از ضریبی با نام جذابیت[2] استفاده شده است. در این مدل‌ها سایر متغیرها مانند دو مدل قبلی هستند.

معرفی ضریب K

ممکن است بعضی از نواحی، علاقه خاصی برای سفر به مقصدی خاص داشته باشند یا محل سکونت و محل اشتغال به گونه‌ای باشد که نتوان تنها با لحاظ کردن هزینه عمومی، تبادل بین آن نواحی را مدل کرد. یعنی ویژگی‌های رفتاری و شرایط اقتصادی بین دو ناحیه ممکن است به گونه‌ای باشد که تنها هزینه عمومی در توزیع سفر بین دو ناحیه تأثیرگذار نباشد. در این صورت از ضریب K (ضریب اصلاح اقتصادی- اجتماعی بین ناحیه‌ای) به شرح رابطه ۷-۴۴ استفاده می‌شود:

$$T_{ij} = K_{ij}\, A_i\, B_j\, O_i\, D_j f(c_{ij}) \qquad ۴۴\text{-}۷$$

توضیح بیشتر این‌که در مدل جاذبه بدون ضریب K توزیع سفر بین همه نواحی تنها با توجه به مقاومت سفر (که تابعی از هزینه (زمان) سفر است) و تعداد تولید و جذب سفر صورت می‌گیرد، در صورتیکه با دخالت دادن ضریب K رابطه ویژه‌ای علاوه بر مقاومت و تعداد تولید و جذب سفر بین دو ناحیه برقرار می‌شود. البته باید توجه کرد که به علت اینکه نمی‌توان این ضریب

[1] Doubly constrained
[2] Attractiveness

را به دقت برای تغییرات غیرقابل پیش‌بینی در آینده محاسبه کرد، استفاده از آن در مدل‌سازی شهرهای کوچک و متوسط توصیه نشده است.

۷-۵-۲-۲-۵- پرداخت مدل جاذبه

پرداخت یا واسنجی[1] یک مدل به شکل مدل و تعداد متغیرهای انتخاب شده در آن بستگی دارد. در یک مدل جاذبه دوقیدی با یک تابع نمایی به عنوان هزینه عمومی سفر داریم:

$$f(c_{ij}) = \exp(-\beta c_{ij}) \qquad ۴۵\text{-}۷$$

جمعاً Z+Z+۱ پارامتر موجود است که ۲Z آن هنگام تشکیل مدل برای ارضای محدودیت‌ها (تعداد نواحی=Z) به دست می‌آیند و پارامتر دیگر (β) باید به صورت مستقل تعیین شود. مدل‌های جاذبه را می‌توان به روش‌های ذیل پرداخت کرد:

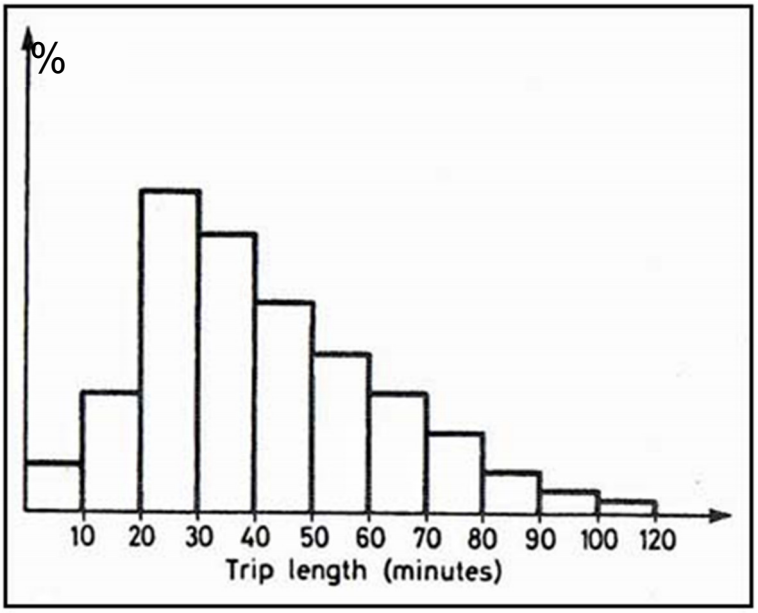
- روش ساده (حدسی) [۱]
- روش هایمن[2] [۱]
- روش استفاده از تصحیح و برازش [۳]

در این بخش هر یک از روش‌های نامبرده به اجمال توضیح داده می‌شود. قابل توجه آن که در روش‌های زیر توابع مسافت (مقاومت) با یک ضریب β مد نظر قرار گرفته‌اند و در صورت استفاده از توابع دیگر با پارامترهای پرداخت بیشتر، می‌بایست هر یک از این روش‌ها با توجه به تعداد پارامترها تغییر یابند.

روش ساده (حدسی)

در این روش یک مقدار اولیه برای β انتخاب می‌شود. سپس توزیع طول سفرهای به دست آمده از مدل توزیع طول سفرها[3] را با توزیع طول سفرهای مشاهده شده[4] مقایسه می‌کنند. اگر درصد خطای تطابق از حد مشخصی کمتر بود، β انتخاب می‌شود وگرنه با حدسی دیگر کار را تکرار می‌کنند تا به مقدار مناسب برای β دست یابند. این روش به تجربه زیادی نیاز دارد و معمولاً توصیه نمی‌شود. شکل ۷-۲۵ نمایشی از مقایسه توزیع طول سفرهای به دست آمده از مشاهده است [۱]. لازم به ذکر است منظور از طول سفر، ممکن است طول مکانی سفر (مسافت) یا طول زمانی سفر (زمان سفر) باشد.

[1] Calibration
[2] Hyman's Method
[3] Model Travel Length Distribution (MTLD)
[4] Observed Travel Length Distribution (OLTD)



شکل ۷-۲۵ نحوه نمایش توزیع طول سفرها در یک ناحیه شهری

➢ روش هایمن

در این روش ابتدا یک c^* (میانگین وزنی هزینه به دست آمده از توزیع طول سفرهای مشاهده شده) به صورت رابطه ۷-۴۶ بدست می‌آید:

$$c^* = \sum_{ij}(N_{ij}C_{ij}) / \sum_{ij}N_{ij} \qquad ۴۶\text{-}۷$$

که در آن N_{ij} تعداد سفرهای مشاهده شده بین زوج مبدا- مقصد (i,j) است. حال می‌توان الگوریتم زیر را پی گرفت:

گام اول: مقادیر اولیه را به صورت رابطه ۷-۴۷ تنظیم نمایید:

$$\beta_{.} = ۱/c^* \ , \quad m = 0 \qquad ۴۷\text{-}۷$$

گام دوم: با استفاده از مدل جاذبه و $\beta_{.}$، میانگین هزینه سفر را از مدل محاسبه کرده و β_m را از رابطه ۷-۴۸ به دست آورید:

$$\beta_m = \beta_{.} c_{.} / c^* \qquad ۴۸\text{-}۷$$

که در این رابطه $c_{.}$ میانگین هزینه سفر به دست آمده از اجرای مدل است.

گام سوم: m را مساوی با m+1 قرار داده و با $\beta_{m-۱}$ ماتریس سفر را با استفاده از مدل جاذبه محاسبه کنید تا c_{m-1} به دست آید؛

اگر c_{m-1} با c^* در حد دلخواه نزدیک است فرآیند به اتمام رسیده است وگرنه به گام چهارم بروید.

گام چهارم: $\beta_{m+۱}$ را برای مرحله بعدی با تخمین از طریق رابطه ۷-۴۹ به دست آورید:

$$\beta_{m+1} = \frac{(c^* - c_{m-1})\beta_m - (c^* - c_m)\beta_{m-1}}{(c_m - c_{m-1})} \qquad ۴۹-۷$$

گام پنجم: تا هنگامی که در گام سوم به تخمین مناسبی از β دست نیافته‌اید، گام‌های سوم و چهارم را تکرار کنید.

➢ روش استفاده از تصحیح و برازش

در این روش یک β اولیه انتخاب می‌شود. سپس مدل جاذبه اجرا شده و توزیع طول سفرهای به دست آمده از مدل برای بازه‌های مشخص به صورت درصد به دست می‌آید. سپس با استفاده از مقادیر مشابه به دست آمده از توزیع طول سفرهای مشاهده شده هزینه عمومی هر بازه به صورت رابطه ۵۰-۷ تصحیح می‌شود [۳]:

$$f_k\,(\text{adjusted}) = f_k\,(\text{observed}) / f_k\,(\text{calculated}) \qquad ۵۰-۷$$

که در آن:

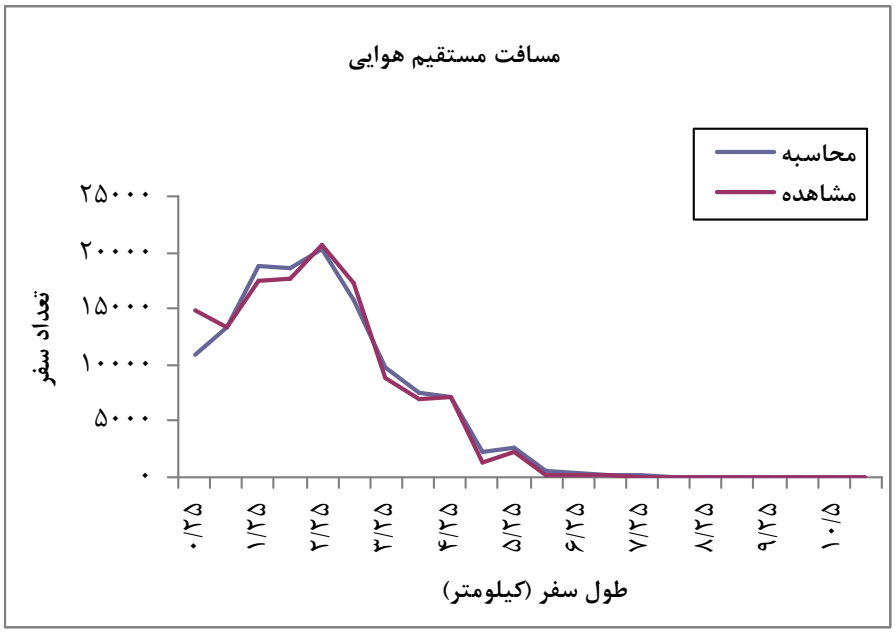
$f_k\,(\text{calculated})$ = درصد سفرهای مشاهده شده در بازه k از مدل و

$f_k\,(\text{observed})$ = درصد سفرهای محاسبه شده در بازه k از مشاهده.

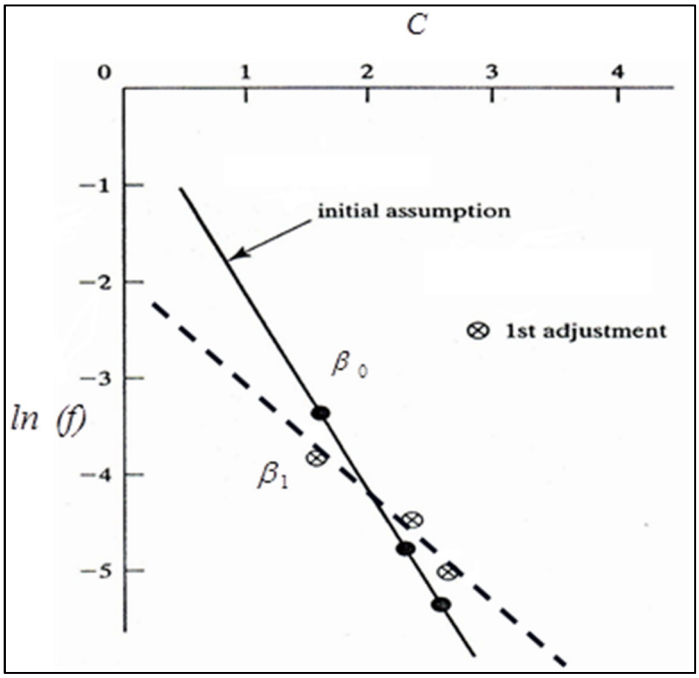
پس از برازش نمودار بر داده‌های به دست آمده، شیب نمودار برازش شده β جدید را به دست خواهد داد، زیرا:

$$f = \exp(\beta C) \qquad \ln(f) = \beta C \qquad ۵۱-۷$$

شکل ۲۶-۷ توزیع طول سفرها در تکرارهای مختلف را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد و شکل ۲۷-۷ نحوه تصحیح برازش‌ها را روی محور لگاریتمی نشان می‌دهد [۳].



شکل ۲۶-۷ نمایشی شماتیک از توزیع طول سفرها در تکرارهای مختلف



شکل ۷-۲۷ نحوه تصحیح برازش‌ها روی محور لگاریتمی

۷-۵-۲-۲-۶- ویژگی‌های مدل جاذبه

پایه اثبات ریاضی مدل جاذبه استفاده از بیشینه سازی آنتروپی است. بنابراین می‌توان گفت برخی از خصوصیات مدل جاذبه برخاسته از آنتروپی است. مهمترین مزایای مدل‌های جاذبه عبارتند از:

- سفرها را نسبت به مدل‌های رشد، منطقی‌تر توزیع می‌کند.
- جذابیت نواحی را برای توزیع سفرها در نظر می‌گیرد.
- رابطه منطقی بین مبداها و مقصدها را در نظر می‌گیرد.
- توزیع سفرها بین نواحی، با توجه به حساسیت مسافران نسبت به یک تابع مقاومت سفر (تابع هزینه عمومی) به دست می‌آید. لذا مدل توزیع نسبت به سیاست‌گذاری‌هایی که این تابع را تغییر دهند، حساس خواهد بود. این مساله در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضا بسیار موثر و مفید خواهد بود.
- ویژگی‌های ریاضیاتی این مدل (مدل جاذبه منتج از آنتروپی) نسبت به سایر مدل‌ها مستدل‌تر است؛ مثلا تابع هدف همیشه محدب است و محدودیت‌های آن فضای جواب مناسب را (در مورد مسئله توزیع سفر) فراهم می‌آورند و بنابراین همواره به جوابی یکتا دست می‌یابیم.
- چهارچوب مدل‌سازی آن قابل برنامه نویسی است.
- با توجه به مبانی تئوریک به کار رفته در مدل جاذبه، تفسیر جواب‌های به دست آمده منطقی‌تر خواهد بود.

نواقص یا نکات مورد توجه در مدل‌های جاذبه عبارتند از:

- اجرای یک مدل جاذبه (مخصوصا در حالت دو قیدی) زمان‌بر است و برای حدس پارامتر βروندی منطقی وجود نـدارد و از روش‌های مرسوم (برازش منحنی) نیز نمی‌توان استفاده کرد؛ زیـرا مـدل عـلاوه بـر ایـن‌کـه غیرخطـی اسـت، پیچیـدگی محاسباتی در سطح تحلیل نیز دارد.
- ویژگی‌های رفتاری را در توضیح این‌که چگونه مسافران مقاصد خود را انتخاب می‌کنند نادیده می‌گیرد.
- استفاده از ضریب K_{ij} برای تصحیح نتایج به دست آمده با به کارگیری f_{ij} در مقایسه با مقادیر مشاهده شده در سال پایه به دو دلیل مشکل‌آفرین است:
  - تفسیر نتایج حاصل از به کارگیری K_{ij} مشکل است
  - گاهی اعتبار این ضرایب برای سال افق مورد تردید است.

۷-۵-۲-۳- مدل‌های غیرمرسوم توزیع سفر

مدل‌های غیرمرسوم توزیع سفر، به لحاظ ساختاری و مبانی علمی بسیار قوی و مستدل هستند، اما به دلیل پیچیدگی فنی، هنوز کاربرد عمومی پیدا نکرده‌اند. در این بخش مروری بر برخی از این‌گونه مدل‌ها انجام می‌شود. کاربرد این مدل‌ها که نیازمند طراحی نرم‌افزارها و منابع اطلاعاتی و پایگاه‌های داده‌ای در زمینه‌های مختلف است، احتمالاً در آینده بسیار گسترش خواهد یافت.

۷-۵-۲-۳-۱- مدل لوجیت با دسته کاربران مختلف

در سال ۱۹۸۸ صفوت و مگنانتی[۱] [۴] مدلی را با نام اختصاری **STEM**[۲] ارایه دادند [۱] که در آن، برای توزیع سفر از تابع مطلوبیت مسافران استفاده شده است. در مطالعه شکل مذکور، توابع انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به آن دسته از مدل‌هایی که با استفاده از فرمول‌بندی بیشینه‌سازی آنتروپی به دست می‌آیند، نشان می‌دهند. اما باز هم توابع تقاضا نسبت به مدل‌های چهار مرحله‌ای عمومیت کمتری دارند [۱]. شاخص عدم مطلوبیت سفر به کار رفته در مطالعه مذکور به صورت رابطه ۷-۵۲ تعریف شده است:

$$U_{ij} = -\beta u_{ij} + A_j \qquad ۷-۵۲$$

که در آن β پارامتر پرداخت یا واسنجی، u_{ij} هزینه سفر بین i و j، و A_j تاثیر ترکیبی متغیرهای اقتصادی- اجتماعی مختلف موثر بر جذب سفر است.

صفوت و مگنانتی مقدار ایجاد سفر را شاخصی برای دسترسی در نظر گرفتند که صورت نوشتاری آن در رابطه ۷-۵۳ می‌آید:

[1] Safwat and Magnanti (1988)
[2] Simultaneous Transportation Equilibrium Model (STEM)

$$S_i = \max\{\cdot, \log \sum_j \exp(-\beta u_{ij} + A_j)\} \quad ۵۳\text{-}۷$$

و مدل توزیع از رابطه ۷-۵۴ محاسبه می‌شود:

$$T_{ij} = \frac{\exp(-\beta u_{ij} + A_j)}{\sum_j \exp(-\beta u_{ij} + A_j)} G_i \quad ۵۴\text{-}۷$$

که در آن G_i تعداد کل سفرهای ایجاد شده در مبدأ i است.

لازم به ذکر است که این مدل انعطاف‌پذیرتر و عمومی‌تر از مدل‌های جاذبه مرسوم است، زیرا آن متغیرهای اقتصادی-اجتماعی می‌توانند در تابع مطلوبیت وارد شوند. به راحتی می‌توان نشان داد که اگر فرض $A_j = \log D_j$ انجام شود مدل جاذبه یک قیدی حاصل خواهد شد.

البته مدل ارایه شده توسط صفوت و مگانتی [۴] یک مدل ترکیبی تولید، توزیع، تفکیک و تخصیص سفر است که در این-جا تنها مدل توزیع آن گفته شد. مدل‌هایی که از تابع مطلوبیت استفاده می‌کنند تنها به این نوع مدل اشاره شده ختم نمی‌شوند و به صورت‌های مختلف، مخصوصاً در مدل‌های ترکیبی، به کار می‌روند که برای اطلاعات بیشتر در این مورد می‌توان به مرجع [۵] رجوع کرد. پیچیدگی کاربرد این گونه مدل‌های ترکیبی و نیاز به در اختیار داشتن داده‌های مختلف با دقت بالا، استفاده علمی از آن‌ها را برای شهرهای کوچک و متوسط و حتی شهرهای بزرگ توجیه نمی‌کند. در تجربیات جهانی کمی از کاربرد آن‌ها گزارش شده است.

۷-۵-۲-۳-۲- مدل لوجیت نقطه پاشنه‌ای

همان‌طور که گفته شد، می‌توان بر پایه مطلوبیت از مدل لوجیت برای توزیع سفر استفاده کرد. در این قسمت روشی معرفی می‌شود که با استفاده از آن می‌توان از لوجیت نقطه پاشنه‌ای[1] بر مبنای هزینه عمومی سفر، نه تابع مطلوبیت، توزیع سفرها را برای سال افق به صورت زیر به دست آورد [۱]:

$$T_{ij} = \frac{G_i T_{ij}^{\cdot} a_j \exp(-\beta \Delta GC_{ij})}{\sum_j T_{ij}^{\cdot} a_j \exp(-\beta \Delta GC_{ij})} \quad ۵۵\text{-}۷$$

که در آن G_i تعداد کل سفرهای ایجاد شده در مبدأ i، ΔGC_{ij} مقدار اختلاف بین هزینه عمومی سفر سال طرح و سال پایه و a_j ضریب رشد ناحیه j است و می‌تواند تمام تغییرات ایجاد شده در آن را در بر داشته باشد.

