



شهرداری شیراز

# بازبینی و بهنگام سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان شهر شیراز

۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر)

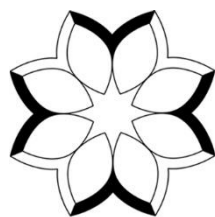
مرداد ماه ۱۴۰۱

شهرداری شیراز  
دانشگاه علم و صنعت ایران



دانشگاه علم و صنعت ایران

به نام خداوند بخشنده مهربان



شهرداری شیراز

## بازبینی و بهنگام سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان شهر شیراز

۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر)



دانشگاه علم و صنعت ایران

مرداد ماه ۱۴۰۱

## مشخصات این گزارش:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                    |                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| دانشگاه علم و صنعت ایران                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                    |                                  |
| عنوان پروژه: بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                    |                                  |
| عنوان گزارش: ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                    |                                  |
| شماره گزارش: ۰۴                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | شماره ویرایش: ۰۱                   | تاریخ تهیه گزارش: مرداد ماه ۱۴۰۱ |
| <b>چکیده گزارش:</b><br>گزارش پیش‌رو به ساخت و پرداخت مدل‌های تفکیک شیوه سفر برای اهداف سفر مختلف در شهر شیراز می‌پردازد. در این گزارش، پس از بیان مبانی نظری مدل‌های تفکیک سفر، ویژگی‌های مدل‌های تفکیک پیشین در داخل و خارج از کشور مرور می‌شوند. در ادامه، نتایج توسعه مدل‌های تفکیک وسیله شهر شیراز به روش انتخاب گسسته بر اساس تئوری بیشینه مطلوبیت و با استفاده از نرم افزار Nlogit ارائه می‌شود. |                                    |                                  |
| <b>کارفرما:</b> شهرداری شیراز- معاونت حمل‌ونقل و ترافیک                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                    |                                  |
| مهندس هادی شه‌دوست شیرازی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | معاون حمل و نقل و ترافیک           |                                  |
| مهندس محسن حدیقه جوانی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | مدیر کل مطالعات حمل و نقل و ترافیک |                                  |
| مهندس محمدحسن جعفری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | رئیس گروه مطالعات حمل و نقل        |                                  |
| مهندس محمدرضا رضایی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | کارشناس دفتر مطالعات حمل و نقل     |                                  |
| مهندس محمدعلی ابراهیمی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | کارشناس دفتر مطالعات حمل و نقل     |                                  |
| <b>تهیه کنندگان:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |                                  |
| دکتر افشین شریعت                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | مجری طرح و مدیر پروژه              |                                  |
| دکتر علی نادران                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | مشاور عالی                         |                                  |
| مهندس محمدرضا رافعی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | مدیر فنی پروژه                     |                                  |
| مهندس فرزانه هداوند                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | کارشناس پروژه                      |                                  |
| <b>نشانی مشاور:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                    |                                  |
| تهران- بزرگراه رسالت- خیابان فرجام- دانشگاه علم‌و‌صنعت ایران- تلفن: ۰۲۱-۷۷۸۰۳۱۰۰                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                    |                                  |
| <b>نشانی کارفرما:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                    |                                  |
| فارس- شیراز- میدان شهدا- شهرداری شیراز- تلفن: ۰۷۱-۳۲۲۳۶۲۴                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                    |                                  |

