مطالعات طرح جامع حمل و نقل و ترافیک بوشهر

ساخت، پرداخت و اعتبارسنجی مدل‌های زمان سفر–حجم برای معابر اصلی

ویرایش	وضعیت (STATUS)	تهیه کننده	کنترل کننده	تائید کننده	تصویب کننده	تاریخ
۰A	جهت اظهار نظر – IFC	مهدی فریدزاد	سیدکمال سیدحسین	محمد حسین حمیدی شاد	حمیدرضا شفیعی	۹۹/۱۱/۲۱

صفحه ویرایش

صفحه	ویرایش 0A	ویرایش 0B	ویرایش 0C	ویرایش 0D	ویرایش 0E	صفحه	ویرایش 0A	ویرایش 0B	ویرایش 0C	ویرایش 0D	ویرایش 0E
۱	X										
۲	X										
۳	X										
۴	X										
۵	X										
۶	X										
۷	X										
۸	X										
۹	X										
۱۰	X										
۱۱	X										
۱۲	X										
۱۳	X										
۱۴	X										
۱۵	X										
۱۶	X										
۱۷	X										
۱۸	X										
۱۹	X										
۲۰	X										
۲۱	X										
۲۲	X										
۲۳	X										
۲۴	X										
۲۵	X										
۲۶											
۲۷											
۲۸											
۲۹											
۳۰											
۳۱											

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳–۶–۴– ساخت، پرداخت و اعتبارسنجی مدل‌های زمان سفر–حجم برای معابر اصلی شهر بوشهر ۶

۳-۶-۴-۱- عوامل موثر در تابع زمان سفر کمان‌ها ۶

۳-۶-۴-۲- انواع توابع زمان سفر- حجم ۷

۳-۶-۴-۳- درجه‌بندی عملکردی شبکه معابر اصلی شهر بوشهر ۱۱

۳-۶-۴-۴- زمان سفر آزاد وسایل نقلیه در شبکه معابر اصلی شهر بوشهر ۱۴

۳-۶-۴-۵- آمارگیری برای ساخت توابع زمان سفر–حجم انواع معابر درون شهری ۱۶

۳-۶-۴-۵-۱- روش ثبت پلاک ۱۶

۳-۶-۴-۵-۲- روش استفاده از خودروی نمونه ۱۷

۳-۶-۴-۶- نحوه انجام آمارگیری زمان سفر در شهر بوشهر ۱۸

۳-۶-۴-۷- توابع زمان سفر–حجم برای شبکه معابر اصلی شهر بوشهر ۲۱

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۳-۱: تابع زمان سفر–حجم از نوع BPR برای α=1 ..... ۸
شکل ۳-۲:تابع زمان سفر–حجم از نوع INERTS ۱۰
شکل ۳-۳: سلسله مراتب عملکردی شبکه معابر اصلی شهر بوشهر ۱۳
شکل ۳-۴: زمان سفر آزاد وسایل نقلیه در شبکه معابر اصلی شهر بوشهر ۱۵
شکل ۳-۵: مسیر تعیین شده برای برداشت اطلاعات زمان سفر (کریدور شماره ۱) ۲۰
شکل ۳-۶: مسیر تعیین شده برای برداشت اطلاعات زمان سفر (کریدور شماره ۲) ۲۱
شکل ۳-۷: تابع زمان سفر حجم برای معابر با درجه عملکردی شریانی اصلی ۲۳
شکل ۳-۸: تابع زمان سفر حجم برای معابر با درجه عملکردی شریانی فرعی ۲۳
شکل ۳-۹: تابع زمان سفر حجم برای معابر با درجه عملکردی جمع و پخش کننده ۲۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: همبستگی متغیرهای مستقل و وابسته در توابع زمان سفر–حجم..... ۲۲

جدول ۳-۲: شخاص خوبی برازش برای توابع زمان سفر–حجم برآورد شده ۲۴

جدول ۳-۳: مقادیر اندرسون–دارلینگ توابع توزیع داده‌های ورودی نسبت به تابع توزیع نرمال ۲۵

جدول ۳-۴: توابع زمان سفر–حجم معابر اصلی شهر بوشهر..... ۲۵

۳–۶–۴– ساخت، پرداخت و اعتبارسنجی مدل‌های زمان سفر–حجم برای معابر اصلی شهر بوشهر

یکی از مهم‌ترین معیارهای تصمیم‌گیری افراد برای انتخاب مسیر، زمان سفر است. سایر معیارها (مانند زیبایی و راحتی) یا قابل کمی کردن نیستند و یا تا حد زیادی به زمان سفر وابسته هستند (مانند هزینه سفر). از این رو تقریباً در تمام دستورالعمل‌ها، مبنای تخصیص، کمترین زمان سفر بین مبدأ و مقصد سفرها بر اساس ظرفیت کمان‌های شبکه است. به همین دلیل توابع زمان سفر–حجم یکی از اطلاعات مورد نیاز مدل‌های تخصیص ترافیک در برنامه‌ریزی حمل و نقل است. این توابع که تابع عملکرد خیابان‌ها نیز نامیده می‌شود، رابطه بین زمان سفر در خیابان‌ها را با حجم و ترکیب ترافیک آن‌ها نشان می‌دهند. با توجه به اینکه علاوه بر مشخصات فیزیکی، حجم و ترکیب ترافیک، عوامل دیگری نظیر رفتار رانندگان و شرایط خاص منطقه‌ای بر زمان سفر اثر می‌گذارند، معمولا در مطالعات جامع هر شهری، مطالعه ویژه‌ای برای ساخت توابع زمان سفر – حجم صورت می‌گیرد.

۳–۶–۴–۱– عوامل موثر در تابع زمان سفر کمان‌ها

هدف از ایجاد تابع زمان سفر، بدست آوردن رابطه‌ای بین زمان عبور از یک کمان و پارامترها و عوامل قابل اندازه‌گیری و موثر بر سرعت وسایل نقلیه است. براساس مطالعات صورت گرفته، این موارد می‌تواند شامل گزینه‌هایی نظیر، متوسط زمان سفر آزاد (زمان در حجم صفر)، ظرفیت عملی معبر، مقدار حجم عبوری، نوع معبر، تعداد خط عبوری، موقعیت خط در حال تردد، فاصله موانع کناری، نوع میانه و موارد دیگر باشد. در مدل‌های رایج ساخته شده، عمده پارامترهای در نظر گرفته شده شامل متوسط زمان سفر آزاد، ظرفیت عملی معبر و مقدار حجم عبوری است.

یکی دیگر از پارمترهای مهم و تاثیرگذار که در مدل‌های موجود لحاظ می‌شود، نوع معبر عبوری است. با در نظر گرفتن و لحاظ نمودن این پارامتر، بسیاری از موارد مربوط به طرح هندسی که در سرعت و نحوه تردد خودروها اثر می‌گذارند، وارد خواهد شد. بر این اساس نیاز به ساختن مدل‌های جداگانه برای معابر مختلف است. در واقع برای اعمال اثر نمودن موارد فوق، برای هر نوع معبر و با توجه به اطلاعات مربوط به آن، یک تابع زمان سفر عبور از کمان، مخصوص آن ساخته خواهد شد. لذا در مجموع برای توابع زمان سفر کمان‌ها، اطلاعات مورد نیاز شامل همان سه مورد فوق می‌باشد که این موارد باید برای انواع کمان‌های موجود در شهر بوشهر برداشت شود.

مقدار حجم عبوری یا از طریق آمارگیری در وضع موجود و یا از طریق مدل ساخته شده در برآورد حجم به دست می‌آید. برای به دست آوردن متوسط زمان سفر آزاد و ظرفیت عملی، لازم است تا اطلاعات مربوط به زمان سفر عبوری در وضع موجود، برداشت شود تا از طریق کالیبره نمودن ضرایب موجود در مدل، مقدار آنها به دست آید. بنابراین اطلاعات مورد نیاز برای ساخت توابع زمان سفر شامل حجم عبوری خودروها و همچنین زمان سفر عبوری در حجم عبوری می‌باشند. لذا در انتخاب و تعیین نوع آمارگیری برای زمان سفر کمان‌ها، باید شرایطی را در نظر گرفت که از طریق آن بتوان پارامترهای فوق را به راحتی برداشت نمود.

۳-۶-۴-۲- انواع توابع زمان سفر- حجم

هدف این گزارش ارایه تابع زمان سفر- حجم برای معابر شهر بوشهر، بر اساس آمارگیری‌های انجام شده حجم تردد و زمان سفر است. یک تابع زمان سفر-حجم باید دارای خصوصیات زیر باشد:

۱) پیوستگی و مشتق‌پذیری

۲) غیر نزولی و یکنواخت بودن

بیشتر توابع زمان سفر- حجمی که تا به حال در عمل استفاده شده‌اند، از نوع چند جمله‌ای هستند که درجه و ضریب آن‌ها با استفاده از اطلاعات میدانی کالیبره می‌شوند. این نوع توابع، زمان سفر هر کمان را بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنشی جریان ترافیک سایر کمان‌ها که در تقاطعات نمود پیدا می‌کند، برآورد می‌کنند. همچنین برای مدل کردن آن‌ها فرض شده است که زمان سفر هر کمان، تنها تابعی از جریان ترافیک در همان کمان است. این نوع توابع، توابع زمان سفر-حجم مجزا[1] نامیده می‌شود. در این نوع توابع، مسأله تخصیص ترافیک را نمی‌توان به صورت یک مسأله برنامه‌ریزی ریاضی محدب بیان کرد. به همین دلیل، در ادبیات حمل و نقل، استفاده از مدل چند جمله‌ای برای توابع عملکرد کمان‌ها بسیار رایج است. برای توابع زمان سفر- حجم مدل‌های ریاضی متفاوتی پیشنهاد شده است که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

الف) در سال ۱۹۶۲، اسماک برای مطالعات دیترویت، تابع زمان سفر- حجم را بصورت تابع زیر پیشنهاد کرد:

$$t = t_0 \exp(\frac{V}{Q_s})$$

در این تابع:

t= زمان سفر بر واحد مسافت (برحسب دقیقه بر کیلومتر)،

t_0= زمان سفر بر واحد مسافت در شرایط جریان آزاد (برحسب دقیقه بر کیلومتر)،

V= حجم جریان در کمان (همسنگ سواری در ساعت)،

Q_s= ظرفیت کمان.