البته با اندکی تامل می‌توان دریافت که منطق به کار رفته در این مدل و در مدل بخش قبل یکی است و می‌توان به راحتی با تغییر مطلوبیت به مقدار اختلاف هزینه عمومی سفر در سال افق و سال پایه، از مدل اول به مدل دوم رسید؛ همان‌طور که می‌توان تابع مطلوبیت را بر مبنای پارامترهای دخیل در هزینه عمومی سفر به دست آورد.

[1] Pivot-Point Model

۷-۵-۲-۳-۳- مدل‌های مبتنی بر وجود فرصت

در بخش‌های پیش به مدل‌های جاذبه که معروفترین و پرکاربردترین مدل‌های ساختگی[1] توزیع هستند پرداخته شد. همان‌طور که گفته شد، مدل جاذبه توزیع سفرها را با توجه به مسافت (تابع مسافت سفر) بین مبادی و مقاصد شبکه صورت می‌دهد و امروزه می‌توان به راحتی با استفاده از نرم‌افزارهای موجود این مدل را به کار گرفت. مدل‌های جاذبه را می‌توان برای دسته‌های مختلف کاربران و حمل و نقل کالا نیز به کار گرفت. برخی از محققان مدل‌های ساختگی دیگری را ارائه داده‌اند که از مسافت یا تابع مسافت در آن‌ها استفاده نمی‌شود، بلکه در این مدل‌ها دسترسی نسبی به فرصت‌ها برای برآورده کردن هدف خاص سفر مدنظر است. به این مدل‌ها، مدل‌های مبنی بر وجود فرصت[2] (مدل‌های احتمالی) گفته می‌شود. صورت تقریباً کامل استفاده شده این مدل را اشنایدر[3] در سال ۱۹۵۹ [۶] تدوین کرد، که در ذیل مدل مبتنی بر فرصت ارائه شده توسط وی به نقل از مرجع [۱] آورده می‌شود.

فرض کنید برای هر منطقه i، تمام مقاصد مختلف ممکن بر اساس مسافتشان از این گره به ترتیب صعودی رتبه‌بندی شده‌اند. یک زوج مبدا- مقصد (i, j) را در نظر بگیرید که در آن j رتبه m ام را به لحاظ فاصله از i دارد. بنابراین در شبکه مورد بررسی $m-1$ مقصد دیگر برای منطقه i وجود دارد که فاصله آن‌ها کمتر از فاصله i تا j است و به عبارت دیگر در دسترس‌تر هستند. مطابق منطق به کار رفته در این مدل، مسافری که می‌خواهد سفری را به منظور خاصی انجام دهد، مقصدی را انتخاب می‌کند که رتبه بهتری دارد و منظور سفر وی را ارضا می‌کند؛ بنابراین توزیع سفرها در این مدل‌ها بر اساس دخالت فرصت‌های موجود -که بر انتخاب مقصد تأثیر می‌گذارند- انجام می‌شود.

فرض کنید α احتمال آن است که یک مسافر مشخص با یک فرصت ارضا شود؛ در این صورت احتمال جذب وی توسط ناحیه‌ای مشخص با D فرصت برابر αD خواهد بود. حال مقدار q_i^m برابر با "احتمال اینکه مسافر مورد نظر با هیچ‌کدام از فرصت‌هایی که منطقه‌ای با رتبه m در اختیارش می‌گذارد ارضا نشود" تعریف می‌شود. این احتمال برابر آن است که مسافر مورد نظر با هیچ‌کدام از فرصت‌های پیشنهادی توسط نواحی با رتبه‌های یک، دو، سه، ... تا m ارضا نشده باشد:

$$q_i^m = q_i^{m-1}(1-\alpha D_i^m) \qquad ۵۶\text{-}۷$$

بنابراین با حذف اندیس i برای ساده کردن محاسبات رابطه ۷-۵۷ را خواهیم داشت:

$$\frac{q^m - q^{m-1}}{q^m} = -\alpha D^m \qquad ۵۷\text{-}۷$$

حال اگر فرض کنیم x_m جذابیت تجمعی[4] فرصت‌های پیشنهادی منطقه m ام را نشان می‌دهد، خواهیم داشت:

$$x_m = \sum_m D_m \qquad ۵۸\text{-}۷$$

---

[1] Synthetic Models
[2] Intervening-Opportunity Models
[3] Schneider (1959)
[4] Cumulative Attractions

پس رابطه ۷-۵۷ را می‌توان به این ترتیب بازنویسی کرد:

$$\frac{q^{m}-q^{m-1}}{q^{m}}=-\alpha[x_{m-1}-x_{m}] \qquad ۷\text{-}۵۹$$

که حد دیفرانسیلی آن به صورت رابطه ۷-۶۰ خواهد بود:

$$\frac{dq(x)}{q(x)}=-\alpha dx \qquad ۷\text{-}۶۰$$

که با انتگرال‌گیری از آن داریم:

$$\ln q(x)=-\alpha x+\text{constant} \qquad ۷\text{-}۶۱$$

یا به عبارت دیگر:

$$q(x)=A_{i}\exp(-\alpha x) \qquad ۷\text{-}۶۲$$

که در آن A_{i} پارامتری است که از کالیبراسیون به دست می‌آید. رابطه ۷-۶۲ بیانگر این مطلب است که احتمال آن که یک هدف مشخص از سفر با هیچکدام از m مقصد اول ($m=1,...,M$) ارضا نشود تابع نمایی منفی از فرصت‌های تداخلی (یا تجمعی) است. سفرهای T_{ij}^{m} از مبدا i به مقصد j (که j رتبه m را به لحاظ فاصله از i دارد) با تفاضل احتمال عدم ارضای هدف سفر توسط هرکدام از فرصت‌های $m-1$ تای نزدیک به مبدا و احتمال عدم ارضای هدف سفر توسط هرکدام از فرصت-ها توسط مقاصد با رتبه‌های یک تا m:

$$T_{ij}^{m}=O_{i}[q_{i}(x_{m-1})-q_{i}(x_{m})]$$
$$T_{ij}^{m}=O_{i}A_{i}[\exp(-\alpha x_{m-1})-\exp(-\alpha x_{m})] \qquad ۷\text{-}۶۳$$

به راحتی می‌توان نشان داد که A_{i} باید برابر باشد با:

$$A_{i}=1/[1-\exp(-\alpha x_{m})] \qquad ۷\text{-}۶۴$$

برای اطمینان از اینکه محدودیت مقدار کل سفرهای جذب و تولید شده ارضا شود، مدل نهایی به صورت رابطه ۷-۶۵ نوشته می‌شود:

$$T_{ij}^{m}=O_{i}\frac{[\exp(-\alpha x_{m-1})-\exp(-\alpha x_{m})]}{[1-\exp(-\alpha x_{m})]} \qquad ۷\text{-}۶۵$$

مدل‌های فرصت تداخلی به دلیل این‌که اصول اولیه برای به دست آمدن آن‌ها با دیگر مدل‌ها متفاوت بوده است، بسیار جالب به نظر می‌آیند؛ به عبارت دیگر فاصله گره‌ها در این مدل‌ها به صورت متغیری ترتیبی وارد شده است و رتبه‌ای که هر ناحیه نسبت به نواحی مختلف دارد مد نظر قرار می‌گیرد نه مقدار آن. اصل دیگری که در آن به کار گرفته می‌شود مربوط به فرصت‌ها است؛ یعنی پس از رتبه‌بندی به لحاظ مسافت، فرصت‌هایی که منظور سفرهای مشخص را ارضا می‌کنند مد نظر قرار می‌گیرند. اما به دلایل ذیل از این نوع مدل‌ها اغلب در عمل استفاده نشده است:

- پایه‌های تئوری آن در عمل خوب شناخته نشده است و یا امکان سختی فهم منطق آن وجود دارد.

- تعیین ماتریسی که رتبه مقاصد مختلف را با توجه به مسافت آن‌ها نسبت به مبادی نشان دهد در عمل مشکل است.
- مزایای مربوط به مبانی تئوری و مزایای به کارگیری آن در عمل نسبت به مدل‌های جاذبه بهتر به نظر نمی‌آید.
- نرم‌افزار مناسب برای به کارگیری آن وجود ندارد.

۷-۵-۲-۴- مدل‌های احتمالی

مدل‌های متنوعی وجود دارند که توزیع سفر بین نواحی را بر اساس احتمال تبادل سفر بین مبادی و مقاصد شبکه بیان می‌کنند. مسأله مهم در به کارگیری این نوع مدل‌ها نحوه تخمین پارامترهای آن‌ها با توجه به نوع قیود است، بر همین اساس مقالات زیادی درباره تخمین پارامترهای مدل‌های احتمالی نوشته شده است که در این جا به ذکر دو نمونه اکتفا می‌شود.

۷-۵-۲-۴-۱- مدل انتخاب فضایی

مدلی بسیار ساده و قدیمی است که برای بیان مقدار احتمال وجود یک تبادل از i به j ارایه شده است و به صورت رابطه ۷-۶۶ بیان می‌شود: (نقل از مرجع [۷])

$$p_{ij} = \frac{D_{ij}^{\lambda}}{\sum_{k} D_{ik}^{\lambda}} \qquad ۶۶\text{-}۷$$

که در آن:

p_{ij} = احتمال وجود یک تبادل از i به j؛

D_{ij} = مسافت بین i و j؛

λ = پارامتری که باید با توجه به داده‌ها تخمین زده شود.

این مدل بسیار ابتدایی به حساب آمده است و مدل‌های ذیل را برای اصلاح آن ارائه کرده‌اند.

۷-۵-۲-۴-۲- مدل جانشین برای مدل انتخاب فضایی

مدل جانشین برای مدل انتخاب فضایی[1] در سال ۱۹۷۶ توسط سساریو[2] [۸] ارائه شده است (نقل از مرجع [۷]) و شکل کلی آن به این صورت رابطه ۷-۶۷ بیان می‌شود:

$$p_{ij} = \alpha_i D_{ij}^{\lambda} \qquad ۶۷\text{-}۷$$

که در آن:

p_{ij} = احتمال وجود یک تبادل از i به j؛

[1] Surrogate Spatial Choice Model
[2] F.J. Cesario (1976)

D_{ij} = مسافت بین i و j؛

α_i = پارامتر مربوط به مبدأ i که باید با توجه به داده‌ها تخمین زده شود؛ و

λ = پارامتری که باید با توجه به داده‌ها تخمین زده شود.

۷-۵-۲-۴-۳- مدل ایوینگ

مدل دیگری که برای تخمین احتمال تبادل سفر بین مبادی و مقاصد شبکه ارایه شده است مدل ایوینگ[1] [۷] است که در حقیقت نوعی ارتقا و بهبود در مدل پیش را می‌رساند. شکل کلی این مدل به صورت رابطه ۷-۶۸ است.

$$p_{ij} = \frac{A_j D_{ij}^{-\lambda} \exp(-\alpha D_{ij}^{\beta})}{\sum_k A_k D_{ik}^{-\lambda} \exp(-\alpha D_{ik}^{\beta})} \qquad ۶۸\text{-}۷$$

که در آن β پارامتر کالیبراسیون مدل و A_j شاخص جذابیت ناحیه j است که باید با روش‌های خاص خود تخمین زده شود؛ برای مطالعه بیشتر در این باره می‌توان به مرجع [۷] مراجعه کرد.

۷-۵-۳- مروری بر نحوه پرداخت و اعتبارسنجی مدل جاذبه

ارزیابی کلی مدل‌های مختلف مورد استفاده برای توزیع سفر در مطالعات قبلی شهرهای مختلف دنیا، نشان می‌دهد مدل-های جاذبه به دلیل توجه به تغییرات نواحی ترافیکی، کاربرد بسیار بیشتری داشته‌اند. در ادامه به بررسی برخی اصول کلی واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های جاذبه در کتب و انتشارات معتبر پرداخته می‌شود.

۷-۵-۳-۱- نحوه پرداخت و ارزیابی مدل جاذبه

در پرداخت و ارزیابی مدل توزیع اغلب موارد زیر مدنظر قرار می‌گیرد [۹]:

۱- مقایسهٔ بسامد توزیع طول (زمانی) سفرها برای گروه بارهای مختلف

۲- مقایسه متوسط زمان سفر

۳- ارزیابی تبادل سفرها از یک محدوده مشخص (مثلاً محدوده تجاری مرکزی شهر) به سایر محدوده‌ها

برای به دست آوردن بسامد توزیع طول سفرها و تخمین مناسب از آن (چه بر حسب فاصله و چه بر حسب زمان)، می‌توان از اطلاعات بارها استفاده کرد. بسامد توزیع طول سفرها برای هر گروه بار به طور مجزا به دست می‌آید و استفاده از یک نمونه کوچک (حتی در حدود ۵۰۰ نمونه) می‌تواند تخمین مناسبی برای بسامد توزیع طول سفرهای مربوط به مقاصد مختلف سفرهای بین نواحی درونی به دست دهد.

[1] Cordon O. Ewing (1978)

خروجی‌های اصلی و قابل کنترل مدل توزیع عمدتاً طول سفر و جهت آن (از اطراف شهر به ناحیه مرکزی و از ناحیه مرکزی به اطراف) و مقادیر وزن بار و تعداد خودرو بین مبادی و مقاصد مختلف شبکه است [۱۰].

۷-۵-۳-۲- تعیین مقادیر مقاومت سفر

یکی از ورودی‌های مهم برای ساخت مدل جاذبه، ماتریس مقاومت سفر است. در حقیقت، مقاومت سفر نشان‌دهندهٔ فواصل نواحی است که بر اساس مسیرهایی با کوتاه‌ترین زمان سفر بین هر مبدأ و مقصد به دست می‌آیند.

همان‌طور که پیشتر گفته شد، برخی از مدل‌ها نیز به جای زمان سفر از هزینه عمومی سفر[1] که به نوعی از تبدیل زمان سفر کمان‌های شبکه به هزینه پولی و ترکیب آن‌ها با سایر هزینه‌های سفر مربوط به شبکه (از قبیل مخارج بهره‌برداری، نگهداری، پارکینگ و عوارض) به دست می‌آید، استفاده می‌کنند.

نحوهٔ محاسبه سهم مقاومت شبکه راه‌ها بدین صورت است که زمان سفر یا هزینه سفر در مسیر با کم‌ترین مقاومت بین یک زوج مبدأ- مقصد معین، به عنوان مقاومت آن در نظر گرفته می‌شود. هزینه سفر در مسیر مورد نظر می‌تواند شامل مواردی از قبیل زمان، فاصله، عوارض و یا ترکیبی از آن‌ها باشد که این مقادیر نهایتاً می‌بایست با زمان سفر درون ناحیه‌ای در دو سر سفر (نواحی مبدأ و مقصد) جمع شوند.

در مراجع قدیمی، برای محاسبه زمان سفر مسیرهای بین دو ناحیه، از جداول ثابت از پیش ساخته شده‌ای که بر اساس نوع راه و نوع کاربری تدوین شده بود، استفاده می‌شد. این جداول سرعت یک راه با درجه خاص را، که در یک ناحیه مشخص واقع است، معلوم می‌ساختند تا بدین وسیله امکان محاسبه زمان سفر در یک مسیر شامل مجموعه‌ای از کمان‌ها (راه‌ها) فراهم شود. لازم به ذکر است که روش مذکور تنها برای یک تخمین اولیه مناسب است و در صورتی‌که هدف، محاسبه دقیق‌تر زمان سفرها باشد می‌توان از بازخورد نتایج تخصیص و احجام کمان‌ها به صورت دقیق استفاده کرد.

یکی دیگر از عوامل موثر در مقاومت سفر، زمان‌های پایانی[2] (زمان صرف شده برای سفر از درون وسیله نقلیه پس از رسیدن به مقصد در روی شبکه تا مقصد نهایی یا از مبدا اصلی تا مبدا روی شبکه) در درون نواحی ترافیکی است. معمولاً زمان پایانی بر اساس نوع کاربری[3] ناحیه ترافیکی تعیین می‌شود و می‌تواند به عنوان قسمتی از فرآیند پرداخت مدل توزیع سفر به کار برده شود تا از این طریق طول سفرهای میانگین به دست آمده از مدل همخوانی بیشتری با طول سفرهای میانگین مشاهده‌شده داشته باشد.

۷-۵-۳-۳- آزمون‌های اعتبارسنجی مدل جاذبه

چهار گام اساسی زیر را می‌توان برای تعیین اعتبار مدل‌های جاذبه برای توزیع سفرهای سال‌های افق به کار گرفت [۱۰]:

۱) مقایسه طول میانگین سفرها برای اهداف مختلف؛ بهترین روش اعتبارسنجی مدل‌های توزیع سفر که مرحله‌ای از پرداخت نیز هست، مقایساتی است که بین طول سفرهای به دست آمده از سفرهای مشاهده و برآورد شده به دست

[1] Generalized Cost
[2] Terminal Times
[3] Area type

می‌آید. به گونه‌ای که میانگین طول سفرهای مشاهده شده می‌بایست کمتر از ۵درصد با میانگین طول سفرهای مدل شده اختلاف داشته باشد.

۲) مقایسه طول سفرها برای هر گروه کالا با توجه به نوع ناحیه، البته طول سفرها در این مورد با توجه به سفرهای جذب شده و تولید شده در یک نوع ناحیه مشخص، مطرح است.

۳) کنترل میزان تطابق بسامد توزیع طول (زمانی) سفرها حاصل از مشاهده و برآورد بر اساس گروه بارهای مختلف و در بازه‌های زمانی مختلف؛ یکی از راه‌های کنترل در این باره می‌تواند بررسی هماهنگی پراکنش طول سفرها به صورت چشمی باشد. البته روش کمی محاسبه ضریب تطابق[1] نیز وجود دارد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

۴) ترسیم نمودار ضرایب مقاومت؛ اگر مدل مورد استفاده از نوع جاذبه باشد، ترسیم نمودار ضرایب مقاومت برای گروه کالاهای مختلف می‌تواند اطلاعات خوبی در مورد میزان حساسیت مالکین بارهای مختلف نسبت به مقاومت سفرها به دست دهد.

۷-۵-۳-۴- ضریب تطابق

یک روش معمول برای تعیین ضریب تطابق بین دو توزیع طول سفر، محاسبه سطح مشترک منحنی‌های بسامد توزیع طول سفرهای آن‌ها است، بدین ترتیب که مجموع سفرهای با مقدار کمتر (از بین دو منحنی مشاهده و برآورد بسامد توزیع طول سفرها) برای یک طول سفر مشخص T بر مجموع سفرهای با مقدار بیشتر (از بین دو منحنی مشاهده و برآورد بسامد توزیع طول سفرها) در همان طول سفر T تقسیم شده و ضریب تطابق با توجه به میزان درصد سطح زیر منحنی مطابق در دو بسامد توزیع طول سفر تعیین می‌شود [۱۰]:

$$Coincidence = Sum\{\min(count_{+T} / count_{+}, count_{-T} / count_{-})\}$$
$$Total = Sum\{\max(count_{+T} / count_{+}, / count_{-T} / count_{-})\} \qquad ۶۹\text{-}۷$$
$$Coincidence\ Ratio = Concidence / total$$

که در آن:

$Count_{+T}$ = مقدار برآورد بسامد توزیع طول سفر در زمان T

$Count_{+}$ = تعداد کل سفرهای تخمینی

$Count_{-T}$ = مقدار مشاهده بسامد توزیع طول سفر در زمان T

$Count_{-}$ = تعداد کل سفرهای مشاهده شده

میزان ضریب تطابق عددی بین [۰،۱] خواهد بود، که مقدار صفر عدم تطابق کامل و مقدار ۱ تطابق کامل دو توزیع را نشان می‌دهد.

[1] Coincidence Ratio

در صورتی‌که در توزیع طول سفرها اختلاف اساسی بین مقادیر مشاهده و برآوردی دیده شود، مشکل را می‌توان در دو چیز جستجو کرد:

- عدم هماهنگی بین مقادیر تولید و جذب (بالانس نشدن صحیح آن‌ها)،
- خیلی زیاد یا خیلی کم بودن مقادیر مقاومت سفر.