## فهرست مطالب

|         |                                                                                       |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱.....  | تفکیک سفر (بند ۱-۳-۵).....                                                            |
| ۱.....  | ۱- جایگاه مدل تفکیک سفر در برنامه‌ریزی حمل و نقل.....                                 |
| ۳.....  | ۲- بررسی انواع مدل‌های تفکیک سفر.....                                                 |
| ۳.....  | ۱-۲- مدل تفکیک سفر بر اساس مبدأ سفر.....                                              |
| ۴.....  | ۲-۲- مدل‌های تبادل سفر تفکیک وسیله.....                                               |
| ۵.....  | ۲-۳- مدل‌های انتخاب گسسته و فرض‌های آن‌ها.....                                        |
| ۶.....  | ۲-۳-۱- نظریه مطلوبیت تصادفی.....                                                      |
| ۷.....  | ۲-۳-۲- مدل لوجیت دوگانه.....                                                          |
| ۸.....  | ۲-۳-۳- مدل لوجیت چندگانه (MNL).....                                                   |
| ۹.....  | ۲-۳-۴- استقلال گزینه‌های نامرتب.....                                                  |
| ۱۰..... | ۲-۳-۵- مدل لوجیت آشیانه‌ای.....                                                       |
| ۱۴..... | ۳- برآورد مدل لوجیت.....                                                              |
| ۱۴..... | ۳-۱- روش تخمین تمایل بیشینه MLE.....                                                  |
| ۱۶..... | ۳-۲- ارزیابی مدل‌های تفکیک سفر.....                                                   |
| ۱۶..... | ۳-۲-۱- آزمون‌های غیررسمی.....                                                         |
| ۱۶..... | ۳-۲-۲- علامت متغیرها.....                                                             |
| ۱۶..... | ۳-۲-۳- نسبت بین زوج متغیرها.....                                                      |
| ۱۷..... | ۳-۲-۴- آزمون آماره t.....                                                             |
| ۱۷..... | ۳-۲-۵- آزمون‌های نکویی برازش.....                                                     |
| ۱۹..... | ۳-۲-۶- آزمون نسبت درست‌نمایی.....                                                     |
| ۲۰..... | ۳-۲-۷- کشسانی و اثر حاشیه‌ای متغیرها.....                                             |
| ۲۱..... | ۴- مروری بر مطالعات خارجی.....                                                        |
| ۲۱..... | ۴-۱- اهداف سفر مورد استفاده در مدل‌ها.....                                            |
| ۲۱..... | ۴-۲- ساختار مورد استفاده در مدل‌ها.....                                               |
| ۲۲..... | ۴-۳- وسایل سفر مورد بررسی در مدل‌ها.....                                              |
| ۲۴..... | ۴-۴- دوره زمانی مدل‌سازی.....                                                         |
| ۲۵..... | ۵- بررسی مدل‌های تفکیک سفر در شهرهای کشور.....                                        |
| ۲۵..... | ۵-۱- بررسی ساختار مدل‌های تفکیک سفر شهرهای تهران، مشهد، اصفهان، شیراز و کرمانشاه..... |

|         |                                                                 |
|---------|-----------------------------------------------------------------|
| ۲۵..... | ۱-۱-۵- نوع اطلاعات مورد استفاده.....                            |
| ۲۶..... | ۲-۱-۵- متغیرهای مورد استفاده.....                               |
| ۲۹..... | ۳-۱-۵- روش ارزیابی مدل‌ها.....                                  |
| ۳۰..... | ۲-۵- مدل‌های تفکیک سفر در شهرهای اراک، ارومیه و مشهد.....       |
| ۳۰..... | ۱-۲-۵- مدل‌های تفکیک سفر شهر ارومیه.....                        |
| ۳۱..... | ۲-۲-۵- مدل‌های تفکیک سفر شهر اراک.....                          |
| ۳۳..... | ۳-۲-۵- مدل‌های تفکیک سفر شهر مشهد.....                          |
| ۳۵..... | ۶- جمع‌آوری اطلاعات و متغیرهای مدل تفکیک شهر شیراز.....         |
| ۳۵..... | ۱-۶- انتخاب وسایل سفر غالب به تفکیک هدف سفر برای شهر شیراز..... |
| ۳۸..... | ۲-۶- مشاهدات مدل‌های تفکیک سفر شیراز.....                       |
| ۳۹..... | ۳-۶- متغیرهای به‌کار رفته در مدل‌های تفکیک وسیله شهر شیراز..... |
| ۴۳..... | ۱-۳-۶- برآورد متغیرهای هزینه.....                               |
| ۴۳..... | ۱-۱-۳-۶- برآورد هزینه خودروی شخصی.....                          |
| ۴۵..... | ۲-۱-۳-۶- برآورد هزینه تاکسی.....                                |
| ۴۶..... | ۳-۱-۳-۶- برآورد هزینه همگانی (اتوبوس واحد و یا قطار شهری).....  |
| ۴۷..... | ۷- پرداخت مدل‌های تفکیک سفر برای شهر شیراز.....                 |
| ۴۷..... | ۱-۷- مدل تفکیک سفرهای خانه‌مبنا با هدف شغلی.....                |
| ۴۹..... | ۲-۷- مدل تفکیک سفرهای خانه‌مبنا با هدف تحصیلی.....              |
| ۵۱..... | ۳-۷- مدل تفکیک سفرهای خانه‌مبنا با هدف خرید.....                |
| ۵۲..... | ۴-۷- مدل تفکیک سفرهای خانه‌مبنا با هدف تفریح.....               |
| ۵۴..... | ۵-۷- مدل تفکیک سفرهای خانه‌مبنا با هدف کار شخصی.....            |
| ۵۶..... | ۶-۷- مدل تفکیک سفرهای غیرخانه‌مبنا.....                         |
| ۵۷..... | ۷-۷- خلاصه نتایج مدل‌ها.....                                    |
| ۶۶..... | ۸- جمع‌بندی.....                                                |
| ۶۷..... | ۹- منابع و مراجع.....                                           |
| ۶۸..... | پیوست الف.....                                                  |