ب) در سال ۱۹۶۷، اورگاد ساختار تابع پیشنهاد شده توسط اسماک را به تابع زیر تبدیل کرده و ارائه نمود:

$$t = t_0 \alpha^{\beta(\frac{V}{Q_P})}$$

در این تابع:

t= زمان سفر بر واحد مسافت (برحسب دقیقه بر کیلومتر)،

t_0= زمان سفر بر واحد مسافت در شرایط جریان آزاد (برحسب دقیقه بر کیلومتر)،

V= حجم جریان در کمان (همسنگ سواری در ساعت)،

Q_P= ظرفیت عملی کمان.

α, β= پارامترهای مدل

---

[1] Separable

پ) اداره راه فدرال ایالت متحده امریکا در سال ۱۹۶۴ مدلی به شکل زیر ارائه داد که با نام تابع BPR[2] شناخته می‌شود این تابع، متداول‌ترین تابعی است که در اکثر مطالعات انجام شده در نقاط مختلف جهان و ایران استفاده شده است و اکثر توابعی که بعدها نیز ارائه شد، دارای شکل و فرم این تابع هستند. شکل عمومی این تابع بصورت زیر است:

$$t = t_0(1 + \alpha\left(\frac{V}{Q}\right)^{\beta})$$

در این تابع:

t= متوسط زمان سفر برای طی یک کیلومتر از طول راه (بر حسب دقیقه)،

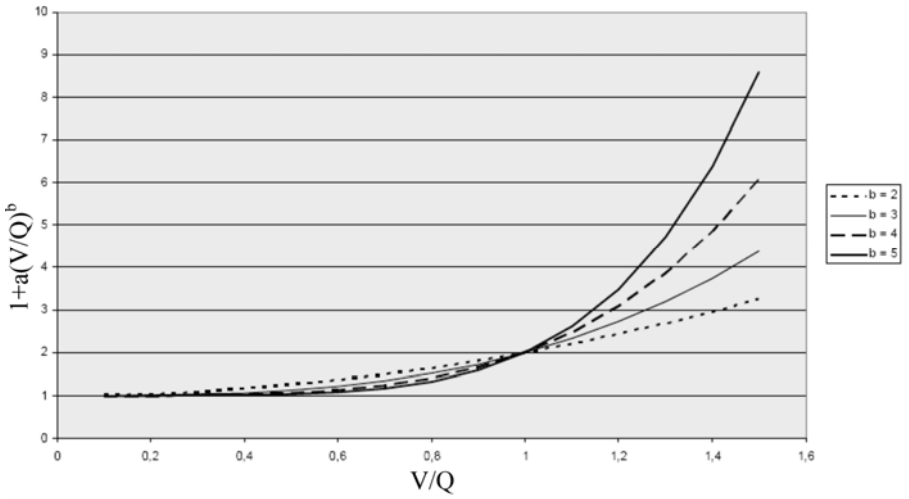
t_0= متوسط زمان سفر آزاد برای طی یک کیلومتر از طول راه (بر حسب دقیقه)،

V= حجم جریان ترافیک (برحسب وسیله نقلیه همسنگ سواری برای یک متر عرض عبور در ساعت)،

Q= ظرفیت عملی (برحسب وسیله نقلیه همسنگ سواری برای یک متر عرض عبور در ساعت)،

α, β= پارامترهای مدل.

معمولاً پارامترهای α و β مستقل از نوع راه فرض می‌شوند. در اکثر مطالعات انجام یافته در نقاط مختلف جهان و ایران، α =۰/۱۵ و β = ۴ در نظر گرفته شده است. جهت برازش مدل BPR و تعیین پارامترهای α و β نیاز به به اطلاعاتی از قبیل متوسط زمان سفر و حجم تردد برداشت شده از معابر شهر بوشهر داشته که این مقادیر از آمارگیری معابر این شهر بدست می‌آیند. شایان ذکر است، متوسط زمان سفر آزاد بسته به درجه عملکردی معبر متفاوت است. در شکل ۳-۱ تابع زمان سفر- حجم از نوع BPR برای $\alpha = 1$ و مقادیر مختلف β نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: تابع زمان سفر-حجم از نوع BPR برای α=1

[2] Bureau of Public Roads

توابع متعدد دیگری نیز پیشنهاد شده‌اند که برخی از آن‌ها عبارتند از:

۱) مدل BPR2: شکل عمومی این مدل بصورت زیر است:

$$t_{cur} = t_0\left(1 + \alpha.sat^{\beta}\right) \qquad sat \le sat_{crit}$$
$$t_{cur} = t_0\left(1 + \alpha.sat^{\beta'}\right) \qquad sat > sat_{crit}$$
$$sat_{crit} = 1$$
$$\alpha \in [0.00; \infty), \beta \& \beta' \in \{0.00 \dots 10.00\}$$

که در این رابطه:

$$sat = \frac{V}{Q}$$

V= حجم جریان ترافیک برحسب وسیله نقلیه همسنگ سواری برای یک متر عرض عبور در ساعت،

Q= ظرفیت عملی بر حسب وسیله نقلیه همسنگ سواری برای یک متر عرض عبور در ساعت،

t_{cur}= زمان سفر کمان در شرایطی که حجم V در آن جریان دارد،

Sat_{crit}= درجه اشباع کمان.

۲) مدل BPR3:

شکل عمومی این مدل بصورت زیر است:

$$t_{cur} = t_0\left(1 + \alpha.sat^{\beta}\right) \qquad sat \le sat_{crit}$$
$$t_{cur} = t_0\left(1 + \alpha.sat^{\beta'}\right) + (V - Q)d \qquad sat > sat_{crit}$$
$$sat_{crit} = 1$$
$$\alpha \in [0.00; \infty), \beta \& \beta' \in \{0.00 \dots 10.00\}, d \in \{0.00 \dots 100.00\}$$

۳) مدل CONUCAL (Spiess):

شکل عمومی این مدل بصورت زیر است:

$$t_{cur} = (2 + \sqrt{\alpha^2(1 - sat)^2 + \beta^2} - \alpha(1 - sat) - \beta)t_0$$
$$\beta = \frac{2\alpha - 1}{2\alpha - 2}$$
$$\alpha \in [1.1; 100)$$

۴) مدل EXPONENTIAN:

شکل عمومی این مدل بصورت زیر است:

$$t_{cur} = t_0 + \frac{e^{\alpha.sat}}{\beta} \qquad sat \le sat_{crit}$$
$$t_{cur} = t_0 + \frac{e^{\alpha.sat}}{\beta} + d(sat - sat_{crit}) \qquad sat > sat_{crit}$$
$$sat_{crit} \in [0.00; 10)$$
$$\alpha \in [0.0001; 100], \beta \in [0.0001; 10000], d \in [0.0001; 10000]$$

۵) مدل INRETS:

شکل عمومی این مدل بصورت زیر است:

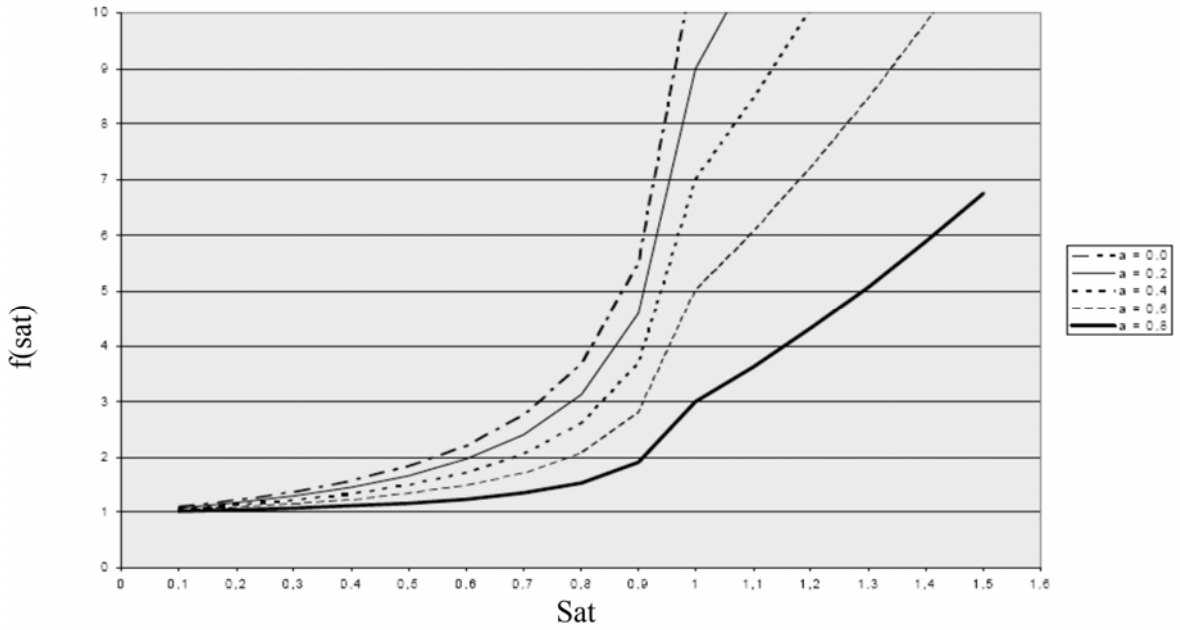
$$t_{crit} = t_0 . \frac{1.1 - \alpha . sat}{1.1 - sat} \qquad sat \le sat_{crit}$$

$$t_{crit} = t_0 . \frac{1.1 - \alpha . sat}{0.1} \times sat^2 \qquad sat > sat_{crit}$$

$$sat_{crit} = 1$$

$$\alpha \in (0.00 \ldots 1.10]$$

تابع زمان سفر- حجم از نوع INERTS به ازای مقادیر مختلف α در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲:تابع زمان سفر-حجم از نوع INERTS