تمام موارد کنترلی فوق برای مدل توزیع در سطح منطقه‌ای است. در صورتی‌که میخواهید مدل توزیع مناسب به دست آید، می‌بایست برای دسته کوچک‌تر نواحی نیز کنترل‌های لازم صورت گیرد؛ از این دسته می‌توان به موارد زیر توجه کرد:

- محاسبه درصد سفرهای درون ناحیه‌ای برای گروه کالاهای مختلف؛ این درصدها را می‌توان برای دسته‌های مشخصی از نواحی یا بر اساس مساحت نواحی (مثلاً بین ۱ تا ۲ کیلومتر مربع، بین ۲ تا ۳ کیلومتر مربع و ...) محاسبه کرد.
- مقایسه تعداد سفرهای انجام شده بین محدوده‌های[1] مختلف شهری؛ ممکن است توزیع سفرها و بارها در مناطق مختلف درست انجام شده باشد (و طول سفرها نیز به درستی محاسبه شده باشد) لیکن تطابق درستی در پراکنش سفرها در مبدأ و مقصدهای موجود در منطقه صورت نگرفته باشد، که در این صورت شمارش سفرهای توزیع شده در محدوده‌های مختلف در منطقه مورد نظر کارساز خواهد بود.
- طول سفرها در دسته‌های مختلف بار با ارزش مختلف کالاهای متفاوت و یا هزینه‌های مختلف حمل نیز یک عامل کنترل کننده دیگر به حساب می‌آید.

۷-۵-۳-۵- نکات مهم در مدل‌سازی توزیع سفر

در این بخش، مواردی که در مراحل مختلف توزیع سفرها اهمیت داشته و در این مطالعات در نظر گرفته خواهند شد، بر اساس راهنمای NCHRP365 [۱۱] برشمرده می‌شوند.

برای ساخت مدل تولید، ابتدا باید ماتریس‌های مبدا- مقصد مشاهده شده را به بردارهای تولید و جذب تبدیل کرد. به این ترتیب یک بردار تولید سفر و یک بردار جذب سفر حاصل می‌شود که هر درایه آن، متناظر با یک ناحیه ترافیکی است.

برای اینکه اطلاعات تولید و جذب و نتایج مرحله توزیع سفر قابل تخصیص بر شبکه باشد، می‌بایست این اطلاعات مجدداً به شکل ماتریس OD درآیند.

عوامل اساسی در توزیع سفر، طول سفر و جهت سفرها (اطراف شهر به CBD یا CBD به اطراف شهر) است که باید در ارزیابی و پرداخت مدل‌ها مدنظر قرار گیرند.

در صورت به کار بردن مدل جاذبه، مدل‌ها برای هر گروه کالا و کل روز ساخته می‌شود و مقادیر ساعتی برای اوقات مختلف در روز بر اساس جدول ضرایب کالا- ساعت یا مدل زمان روز به دست می‌آید.

۱- در مطالعات اخیر، استفاده از تابع گاما برای محاسبه ضرایب مقاومت بین نواحی توصیه شده است:

[1] Districts

$$F_{ij} = \alpha \times t_{ij}^{b} \times e^{c.tij} \qquad ۷۰-۷$$

که در آن c, b, a ضرایب پرداخت هستند؛ b, c در اغلب موارد منفی می‌شوند. ضریب a را ضریب شکل می‌خوانند که می‌تواند بدون تغییر توزیع سفر مقادیر مختلفی به خود بگیرد.

۲- از جمله پارامترهایی که در مقاومت سفر بین نواحی دیده می‌شود عبارتند از: زمان سفر، فاصله و عوارض در مسیرهای بین نواحی.

۳- در بسیاری از مطالعات، از زمان سفر آزاد برای محاسبه مقاومت سفر بین نواحی استفاده شده، در صورتی‌که در مطالعات اخیر استفاده از سرعت در حالت تراکم شبکه و به کارگیری کوتاه‌ترین مسیرها از این طریق، رو به ازدیاد است.

۴- ماتریس زمان سفر در بسیاری از نرم‌افزارها برای سفرهای بین ناحیه‌ای[1] قابل محاسبه است. این نرم‌افزارها زمان سفر درون[2] ناحیه‌ای را محاسبه نمی‌کنند. از طرفی کار مدل توزیع تنها پخش بار بین نواحی نیست بلکه حجم بارهای مانده در یک ناحیه را نیز به دست می‌دهد، بنابراین محاسبه زمان سفرهای درون‌ناحیه‌ای اهمیت می‌یابد.

۵- برای تشکیل ماتریس زمان سفر بین نواحی می‌بایست زمان پایانی[3] را به زمان به دست آمده از شبکه اضافه کرد. زمان پایانی عموماً تابعی از جمعیت، چگالی شاغلین ناحیه یا محدودهٔ ترافیکی است.

۶- در صورتی‌که در آمارگیری مبدا- مقصد خانوار بتوان نمودار فراوانی طول سفرها را ترسیم کرد، می‌توان ضرایب و توابع مقاومت سفر را با آن پرداخت کرد، در غیر این صورت باید از مدل‌های موجود و تخمین سرعت در نواحی و معابر مختلف استفاده شود.

۷- توابع مقاومت سفر به طور مستقیم بر طول سفرها تاثیر دارند و بنابراین هر چه محاسبهٔ این توابع بهتر صورت گیرد، میانگین طول سفرها صحیح‌تر برآورد خواهد شد. یک نکته مهم در اینجا، شیب تابع مقاومت سفر است. که هر چه کاهش آن نسبت به طول سفرها سریع‌تر باشد میانگین طول سفرها کوتاه‌تر می‌شود.

۸- در صورتی‌که قرار باشد یک ناحیه (Area) به نواحی ریزتر تبدیل شده و توزیع سفرها در نواحی ریزتر بررسی شود می‌توان مطابق مراحل ذیل عمل کرد:

الف: محاسبهٔ میزان تولید و جذب سفر برای نواحی جدید با استفاده از اطلاعات اقتصادی- اجتماعی مربوط به هر زیرناحیه.

ب: محاسبهٔ سهم (درصد) تولید و جذب هر زیرناحیه از کل ناحیه محاط به آن.

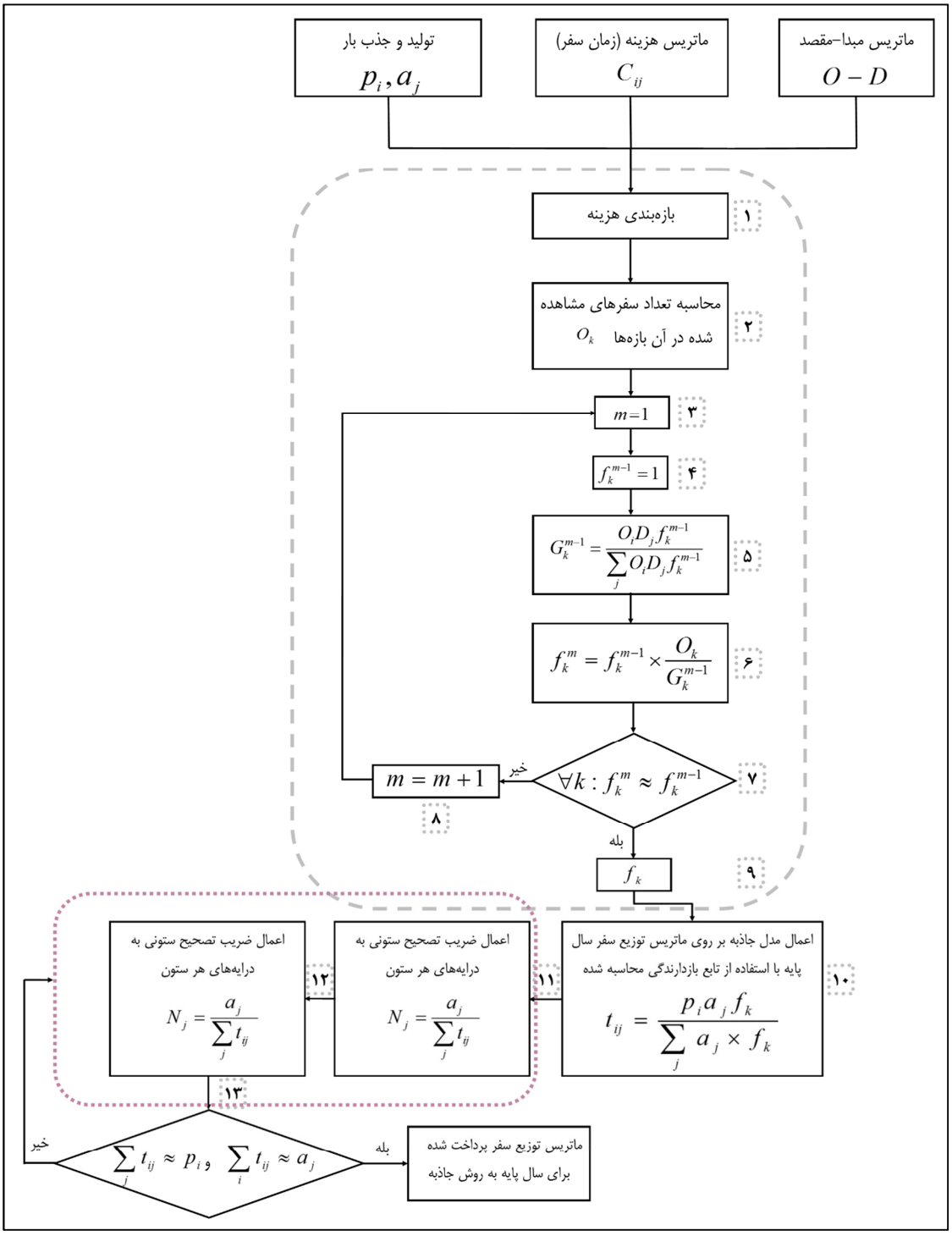
[1] Inter - Zonal
[2] Intra - Zonal
[3] Terminal Time

ج: محاسبهٔ درصد تبادل سفر بین زیرناحیه‌های جدید از حاصل ضرب درصد تولید هر زیر ناحیه مربوط به ناحیه مولد سفر در درصد جذب زیرناحیه‌های مربوط به ناحیه جاذب سفر.

د: محاسبهٔ میزان تبادل سفر بین زیرناحیه‌های جدید از حاصل ضرب تعداد سفر تبادل شده در ناحیه مولد و جاذب اصلی در درصد به دست آمده از مرحلهٔ (ج) برای تبادل سفرهای زیرنواحی جدید.

از آنجا که شبکه حمل‌ونقل کلانشهر قم دارای ۲۰۵ ناحیه ترافیکی است، توزیع سفر دستی برای این شهر امکان‌پذیر نیست و این مدل حتما باید داخل نرم‌افزار کلان‌نگر ساخته و پرداخته شود.

فلوچارت ساخت مدل توزیع سفر به روش جاذبه به شرح شکل ۷-۲۸ است.



شکل ۷-۲۸ فلوچارت ساخت و پرداخت مدل جاذبه

۷-۵-۴- نتایج ساخت و پرداخت مدل جاذبه برای هفت گروه بار در شهر قم

مطابق آنچه در بخش‌های قبل در مورد ساخت مدل‌های توزیع و پرداخت آن‌ها گفته شد، گام‌های زیر برای فرآیند ایجاد مدل مناسب توزیع توصیه می‌شود. لازم به ذکر است که در هر گام رعایت نکات توضیح داده شده در بندهای قبل مد نظر

خواهد بود. نکته دیگر آنکه در برآورد ضرایب مدل بر اساس توانایی نرم افزار PTV-VISUM، از روش دوقیدی استفاده خواهد شد، اما در اجرای مدل برای سال‌های افق، به دلیل دقت کمتر مدل‌های جذب سفر، از روش تک قیدی برای برآورد توزیع سفرها استفاده می‌شود.

گام ۱- تعیین گروه‌های بار مناسب و همخوان با گروه‌های بار تعیین شده برای مدل توزیع سفر؛ این مدل‌ها شامل همان گروه‌های بار مورد استفاده در ساخت مدل‌های تولید/جذب سفر هستند.

گام ۲- محاسبهٔ پارامترهای تابع مقاومت سفر F_{ij} که برای آن در مرحلهٔ اول از تابع گاما (آ) و در صورتی که جواب مناسبی به دست نیاید، از تابع نمایی (ب) استفاده خواهد شد:

$$F_{ij} = \alpha \times t_{ij}^{b} \times e^{c.t_{ij}} \qquad (آ)$$

$$F_{ij} = \alpha \times e^{c.t_{ij}} \qquad (ب)$$

که در آن:

a , b, c = ضرایب پرداخت مدل،

t_{ij} = مقاومت سفر بین i , j (برحسب زمان یا مسافت).

در این تابع، زمان‌های بین ناحیه‌ای عبارتند از جمع زمان سفر بین مراکز نواحی با زمان سفر پایانی (CBD و غیر CBD) و زمان سفر درون ناحیه‌ای.

زمان سفر پایانی در محدوده مرکزی شهر (شامل نواحی ترافیکی ۱ تا ۲۰) معادل ۲ دقیقه و برای سایر نواحی ۱ دقیقه تعیین می‌شود. بنابراین، سفری که یک طرف آن در مرکز شهر و یک طرف غیر مرکز شهر باشد، ۳ دقیقه زمان پایانی و سفری که دو طرف آن در مرکز شهر باشد، ۴ دقیقه زمان پایانی و سفری که دو طرف آن بیرون مرکز شهر باشد، ۲ دقیقه زمان پایانی خواهد داشت.

زمان سفر درون ناحیه‌ای از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود[۱۱]:

$$t_{ii} = 0.5 \times 60 \times \sqrt{Area_i}/Speed_i$$

که در آن:

$Area_i$= مساحت ناحیه i، km^2

$Speed_i$= سرعت درون ناحیه i (۱۰ kph برای CBD و ۲۰ kph برای خارج CBD)

t_{ii}= زمان سفر درون ناحیه‌ای بر حسب دقیقه

گام ۳- توزیع سفرها با استفاده از مدل جاذبه با رابطه زیر:

$$T_{ij} = P_i \left[\frac{A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{k \in \{Zones\}} A_k F_{ik} K_{ij}} \right]$$

گام ٤- استفاده از روش فرنس برای بالانس ماتریس در ابعاد تولید و جذب سفر. البته برای پرداخت مدل جاذبه در این مطالعات، از نرم‌افزار PTV-VISUM استفاده شده است.

گام ۵- کنترل موارد زیر برای ارزیابی صحت نتایج به دست آمده:

الف: میانگین طول سفرها برای هر هدف

ب: مقایسه‌ی فراوانی طول سفرها از مشاهده و برآورد.

گام ٦ – اگر موارد کنترل شده در گام ۵ همگی قابل قبول باشند مدل مورد نظر حاصل آمده است وگرنه به گام ۲ رفته و تابع مقاومت، بهبود یا تغییر داده می‌شود.

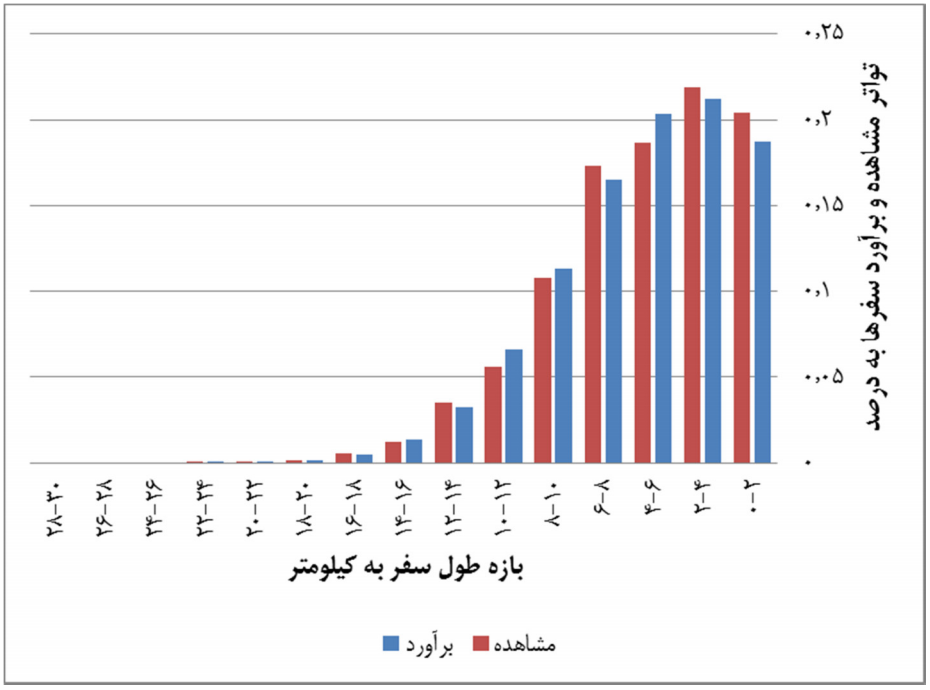
در جدول ۷-۳۱ نتایج مدل توزیع سفرها برای هفت گروه باری ارائه شده است.

جدول ۷-۳۱- ضرایب نهایی، نوع تابع و نوع ماتریس مقاومت سفر انتخاب شده برای توزیع سفرها با مدل جاذبه به تفکیک گروه باری

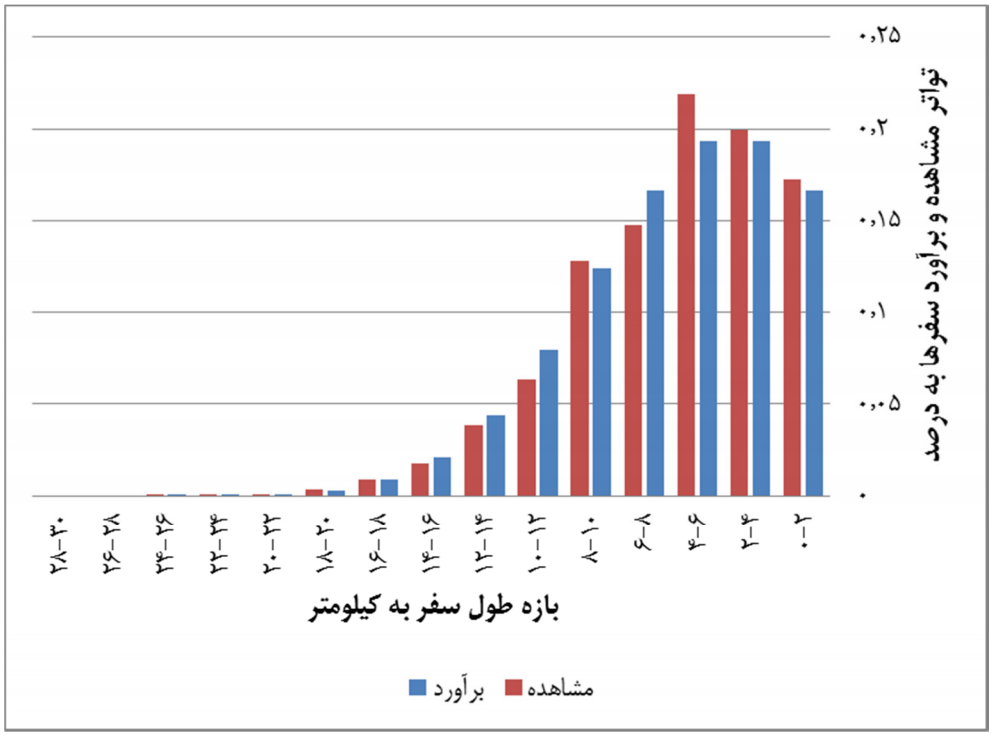
ردیف	گروه‌های عمده باری	ماتریس مقاومت سفر	نوع تابع	ضرایب تابع مقاومت		
				a	b	c
۱	گروه یک	مسافت در شبکه	نمایی	۰.۲۲۰۳	۰.۰۰	−۰.۱۷۱۴
۲	گروه دو	مسافت در شبکه	نمایی	۰.۳۳۱۵	۰.۰۰	−۰.۲۱۱۵
۳	گروه سه	مسافت در شبکه	نمایی	۰.۱۹۸۹	۰.۰۰	−۰.۱۱۰۲
۴	گروه چهار	مسافت در شبکه	نمایی	۰.۳۴۴۹	۰.۰۰	−۰.۱۳۱۳
۵	گروه پنج	مسافت در شبکه	نمایی	۰.۲۱۷۲	۰.۰۰	−۰.۱۸۰۷
۶	گروه شش	مسافت در شبکه	نمایی	۰.۱۲۰۹	۰.۰۰	−۰.۱۶۱۸
۷	گروه هفت	مسافت در شبکه	نمایی	۰.۱۵۱۴	۰.۰۰	−۰.۰۹۱۵

t_{ij} = ماتریس مقاومت سفر بین مبدا i و مقصد j؛ x,b,a ضرایب پرداخت مدل $F_{ij} = \alpha \times e^{c.t_{ij}}$