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- مراحل ساخت و پرداخت مدل‌های حمل‌ونقل..... ۲
- شکل ۱-۲- منحنی تفکیک وسیله..... ۴
- شکل ۱-۴- درصد شهرهای دارای مدل تفکیک سفر در کشور آمریکا..... ۲۱
- شکل ۲-۴- درصد استفاده از مدل‌های لجستیک آشیانه‌ای در شهرهای آمریکا..... ۲۲
- شکل ۳-۴- سهم استفاده از «نحوه دسترسی» در تفکیک سفر شهرهای آمریکا..... ۲۴
- شکل ۱-۵- وسایل نقلیه مدل شده در مدل‌های با اهداف سفر مختلف در شهرهای مورد بررسی..... ۲۶
- شکل ۲-۵- متغیرهای مدل مطلوبیت خودروی سواری در شهرهای مورد بررسی..... ۲۷
- شکل ۳-۵- متغیرهای مدل مطلوبیت تاکسی در شهرهای مورد بررسی..... ۲۸
- شکل ۴-۵- متغیرهای مدل مطلوبیت اتوبوس در شهرهای مورد بررسی..... ۲۸
- شکل ۵-۵- متغیرهای مدل مطلوبیت دوچرخه و موتورسیکلت در شهرهای مورد بررسی..... ۲۹
- شکل ۶-۵- متغیرهای در نظر گرفته شده در مدل مطلوبیت مینی‌بوس در شهرهای مورد بررسی..... ۲۹
- شکل ۱-۷- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله خودروی شخصی از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۱
- شکل ۲-۷- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله خودروی شخصی از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۲
- شکل ۳-۷- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله تاکسی از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۲
- شکل ۴-۷- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله تاکسی از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۲
- شکل ۵-۷- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله سرویس از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۳
- شکل ۶-۷- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله سرویس از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۳
- شکل ۷-۷- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله همگانی از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۳
- شکل ۸-۷- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله همگانی از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۴
- شکل ۹-۷- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله موتورسیکلت از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۴
- شکل ۱۰-۷- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله موتورسیکلت از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۴
- شکل ۱۱-۷- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله دوچرخه از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۵
- شکل ۱۲-۷- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله دوچرخه از مشاهده و مدل تفکیک..... ۶۵

|                                                                                                      |                                                                     |       |        |                                     |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |        |                                     | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                      | صفحه د                                                              |       |        |                                     |                                                                                                        |
|                                                                                                      | تاریخ                                                               | گزارش | ویرایش | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                        |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                      | ۰۴    | ۰۱     |                                     |                                                                                                        |