۶) مدل LOHSE:

شکل عمومی این مدل بصورت زیر است:

$$t_{cur} = t_0 \left(1 + \alpha . sat^{\beta}\right) \qquad sat \le sat_{crit}$$

$$t_{cur} = t_0 \left(1 + \alpha . sat_{crit}^{\beta}\right) + \alpha . \beta . t_0 . sat_{crit}^{\beta - 1} (sat - sat_{crit}) \qquad sat > sat_{crit}$$

$$sat_{crit} \in [0.00; 10]$$

$$\alpha \in [0.00; 1000]$$

$$\beta \in [0.00; 10]$$

متداول‌ترین مدلی که در اکثر مطالعات انجام شده در نقاط مختلف جهان از جمله مطالعات کلان شهر نیویورک و در ایران استفاده شده است، مدل BPR است, لذا در این مطالعه نیز از همین مدل استفاده خواهد شد. برازش مدل BPR و به بیان دیگر تعیین پارامترهای مدل برای داده‌های زمان سفر و حجم تردد برداشت شده از معابر شهر بوشهر انجام شده است.

۳-۶-۴-۳- درجه‌بندی عملکردی شبکه معابر اصلی شهر بوشهر

در تابع زمان سفر–حجم (BPR)، زمان سفر آزاد وسایل نقلیه (t_0) با توجه به درجه عملکردی شبکه معابر اصلی شهر بوشهر، متفاوت است. لذا در این بخش از گزارش، به تعریف هریک از دسته مراتب عملکردی پرداخته و سپس درجه‌بندی عملکردی شبکه معابر اصلی شهر بوشهر معرفی می‌گردد.

بطور کلی طبقه‌بندی راه‌ها در دو سطح مختلف انجام می‌پذیرد. در مرحله اول، راه‌ها با توجه به نهادی که وظیفه ساخت، نگهداری و کنترل آنها را بر عهده دارد به دو گروه اصلی شبکه معابر شهری و شبکه راه‌های برون‌شهری تقسیم می‌شود. طبق این تقسیم‌بندی گروه اول در دایره عمل شهرداری‌ها و گروه دوم تحت نظارت وزارت راه و ترابری قرار می‌گیرند. در سطوح پایین‌تر، عناصر شبکه در هر گروه، با توجه به نوع عملکرد و وظیفه‌ای که دارند و همچنین با در نظر گرفتن ملاحظات موجود در طرح هندسی آنها، به صورت یک سیستم ساختاری طبقه‌بندی می‌شوند. در ایران نیز مطابق استانداردهای جهانی، سیستم راه‌های درون و برون شهری از لحاظ سلسله مراتب عملکردی به سه گروه اصلی معابر شریانی، جمع و پخش کننده و دسترسی محلی تقسیم می‌شوند. هر چند که در مورد نحوه طبقه‌بندی و ضوابط پیشنهاد شده، تفاوت‌هایی در بین آیین‌نامه‌های خارجی و داخلی وجود دارد، اما تمامی این ضوابط از یک چارچوب و ساختار اصولی پیروی می‌کنند. بر همین اساس، معروف‌ترین ضوابط مرتبط با رده‌بندی عملکردی معابر مربوط به سازمان آشتو (AASHTO) است. با توجه به این آیین‌نامه، راه‌های درون‌شهری به چهار دسته راه‌های شریانی اصلی، راه‌های شریانی فرعی، جمع و پخش کننده و خیابان‌های محلی تقسیم می‌شود که در ادامه هر یک از این دسته مراتب عملکردی شرح داده شده است:

۱ – راه‌های شریانی اصلی: این دسته از معابر غالباً مراکز فعالیت عمده شهر و مسیرهای پرتردد را به‌هم متصل می‌کند و همچنین طولانی‌ترین سفرها در این راه‌ها صورت می‌گیرد. با وجود اینکه این راه‌ها درصد کمی از کل شبکه را تشکیل می‌دهد، بخش اعظم سفرهای شهری از طریق این راه‌ها انجام می‌شود چراکه میزان حجم وسایل نقلیه و سرعت طرح در این معابر بالاتر از سایر معابر شهر است. بیشتر سفرهایی که به شهر وارد یا از آن خارج می‌شود، از طریق این راه‌ها انجام می‌گیرد. به علاوه سفرهای مهم بین ناحیه‌ای مانند سفرهای بین منطقه تجاری مرکزی و مناطق مسکونی حاشیه‌ای و بین شهرک‌های بزرگ داخل شهر و بین مراکز عمده حومه شهر توسط این راه‌ها صورت می‌گیرد.

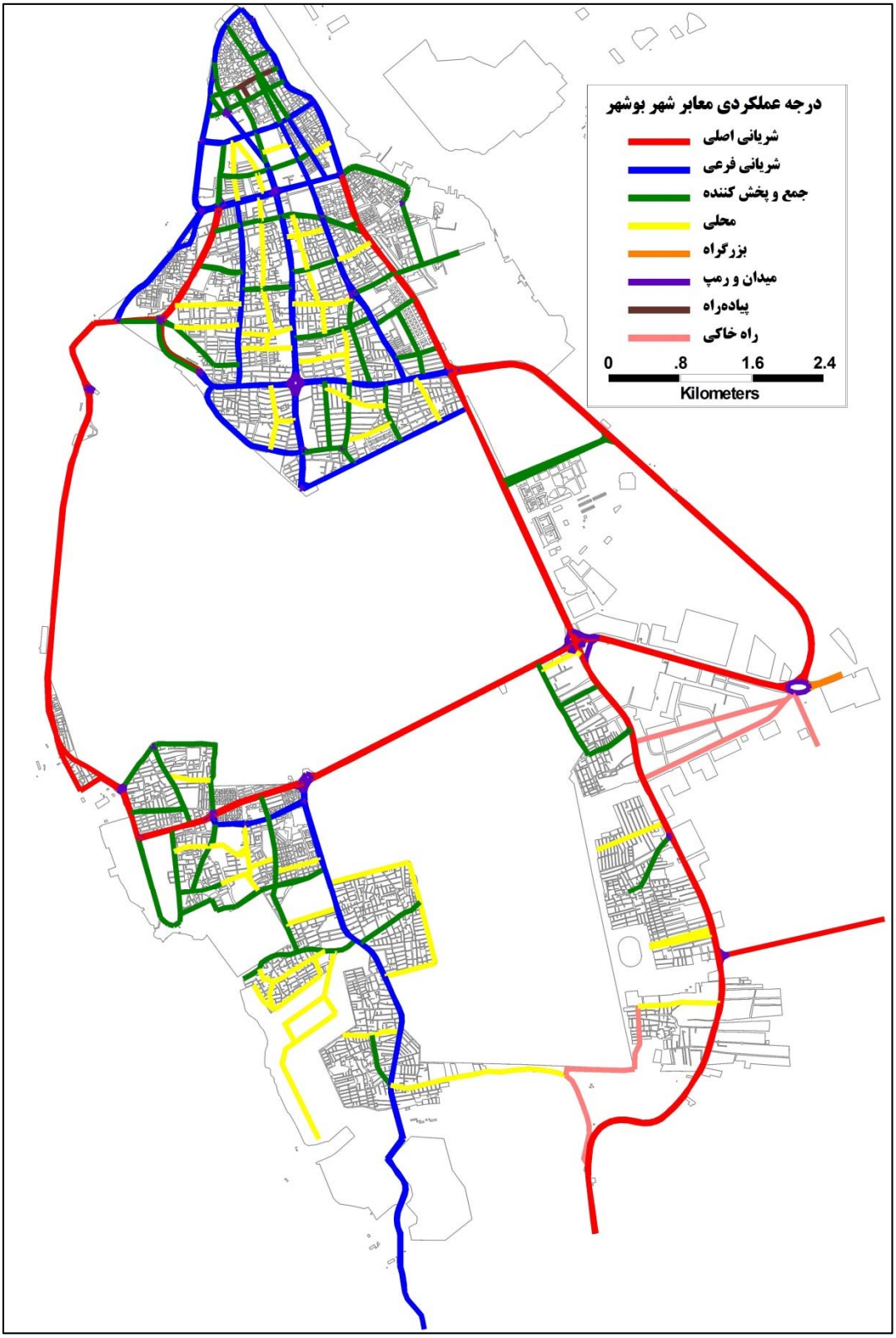
۲ – راه‌های شریانی فرعی: سفرهای با طول متوسط از طریق راه‌های شریانی فرعی انجام می‌گیرد و نسبت به راه‌های شریانی اصلی سفرهای با سطح پایین‌تری از جابجایی را هدایت می‌کنند. این دسته از معابر نسبت به راه‌های شریانی اصلی، امکان سفر بین مناطق جغرافیایی کوچکتر را فراهم می‌کند. راه‌های شریانی فرعی شامل همه معابر شریانی است که در دسته شریانی اصلی قرار نمی‌گیرد و نسبت به شریانی اصلی تأکید بیشتری روی دسترسی دارد و سطح پایین‌تری از جابجایی را ارایه می‌کند. همچنین ممکن است این دسته از راه‌ها

(شریانی فرعی) شامل اتصالات شهری به جمع‌کننده‌های بین شهری نیز شود به شرط این که که این راه‌های ارتباطی بین شهری مربوطه جزو راه‌های شریانی اصلی محسوب نشوند.