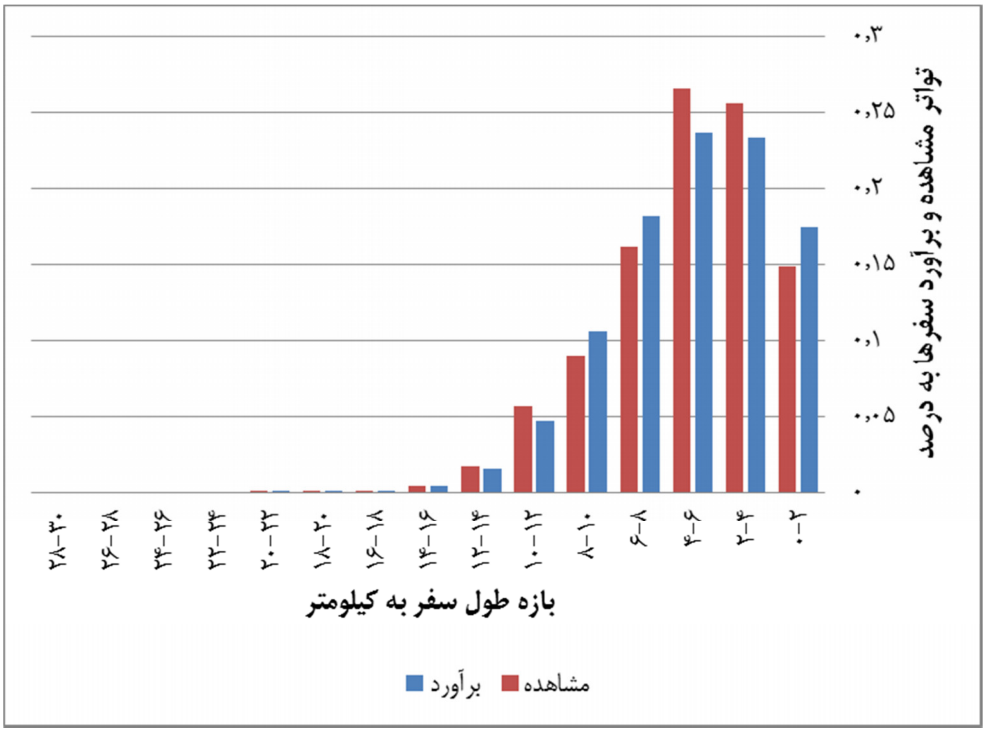
به منظور اعتبار سنجی مدل‌های ساخته شده، نمودار مشاهده در برابر برآورد طول سفرها برای هفت گروه عمده باری در شکل ۷-۲۹ تا شکل ۷-۳۵ ترسیم شده است. مطابق این نمودارها، دقت تخمین مدل‌های توزیع بسیار خوب بوده است.



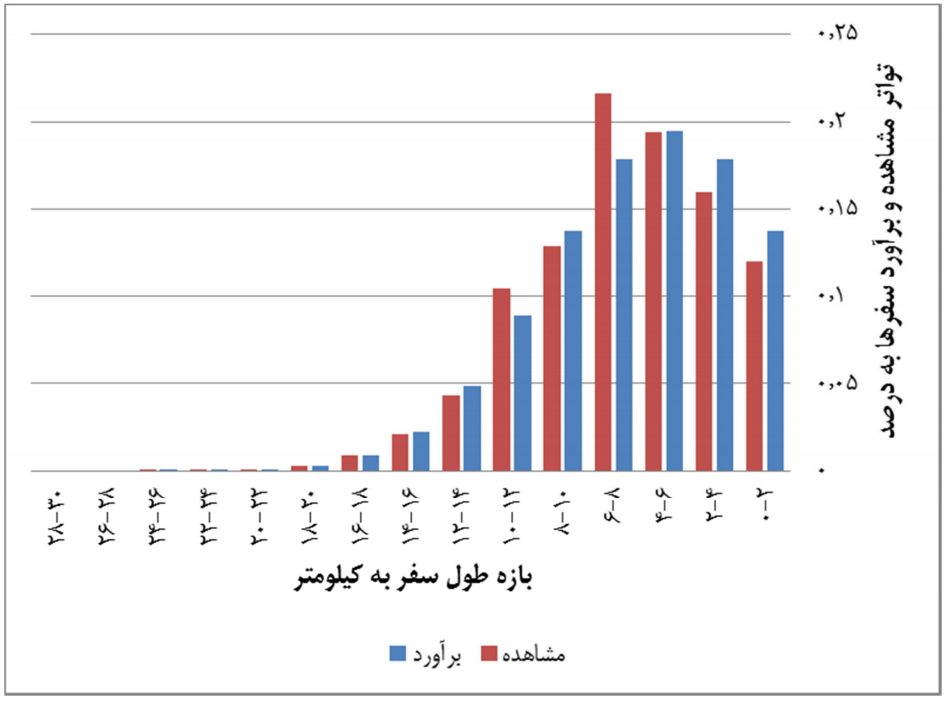
شکل ۷-۲۹- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره یک (میوه و تره‌بار)



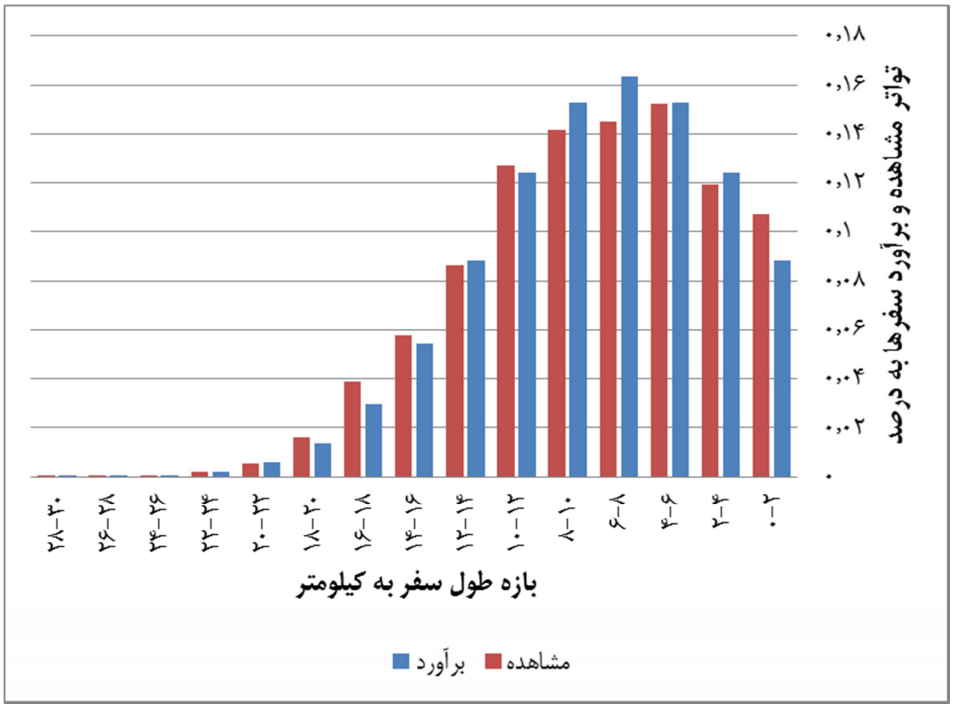
شکل ۷-۳۰- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره دو (مواد غذایی فاسد شدنی)



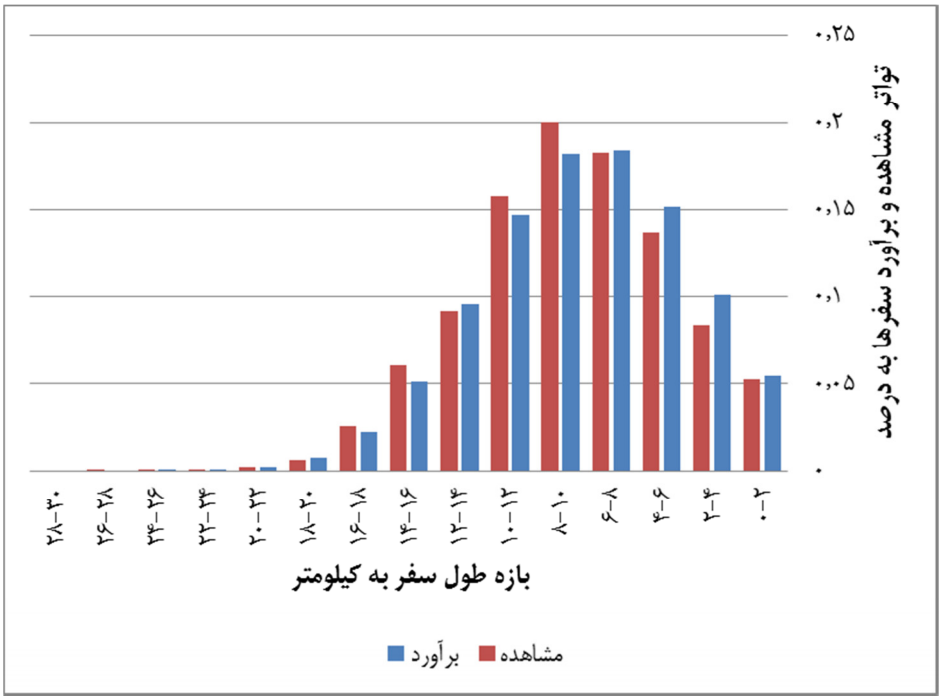
شکل ۷-۳۱- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره سه (سایر انواع مواد غذایی)



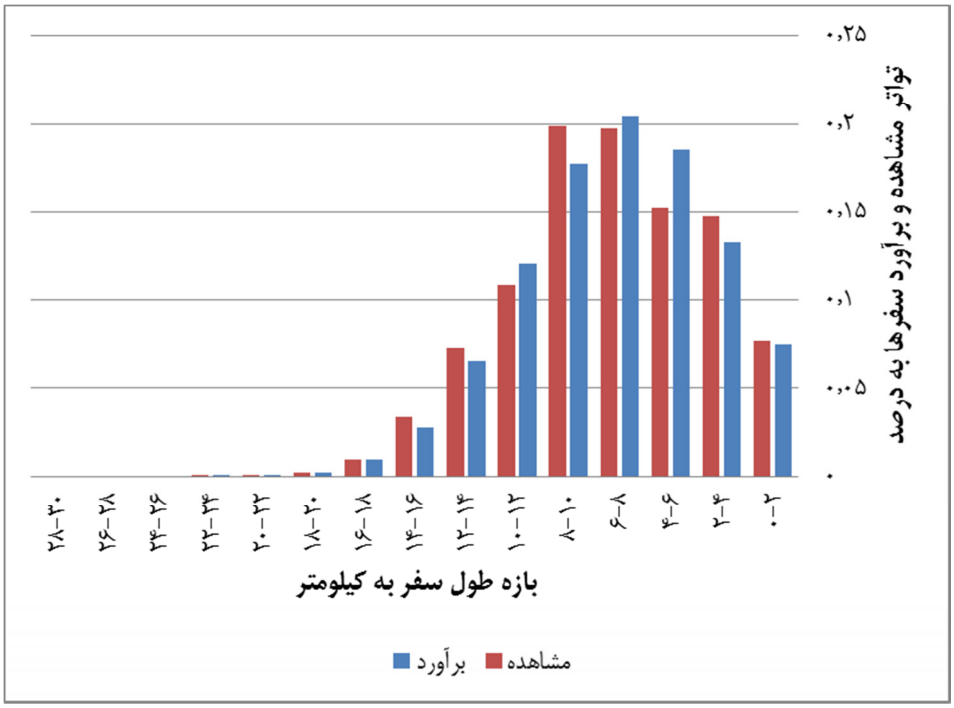
شکل ۷-۳۲- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره چهار (کلیه انواع لوازم و مبلمان خانگی و اداری)



شکل ۷-۳۳- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره پنج (کلیه محصولات و مواد خام صنعتی)



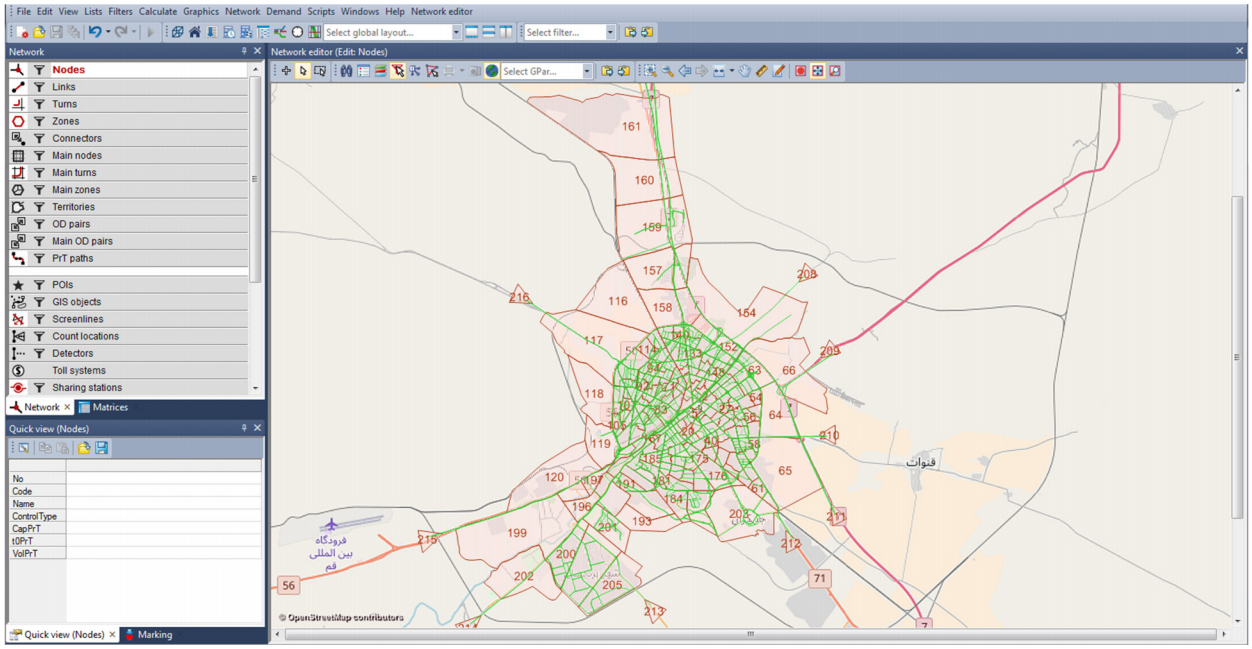
شکل ۷-۳٤- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره شش (مصالح ساختمانی و نخاله‌های ساختمانی)



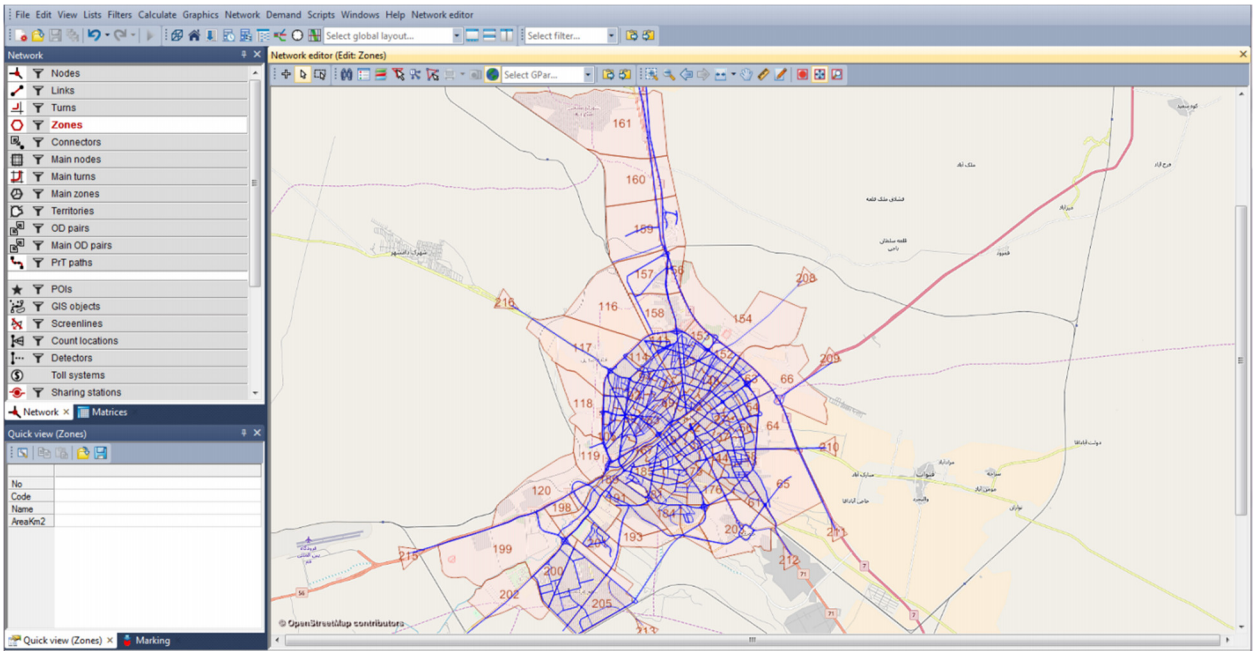
شکل ۷-۳۵- اعتبار سنجی مدل توزیع سفر برای گروه عمده باری شماره هفت (سایر انواع کالا)

۷-٦- ساخت مدل شبکه حمل‌ونقل بار در افق‌های مطالعه

برای دو افق سال پایه و افق نهایی طرح تفصیلی مطابق اطلاعات دریافتی از کارفرمای محترم، مدل شبکه حمل‌ونقل کلان-شهر قم در محیط نرم افزار PTV-VISUM ساخته شده است. پیش از پرداختن به نتایج تخصیص در شبکه، لازم است این نکته بیان شود که ماتریس مبدا–مقصد مسافری و توابع حجم–تاخیر به کار برده شده از مطالعات طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر قم اخذ شده است که بیش از ۱۰ سال پیش و در دو فاز ابتدا توسط ممتحن و سپس توسط مهندسین مشاور گذرراه انجام شده است. بدیهی است در این مطالعات مدل‌ها و فرآیندهای آن مطالعه به‌روز رسانی نشده و تمامی مراحل تخصیص بر اساس مدل‌های طرح جامع حمل‌ونقل مسافری اجرا شده است. این دو مدل در لوح فشرده‌ای که همراه با گزارش ارسال شده با پسوند *.ver قرار داده شده است. نمونه‌ای از تصویر شبکه در نرم‌افزار کلان‌نگر برای سال پایه و سال افق نهایی به ترتیب در شکل ۷-۳۶ و شکل شکل ۷-۳۷ نمایش داده شده است.