## فهرست جدول‌ها

|      |      |                                                                                      |    |
|------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| جدول | ۱-۴  | میزان استفاده از انواع وسایل سفر در مدل‌سازی تفکیک سفر در کشور آمریکا.....           | ۲۳ |
| جدول | ۲-۴  | هدف و زمان سفرهای مدل شده در مطالعات جامع حمل‌ونقل در آمریکا.....                    | ۲۴ |
| جدول | ۱-۵  | وسایل سفر غالب به تفکیک اهداف سفر در شهر ارومیه.....                                 | ۳۰ |
| جدول | ۲-۵  | لیست متغیرهای به کار رفته در مدل‌های تفکیک شهر ارومیه.....                           | ۳۱ |
| جدول | ۳-۵  | نتایج معیارهای آماری برای اهداف سفر مختلف در شهر ارومیه.....                         | ۳۱ |
| جدول | ۴-۵  | وسایل سفر غالب به تفکیک اهداف سفر در شهر اراک.....                                   | ۳۲ |
| جدول | ۵-۵  | لیست متغیرهای به کار رفته در مدل‌های تفکیک شهر اراک.....                             | ۳۲ |
| جدول | ۶-۵  | نتایج معیارهای آماری برای اهداف سفر مختلف در شهر اراک.....                           | ۳۳ |
| جدول | ۷-۵  | وسایل سفر غالب به تفکیک اهداف سفر در مطالعات شهر مشهد.....                           | ۳۳ |
| جدول | ۸-۵  | لیست متغیرهای به کار رفته در مدل‌های تفکیک پیشین شهر مشهد.....                       | ۳۴ |
| جدول | ۹-۵  | نتایج معیارهای آماری برای اهداف سفر مختلف در مطالعات شهر مشهد.....                   | ۳۴ |
| جدول | ۱-۶  | اهداف سفر در نظر گرفته شده برای مدل‌سازی تفکیک سفر.....                              | ۳۷ |
| جدول | ۲-۶  | وسایل سفر در نظر گرفته شده برای مدل‌سازی تفکیک سفر.....                              | ۳۷ |
| جدول | ۳-۶  | درصد سفرهای شهروندان شهر شیراز به تفکیک هدف و وسیله سفر در حالت تعمیم یافته.....     | ۳۸ |
| جدول | ۴-۶  | وسایل غالب به تفکیک هدف سفر.....                                                     | ۳۸ |
| جدول | ۵-۶  | تعداد مشاهدات نفر-سفر به تفکیک هدف و وسیله سفر.....                                  | ۳۹ |
| جدول | ۶-۶  | مشخصه‌های آماری تعداد مشاهدات سفر بین زوج مبدا-مقصدهای مورد استفاده در مدل‌سازی..... | ۳۹ |
| جدول | ۷-۶  | متغیرهای به کار رفته در مدل‌سازی تفکیک وسیله سفر شهر شیراز.....                      | ۴۰ |
| جدول | ۸-۶  | شاخص‌های آماری متغیرهای مستقل در کل نمونه.....                                       | ۴۱ |
| جدول | ۹-۶  | شاخص‌های آماری متغیرهای مستقل در نمونه مدل‌سازی هر هدف.....                          | ۴۲ |
| جدول | ۱۰-۶ | هزینه تعمیر و نگهداری یک دستگاه تاکسی در سال ۱۳۹۴.....                               | ۴۴ |
| جدول | ۱۱-۶ | هزینه سفر با خودروی شخصی به ازای هر کیلومتر در سال ۱۳۹۴.....                         | ۴۵ |
| جدول | ۱-۷  | مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای خانه‌مبنای شغلی.....                       | ۴۸ |
| جدول | ۲-۷  | مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای خانه‌مبنای تحصیلی.....                     | ۵۰ |
| جدول | ۳-۷  | مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای خانه‌مبنای خرید.....                       | ۵۱ |
| جدول | ۴-۷  | مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای خانه‌مبنای تفریحی.....                     | ۵۳ |
| جدول | ۵-۷  | مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای خانه‌مبنای کار شخصی.....                   | ۵۵ |
| جدول | ۶-۷  | مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای غیرخانه‌مبنا.....                          | ۵۶ |
| جدول | ۷-۷  | خلاصه مدل‌های ساخته شده برای تفکیک وسیله شهر شیراز.....                              | ۵۷ |
| جدول | ۸-۷  | متغیرهای وارد شده در مدل‌های تفکیک وسیله شهر شیراز.....                              | ۵۸ |
| جدول | ۹-۷  | نتایج معیارهای آماری برای اهداف سفر مختلف.....                                       | ۶۰ |
| جدول | ۱۰-۷ | نتایج آماره کای دو برای اهداف مختلف.....                                             | ۶۰ |
| جدول | ۱۱-۷ | رابطه بین سفرهای برآورد و مشاهده شده هر وسیله.....                                   | ۶۱ |

## ۱- جایگاه مدل تفکیک سفر در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل

هدف این گزارش، برآورد و تعیین سهم وسایل نقلیه مختلف در سفرهای شهر شیراز است. در این رابطه ابتدا جایگاه مدل‌های تفکیک سفر<sup>۱</sup> در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل مورد بررسی قرار گرفته و سپس مفاهیم این مدل‌ها بیان خواهد شد. در ادامه پس از مرور برخی مدل‌های تفکیک برآورد شده در سایر شهرها، آمار مربوط به تقاضای وسایل مختلف سفر در شهر شیراز و مدل‌های تفکیک برآورد شده برای این شهر ارائه خواهد شد. مدل‌های ساخته شده در این بند برای سال پایه کالیبره شده و برای تمام بازه‌های زمانی روز و سال‌های افق قابل استفاده است. در این راستا در گزارش "تعیین ضرایب زمان روز" (بند ۱-۳-۶) به‌طور کامل در مورد نحوه برآورد ماتریس هریک از دوره‌های زمانی و ضرایب زمان روز توضیح داده شده است.