۳- خیابان‌های جمع و پخش کننده: آن دسته از معابر شهری که هم دسترسی و هم جریان ترافیک را داخل مناطق مسکونی و نواحی تجاری و صنعتی تامین می‌کنند، در دسته خیابان‌های جمع‌وپخش کننده قرار می‌گیرند. فرق جمع و پخش‌کننده‌ها با شریانی‌ها، نفوذ جمع و پخش‌کننده‌ها در نواحی مسکونی و هدایت سفرها از شریانی‌ها به سمت نواحی مقصد نهایی سفرها است. به طور معکوس، جمع و پخش‌کننده‌ها، جریان ترافیک را از نواحی مسکونی جمع‌آوری کرده و به سیستم‌های شریانی هدایت می‌کند. در منطقه تجاری مرکزی و مناطقی با تراکم مشابه، سیستم جمع و پخش‌کننده‌ها تمام شبکه خیابانی را در بر می‌گیرد. سیستم اتوبوسرانی شهری می‌تواند در این جمع و پخش‌کننده‌ها حرکت کند.

۴- خیابان‌های دسترسی محلی: تمام معابری که در گروه‌های قبل قرار نگرفته‌اند، شامل خیابان‌های محلی می‌شود. نقش اصلی این معابر دسترسی مستقیم به کاربری‌های مجاور و برقراری ارتباط با سیستم‌های بالاتر است. این سیستم پایین‌ترین سطح جابجایی را ارایه می‌کند و معمولاً هیچ مسیر اتوبوسی در آن‌ها دیده نمی‌شود.

نکته مهم این که آزادراه‌ها از نظر عملکردی یک دسته از مراتب عملکردی در معابر را تشکیل نمی‌دهند و جزو دسته شریانی‌های اصلی هستند اما به دلیل مشخصات هندسی یگانه‌ای که دارند می‌توانند به عنوان یک دسته جداگانه معرفی شوند با توجه به نظام‌های طبقه‌بندی معابر ارائه شده در ایران و با در نظر گرفتن معابر موجود در شهر بوشهر و بررسی‌های کارشناسی صورت گرفته، جهت طبقه‌بندی عملکردی معابر از دستورالعمل طبقه‌بندی معابر شهری که توسط وزارت کشور تهیه شده، استفاده شده است. همچنین در شکل ۳-۳، سلسله مراتب عملکردی معابر اصلی شهر بوشهر در سال پایه طبق دستور العمل وزارت کشور نمایش داده شده است.

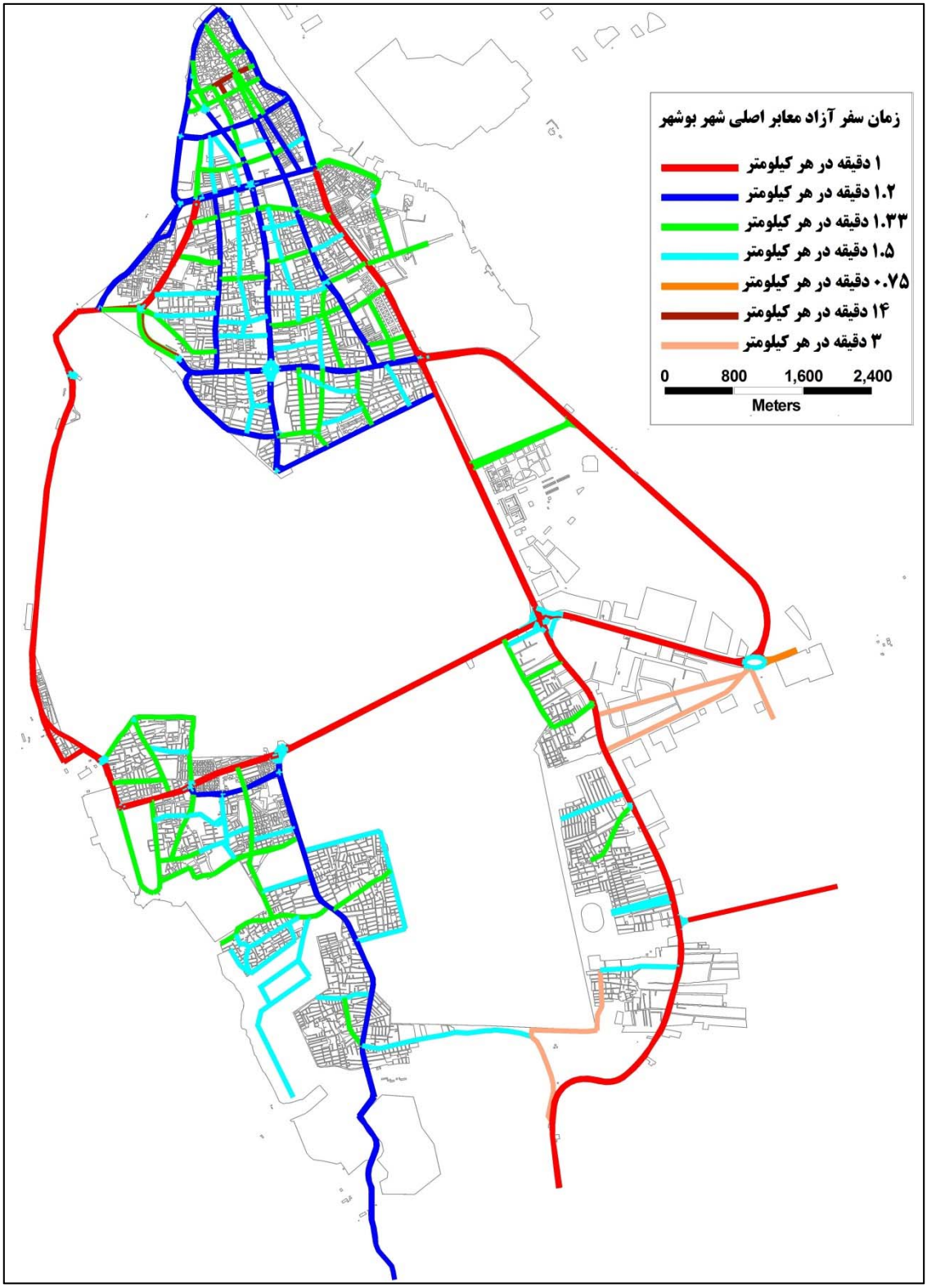


شکل ۳-۳: سلسله مراتب عملکردی شبکه معابر اصلی شهر بوشهر

۳-۶-۴-۴- زمان سفر آزاد وسایل نقلیه در شبکه معابر اصلی شهر بوشهر

در این بخش از گزارش زمان سفر آزاد وسایل نقلیه در شبکه معابر اصلی شهر بوشهر با درجه عملکردی شریانی اصلی، شریانی فرعی، جمع و پخش کننده، محلی (محلی اصلی)، بزرگراهی، میدان و رمپ، پیاده‌راه و راه خاکی مورد بررسی قرار می‌گیرد و کوچه‌ها و معابر محلی در نظر گرفته نمی‌شود. زمان سفر آزاد برای معابر با درجه عملکردی اصلی ۱ دقیقه در هر کیلومتر، فرعی ۱,۲ دقیقه در هر کیلومتر، جمع و پخش کننده ۱,۳۳ دقیقه در هر کیلومتر، محلی و میدان و رمپ ۱,۵ دقیقه در هر کیلومتر، پیاده‌راه ۱۴ دقیقه در هر کیلومتر و راه خاکی ۳ دقیقه در هر کیلومتر در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است این مقادیر بر اساس تجربیات بدست آمده در مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک سایر شهرها بدست آمده است. با توجه به زمان سفر آزد وسایل نقلیه، می‌توان نتیجه گرفت که سرعت آزاد وسایل نقلیه در معابر با درجه عملکردی اصلی ۶۰ کیلومتر بر ساعت، فرعی ۵۰ کیلومتر بر ساعت، جمع و پخش کننده ۴۵ کیلومتر بر ساعت، محلی و میدان و رمپ ۴۰ کیلومتر بر ساعت، پیاده‌راه ۴ کیلومتر بر ساعت و راه خاکی ۲۰ کیلومتر بر ساعت است.

جهت تخمین پارامترهای α و β در تابع زمان سفر-حجم (BPR)، زمان سفر آزاد وسایل نقلیه (t_0) در راه‌های شریانی اصلی، راه‌های شریانی فرعی و جمع و پخش کننده و محلی (محلی اصلی) استفاده شده است. در شکل ۳-۴ زمان سفر آزاد وسایل نقلیه در شبکه معابر اصلی شهر بوشهر نشان داده شده است.