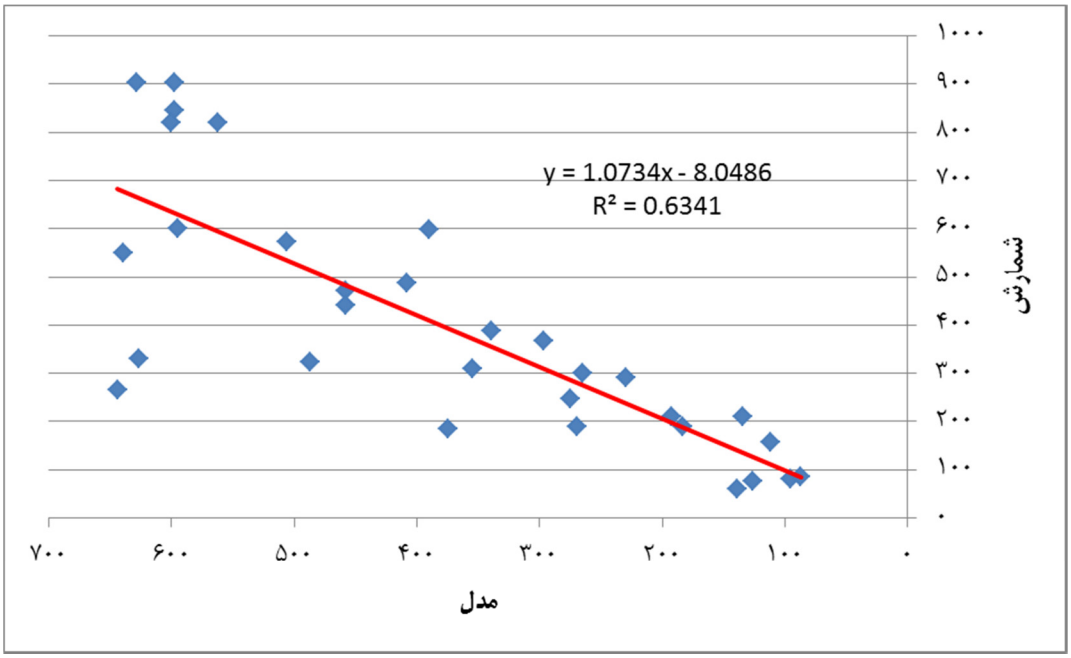


شکل ۷-۳٦ تصویر شبکه شهر قم در سال پایه در نرم‌افزار کلان‌نگر

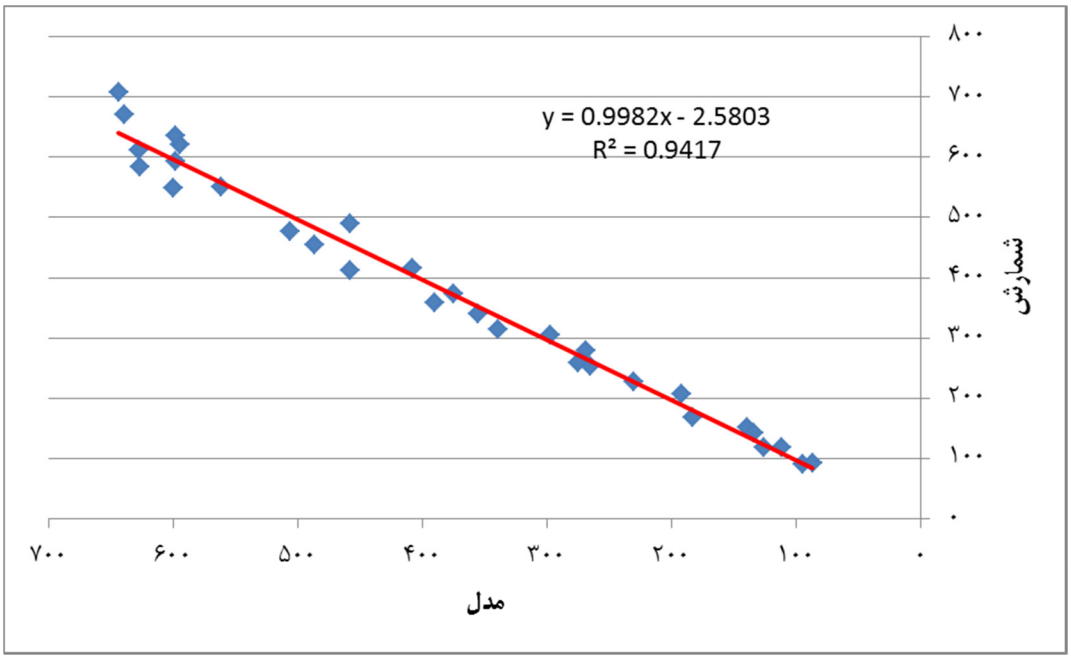


شکل ۷-۳۷ تصویر شبکه شهر قم در سال افق نهایی در نرم‌افزار کلان‌نگر

در این مطالعات تخصیص وسایل نقلیه باری به صورت چند مدی انجام شده است. نتایج تخصیص مطابق شرح خدمات در فصل هشتم به تفصیل ارائه شده است. با توجه به عدم ورود وسایل نقلیه باری سنگین به داخل شهر کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل تخصیص فقط برای شمارش وانت‌بارها و کامیونت انجام شده و نتایج بر اساس مجموع وانت‌بار و کامیونت مشاهده شده قبل و بعد از کالیبراسیون تخصیص ارائه شده است. فرایند کالیبراسیون تخصیص به کمک ابزار TFlowFuzzy در نرم‌افزار PTV-VISUM انجام شده است. در شکل ۷-۳۸ مجموع وسایل نقلیه باری شمارش شده در ایستگاه‌های خط برش و مرز محدوده مرکزی قبل از فرایند کالیبراسیون در مشاهده و شبیه سازی مقایسه شده است. مشاهده می‌شود خط برازش داده شده دارای مقدار R^2 برابر ۰.۶۳ است که مقدار مطلوبی نیست. پس از تدقیق شبیه سازی به کمک کالیراسیون TFlowFuzzy نمودار شکل ۷-۳۹ به دست آمده است. مطابق این شکل مقدار R^2 برابر ۰.۹۴ است، که مقدار قابل قبولی محسوب می‌شود. در نهایت نتایج تخصیص ترافیک همزمان مسافری و باری در سال پایه مطالعات (۱۳۹۵) پس از تصحیح به روش TFlowFuzzy در ..... ارائه شده است. نتایج تخصیص در فصل هشتم مطالعات مورد بررسی و تحلیل قرار خواهد گرفت.



شکل ۷-۳۸ مقایسه شمارش حجم در ایستگاه‌های شمارش با نتایج تخصیص خودروهای باری در اوج صبح پیش از اعمال کالیبراسیون TFlowFuzzy



شکل ۷-۳۹ مقایسه شمارش حجم در ایستگاه‌های شمارش با نتایج تخصیص خودروهای باری در اوج صبح پس از اعمال کالیبراسیون TFlowFuzzy

شکل ۷-٤۰- نتایج تخصیص همزمان مسافری و باری در سال پایه ۱۳۹۵

۷-۷- بسط مدل مکان‌یابی برای مراکز اصلی حمل و توزیع بار به تفکیک گروه کالاهای عمده (حداکثر دو گروه کالا)

۷-۷-۱- مقدمه

مکان‌یابی تسهیلات به معنی یافتن مکان مناسب برای مراکز جدید و یا فعلی، با درنظر گرفتن محدودیت‌ها و مراکز موجود است، به طوری که طرح در بهترین‌ترین حالت ممکن (به این معنی که اهداف خاص در نظر گرفته شده مانند کاهش هزینه حمل‌ونقل، کاهش هزینه توزیع کالا، ارائه خدمات عادلانه به مشتریان، در دست گرفتن بازار و غیره به وقوع بپیوندد.) به بهره-برداری برسد.

اساس تحلیل مکان‌یابی را معمولاً به آلفرد وبر[1] نسبت می‌دهند. زیرا مساله مکان‌یابی اولین بار (به‌طور رسمی) توسط وی در سال ۱۹۰۹ مطرح شد. وی مساله‌ای را مورد توجه قرار داد که در آن مکان‌یابی یک انبار، با هدف کمینه‌کردن مجموع مسافت طی شده بین انبار و گروهی از مشتریان مطرح بود. بعدها ایزوداپان[2]، عامل نیروی کار (منابع انسانی) را نیز وارد مسائل تحلیل مکان‌یابی کرد. تحلیل وی به این صورت است که: «مکان می‌تواند از نقطه کمینه هزینه‌های حمل‌ونقل به نقطه‌ای که برای نیروی کار مطلوب‌تر است، تغییر کند، این تغییر مکان در صورتی اتفاق می‌افتد که صرفه‌جویی در هزینه نیروی کار در این مکان جدید، بزرگتر از هزینه‌های اضافی حمل‌ونقل باشد». آندریاس پردول[3](۱۹۲۸) فردی بود که اولین روش کاربردی برای ترکیب نظریه مکان‌یابی و سایر شاخه‌های اقتصاد را ارائه داد. پردول می‌خواست تحقیق کند که مساله قیمت چقدر در مکان‌یابی اهمیت دارد. ایزارد[4] (۱۹۵۱) تلاش کرد که روش هندسی وبر را با اصل پردول ترکیب کند به طوری که با جایگزینی منابع مختلف تهیه مواد، هزینه‌های حمل‌ونقل کمینه شود. همچنین در دهه ۱۹۶۰ برای نخستین بار مدل‌های مکان‌یابی یک یا چند وسیله روی شبکه توسط حکیمی[5] معرفی شد و پس از آن مطالعات مکان‌یابی، انسجام و ساختار قوی‌تری پیدا کرد؛ به طوری که افراد زیادی در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ در خصوص ابداع مدل‌های مکان‌یابی و طبقه‌بندی کردن و نظام‌مند کردن مدل‌های مکان‌یابی، تحقیقات گسترده‌ای را انجام داده‌اند.

۷-۷-۱-۱- کاربردهای مکان‌یابی

کاربرد مکان‌یابی گستره وسیعی را در بر می‌گیرد، اما به طور کلی مکان‌یابی در دو حالت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- تاسیس مراکز جدید
- تغییر مکان مراکز فعلی

فهرست زیر برخی از کاربردهای تحلیل مکان‌یابی برای مراکز جدید را بیان می‌کند.

---

[1] *Weber*
[2] *Isodapane*
[3] *Andreas Predohl*
[4] *Isard*
[5] *Hakimi*

- انتخاب مکان برای انبارها و مراکز توزیع
- انتخاب مکان برای مراکز خدمات اضطراری مانند بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و غیره
- انتخاب مکان برای مراکز نامطلوب
- جانمایی یک کارگاه
- جانمایی بخش‌های مختلف در یک کارخانه

معمولاً هنگامی که از تعیین محل یک کارخانه یا تسهیلات خاص صحبت می‌شود فوراً مساله تعیین محل جدید به ذهن می‌آید. در صورتیکه بعضی مواقع مساله تغییر محل یک تسهیلات مطرح است نه تاسیس آن و عموماً یکی از موارد زیر منجر به تعیین محل جدید برای آن می‌شود.

- تغییر تکنولوژی
- توسعه طرح
- ایجاد شعب مختلف
- تغییر بازار فروش
- اتمام یا کاهش منابع مواد اولیه
- تحول نیروی انسانی
- افزودن یک بخش جدید

۷-۷-۱-۲- اهمیت مطالعات مکان‌یابی

تقریباً تمام مراکز خصوصی یا دولتی با مکان‌یابی مراکز مواجه شده‌اند. این مساله اهمیت بسیار زیادی دارد زیرا انتخاب مکان برای هر بخش مستقیماً با سیستم‌های انبار،کنترل موجودی، بازرسی مشتریان و تامین‌کنندگان مرتبط است. مکان‌یابی خوب یک مزیت استراتژیک را نسبت به رقبا ایجاد می‌کند. به عنوان مثال شرکت‌ها جهت خدمت بهتر و سریعتر به مشتریان باید محل‌های فروش خود را در مکان مناسب قرار دهند تا دسترسی آسان‌تری را برای مشتریان فراهم سازند و در صورت لزوم نیز بر تعداد آن‌ها بیفزایند.

مکان‌یابی و تخصیص مراکز همچنین موضوع مهمی در مدیریت لجستیک نیز می‌باشد. مدیریت لجستیک، قسمتی از فرآیند زنجیره تامین است که اجرا و کنترل کارآمد جریان گردش و ذخیره‌سازی کالاها، خدمات و اطلاعات مرتبط با آنان را از نقطه شروع تا نقطه مقصد، طرح‌ریزی می‌کند تا نیازمندی‌های مشتریان را به نحو مطلوبی برآورده سازد.

برای شرکت‌های خدماتی ارائه خدمات مناسب، کیفیت بالای خدمات، سرعت عمل و قیمت‌های رقابتی و پایین مهم هستند ولی همه تحت تاثیر عامل مکان قرار می‌گیرند. اگر انتخاب مکان واحد تجاری نادرست باشد، تمام عوامل بالا را تحت شعاع قرار داده و اثر مثبت آن‌ها کمرنگ می‌شود. مطالعات مکان‌یابی قبل از راه‌اندازی واحد تولیدی/خدماتی، ضمن بررسی کارآمدی و بازدهی تجارت مورد نظر، از هدررفتن سرمایه جلوگیری می‌نماید. با توجه به محدودیت همیشگی در سرمایه و زمان، اهمیت مطالعات مکان‌یابی بیشتر مشخص می‌شود.

همچنین تصمیم‌گیری در تعیین محل مراکز بزرگ فرآیندی پیچیده است و پیچیدگی آن از این جهت است که این فرآیند به عوامل قابل توجهی مانند زیر بستگی دارد.

- دسترسی به کارگر ماهر و نیروی متخصص
- دسترسی به سرویس‌های موردنیاز مرکز مانند آب، برق، گاز، سوخت و غیره
- دسترسی به وسایل نقلیه
- دسترسی به بازارهای فروش
- رفاه بیشتر کارکنان

اما معیارهایی چون محیطزیست برای مراکز آلوده‌کننده (مانند کارخانه تولید آلومینیوم) به شدت در تقابل با عامل نزدیکی مرکز به شهرهای بزرگ است.

در مجموع بهترین محل برای یک مرکز، محلی است که بتواند تاحدودی نیازهای مرکز و شرایط محیطی را برطرف نموده و مجموع هزینه‌های تولید و توزیع را حداقل نماید. همچنین با سیاست‌های خاص کارفرما و دولت نیز منطبق بوده و هماهنگی لازم را با آن‌ها داشته باشد.

۷-۷-۱-۳- انواع مسائل مکان‌یابی

مسائل تحلیل مکان به طور کلی در یکی از دسته‌های زیر قرار می‌گیرند.

- مساله P -میانه[۱] (مساله وبر)
- مساله P -مرکز[۲]
- مساله مکان‌یابی مراکز با ظرفیت نامحدود[۳]
- مساله مکان‌یابی مراکز با ظرفیت محدود[۴]
- مساله تخصیص نمایی[۵]

۷-۷-۱-۳-۱- مساله P -میانه ($MiniSum$)

این قبیل مسائل برای مکان‌یابی P مرکز، در P مکان انجام می‌شود و یک معیار هزینه‌ای را کمینه می‌کند. اگر $P=1$ باشد، مساله $1-MP$ خواهد بود. هزینه ممکن است برحسب زمان، پول، تعداد سفر، مسافت کل یا هر مقیاس دیگری بیان شود. به علت اینکه در این‌گونه مسائل، هدف حداقل کردن هزینه کل است، با نام مسائل حداقل مجموع[۶] یا مساله وبر نیز مطرح می‌شوند.

---

[1] *P-Median*
[2] *P-Center*
[3] *Uncapacitated facility location problem (UFLP)*
[4] *Capacitated facility location problem (CFLP)*
[5] *Quadratic Assignment Problem*
[6] *MiniSum*

۷-۷-۳-۱-۲- مساله P-مرکز ($MiniMax$)

این مسائل جهت تعیین مکان P مرکز به منظور حداقل کردن حداکثر فاصله هر مرکز تا نقطه تقاضایی که برای خدمت-دادن به آن نقطه تعیین شده است، استفاده می‌شوند. در واقع این‌گونه مسائل جهت استقرار خدمات اورژانس مانند آتش‌نشانی، خدمات آمبولانس و مراکز پلیس در جامعه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۷-۷-۳-۱-۳- مساله مکان‌یابی مراکز با ظرفیت نامحدود ($UFLP$)

در این‌گونه مسائل، ظرفیت هر مرکز نامحدود در نظر گرفته می‌شود، در نتیجه تخصیص یک تقاضا به بیش از یک نقطه تامین هرگز سودبخش نخواهد بود. این مسائل در دسته مسائل حداقل مجموع قرار می‌گیرند. شایان ذکر است که در این مسائل، هزینه ثابت (هزینه‌ای که به مکان ساخت مرکز بستگی دارد) نیز در نظر گرفته می‌شود. تعداد مراکزی که باید استقرار یابند از قبل مشخص نیست اما طوری معین می‌شوند که هزینه را کمینه کنند.

۷-۷-۳-۱-۴- مساله مکان‌یابی مراکز با ظرفیت محدود ($CFLP$)

این مسائل شبیه به مسائل $UFLP$ هستند فقط در این مسائل ظرفیت هر کدام از مراکز محدود فرض می‌شوند. ممکن است در این مورد جواب بهینه به گونه‌ای باشد که یک مشتری به بیش از یک منبع تامین، اختصاص داده شود.

۷-۷-۳-۱-۵- مساله تخصیص نمایی (QAP)

مساله‌ای را بیان می‌کند که n مرکز، مانند n ماشین که بین آن‌ها جریان برقرار است، طوری در n مکان قرار داده شوند تا هزینه کل کمینه شود. به عنوان مثال اگر ۲۰ماشین در دسترس باشد، !۲۰ ترکیب ممکن وجود خواهد داشت. ارزیابی این کار حتی برای کامپیوترهای پرسرعت نیز دشوار است.

۷-۷-۲- تعیین اهداف و شاخص‌ها در مکان‌یابی پایانه‌ها

با توجه به اهمیت معیارهای مکان‌یابی و نقشی که در اولویت‌بندی مناطق کاندیدا و انتخاب مکان مناسب اجرای طرح و موفقیت یک مرکز دارند، لازم است معیارهای مرتبط با آن بررسی شود. یکی از مراحل کلیدی در تصمیم‌گیری، تحلیل معیارهایی است که در تصمیم‌گیری تاثیرگذار هستند. در انتخاب هر مکان معیارهای متعددی موثرند. برای مثال کارخانه‌ای که هزینه زیادی را در زمینه نیروی انسانی صرف می‌کند، باید در مکانی قرار گیرد که نیروی انسانی ارزان وجود دارد و کارخانه‌ای که به انرژی زیادی نیاز دارد باید نزدیک به مکان‌هایی که به منابع انرژی نزدیک هستند، واقع شود. معیارهای مکان‌یابی با توجه به نیازمندی‌های خاص آن طرح و با توجه به اهداف و سیاست‌هایی که سرمایه‌گذاران و کارفرمایان دارند، ممکن است عوامل دیگری نیز در انتخاب محل دخیل شوند و به عنوان شاخص در مکان‌یابی آن طرح مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه با

توجه به هدف اصلی این بخش از مطالعه حاضر، پایانه بار درون‌شهری تعریف شده و شاخص‌های کلی مکان‌یابی و همچنین شاخص‌های مرتبط با مکان‌یابی پایانه بار ذکر شده است.

پایانه بار درون‌شهری و حومه: مکانی به منظور ساماندهی امور حمل‌ونقل بار و کالا و ارائه خدمات و دفاتر و انبارهای مورد نیاز موسسات و شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات بار و کالای درون‌شهری و دارای کلیه تاسیسات و امکانات برای ارائه خدمات وابسته به حمل‌ونقل بار و کالا از قبیل دفاتر ویژه شرکت‌های مختلف حمل‌ونقل بار، انبار، توقفگاه، بارانداز مسقف و روباز و تجهیزات ایمنی حمل‌ونقل بار و تجهیزات بسته‌بندی و توقفگاه خدمات عمومی مرتبط با وسایل نقلیه و رانندگان و محل تبادل بار درون‌شهری و برون‌شهری است.

۷-۷-۲-۱- انواع اهداف در مسائل مکان‌یابی

به طور کلی انواع مسائل مکان‌یابی، اهداف خاصی دارند و بعضی از عوامل در مسائل خاص از اهمیت بیشتری برخوردار هستند؛ لذا می‌توان گفت اهداف در شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای تصمیم‌گیری در یک مساله مکان‌یابی و زیرمعیارهای آن‌ها، اهمیت و نقش مهمی دارند. اهداف مسائل مکان‌یابی با رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی و برای انواع تابع هدف به سه دسته تقسیم می‌شوند.

- اهداف کششی[1] : این اهداف اشاره به نزدیکی هر چه بیشتر محل استقرار پایانه به مشتریان و حداقل کردن مسافت دارند که جز قدیمی‌ترین مسائل مکان‌یابی می‌شوند.
- اهداف فشاری[2] : این اهداف مسائل مکان‌یابی مراکز نامطلوب را در بر می‌گیرند. هدف در این مسائل حداکثر کردن مسافت است. مدل‌هایی که برای این نوع اهداف ارائه شدند بعدها به مدل‌های مکان‌یابی مضر[3] معروف شدند.
- اهداف متعادل[4] : اهدافی هستند که تلاش در متعادل ساختن مسافت بین تسهیلات و مشتریان دارند. این اهداف بیشتر در تصمیم‌گیری‌های عمومی کاربرد دارند، جایی که هدف برقراری عدالت بین افراد است.