اهمیت مدل‌های تفکیک سفر در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل از چندین نظر قابل بررسی است:

۱. تفکیک وسیله سفر یکی از بخش‌های مهم مدل‌های چهار مرحله‌ای مرسوم در فرآیند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است. همان‌گونه که در شکل ۱-۱ ملاحظه می‌شود، مدل تفکیک سومین مرحله در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است که سهم وسایل نقلیه مختلف را در سفرهای شهری مشخص نموده و اطلاعات مورد نیاز برای تخصیص سفر<sup>۲</sup> را -که آخرین مرحله برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است- فراهم می‌کند. توجه به این نکته ضروری است که در مدل‌های چهار مرحله‌ای، تمامی مراحل به‌صورت زنجیروار بوده و عدم دقت در هریک از مراحل موجب ایجاد خطا و عدم امکان اجرای دیگر مراحل خواهد شد.

۲. بسیاری از سیاست‌هایی که امروزه برای مدیریت ترافیک به‌کار گرفته می‌شوند، از جمله مدیریت تقاضای سفر، افزایش مطلوبیت حمل‌ونقل همگانی، احداث و ایجاد خطوط جدید حمل‌ونقل همگانی و غیره، همگی بر سهم وسایل مختلف حمل‌ونقل تأثیرگذار هستند. این تأثیر به گونه‌ای است که ارزیابی هریک از این راهکارها به میزان اثرگذاری آن‌ها بر روی تفکیک سفر بستگی دارد. به‌طور مثال، افزایش تعداد خطوط یا ناوگان سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی در صورتی مناسب ارزیابی خواهد شد که موجب افزایش میزان استفاده افراد و به نوعی افزایش مطلوبیت<sup>۳</sup> آن شود.