شکل ۳-۴: زمان سفر آزاد وسایل نقلیه در شبکه معابر اصلی شهر بوشهر

۳-۶-۴-۵- آمارگیری برای ساخت توابع زمان سفر–حجم انواع معابر درون شهری

برای ساخت توابع زمان سفر–حجم و در واقع بدست آوردن پارامترهای ثابت و ضرایب موجود آن‌ها متناسب با رفتار سفر در شهر بوشهر، نیاز به برداشت یک سری از اطلاعات سفرهای روزانه افراد است. برداشت اطلاعات لازم تحت عنوان آمارگیری زمان سفر انجام می‌شود. برای برداشت این اطلاعات روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان از آن‌ها استفاده نمود. با توجه به اینکه حجم تردد معابر از نتایج آمارگیری شمارش حجم خودروها در ایستگاه‌های خط برش و کمان منفرد و همچنین نتایج تخصیص ترافیک بدست می‌آید، عمده اطلاعات مورد نیاز برای برداشت، شامل مدت زمان عبور از کمان است. لذا آمارگیری شامل برداشت زمان عبور است. در برداشت زمان سفر عبوری از یک کمان، بطور معمول دو روش کلی وجود دارد. یکی استفاده از ثبت پلاک و دیگری استفاده از خودروی نمونه است.

۳-۶-۴-۵-۱- روش ثبت پلاک

یکی از روش‌های معمول در ساخت توابع زمان سفر، استفاده از روش ثبت پلاک به همراه برداشت حجم خودروها است. در این روش دو نوع اطلاعات ثبت می شود. یکی برداشت حجم عبوری خودروها و دیگری نیست شماره پلاک آن‌ها. اطلاعات مربوط به حجم عبوری از هر کمان توسط آمارگیرانی که در محلی از کمان مورد نظر مستقر شده‌اند، برداشت می‌شود. برداشت و ثبت شماره پلاک خودروها برای برآورد مدت زمان سفر عبوری بوده و ثبت اطلاعات شماره پلاک‌ها به این صورت است که تعدادی آمارگیر در ابتدا و انتهای کمان مورد نظر و یا در ابتدا و انتهای مسیر تردد خودروها در هر تقاطع و در جهت مورد نظر مستقر می‌شوند. در این حالت یک آمارگیر به بیان سه رقم سمت راست شماره پلاک پرداخته و نفر دوم زمان و شماره پلاک قرائت شده را یادداشت می‌کند. در بانک اطلاعاتی که براساس اطلاعات برداشت شده تهیه و تنظیم می‌گردد، شماره پلاک‌های ورودی و خروجی با یکدیگر تطابق داده شده و پس از انجام کنترل‌های لازم، زمان ورود و خروج از یکدیگر کم می گردد و در این حالت زمان عبور از کمان و یا تقاطع مورد نظر بدست خواهد آمد. شایان ذکر است تعیین تعداد آمار گیران در ابتدا و انتهای جهت حرکت عبوری بستگی به حجم عبوری از آن دارد و متناسب با آن تعیین می‌گردد. نکته مهم در ثبت شماره پلاک‌ها، انتخاب خودروها است. در این انتخاب رعایت موارد زیر لازم است:

۱) به‌منظور اطلاع از زمان سفر عبوری از تقاطع بهتر است خودروهای انتخابی از نوع سواری باشند چرا که توابع ساخته شده برای خودروی سواری است. زمان سفر سایر وسایل نقلیه در مدل‌های ساخته شده برای شهر، از طریق ضرایب همسنگ سواری اعمال می‌شود.

۲) با توجه به اینکه خودروهای تاکسی به دلیل سوار و پیاده کردن مسافران ممکن است توقف‌های طولانی داشته باشند، بهتر است این خودروها انتخاب نگردند.

۳) خودروهایی که در بسیاری از مواقع به‌عنوان مسافرکش در سطح شهر تردد دارند، به‌دلیل مشابه بیان شده برای تاکسی‌ها، بهتر است انتخاب نگردند. برای نمونه می‌توان به خودروهای پراید و پیکان اشاره نمود.

۴) برای به دست آوردن زمان عبوری از هر تقاطع، بهتر است شماره پلاک‌های ثبت شده در ورود و خروج از تقاطع تطابق بیشتری با هم داشته باشند. در واقع نمونه‌های برداشت شده زمانی افزایش می‌یابد که شماره پلاک برداشت شده توسط آمارگیران در محل ورود به و خروج از تقاطع یکسان باشد. برای این منظور، می‌توان معین نمود که ثبت پلاک‌ها به چند نوع مدل خاص خودرو و یا به چند رنگ خاص اختصاص یابد و آمارگیران فقط به ثبت شماره پلاک این خودروها بپردازند.

۵) با توجه به مورد شماره ۴، در تقاطع‌هایی که حجم عبوری کم است، آمارگیران می‌توانند به برداشت شماره پلاک کلیه خودروها بپردازند. در تقاطع‌های شلوغ، محدویت پیشنهادی در مورد ۴ می‌تواند حتی به یک مدل و با یک رنگ خاص اختصاص یابد.

۶) تعیین نمودن نوع و یا رنگ وسیله برای ثبت باید به گونه‌ای باشد که حداکثر نمونه برداشت شده را فراهم کند. به‌عنوان مثال در صورتیکه آمارگیران بتوانند در ساعت حدود ۳۰۰ وسیله را ثبت پلاک کنند، نوع وسیله برای ثبت پلاک باید طوری باشد که حجم تردد آن نوع وسیله در ساعت حداکثر برابر با ۳۰۰ وسیله در ساعت باشد.

۳-۶-۴-۵-۲- روش استفاده از خودروی نمونه

در این روش یک مسیر بسته (به صورت حلقه) در شبکه خیابانی شهر تعریف می‌شود. سپس تعدادی آمارگیر با وسیله نقلیه در طول این مسیر حرکت می‌کنند و زمان سفر حرکت در طول کمان‌ها و زمان عبور از تقاطع‌های موجود را ثبت می کنند. نحوه ثبت اطلاعات به این گونه است که آمارگیر هنگام حرکت در طول مسیر، زمان ورود به و خروج از تقاطع را یادداشت می‌کند. از این طریق زمان عبور از هر تقاطع به‌طور مستقیم بدست می‌آید. زمان عبور از هر کمان نیز از اختلاف زمان خروج از تقاطع قبلی و زمان ورود به تقاطع بعدی هر کمان، بدست می‌آید. در این روش رعایت نکات زیر لازم و ضروری است:

۱) سرعت حرکت وسیله نقلیه‌ای که آمارگیر در داخل آن است و زمان ها را ثبت می کند، باید برابر با متوسط سرعت سایر وسایل نقلیه باشد و این خودرو نباید آهسته‌تر یا سریع‌تر از سایر خودروها حرکت کند. برای این منظور آمارگیر باید سرعت خودرو را طوری تنظیم نماید که هیچ وسیله نقلیه‌ای از آن سبقت نگیرد و خود نیز از هیچ وسیله‌ای سبقت نگیرد. اما در صورتی که وسیله‌ای از آن سبقت گرفت، خود از یک وسیله سبقت بگیرد و بالعکس (اگر از وسیله ای سبقت گرفت، اجازه سبقت گرفتن یک وسیله را از خود بدهد). بنابراین به این صورت می‌تواند با سرعت متوسط سایر وسایل نقلیه حرکت کند.

۲) زمان ورود به تقاطع برای تقاطعات چراغ‌دار، در صورتیکه چراغ قرمز باشد، زمانی است که وسیله به پشت صف تشکیل شده در پشت تقاطع می‌رسد. در صورتیکه چراغ سبز باشد و خودروها هنوز شروع به حرکت نکرده‌اند و یا حرکت آن‌ها به کندی صورت می‌گیرد نیز به‌همین صورت است (زمانی است که وسیله به پشت صف می رسد). اما زمانیکه چراغ سبز است و حرکت خودروها به روانی انجام می‌شود، زمانی است که خودروی نمونه در فاصله ۲۰- ۱۵ متری از تقاطع قرار دارد.

۳) زمان ورود به تقاطع برای تقاطعات چراغ چشمک‌زن، در صورتیکه حرکت خودروها روان بوده و تداخلی در روند عبوری آن‌ها وجود نداشته باشد، زمانی است که خودروی نمونه در فاصله ۲۰- ۱۵ متری از تقاطع است. در صورتیکه در تقاطع مورد نظر تراکم و صف ایجاد شده باشد و عبور خودروها به کندی صورت می‌گیرد، زمانی است که خودروی نمونه به پشت صف می‌رسد.

۴) زمان خروج از تقاطع (چراغ‌دار و بدون چراغ)، در فاصله ۱۵-۲۰ متری بعد از تقاطع ثبت می‌گردد. در صورتیکه کندی جریان ترافیک پس از تقاطع نیز ناشی از طرح هندسی و یا مسائل وابسته به تقاطع باشد، تاخیر وارده برای تقاطع (و نه کمان) در نظر گرفته می‌شود.

۵) مسیر انتخابی باید به گونه‌ای باشد که انواع کمان‌های موجود در سطح شهر را پوشش دهد. این روش برای ثبت اطلاعات مربوط به زمان سفر عبوری از کمان ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نکات برتری روش خودروی نمونه نسبت به ثبت پلاک در مورد مشخص برداشت مورد نظر در این مطالعات شامل موارد زیر است:

- در روش حرکت در مسیر، برای هر رده عملکردی بیش از یک کمان برداشت اطلاعات می شود. این امر باعث افزایش تعداد نمونه‌ها و در نتیجه ارائه مدل واقعی‌تر برای تمام کمان‌های یک رده عملکرد خاص می‌شود.
- با توجه به نحوه برداشت زمان سفر عبوری از هر کمان در روش حرکت در مسیر، مشاهده می‌شود که در این روش، زمان عبوری نسبت به روش ثبت پلاک بهتر و واقعی‌تر بوده چرا که در روش ثبت پلاک، زمان عبور یک‌سری از خودروها به طور تصادفی انتخاب می‌گردد. در واقع می‌توان گفت در روش حرکت در مسیر، خطای ثبت زمان سفر کمتر از روش اول است.
- تعداد نقاطی که از طریق آن‌ها توابع زمان سفر ساخته می‌شوند، در روش حرکت در مسیر بیشتر از نقاط بدست آمده در روش ثبت پلاک است.
- تعداد نقاطی که از طریق آن‌ها توابع زمان سفر ساخته می‌شوند، در روش حرکت در مسیر، پراکندگی بیشتری نسبت به روش ثبت پلاک دارد که با توجه به شکل توابع زمان سفر، پوشش بهتری را برای ساخت این توابع ارایه می‌دهد.