همانطور که در ابتدای این بخش ذکر شد، اهداف مسائل مکان‌یابی می‌تواند بر حسب شرایط محیطی، نوع طرح، سیاست سرمایه‌گذاران، کارفرمایان و دولت، متفاوت باشد.

۷-۷-۲-۲- انواع فاصله در حل مسائل مکان‌یابی

در هر مساله مکان‌یابی می‌توان فواصل بین نقاط را با روش‌های مختلفی محاسبه کرد. انتخاب نوع فاصله در یک مساله مکان‌یابی به نوع مساله و محدوده مورد بررسی بستگی دارد. نوع فاصله انتخابی یکی از تصمیم‌های مهم در مسائل مکان‌یابی بخصوص برای مسائل گسسته است. در زیر انواع مختلف این اندازه‌گیری‌ها آمده است.

---

[1] *Pull Objectives*
[2] *Push Objectives*
[3] *Obnoxious or Noxious location model*
[4] *Balancing Objectives*

۷-۷-۲-۲-۱- فاصله پله‌ای[1]

این مقیاس با نام‌های زاویه قائمه یا روش اندازه‌گیری مستطیلی نیز شناخته می‌شود. به دلیل سادگی محاسبات و درک آسان این روش در حل بسیاری از مسائل از آن استفاده می‌شود. در این روش فاصله بین دو نقطه از مجموع فواصل در جهت عمودی و افقی بدست می‌آید (رابطه ۷-۱). این روش در اندازه‌گیری مقدار فاصله در کارخانه‌ها، جایی که حرکت فقط در راهروها انجام می‌شود و فاصله طی شده توسط جرثقیل‌های سقفی به دلیل حرکت بر روی ریل‌ها و نیز محاسبه فواصل شهری در شهرهای منظم کاربرد دارد.

$$d = |x - a_i| + |y - b_i| \qquad ۱-۷$$

در رابطه ۷-۱ (x, y) و (a_i, b_i) مختصات نقاط مربوطه هستند.

۷-۷-۲-۲-۲- فاصله اقلیدسی[2]

این فاصله کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه است. به عبارت دیگر خط مستقیمی که دو نقطه را به هم وصل می‌کند، فاصله اقلیدسی بین آن دو است. در حالی که در بسیاری موارد در نظر گرفتن فاصله به صورت اقلیدسی امکان‌پذیر نیست. این روش کاربرد فراوانی در مسائل مکان‌یابی دارد. به عنوان مثال اگر بخواهیم یک انبار جدید در میان شبکه انبارهای موجود احداث کنیم استفاده از فاصله اقلیدسی مطلوب به نظر می‌رسد. همچنین از این فاصله در بعضی از انواع نقاله‌های خاص، شبکه‌های حمل‌ونقل و توزیع و مسافت‌های زیاد استفاده می‌شود. رابطه ۷-۲ نحوه اندازه‌گیری این نوع فاصله را نشان می‌دهد.

$$d = \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \qquad ۲-۷$$

۷-۷-۲-۲-۳- مجذور فاصله اقلیدسی[3]

فاصله بدست آمده از این روش مجذور فاصله محاسبه شده توسط روش اقلیدسی است. در این روش به تسهیلاتی که از هم دور هستند وزن بیشتری نسبت به تسهیلات نزدیک به هم داده می‌شومد. کاربرد این روش کم است و تنها برای برخی مسائل خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فاصله در اندازه‌گیری فاصله تسهیلات نامطلوب و همچنین مراکز اورژانس و اضطراری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فاصله به صورت رابطه ۷-۳ محاسبه می‌شود.

$$d = \left[(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2\right] \qquad ۳-۷$$

---

[1] *Rectiliear Distance*
[2] *Euclidean Distance*
[3] *Squared Euclidean Distance*

۷-۷-۲-۲-۴- کوتاه‌ترین مسیر

در تعیین فاصله بین دو گره در مسائل مکان‌یابی شبکه از این فاصله استفاده می‌شود. در یک شبکه، گره‌ها و یال-های فراوانی وجود دارد. در مسائل شبکه بر روی هر یال مقادیری نوشته می‌شود که بیانگر زمان، مسافت و یا هزینه حرکت بین دو گره است. چون معمولاً بیش از یک مسیر بین دو گره وجود دراد، کوتاه‌ترین مسیر مورد توجه قرار می‌گیرد.

۷-۷-۲-۳- معیارها و زیرمعیارهای کلیدی در مکان‌یابی

در مطالعات مکان‌یابی، معیارهای متعددی در حل مسائل مکان‌یابی کاربرد دارند. هر کدام از این معیارها خود به زیرمعیارهایی نیز شکسته می‌شود یا از طریق یک مجموعه معیارهای دیگر قابل اندازه‌گیری و بررسی است.در زیر به معرفی تعدادی از معیارها می‌پردازیم.

- حمل‌ونقل
- نیروی کار
- ملاحظات مربوط به زمین
- مشوق‌های مالی
- تامین مواد اولیه
- آب‌و هوا
- زیرساخت‌ها
- نزدیکی به بازار هدف
- هزینه‌های مالیاتی و گمرکی
- قوانین
- نزدیکی محل جدید به دیگر محل‌ها مرتبط (دیگر شعب)
- پذیرش صنایع جدید در منطقه
- توان منطقه در جذب نیروی غیرساکن
- کیفیت و کمیت حضور رقبا
- سیاست‌ها (ترجیحات) خاص سرمایه‌گذاران (یا کارفرمایان)

شاخص‌های ذکر شده در بالا به صورت کلی در مطالعات مکان‌یابی تسهیلات به کار می‌رود؛ اما در مکان‌یابی پایانه‌های بار، مواردی همچون حمل‌ونقل (فاصله بین نقاط تقاضا تا پایانه)، هزینه زیرساخت (هزینه ساخت پایانه موردنظر)، کاربری زمین (یافتن زمین مناسب برای جانمایی پایانه)، فاصله تا کریدورهای ترانزیتی (آزادراه‌ها و بزرگراه‌های کمربندی)، فاصله تا تسهیلات حمل‌ونقل ریلی، فاصله تا مراکز اصلی صنعتی و تولیدی و همچنین میزان تولید و جذب کالا به عنوان شاخص‌های اصلی برای مکان‌یابی پایانه بار در این مطالعه استفاده شده است.

۷-۷-۳- ارائه مدل مفهومی و ریاضی برای مکانیابی پایانه‌ها

به صورت کلی سه رویکرد و روش کلی برای حل مسائل مکان‌یابی وجود دارد. در ادامه توضیح مختصری از این روش‌ها و همچنین انواع مدل‌های ریاضی برای حل مسائل مکان‌یابی ذکر شده است.

- روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره
- روش‌های تصمیم‌گیری ترسیمی و شبکه‌ای
- روش‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری ریاضی

همچنین از دیگر روش‌هایی که به هنگام استفاده از مدل‌های ریاضی برای حل مسائل مکان‌یابی می‌توان استفاده کرد، الگوریتم‌های فراابتکاری هستند. معمولاً از الگوریتم‌هایی همچون جستجوی ممنوع، ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید و کلونی مورچگان استفاده می‌شود.

۷-۷-۳-۱- روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

تصمیم‌گیری برای انتخاب مکان، معمولاً از جنس تصمیم‌گیری چندمعیاره است و انواع مختلفی از معیارها در آن موثر هستند. معمولاً برای تصمیم‌گیری تمامی معیارها به صورت کمی تبدیل می‌شوند. در این راستا روش‌های مختلفی برای بی مقیاس‌سازی، مانند بی‌مقیاس‌سازی فازی، بی‌مقیاس‌سازی به کمک حل مدل بهینه‌سازی تک هدفه، بی مقیاس‌سازی به روش ساعتی و بی‌مقیاس‌سازی لگاریتمی استفاده می‌شود. همچنین روش‌هایی همچون تحلیل سلسله مراتبی[۱]، تحلیل چندمعیاره فازی، نزدیکی به گزینه ایده‌آل[۲]، الکتر[۳] و مجموع ساده وزنی[۴] به منظور حل این نوع مسائل استفاده می‌شوند.

۷-۷-۳-۲- روش‌های تصمیم‌گیری ترسیمی و شبکه‌ای

بررسی و تحلیل مسائل مکان‌یابی از طریق روش‌های ترسیمی، به لحاظ بهره‌گیری از قابلیت‌های بصری، باعث درک بهتر مساله و سهولت در اندازه‌گیری مسافت‌ها و بدست‌آوردن جواب بهینه می‌شود. در این تکنیک‌ها مکان مراکز و مشتریان موجود بر روی صفحه مختصات رسم و می‌شوند و با استفاده از تکنیک‌های مختلف، مکان بهینه یک یا چند مرکز جدید بدست آورده می‌شوند. در این بخش روش‌های همچون پوشش لوزی[۵]، روش پوشش دایره[۶]، روش میانه، روش منحنی‌های تراز برای حل این نوع مسائل استفاده می‌شوند.

---

[1] *AHP*
[2] *TOPSIS*
[3] *ELECTRE*
[4] *SAW*
[5] *Diamond Covering Problem*
[6] *Circle Covering Problem*

۷-۷-۳-۳- روش‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری ریاضی

برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده، اغلب از مدل‌های ریاضی برای ساده کردن و خلاصه کردن مسائل واقعی استفاده می‌شود تا تجزیه و تحلیل سیستماتیک را ممکن سازد. استفاده از مدل‌های ریاضی در مکان‌یابی، مزایای زیادی مانند ساده‌تر بودن تجزیه و تحلیل، تعیین هدف بسیار واضح و روشن برای مساله و امکان محاسبات مقایسه‌ای دارد. البته برای برخی از مسائل تصمیم‌گیری پیچیده یا بسیار بزرگ مکان‌یابی، مدل‌های ریاضی کارا نیستند. زیرا تصمیم‌گیرنده برای انتخاب و قضاوت نمی‌تواند برای تمامی پارامترهای مساله، مقادیر کمی تعیین نماید یا اینکه ابزار محاسباتی مناسب برای حل مدل‌ها وجود ندارد.

مدل‌های ریاضی مکان‌یابی تسهیلات را می‌توان در سه دسته پیوسته، شبکه‌ای و گسسته طبقه‌بندی کرد. در مدل‌های پیوسته هر نقطه از سطح می‌تواند به عنوان گزینه‌ای برای انتخاب محل آن تسهیلات قرار گیرد (بر این اساس بی‌نهایت نقطه می‌تواند نامزد انتخاب محل شود). در مدل‌های شبکه‌ای که نسبت به مدل‌های پیوسته واقع‌گرایانه‌تر هستند نیز می‌توان بی‌نهایت نقطه را به عنوان نامزد در نظر گرفت؛ با این تفاوت که این نقاط بر روی لینک‌ها و گره‌های شبکه قرار دارند. اما در مدل گسسته تعداد محدودی نقطه به عنوان نامزد برای انتخاب محل تسهیلات در نظر گرفته شده و با توجه به هزینه‌های از پیش تعیین شده و نقاط تقاضا، مکان‌های نهایی مورد نظر انتخاب می‌شوند.

مدل‌های بسیار زیادی در زمینه مکان‌یابی ارائه شده است. در ادامه مهم‌ترین مدل‌ها و تکنیک‌های ریاضی در مسائل مکان‌یابی ارائه شده است.

۷-۷-۳-۳-۱- مساله P – مرکز[1]

این مساله نخستین بار توسط حکیمی[2] در سال ۱۹۶۴ مطرح شد. در این مساله، هدف، کمینه‌کردن بیشترین فاصله‌ای است که نقاط تقاضا از نزدیکترن مرکز دارند. در این مساله، تعداد مراکزی که باید استقرار یابند، از قبل مشخص است. این مسائل به دو دسته تقسیم می‌شوند. مساله P– مرکز محدب[3]، که مساله مکان‌یابی را به مجموعه‌ای از مکان‌ها کاندید جهت استقرار مراکز محدود می‌کند و مساله P–مرکز مطلق[4] که مراکز می‌توانند در هر جایی از مکان مستقر شوند. در صورتی که مساله بدون وزن باشد، تمام نقاط تقاضا، مشابه در نظر گرفته می‌شوند؛ ولی در حالت وزن‌دار، فاصله بین نقطه تقاضا و مرکز در وزن مربوط به آن تقاضا ضرب می‌شود.

پارامترها

W: بیشترین فاصله بین یک نقطه تقاضا و مرکزی که به آن تخصیص داده شده است.

P: تعداد مراکزی که باید مستقر شوند.

d_{ij}: فاصله بین مکان i و مکان j

[1] *P-Center Problem*
[2] *Hakimi*
[3] *Vertex P-Center Problem*
[4] *Absolute P-Center Problem*

h_i: مقدار تقاضا در مکان i

$x_j =$ ۱ اگردر مکان j مرکزی مستقر شود.
۰ در غیر این‌صورت

$y_i =$ ۱ اگر تقاضای مکان i به مرکز واقع در مکان j تخصیص یابد.
۰ در غیر این‌صورت

مساله *P*- مرکز به صورت زیر مدل می‌شود.

$$
\begin{aligned}
&Minimize \quad W \\
&S.t \quad \sum_{j\in J} x_j = P \\
&\sum_{j\in J} y_{ij} = 1 \qquad \forall i \in I \\
&y_{ij} - x_j \le 0 \qquad \forall i \in I, j \in J \\
&W - \sum_{j\in J} h_i d_{ij} y_{ij} \ge 0 \qquad \forall i \in I \\
&x_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J \\
&y_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J
\end{aligned}
$$

تابع هدف، بیشترین مسافت بین هر نقطه تقاضا و نزدیک‌ترین مرکز به آن را کمینه می‌کند. محدودیت اول، تضمین می‌کند تعداد مراکزی که مستقر می‌شوند برابر با *P* است. محدودیت دوم، بیان‌گر این است که هر نقطه تقاضا دقیقاً به یک مرکز تخصیص می‌یابد. محدودیت سوم، هر نقطه تقاضا را تنها به مراکز باز[1] تخصیص می‌دهد. محدودیت چهارم، حد پایین برای حداکثر فاصله موزون تقاضا را تعریف می‌کند. محدودیت‌های پنجم و ششم نیز، محدودیت‌های دودویی هستند. محدودیت ششم را می‌توان با $y_{ij} \ge 0$ جایگزین نمود، زیرا محدودیت دوم تضمین می‌کند که $y_{ij} \le 1$ است.

۷-۷-۳-۳-۲- مساله *P*- میانه[2]

مساله *P*- میانه یکی از مدل‌های کلاسیک در حوزه مکان‌یابی است که توسط حکیمی در سال ۱۹۶۴ و ۱۹۶۵ مطرح شد. هدف در این مساله، مکان‌یابی *P* مرکز به گونه‌ای است که کل مسافت وزن‌دار بین نقاط تقاضا و مراکزی که به آن‌ها خدمت می‌دهند، کمینه شود.

شایان ذکر است با توجه به ماهیت مساله مکان‌یابی پایانه‌های باری و همچنین تحقیق‌های انجام شده در گذشته، معمولاً از این روش برای حل این نوع مسائل استفاده می‌شود.

[1] *Open Facility*
[2] *P-Median*

متغیرها و پارامترهای این مساله همانند مساله *P*–مرکز تعریف می‌شوند. این مساله به صورت زیر مدل می‌شود.

$$Minimize \quad \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} h_i d_{ij} y_{ij}$$

$$S.t \quad \sum_{j\in J} x_j = P$$

$$\sum_{j\in J} y_{ij} = 1 \qquad \forall i \in I$$

$$y_{ij} - x_j \le 0 \qquad \forall i \in I, j \in J$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J$$

تابع هدف، مجموع فاصله وزن‌دار تقاضا را کمینه می‌کند. محدودیت‌های این مدل نیز مشابه مدل *P*–مرکز است؛ با این تفاوت که محدودیت چهارم مدل مساله *P*–مرکز، در این مدل وجود ندارد.

۷-۷-۳-۳-۳- مساله *P*- پراکندگی[1]

در تمام مدل‌هایی که تاکنون بیان شد، نکته مهم فاصله بین مراکز و نقاط تقاضا بود. همچنین نزدیک‌بودن مراکز به نقاط تقاضا مطلوب تلقی می‌شد. اما مساله *P*–پراکندگی با مسائل قبلی دو تفاوت دارد. اول اینکه در این مساله، فاصله بین مراکز جدید دارای اهمیت است و دومین تفاوت این است که در آن، هدف، بیشینه‌کردن حداقل فاصله بین هر جفت مرکز است. یکی از کاربردهای این مساله در مکان‌یابی تاسیسات نظامی است که در آن هر چه مراکز از هم پراکنده‌تر باشد، آسیب‌پذیری آن‌ها در هنگام وقوع حمله کمتر خواهد بود.

پارامترها

$$M = Max\{d_{ij}\}$$

D: کمترین فاصله موجود بین یک جفت از مراکز

$$Minimize \quad D$$

$$S.t \quad \sum_{j\in J} x_j = P$$

$$D + (M - d_{ij})x_i + (M - d_{ij})x_j \le 2M - d_{ij} \qquad \forall i,j \in J, i < j$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J$$

تابع هدف، فاصله بین نزدیک‌ترین مراکز را بیشینه می‌کند. محدودیت اول، بیانگر این است که *P* مرکز باید مستقر شوند. محدودیت دوم، حداقل فاصله بین دو مرکز باز را تعریف می‌کند. اگر در این محدودیت x_i یا x_j برابر با صفر باشند، محدودیت غیرفعال است. اما اگر هر دو آن‌ها برابر با یک باشند، محدودیت معادل $D \le d_{ij}$ خواهد بود.

[1] *P-Distribution Problem*

۷-۷-۳-۳-۴- مساله مکان‌یابی حداکثر مجموع[1]

در بسیاری از موارد، استقرار مراکز در نزدیک‌ترین مکان ممکن به نقاط تقاضا، مطلوب است. ولی در مکان‌یابی مراکز نامطلوب (مانند زندان‌ها، نیروگاه‌ها، مکان‌های دفع زباله)، حداقل یکی از اهداف، استقرار مراکز، دور از نقاط تقاضا است. این مساله، مکان P مرکز را به گونه‌ای تعیین می‌کند که مجموع فاصله وزن‌دار بین نقاط تقاضا و مراکز تخصیص داده شده به آن-ها، بیشینه شود. مدل این مساله به صورت زیر است:

$$Minimize \quad \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} h_i d_{ij} y_{ij}$$

$$S.t \quad \sum_{j\in J} x_j = P$$

$$\sum_{j\in J} y_{ij} = 1 \qquad \forall i \in I$$

$$y_{ij} - x_j \le 0 \qquad \forall i \in I, j \in J$$

$$\sum_{k=1}^{m} y_i[k]_i - x[m] \ge 0 \qquad \forall i \in I, m = 1,\dots,N-1$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J$$

این مدل شبیه به مدل P–میانه است. اما بین این دو مدل تفاوت‌هایی نیز وجود دارد. هدف این مدل، بیشینه کردن مجموع فاصله وزن‌دار تقاضا است، در حالی که در مدل P–میانه این فاصله کمینه می‌شود. تاثیر این هدف این است که نقاط تقاضا را به دورترین مرکز تخصیص می‌دهد. از این رو محدودیت چهارم به این مدل اضافه شده است تا اطمینان حاصل شود که تقاضاها به نزدیک‌ترین مرکز تخصیص یابند. در این محدودیت اندیس $[k]_i$، به معنی kامین مکان دور از نقطه تقاضای i است. در نتیجه این محدودیت بیان می‌کند که اگر در mامین مکان نزدیک به نقطه تقاضای i، مرکزی احداث شده باشد، تقاضای نقطه i باید به آن مرکز و یا یکی از مراکز نزدیک‌تر تخصیص یابد.

۷-۷-۳-۳-۵- مکان‌یابی با هدف بدست آوردن بیشترین سهم بازار[2]

این مساله، به دنبال یافتن مکان بهینه تعداد ثابتی از شعبات متعلق به یک شرکت (P فروشگاه)، در بازاری است که در آن شعبات سایر شرکت‌ها بر سر مشتریان با هم رقابت می‌کنند.