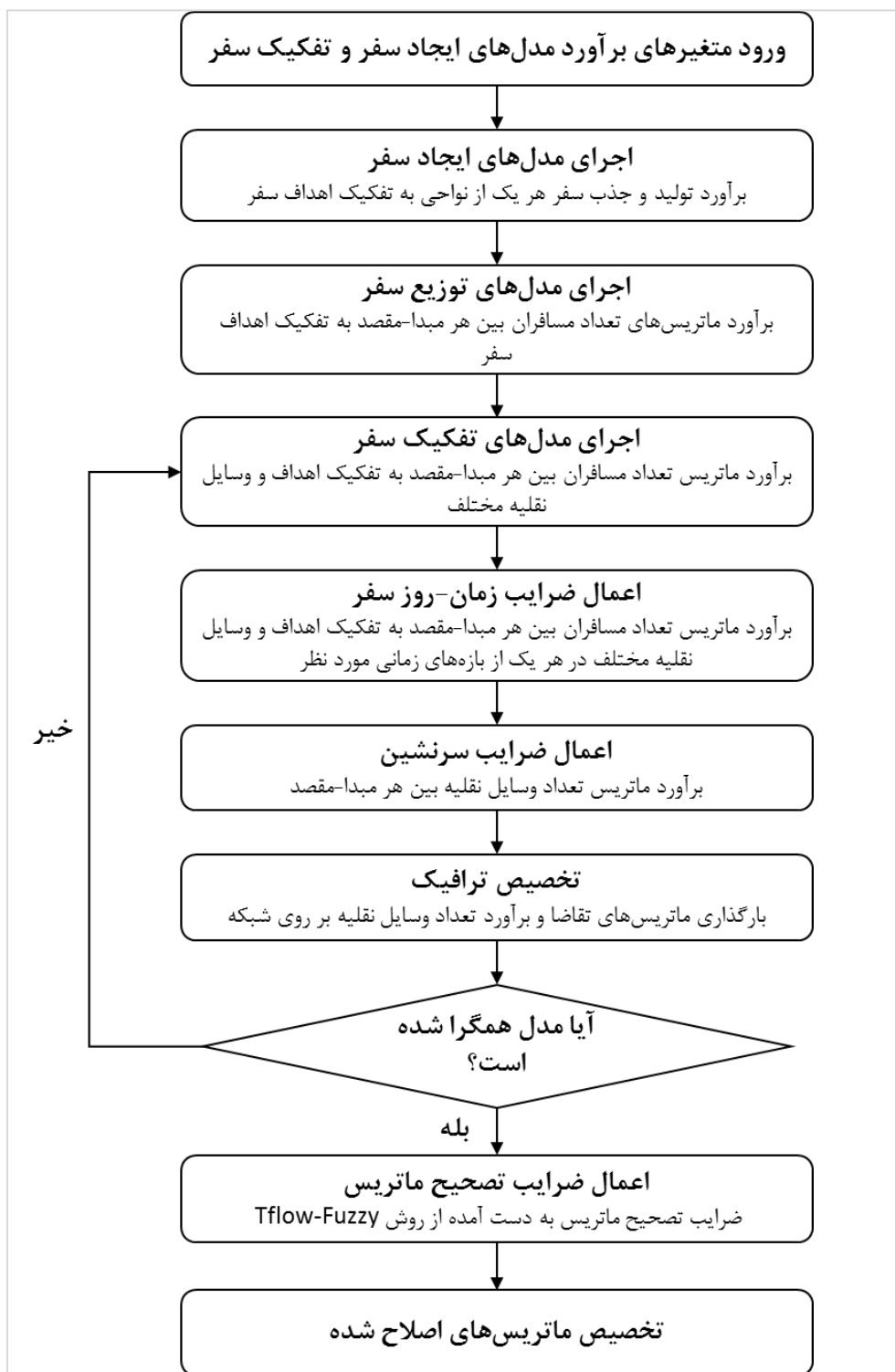
<sup>۱</sup> - Modal Split Models

<sup>۲</sup> - Traffic Assignment

<sup>۳</sup> -Utility

|                                                                                                      |                |                                                                     |        |                                     |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | صفحه ۱         | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                      | تاریخ          | گزارش                                                               | ویرایش | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                        |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                  | ۰۱     |                                     |                                                                                                        |





شکل ۱-۱- مراحل ساخت و پرداخت مدل‌های حمل‌ونقل

## ۲- بررسی انواع مدل‌های تفکیک سفر

در این بخش مروری کوتاه بر برخی مدل‌های انتخاب وسیله سفر صورت می‌پذیرد. بدین منظور مدل‌های اولیه تفکیک سفر بررسی شده و برخی از مدل‌هایی که امروزه کاربرد وسیع‌تری دارند معرفی می‌شوند.

### ۲-۱- مدل تفکیک سفر بر اساس مبدأ سفر<sup>۱</sup>

در گذشته به خصوص در کشور آمریکا با این عقیده که خصوصیات فردی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر انتخاب وسیله سفر است، مدل‌های تفکیک سفر بلافاصله پس از مدل‌های ایجاد سفر مورد استفاده قرار می‌گرفت؛ از این رو در این گونه مدل‌ها مشخص نبود که سفر در کجا پایان می‌یابد و در نتیجه مشخصات سفر و وسیله سفر مورد نظر در این مدل‌ها در نظر گرفته نمی‌شد [۱]. این طرز فکر بر اساس این نگرش در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل آمریکا به وجود آمده بود که با افزایش میزان درآمد خانوار، میزان تقاضای خرید خودرو و در نتیجه استفاده از آن افزایش می‌یابد که این امر مستقل از خصوصیات سفر خانوار به‌شمار می‌رفت.

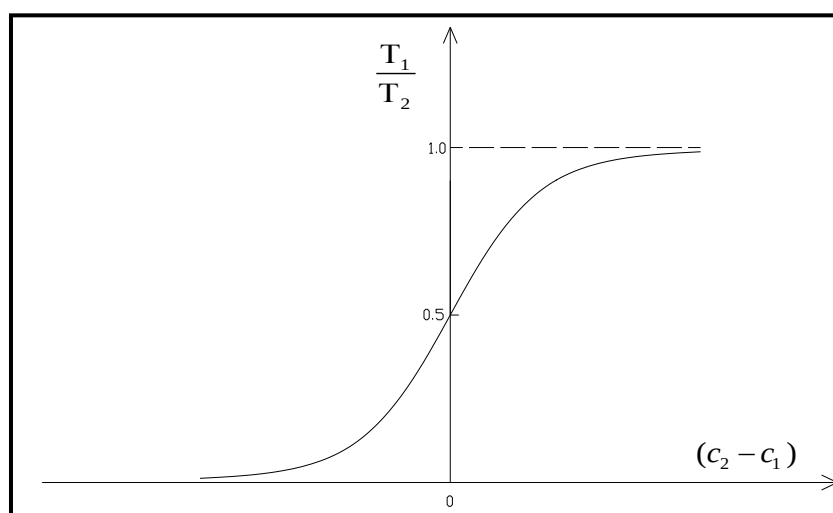
هدف از برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در آن زمان پیش‌بینی میزان رشد تقاضای سفر با خودروی شخصی برای بهینه‌سازی تخصیص منابع در ایجاد تسهیلات مناسب برای حرکت راحت و روان خودروها بود. مدل‌های تفکیک سفر در این دوران فقط متغیرهایی مانند درآمد، مالکیت خودرو و تراکم ناحیه مسکونی را در نظر می‌گرفتند. گاهی مواقع نیز امکان دستیابی به تسهیلات حمل‌ونقل همگانی به‌عنوان یک متغیر تحت عنوان دسترسی وارد این گونه مدل‌ها می‌شد.