بنابر این مجموع عوامل فوق باعث گردید تا در مطالعات جامع حمل و نقل شهر بوشهر از روش خودروی نمونه و حرکت در مسیر برای برداشت اطلاعات زمان سفر کمان‌ها استفاده گردد.

۳-۶-۴-۶- نحوه انجام آمارگیری زمان سفر در شهر بوشهر

برای انجام آمارگیری زمان سفر–حجم شهر بوشهر، می‌بایست مسیرهای مختلفی برای برداشت زمان سفر کمان‌ها تعیین شود. برای این‌منظور می‌بایست به نکات زیر توجه نمود:

۱) مسیرهای آمارگیری زمان سفر باید به گونه‌ای تعیین شود که از انواع مختلف رده‌های عملکردی در شبکه معابر، برداشت زمان سفر وجود داشته باشد. همچنین پراکندگی آنها در سطح شهر و حرکت در جهات مختلف از دیگر نکات تعیین مسیر است.

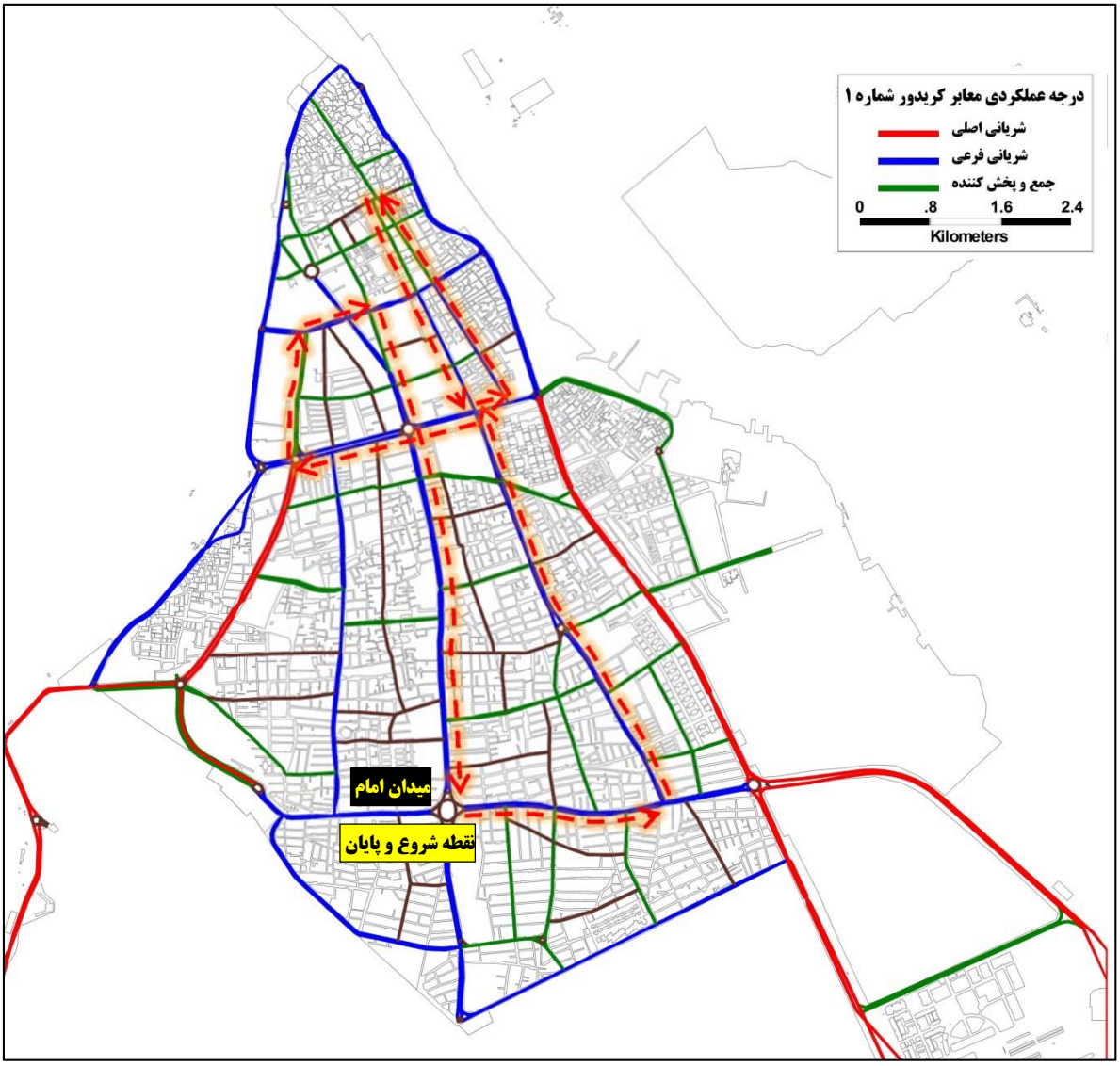
۲) مسیرها به گونه‌ای تعیین شود که از انواع تقاطعات چراغ‌دار و بدون چراغ و میدان در مسیرها وجود داشته باشد

۳) به‌منظور استفاده از آمارگیری‌های شمارش حجم و سرنشین در تعیین توابع زمان سفر–حجم، مسیرهای تعیین شده از ایستگاه‌های آمارگیری در جهت شمارش حجم عبور نماید.

۴) با توجه به اینکه آمارگیری زمان سفر–حجم در سه دوره اوج صبح، ظهر و عصر انجام می‌شود مسیرها به گونه‌ای تعیین گردد که در زمان تقریبی یک ساعت، حداقل دو دور حرکت خودرو نمونه در هر مسیر انجام شود تا نمونه کافی در هر دوره از کمان مورد نظر مهیا شود. در شهر بوشهر دو خودرو نمونه برای هر مسیر در نظر گرفته شده است.

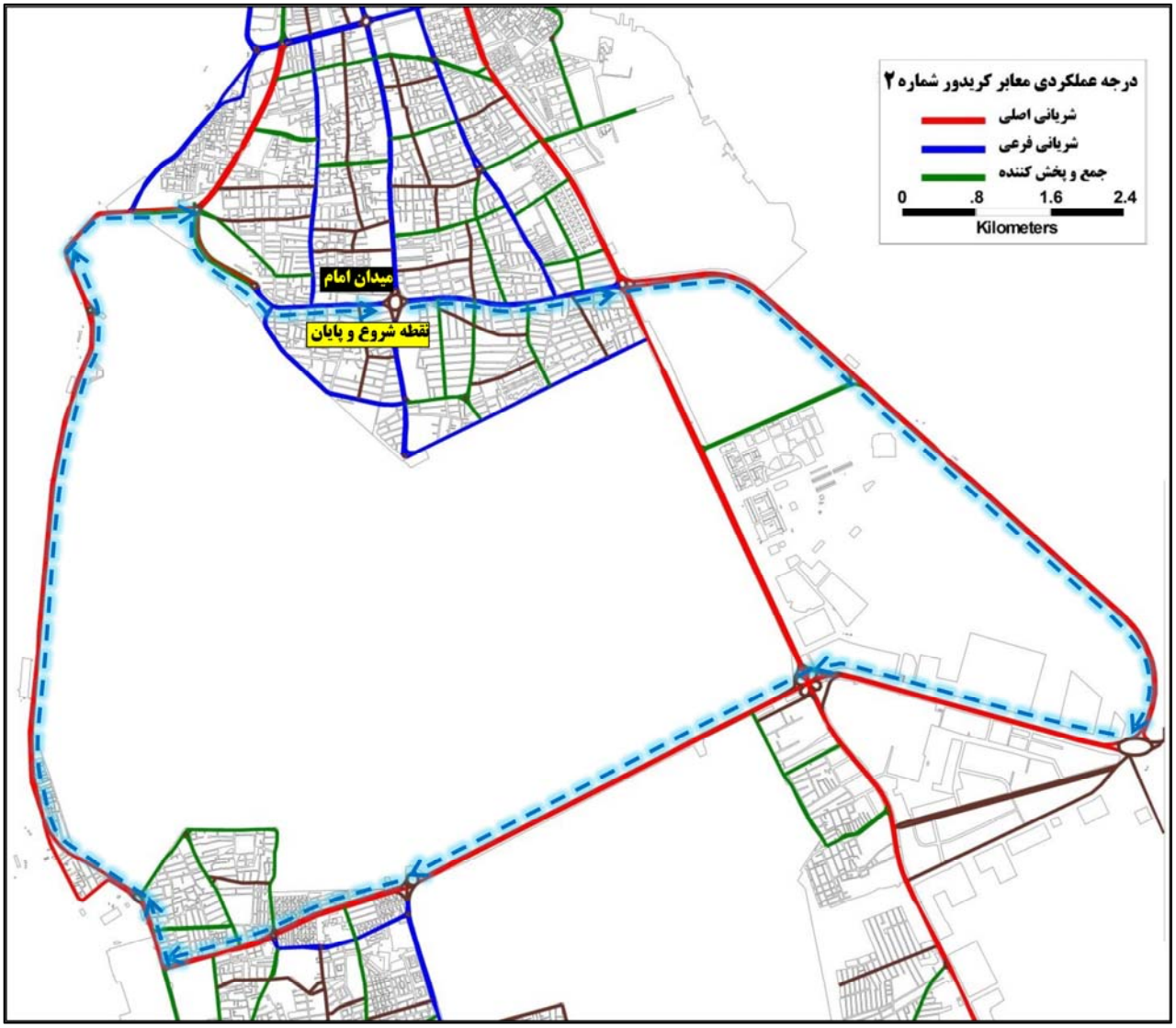
با توجه به بازدیدهای انجام شده و همچنین نظر کارشناسان مجرب در این زمینه، در شهر بوشهر ۲ کریدور نمایش داده شده شکل ۳-۵ و شکل ۳-۶ برای انجام آمارگیری زمان سفر انتخاب شدند. همانطور که در اشکال مشاهده می‌شود هر مسیر به صورت زنجیره‌ای از کمان و تقاطعات بوده و یک حلقه بسته را تشکیل می‌دهند.