این مدل شامل فرضیات زیر است:

- محصولات فروخته شده همگن هستند و بین محصولات در شعبه‌های مختلف شرکت‌ها تفاوت معناداری وجود ندارد.
- تصمیم مشتریان برای استفاده از یک فروشگاه، براساس مسافت اتخاذ می‌شود، نه قیمت محصولاتی که در فروشگاه‌ها عرضه می‌شود.

---

[1] *Maxisum Location Problem*
[2] *Maximum Capture Problem*

- هزینه هر واحد کالا در تمام فروشگاه‌ها، صرف نظر از مالکیت، یکسان است.

به عنوان مثالی برای این‌گونه مراکز می‌توان به رستوران‌های زنجیره‌ای، فروشگاه‌های زنجیره‌ای و بانک‌ها اشاره کرد.

در این مدل، فرض می‌شود که شرکت جدید (شرکت A) می‌خواهد وارد بازاری شود که مکان q شعبه از یک یا چند شرکت رقیب مشخص است و می‌خواهد بیشترین سهم ممکن بازار را بدست آورد. فرض کنید که تنها یک شرکت رقیب (شرکت B) در بازار فعالیت می‌کند. اولین خواسته، یافتن p مکان برای شرکت A است، به گونه‌ای که سهمس از بازار بیشینه شود. این مدل به صورت زیر است:

پارامترها

I, i: ناحیه موردنظر و مجموعه نواحی تقاضا

J, j: مکان موردنظر و مجموعه مکان‌های بالقوه

P: تعداد شعبات متعلق به شرکت

a_i: مقدار تقاضا در ناحیه i

d_{ij}: فاصله بین مکان j و ناحیه i

b_i: نزدیک‌ترین شعبه شرکت B به نقطه تقاضای i

d_{ib_i}: فاصله از نقطه تقاضای i تا نزدیکترین شعبه شرکت B

$\left\{\forall j \in J, d_{ij} < d_{ib_i}\right\} = N_i\left(b_i\right)$: مجموعه مکان‌هایی که فاصله آن‌ها از ناحیه i، از تمام شعبات شرکت B نزدیک‌تر است.

$\left\{\forall j \in J, d_{ij} = d_{ib_i}\right\} = O_i\left(b_i\right)$: مجموعه مکان‌هایی که فاصله آن‌ها از ناحیه i، برابر فاصلخ نزدیک‌ترین شعبه شرکت B تا ناحیه i است.

$y_i^A =$
- ۱ اگر شرکت A تقاضای ناحیه i را به طور کامل تامین کند
- ۰ در غیر این‌صورت

$Z_i =$
- ۱ اگر تقاضای ناحیه i بین شرکت A و B تقسیم شود
- ۰ در غیر این‌صورت

$x_j^A =$
- ۱ اگر شرکت A یک مرکز در مکان j مستقر کند
- ۰ در غیر این‌صورت

$$Max \quad z^A = \sum_{i\in I} a_i y_i^A + \sum_{i\in I} \frac{a_i}{2} z_i$$

$$S.t \quad y_i^A \le \sum_{j\in N_i(b_i)} x_j^A \qquad \forall i \in I$$

$$z_i \le \sum_{j\in O_i(b_i)} x_j^A \qquad \forall i \in I$$

$$y_i^A + z_i \le 1 \qquad \forall i \in I$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_j^A = p$$

$$y_i^A, z_i, x_j^A = (0,1) \qquad \forall i \in I, \forall j \in J$$

محدودیت اول به $N_i(b_i)$ بستگی دارد. $N_i(b_i)$ تمام نقاط بالقوه‌ای را شامل می‌شود که شرکت A می‌تواند در آنجا یک مرکز مستقر کند و تقاضای ناحیه i را به طور کامل پوشش دهد. در واقع، اگر شرکت A در یکی از نقاط مجموعه $N_i(b_i)$ مرکزی را مستقر کند، حتماً y_i^A برابر ۱ خواهد شد که نشان‌دهنده پوشش تقاضای ناحیه i توسط شرکت A است.

محدودیت دوم نیز مشابه محدودیت اول است. تنها تفاوت این است که در محدودیت دوم از مجموعه مکان‌های $O_i(b_i)$ استفاده می‌شود که شامل مکان‌هایی است که اگر شرکت A در آن‌ها مرکزی مستقر کند، باید بازار را با رقیبش تقسیم کند.

محدودیت سوم بیانگر سه حالت زیر است:

- اگر شرکت A کاملاً بازار را تسخیر کند $(y_i^A = 1, z_i = 0)$.
- بازار بین دو شرکت تقسیم شود $(y_i^A = 0, z_i = 1)$.
- شرکت A کاملاً بازار را به شرکت B واگذار نماید $(y_i^A = 0, z_i = 0)$.

در نتیجه مجموع دو عبارت y_i^A و z_i نمی‌تواند از یک بزرگتر شود.

محدودیت آخر بیان‌گر تعداد مراکزی است که شرکت A قصد دارد احداث کند.

۷-۷-۳-۳-۶- مکان‌یابی تخصیص[1]

در این بخش، مساله مکان‌یابی تخصیص به صورت برنامه‌ریزی خطی فرموله می‌شود. هدف انتخاب مجموعه‌ای از مکان‌ها و تخصیص مشتریان به آن‌ها به گونه‌ای است که مجموع هزینه‌های تخصیص حداقل شود. در اینجا مشتریان می‌توانند تقاضای خود را از مکان‌های مختلف تامین کنند.

پارامترها

C_{ij}: هزینه تخصیص یک واحد از تقاضای مشتری i به مکان j به ازای $i = 1,2,\ldots,n$ و $j = 1,2,\ldots,m$

d_i: مقدار تقاضای مشتری iام

[1] *Location-Allocation Problem*

k: تعداد مراکز در دسترس جهت استقرار

n: تعداد مشتریان

m: تعداد مکان‌ها

$x_{ij} =$ ۱ اگر تقاضای مشتری i به مکان j تخصیص یابد.
۰ در غیر این‌صورت

$I_j =$ ۱ اگر در مکان j مرکزی مستقر شود.
۰ در غیر این‌صورت

$$Minimize \quad TC = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} C_{ij} d_i x_{ij}$$

$$S.t \quad \sum_{j=1}^{m} X_{ij} \geq 1 \qquad i = 1,\ldots,n$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} \leq nI_j \qquad j = 1,\ldots,m$$

$$\sum_{j=1}^{m} I_j = k \qquad i = 1,\ldots,n$$

$$x_{ij} \in (0,1) \qquad i = 1,\ldots,n, j = 1,\ldots,m$$

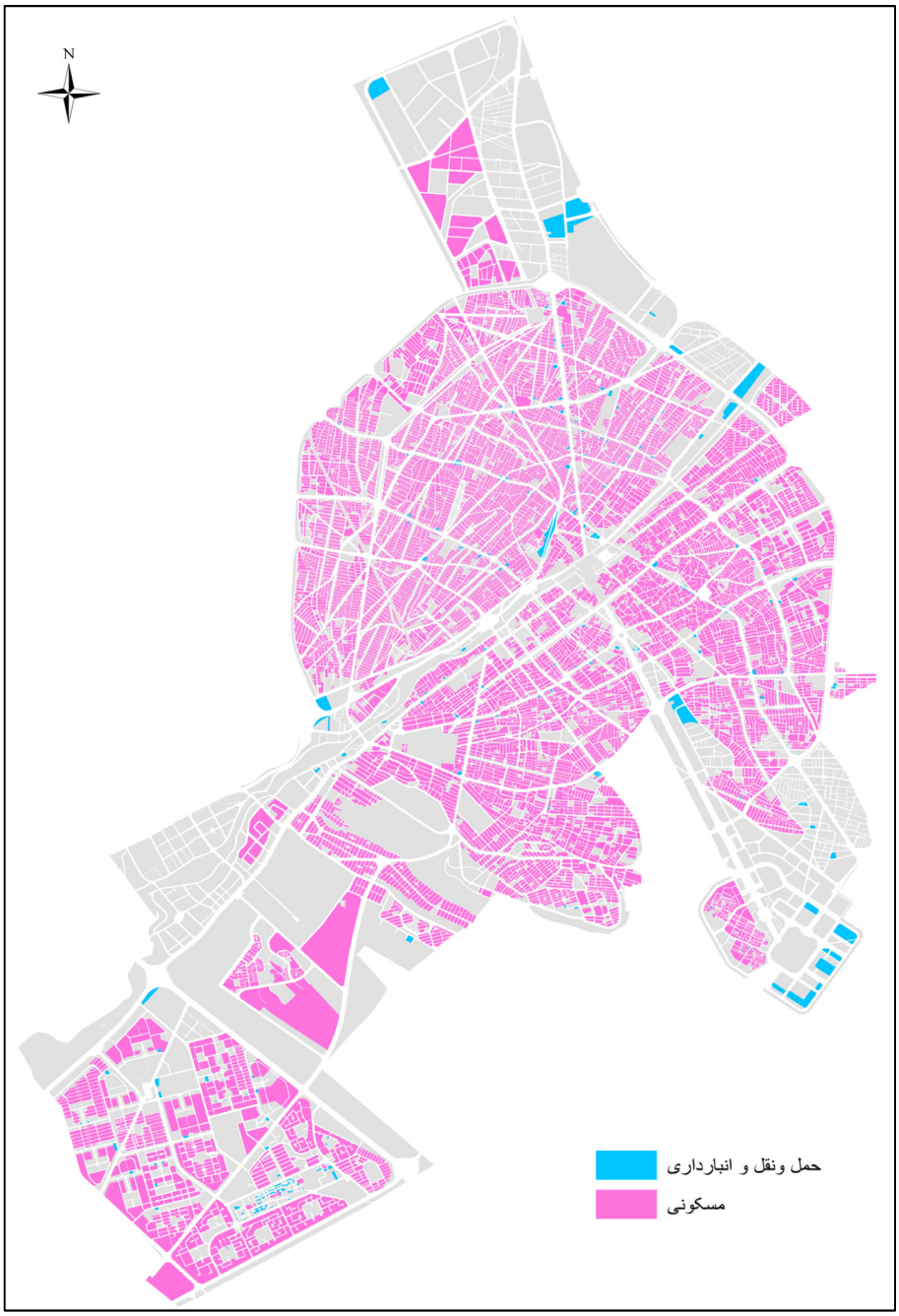
تابع هدف قصد کمینه‌کردن مجموع هزینه‌ها را دارد. محدودیت اول بیان‌گر این است که تقاضای هر مشتری باید حداقل به یک مکان تخصیص یابد. محدودیت دوم این نکته را بیان می‌کند که تنها در صورت استقرار یک مرکز در یک مکان، تقاضای مشتریان مختلف می‌تواند به آن مکان تخصیص یابد. محدودیت سوم بیان‌گر تعداد مراکزی است که برای استقرار در نظر گرفته شده‌اند. برای حل این مسائل می‌توان از نرم‌افزارهای برنامه‌ریزی عدد صحیح مانند لینگو استفاده کرد.

۷-۷-۳-۳-۱- مدل مکان‌یابی پایانه بار کلان‌شهر قم

در بخش‌های قبل اهداف و شاخص‌های مهم برای مکان‌یابی پایانه‌ها ذکر شد، در این قسمت به اهمیت هر یک از آن‌ها پرداخته می‌شود. در انتها با روی‌هم‌گذاری این شاخص‌های کمی، مکان‌های مطلوب برای پایانه‌های باری مشخص می‌شود. همچنین با توجه به شرح خدمات مطالعه حاضر ارائه نتایج مدل در فصل هشت انجام می‌شود.

الف- شناسایی و یافتن کاربری‌های مناسب برای جانمایی پایانه‌های بار با توجه به نقشه طرح تفصیلی

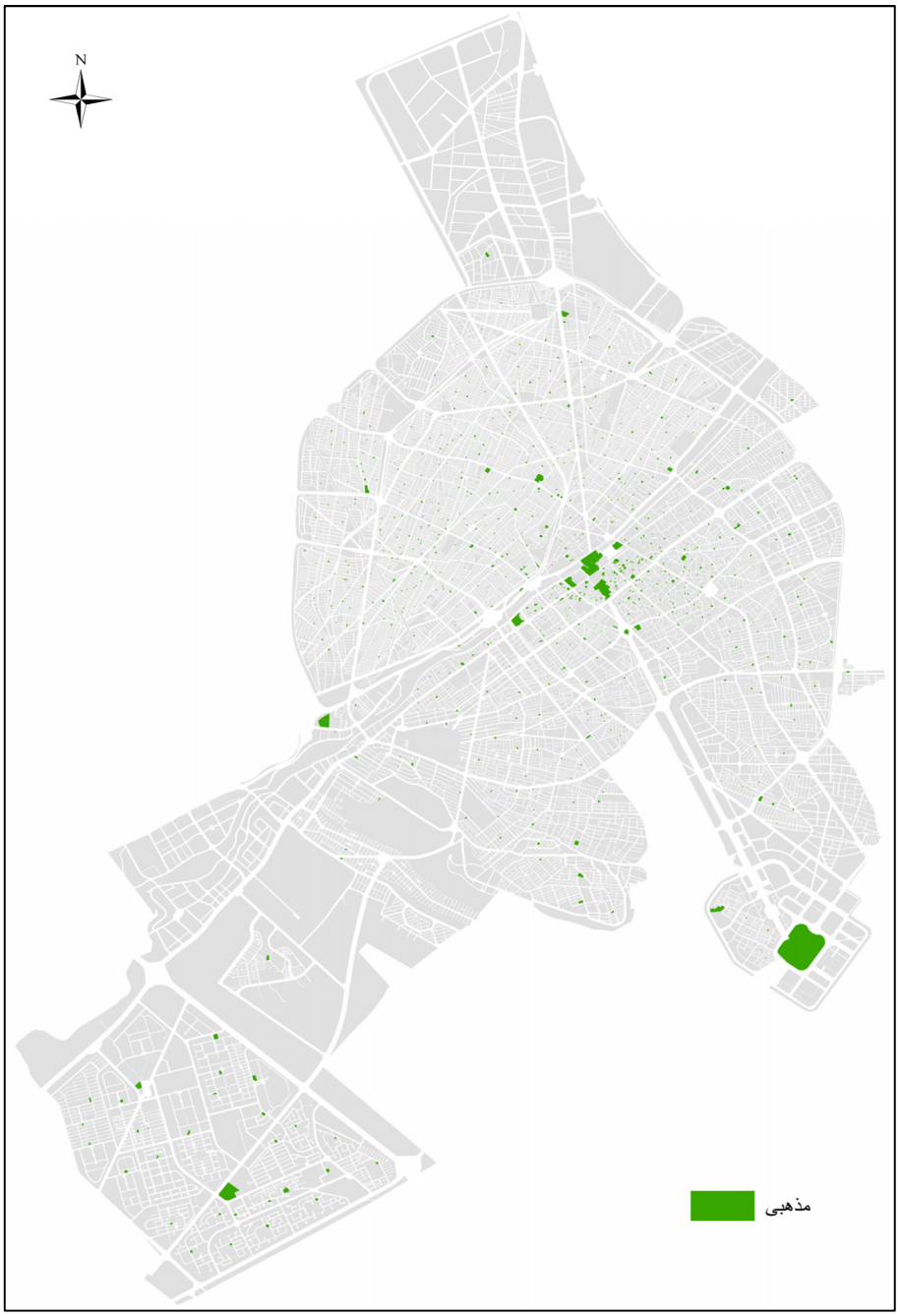
به منظور جانمایی مناسب پایانه‌های باری برای کلان‌شهر قم در ابتدا باید اراضی مناسب جهت استقرار این نوع تسهیلات شناسایی شود. در این راستا از نقشه طرح تفصیلی کاربری‌هایی که قابلیت استقرار و تغییر آن‌ها (مانند کاربری حمل‌ونقل و انبارداری و کاربری مسکونی) برای جانمایی پایانه است انتخاب شده و سایر تحلیل‌های مکان‌یابی بر روی این سطوح انجام می‌شود (شکل ۷-۴۱).



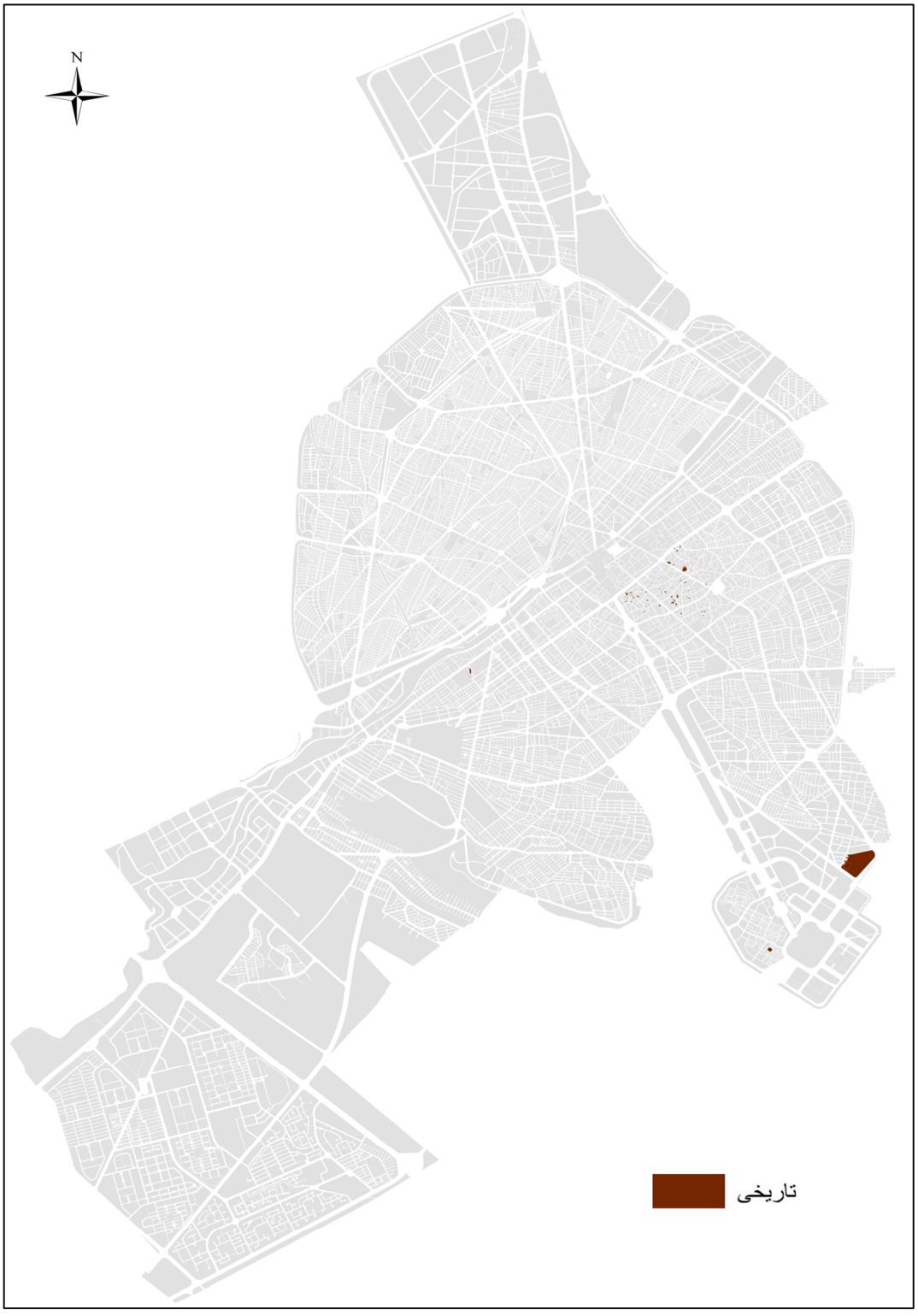
شکل ۷-٤۱ کاربری‌های مسکونی و حمل‌ونقل

ب- در نظر گرفتن فاصله بین کاربری‌های ارزشمند (تاریخی-مذهبی) با کاربری‌های انتخاب شده

با توجه به پیشینه تاریخی کلان‌شهر قم و همچنین وجود بناهای متعدد تاریخی و مذهبی مهم در این شهر، یکی از شاخص‌های مهم درنظر گرفته شده برای جانمایی پایانه‌ها، ارزش معکوس فاصله بین این تسهیلات با بناهای ارزشمند است. به همین منظور با استفاده از نقشه طرح تفصیلی کلان‌شهر قم، کاربری‌های تاریخی و مذهبی به صورت لایه‌ای جداگانه برای انجام تحلیل مورد نظر انتخاب شدند (شکل ۷-۴۲ و شکل ۷-۴۳).