در کوتاه‌مدت نتایج این مدل‌ها مناسب و دقیق است، به‌ویژه زمانی که امکان دستیابی به حمل‌ونقل همگانی برای تمام نواحی مورد مطالعه یکسان و میزان تراکم ترافیک کم باشد. البته این مدل‌ها به متغیرهای مربوط به سیاست‌گذاری خیلی مرتبط نیستند که به‌عنوان یکی از نقاط ضعف آن‌ها شناخته می‌شود. با استفاده از این مدل‌ها نمی‌توان برای افزایش میزان استفاده از حمل‌ونقل همگانی تصمیمی گرفت؛ به عبارت دیگر، بر اساس این مدل‌ها، بهبود کیفیت حمل‌ونقل همگانی، ممنوعیت پارکینگ و قیمت‌گذاری معابر هیچ‌کدام میزان استفاده از حمل‌ونقل همگانی را تغییر نمی‌دهند.

## ۲-۲- مدل‌های تبادلی سفر تفکیک وسیله<sup>۱</sup>

می‌توان گفت که تفکیک وسیله سفر در اروپا از ابتدا پس از مرحله توزیع سفر<sup>۲</sup> انجام می‌گرفت. این امر دارای مزیت استفاده از خصوصیات و مشخصات مبدأ- مقصدها بود؛ اما از آنجا که ماتریس‌های مبدأ- مقصد به صورت هم‌فزون<sup>۳</sup> بوده و استفاده از خصوصیات افراد و خانوار در این مدل‌ها عملاً امکان‌پذیر نبود، این گونه خصوصیات در مدل‌ها به کار گرفته نمی‌شد [۱].

مدل‌هایی که در ابتدا از این نوع ساخته می‌شد، فقط یک یا دو مشخصه مانند زمان سفر (عمدتاً زمان داخل خودرو) را برای تفکیک وسیله در نظر می‌گرفت. مشاهده شد که منحنی‌های  $S$  شکل عموماً این گونه رفتارها را بهتر نشان می‌دهند. شکل ۱-۲ نمونه‌ای از این گونه نمودارها را نشان می‌دهد که می‌توان در آن نسبت استفاده از دو وسیله سفر را در مقابل میزان اختلاف هزینه آن‌ها مشاهده نمود. در این شکل،  $c_1$  و  $c_2$ ، به ترتیب، هزینه متناظر با وسیله نقلیه نوع ۱ و وسیله نقلیه نوع ۲ است. همچنین،  $T_1/T_2$  بیانگر نسبت استفاده از وسیله نقلیه نوع ۱ به استفاده از وسیله نقلیه نوع ۲ است. همان‌طور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود، هرچه، اختلاف بین هزینه استفاده از وسیله نقلیه دوم و وسیله نقلیه اول بیشتر شود ( $c_1$  کم یا  $c_2$  زیاد شود)، ضریب  $T_1/T_2$  افزایش می‌یابد. این به این معنی است که در چنین شرایطی، تمایل مسافران برای انتخاب وسیله نقلیه نوع ۲ کم می‌شود.



شکل ۱-۲- منحنی تفکیک وسیله

1- Trip interchange modal split models

2- Trip Distribution

3- Aggregate

|                                                                                                      |                                                                     |       |        |                                     |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |        |                                     | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                      | صفحه ۴                                                              |       |        |                                     |                                                                                                        |
|                                                                                                      | تاریخ                                                               | گزارش | ویرایش | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                        |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                      | ۰۴    | ۰۱     |                                     |                                                                                                        |

این منحنی‌ها، تجربی هستند (البته برخی روش‌های تئوریک نیز برای برآورد آن‌ها ارائه شده است) که بر اساس مشاهده و با استفاده از متدلوژی برآورد منحنی‌های تعیین نسبت تعداد خودرویی که از یک مسیر انحرافی حرکت می‌کنند، به دست می‌آید. به همین علت این گونه منحنی‌ها به منحنی‌های انحراف<sup>۱</sup> نیز شهرت یافته‌اند [۱]. به طور مثال در مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر لندن از منحنی‌های انحراف برای پیش‌بینی تعداد سفرهای انجام شده با حمل‌ونقل همگانی به محدوده‌های مرکزی و غیرمرکزی شهر استفاده شد.