در کریدور شماره ۱ که در شکل ۳-۵ با رنگ قرمز نشان داده شده است، خودروهای نمونه حرکت خود را از میدان امام آغاز نموده و از بلوار مطهری، بلوار بهشت صادق، بلوار فضیلت، بلوار رئیسعلی دلواری، خیابان حافظ، خیابان نادر به میدان انقلاب و از آنجا به خیابان نواب صفوی، بلوار رئیسعلی دلواری، بلوار ورزش، بلوار ولیعصر و بلوار امام خمینی عبور کرده و در نهایت به میدان امام خواهد رسید. این مسیر معابر با درجه عملکردی شریانی فرعی و جمع و پخش کننده به همراه تقاطعات چراغ‌دار و بدون چراغ را پوشش می‌دهد.



شکل ۳-۵: مسیر تعیین شده برای برداشت اطلاعات زمان سفر (کریدور شماره ۱)

در کریدور شماره ۲ که در شکل ۳-۶ با رنگ آبی نشان داده شده است، خودروهای نمونه حرکت خود را از میدان امام آغاز نموده و از بلوار مطهری، بلوار امام علی، بلوار سپهبد قره‌نی، بلوار شهدای نیروی دریایی، بلوار شهید ماهینی، بلوار خلیج فارس، خیابان شهید فکوری، خیابان فرودگاه و بلوار شهید بهشتی عبور کرده و در نهایت به میدان امام خواهد رسید. این مسیر معابر با درجه عملکردی شریانی اصلی و فرعی را به همراه تقاطعات چراغ‌دار و بدون چراغ را پوشش می‌دهد.



شکل ۳-۶: مسیر تعیین شده برای برداشت اطلاعات زمان سفر (کریدور شماره ۲)

۳-۶-۴-۷- توابع زمان سفر–حجم برای شبکه معابر اصلی شهر بوشهر

همانطور که گفته شد، به‌منظور ساخت تابع زمان سفر–حجم معابر ابتدا باید یک دسته‌بندی از کلیه شبکه معابر مورد استفاده در مرحله تخصیص ترافیک انجام پذیرد و تابع زمان سفر- حجم برای هر یک از انواع مختلف شبکه معابر ارائه شود. تعاریف و نحوه دسته‌بندی معابر بر اساس درجه عملکردیشان در بخش‌های قبل بیان، و از آن برای تعیین زمان سفر آزاد وسایل نقلیه در هریک از انواع درجه عملکردی معابر استفاده شد. لازم به ذکر است، از آنجایی که رده عملکردی بزرگراهی در شبکه معابر اصلی شهر بوشهر در سال پایه وجود ندارد، جهت ساخت توابع زمان سفر حجم، معابر شریانی اصلی، شریانی فرعی و جمع و پخش کننده در نظر گرفته شدند. در نهایت توابع زمان سفر–حجم به روش رگرسیون غیر خطی مدل شده است. همانطور که اشاره شد مدل BPR به صورت رابطه

زیر تعریف می‌شود:

$$t = t_0(1 + \alpha\left(\frac{V}{Q}\right)^{\beta})$$

بمنظور ساده‌سازی تابع BPR، می‌توان تابع زمان سفر–حجم را بشکل تابع زیر تبدیل نمود:

$$\frac{t}{t_0} - 1 = \alpha\left(\frac{V}{Q}\right)^{\beta}$$

که در این تابع مقادیر α و β ضرایب مدل بوده و $\frac{t}{t_0} - 1$ و $\left(\frac{V}{Q}\right)$ به ترتیب متغیرهای وابسته و مستقل مدل رگرسیون غیرخطی هستند. لازم به ذکر است مقادیر t و V نیز داده‌های مشاهده شده از آماربرداری، t_0 زمان سفر آزاد در هریک از معابر شریانی اصلی، شریانی فرعی و جمع و پخش کننده و Q ظرفیت معابر است.

مدل سازی به کمک نرم افزار SPSS و MINITAB انجام شده است. معیار ارزیابی مدل‌ها، همبستگی متغیرهای مستقل و وابسته و شاخص خوبی برازش[3] است. همبستگی متغیرها به منظور بررسی رابطه داداهای ورودی بررسی می‌شود. همبستگی متغیرهای مدل به روش پیرسون[4] و به کمک نرم افزار SPSS تعیین می‌شود. در جدول ۳-۱، همبستگی متغیرها برای مدل‌های ساخته شده به تفکیک سلسله مراتب عملکردی معابر شهر بوشهر آورده شده است.

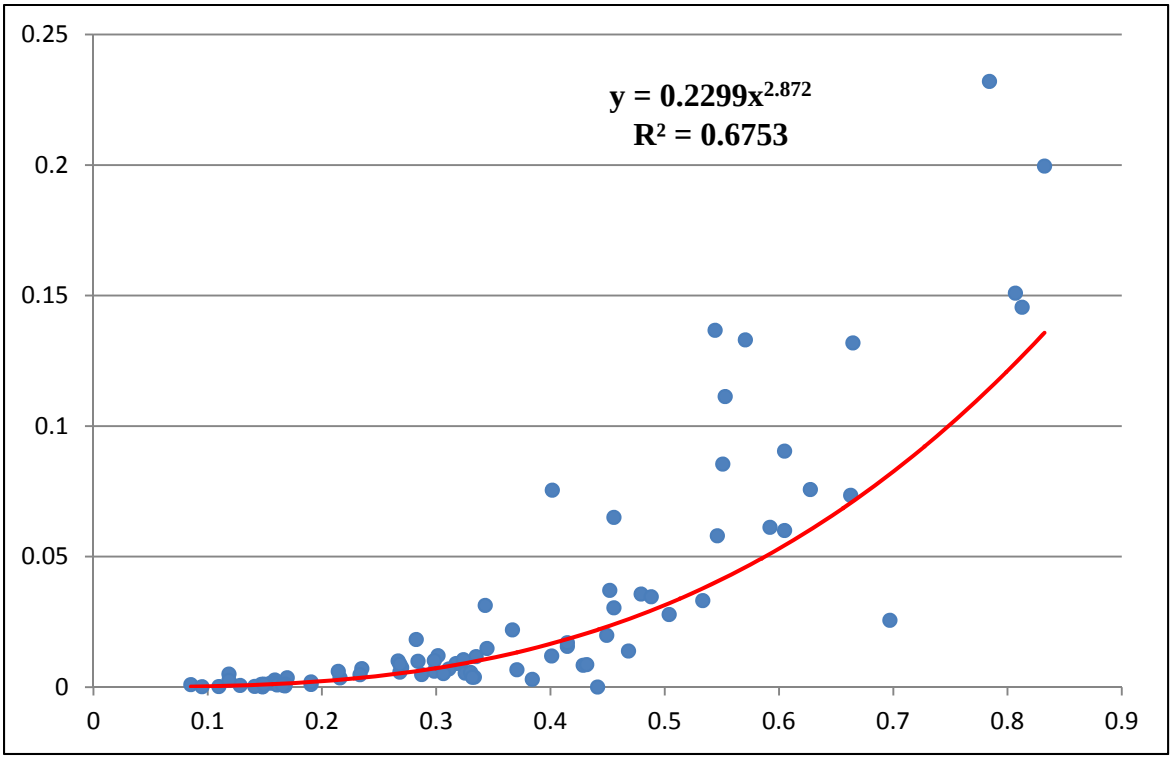
جدول ۳-۱: همبستگی متغیرهای مستقل و وابسته در توابع زمان سفر–حجم

درجه عملکردی معابر	تعداد نمونه	همبستگی پیرسون متغیرها
شریانی اصلی	۷۸	۰,۸۱۵
شریانی فرعی	۱۹۸	۰,۷۱۴
جمع و پخش کننده	۳۲	۰,۶۴۶