شکل ۷-۴۲ کاربری‌های مذهبی



شکل ۷-۴۳ کاربری‌های تاریخی

پ- در نظر گرفتن فاصله بین خطوط و ایستگاه‌های راه‌آهن با کاربری‌های انتخاب شده

یکی از مهم‌ترین ناحیه‌های تلاقی خطوط سراسری راه‌آهن ایران، ناحیه راه‌آهن قم است. با برشماری دلایل زیر به اهمیت حمل‌ونقل ریلی در این ناحیه و همچنین استفاده هر چه بهتر از این نوع تسهیلات پی برده می‌شود.

۱- انشعاب چهار خط راه‌آهن سراسری ایران از این شهر

۲- قرار داشتن این کلان‌شهر در ابتدای نه مسیر اصلی راه‌آهن ایران (شکل ۷-۴۴)

۳- سهم ۶۶درصدی این ناحیه از کل تناژ بار جابه‌جا شده با استفاده از ریل در کشور (سالنامه آماری راه‌آهن در سال ۱۳۹۵)

۴- تلاقی کریدورهای جاده‌ای اصلی ترانزیتی کشور و شبکه ریلی در این ناحیه (برنامه‌ریزی حمل‌ونقل چند وجهی؛ شکل ۷-۴۵)

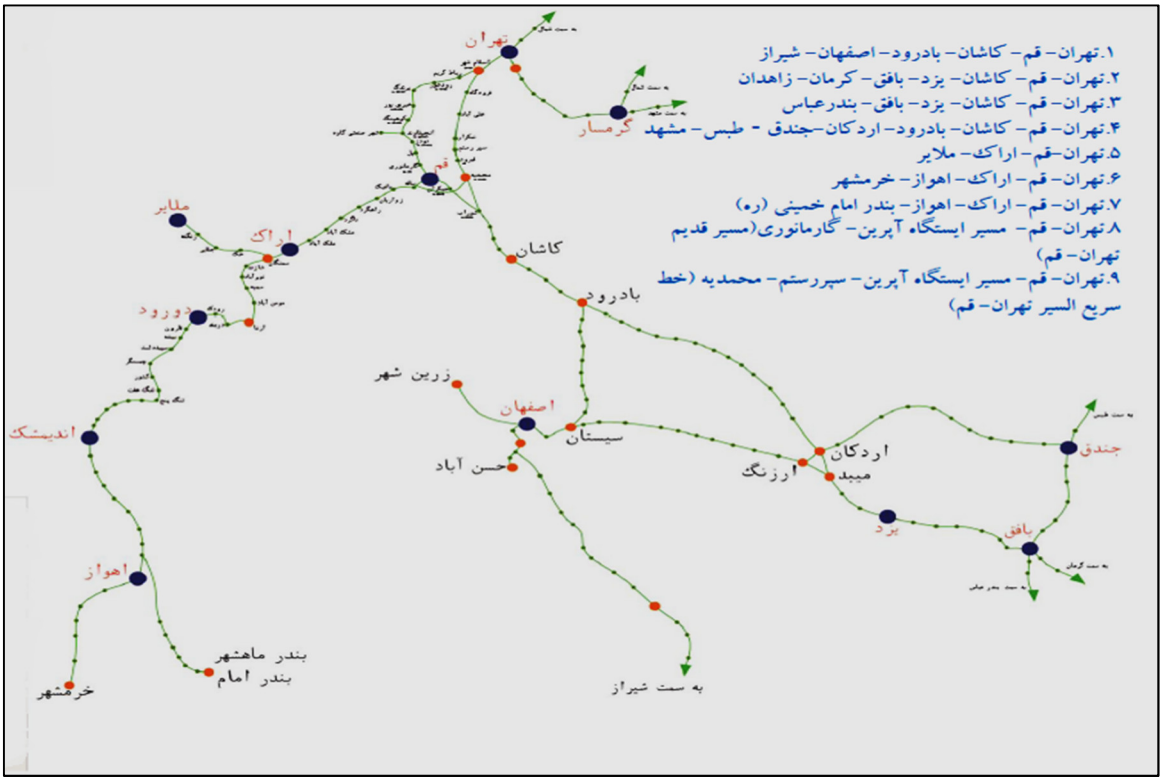
۵- قرار داشتن شهرک‌های صنعتی استراتژیک (شهرک شکوهیه) و بندر خشک سلفچگان (منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان) در مجاورت شبکه ریلی این ناحیه (شکل ۷-۴۶)

۶- قرار داشتن یکی از ایستگاه‌های بزرگ باری کشور (گار مانوری) در این ناحیه (شکل ۷-۴۷)

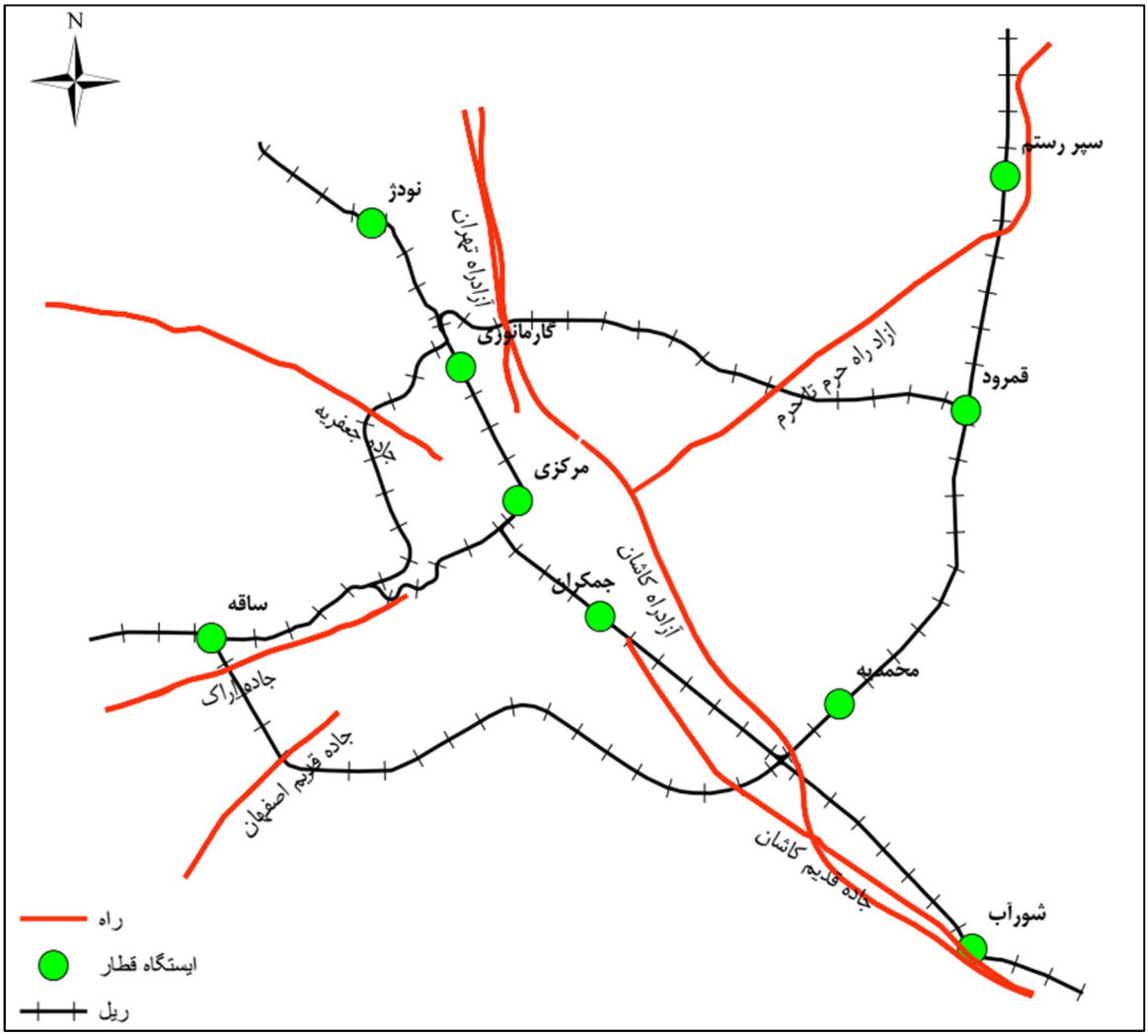
۷- قرار داشتن شهر فرودگاهی قم در مجاورت خط راه‌آهن جنوب و محور ترانزیتی اراک (هاب لجستیک چند وجهی؛ شکل ۷-۴۹)

۸- مجاورت سایت گمرک قم با ایستگاه گار مانوری (شکل ۷-۴۸)

با توجه به دلایل اشاره شده در بالا و مشخصه ایمنی و ارزانی استفاده از این سیستم حمل‌ونقلی ، یکی از شاخص‌های مهم جانمایی مناسب پایانه‌های باری، مجاورت این تسهیلات با سیستم حمل‌ونقل ریلی ناحیه قم است. شایان ذکر است که فاصله بین تسهیلات حمل‌ونقل ریلی با پایانه‌های باری به صورت شاخصی مستقیم ارزش‌گذاری می‌شود.



شکل ۷-٤٤ موقعیت شهر قم و خطوط راه‌آهن مرتبط با این شهر



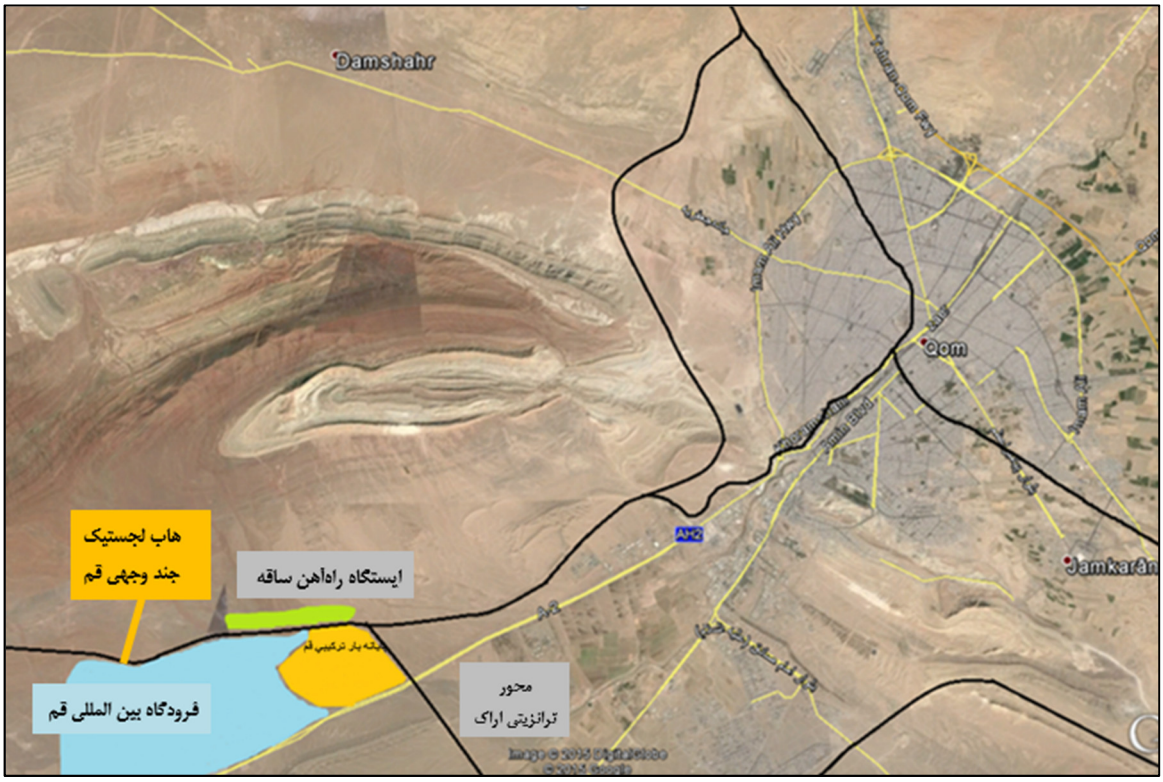
شکل ۷-٤٥ موقعیت کریدورهای جاده‌ای و ریلی کلان‌شهر قم

شکل ۷-٤٦ موقعیت شهرک‌های صنعتی و تسهیلات حمل‌ونقلی استان قم

در شکل ۷-۴۶ موقعیت شهرک‌های صنعتی و تسهیلات حمل‌ونقلی استان قم نشان داده شده است. مهم‌ترین مراکز صنعتی استان شهرک صنعتی شکوهیه و منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان است. با توجه به پرسشگری انجام شده در سال ۱۳۹۰، صنایع اصلی شهرک صنعتی شکوهیه میزان ۱۲۴۱۱۲۸۰تن مواد اولیه قابل حمل نیاز دارند؛ از طرفی صنایع مذکور توانایی تولید ۱۱۴۲۶۲۹۰تن محصول را دارند. این آمار برای منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان، ۲۵۸۲۲۰تن مواد اولیه قابل حمل مورد نیاز و ۳۰۷۷۰۰تن محصولات تولیدی است. عمده مواد ورودی و خروجی به/از این شهرک‌های صنعتی متشکل از مواد معدنی، فلزات و مواد نفتی و پتروشیمی هستند. با نگاهی به تناژ انواع محصولات حمل شده توسط راه‌آهن ایران، ۸۴درصد از کل مواد حمل شده را صنایع بالا تشکیل می‌دهند. پس می‌توان با جانمایی مناسب پایانه‌های بار در مجاورت شهرک‌های صنعتی و ریل، به استفاده هر چه بیشتر از این سیستم حمل‌ونقلی دست پیدا کرد.

شکل ۷-۴۷ موقعیت ایستگاه گار مانوری در ناحیه راه‌آهن قم

شکل ۷-۴۸ مجاورت سایت گمرک کلان‌شهر قم با ایستگاه گار مانوری



شکل ۷-۴۹ هاب لجستیکی چند وجهی قم

ت- در نظر گرفتن فاصله بین کریدورهای اصلی جاده‌ای با کاربری‌های انتخاب شده

همانطور که از شکل ۷-۴۵ مشخص است، ۸ محور اصلی کلان‌شهر قم را به سایر نقاط کشور متصل می‌کند؛ از این تعداد ۴ محور به صورت آزادراهی و سایر به صورت دوطرفه جداشده است. با توجه به آماربرداری انجام شده در سال ۱۳۹۵ هر کدام از این محورها، تسهیل کننده جابه‌جایی تناژ بالایی از کالاها به صورت شبانه روزی بوده‌اند. با در نظر گرفتن اثرات مخرب‌تر (آلودگی، تراکم ترافیک در مسیرهای شریانی و ورودی‌های شهر، تخریب روسازی و غیره) وسایل نقلیه سنگین باری نسبت به وسایل نقلیه سبک باری، می‌توان با جانمایی صحیح پایانه‌های باری در مجاورت این کریدورها به کاهش تعداد خودروهای سنگین باری و استفاده بهینه از خودروهای سبک باری (حداکثر استفاده از ظرفیت) در شریانی‌های کلان‌شهر قم رسید.

ث- در نظر گرفتن فاصله بین مراکز اصلی صنعتی-تولیدی با کاربری‌های انتخاب شده

در شکل ۷-۴۶ موقعیت شهرک‌های اصلی صنعتی استان و کلان‌شهر قم نشان داده شده است. همانطور که مشخص است یکی از شاخص‌های مهم برای جانمایی پایانه‌های باری، فاصله مناسب این تسهیلات با مراکز صنعتی است. این جانمایی‌ها باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر در نظر گرفتن شهرک‌های بزرگی همچون شکوهیه و سلفچگان، مناطقی همچون اطراف بلوار الغدیر، جاده قدیم تهران و جاده جعفریه را نیز شامل شود. به همین منظور با دادن وزن مشخص (میزان تولید و جذب تناژ کالا) به هریک از مناطق ذکر شده، تخصیصی عادلانه صورت بگیرد.

ج- در نظر گرفتن فاصله بین ناحیه‌های ترافیکی با کاربری‌های انتخاب شده

با توجه به هدف و محدوده مطالعه حاضر، یکی از شاخص‌های مهم برای جانمایی صحیح پایانه‌های باری، فاصله این تسهیلات تا نواحی ترافیکی است. با در نظر گرفتن وزن مرتبط با هر ناحیه (در بخش‌های قبلی این مطالعه میزان تناژ تولید و

جذب شده هر یک از نواحی به تفکیک وسیله نقلیه آورده شده است) و همچنین فاصله شبکه‌ای بین این نقاط، مکان‌های مطلوب انتخاب می‌شوند.

در این مساله، هدف، کمینه‌کردن مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل و احداث پایانه است. بنابراین با حل این مساله مکان بهینه مراکز مشخص و همچنین تقاضاها به مراکز تخصیص داده می‌شوند.

پارامترها

h_i: مقدار تقاضا در مکان i

f_j: هزینه ثابت احداث یک پایانه در مکان j

C_j: ظرفیت پایانه واقع در مکان j

α: هزینه حمل یک واحد تقاضا در یک واحد فاصله متغیرها

$x_j =$ ۱ اگردر مکان j پایانه‌ای مستقر شود.
$x_j =$ ۰ در غیر این‌صورت

$y_i =$ ۱ اگر تقاضای مکان i به پایانه‌ای واقع در مکان j تخصیص یابد.
$y_i =$ ۰ در غیر این‌صورت

مدل مساله به صورت زیر است.

$$Minimize \quad \sum_{j\in J} f_j x_j + \alpha \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} h_i d_{ij} y_{ij}$$

$$S.t \quad \sum_{j\in J} y_{ij} \geq 1 \qquad \forall i \in I$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \qquad \forall i \in I, j \in J$$

$$\sum_{j\in J} h_i y_{ij} - C_j x_j \leq 0 \qquad \forall i \in I$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J$$

تابع هدف، مجموع هزینه‌های ثابت جهت احداث و هزینه مسافت طی‌شده برای برآوردن تقاضاها را کمینه می‌کند. محدودیت اول، بیان‌گر آن است که هر نقطه تقاضا حداقل به یک پایانه تخصیص می‌یابد. محدودیت دوم، هر نقطه تقاضا را تنها به پایانه‌های فعال تخصیص می‌دهد. محدودیت سوم، نشان می‌دهد مقدار تقاضایی که به یک مرکز تخصیص می‌یابد، نباید از ظرفیت آن مرکز تجاوز کند. محدودیت چهارم و پنجم نیز بیانگر صفر-یک بودن وضعیت دو متغیر x_j و y_{ij} است. سایر محدودیت‌های حاکم بر مدل از قبیل حفظ بافت مذهبی و تاریخی و غیره، محدودیت‌های مفهومی هستند که در انتخاب نواحی نامزد وارد شده و شکل ریاضی ندارند.

مجدداً یادآوری می‌شود که در فصل هفتم (فصل جاری) مطابق شرح خدمات مطالعات صرفاً مدل ریاضی و مفهومی ارائه شده و حل آن یعنی تعیین نقاط احداث پایانه‌های بار کلان‌شهر قم و تحلیل نتایج مطابق شرح خدمات مطالعات در فصل هشتم انجام خواهد شد.

۷-۸- مراجع

1- Evans, Andrew W. "Some properties of trip distribution methods." *Transportation Research* 4, no. 1 (1970): 19-36.

۲- مطالعات توجیهی شهرک‌های صنعتی شکوهیه و سلفچگان

۳- پروژه اتصال منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان به شبکه ریلی راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران

4- HOLGUIN-VERAS, J., M. JALLER, I. SÁNCHEZ-DÍAZ, J. WOJTOWICZ, S. CAMPBELL, H. LEVINSON, C. LAWSON, E. POWERS, and L. TAVASSZY, *NCHRP Report 739/NCFRP Report 19: freight trip generation and land use. Washington DC: Transportation Research Board of the National Academies*. 2012.