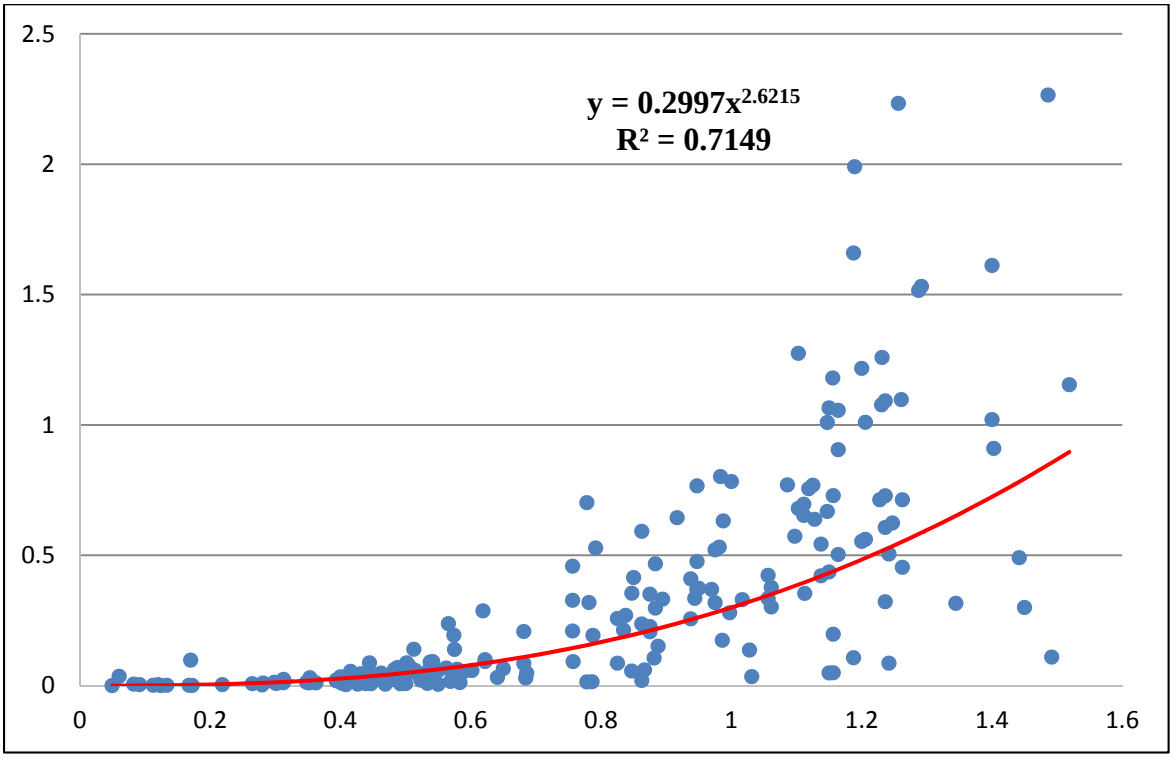
هر چقدر عدد همبستگی به یک نزدیکتر باشد، متغیرها بیشتر وابسته به هم هستند. برای متغیرهای مورد استفاده در مدل‌های این مطالعه، همبستگی متغیرها تا سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. مدل رگرسیون به کمک نرم افزار SPSS ساخته شده است. در شکل ۳-۷ تا شکل ۳-۹، توابع زمان سفر–حجم برازش شده برای هریک از معابر شریانی اصلی، شریانی فرعی و جمع و پخش کننده نشان داده شده است.

[3] Goodness of Fit

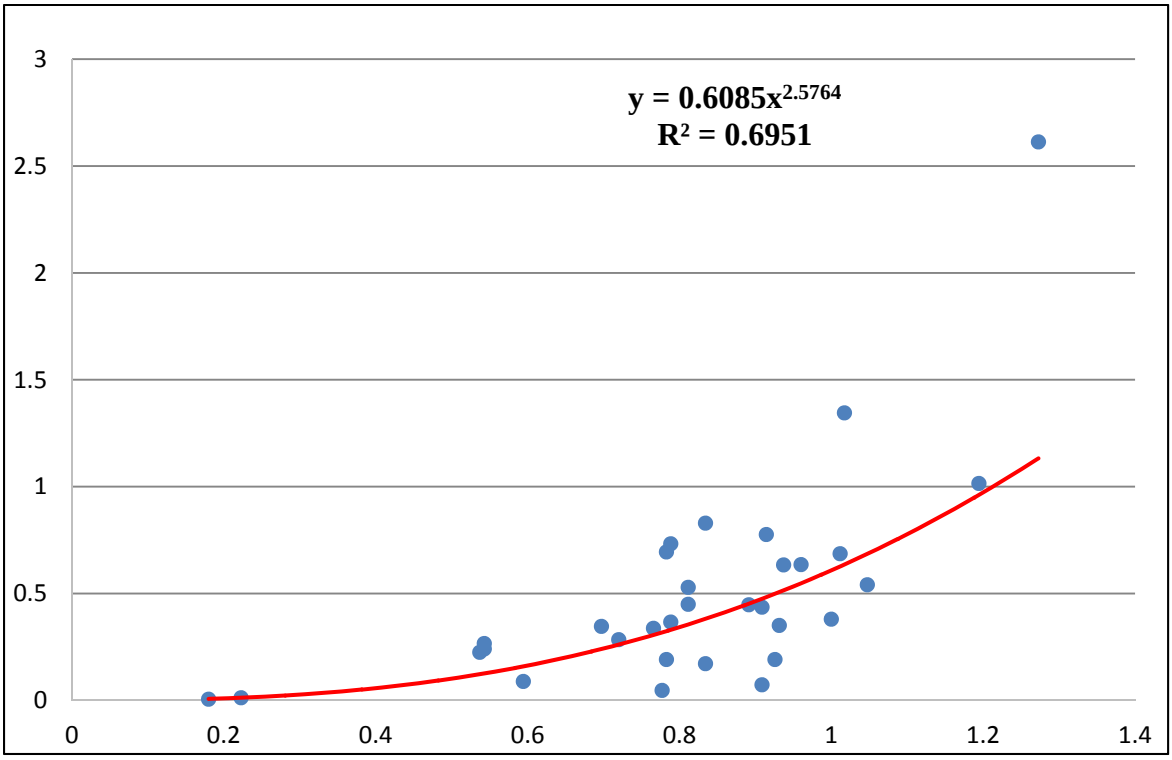
[4] Pearson



شکل ۳-۷: تابع زمان سفر حجم برای معابر با درجه عملکردی شریانی اصلی



شکل ۳-۸: تابع زمان سفر حجم برای معابر با درجه عملکردی شریانی فرعی



شکل ۳-۹: تابع زمان سفر حجم برای معابر با درجه عملکردی جمع و پخش کننده

شاخص خوبی برازش برای مدل‌های زمان سفرحجم در جدول ۳-۲ نشان داده شده است. هر چقدر مقدار شاخص خوبی برازش به یک نزدیک‌تر باشد، مقادیر برآورد شده و مشاهده شده به هم نزدیک‌تر هستند. همانطور که مشخص است شاخص خوبی برازش برای کلیه مدل‌های برازش شده، مقداری بزرگر از ۰,۵ است که برای این مطالعه قابل قبول است.

جدول ۳-۲: شخاص خوبی برازش برای توابع زمان سفر-حجم برآورد شده

درجه عملکردی معابر	تعداد نمونه	شاخص خوبی برازش
شریانی اصلی	۷۸	۰,۶۷۳
شریانی فرعی	۱۹۸	۰,۷۱۴
جمع و پخش کننده	۳۲	۰,۶۹۵

اما فرض مدل‌سازی مدل‌های رگرسیون، نرمال بودن تابع توزیع داده‌های ورودی است. به منظور بررسی این فرض تابع توزیع نرمال بر روی داده‌های ورودی برازش شده و شاخص خوبی برازش به‌عنوان معیار ارزیابی توزیع داده‌ها با توزیع نرمال تحلیل می‌شود. بهترین شاخص خوبی برازش بمنظور تعیین توابع توزیع، شاخص اندرسون-

دارلینگ[۱] یا A-D است که در این مطالعه و بکمک نرم افزار MINITAB محاسبه و ارزیابی می‌شود درجدول ۳-۳ مقادیر A-D توابع توزیع داده‌های ورودی نسبت به تابع توزیع نرمال آورده شده است.

جدول ۳-۳: مقادیر اندرسون-دارلینگ توابع توزیع داده‌های ورودی نسبت به تابع توزیع نرمال

درجه عملکردی معابر	داده‌های ورودی	تعداد نمونه	شاخص A-D	معنی داری مدل (شاخص P)
شریانی اصلی	t	۷۸	۹,۶۷۶	< ۰,۰۰۵
	V	۷۸	۱,۹۸۲	< ۰,۰۰۵
شریانی فرعی	t	۱۹۸	۱۴,۳۷۰	< ۰,۰۰۵
	V	۱۹۸	۲,۰۵۰	< ۰,۰۰۵
جمع و پخش کننده	t	۳۲	۱,۹۲۱	< ۰,۰۰۵
	V	۳۲	۱,۸۵۴	< ۰,۰۰۵

همانطور که مشخص است کلیه داده‌ها با سطح اطمینان ۹۰٪، دارای توزیع نرمال هستند که منطبق بر فرض مدل‌سازی رگرسیون است. توابع زمان سفر–حجم برای هریک از معابر شریانی اصلی، شریانی فرعی و جمع و پخش کننده در جدول ۳-۴ نشان داده شده است.

جدول ۳-۴: توابع زمان سفر–حجم معابر اصلی شهر بوشهر

درجه عملکردی معابر	توابع زمان سفر حجم
شریانی اصلی	$t = t_0(1 + 0.22\left(\frac{V}{Q}\right)^{2.87})$
شریانی فرعی	$t = t_0(1 + 0.29\left(\frac{V}{Q}\right)^{2.62})$
جمع و پخش کننده	$t = t_0(1 + 0.6\left(\frac{V}{Q}\right)^{2.57})$

[۱] در روش A-D بیشترین مقدار اختلاف تابع توزیع مورد بررسی و تابع توزیع داده‌ها اندازه‌گیری می‌شود. این اختلاف در بخش میانی تابع بیشتر است و در دو سر انتهایی تابع ناچیز است. این مقادیر بر اساس محل قرار گیری اختلاف نسبت به توابع وزن‌دهی شده و در نهایت عدد A-D تعیین می‌شود.