یکی از محدودیت‌های این گونه مدل‌ها آن است که فقط برای ماتریس‌های مبدأ- مقصدی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند که امکان انتخاب وسیله‌های مورد نظر برای همه مسافران آن‌ها وجود داشته باشد. این ماتریس، عموماً ماتریس سفرهای افرادی است که دسترسی به خودروی شخصی دارند، هر چند که انتخاب بین انواع وسیله‌های حمل‌ونقل همگانی نیز برایشان امکان‌پذیر است.

از آنجا که این مدل‌ها دارای زمینه تئوریک قوی نیستند توانایی آن‌ها در پیش‌بینی میزان تفکیک وسیله، جای شبهه دارد. این گونه مدل‌ها همچنین برخی از متغیرهای مربوط به سیاست‌گذاری همچون کرایه، هزینه پارکینگ و ... را در نظر نمی‌گیرند. از طرفی با توجه به اینکه این مدل‌ها از نوع همفزون هستند، نمی‌توانند برخی مشخصات مربوط به خانوارها و محدودیت‌های آنان را به خوبی در نظر گیرند.

## ۲-۳- مدل‌های انتخاب گسسته<sup>۲</sup> و فرض‌های آن‌ها

به طور کلی در مدل انتخاب گسسته فرض می‌شود که در فرآیند انتخاب، احتمال انتخاب یک گزینه، تابعی از ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی فرد تصمیم‌گیرنده و جذابیت نسبی آن گزینه است. برای ارائه این ویژگی‌ها از مفهوم مطلوبیت<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. مقدار این مطلوبیت به ویژگی‌های گزینه‌ها و افراد بستگی دارد. برای مثال تابع مطلوبیت مشاهده شده یک گزینه برای یک فرد می‌تواند به صورت تابعی خطی از ویژگی‌های آن گزینه و نیز ویژگی‌های آن فرد باشد [۱].

برای پیش‌بینی با استفاده از مدل، بایستی مطلوبیت‌های به دست آمده برای هر گزینه، به صورت احتمالی بین صفر و یک درآیند. از آنجا که مدل‌های انتخاب گسسته احتمال انتخاب هر گزینه را به دست می‌دهند و نشان نمی‌دهند که قطعاً کدام گزینه انتخاب خواهد شد، از مفاهیم پایه احتمالات، نظیر آنچه در زیر آمده است، استفاده می‌کنند:

<sup>1</sup>- Diversion Curve

<sup>2</sup>- Discrete Choice models

<sup>3</sup>. Utility

|                                                                                     |                |                                                                     |        |                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  | صفحه ۵         | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     |  |
|                                                                                     | تاریخ          | گزارش                                                               | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                       |
|                                                                                     | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                  | ۰۱     |                                     |                                                                                       |

۱. تعداد مورد انتظار افرادی که یک گزینه سفر خاص (i) را انتخاب می‌کنند، با جمع روی احتمالات انتخاب آن گزینه برای همه افراد (n)، برابر است [۱]:

$$N_i = \sum_n P_{in} \quad \text{رابطه ۱-۲}$$

۲. یک مجموعه مستقل از تصمیمات می‌تواند به‌طور جداگانه با در نظر گرفتن هر تصمیم به‌صورت احتمال شرطی مدل شود. سپس احتمالات به‌دست آمده را می‌توان در هم ضرب کرد تا احتمالات مشترک برای مجموعه به‌دست آید. مثلاً اگر  $d, f, m$  و  $r$  به ترتیب انتخاب‌های تعداد سفر، مقصد، وسیله و مسیر باشند، آنگاه می‌توان رابطه ۲-۲ را برای آن‌ها در نظر گرفت [۱]:

$$P(f, d, m, r) = P(f) P(d|f) P(m|d, f) P(r|m, d, f) \quad \text{رابطه ۲-۲}$$

### ۲-۳-۱- نظریه مطلوبیت تصادفی

رایج‌ترین الگو برای مدل‌های انتخاب گسسته، نظریه مطلوبیت تصادفی<sup>۱</sup> است. این نظریه اساساً بیان می‌کند که:

۱. افراد متعلق به یک جمعیت  $N$ ، به‌صورت منطقی عمل می‌کنند و اطلاعات کاملی درباره گزینه‌های پیش رویشان دارند. آن‌ها با توجه به محدودیت‌های قانونی، اجتماعی، فیزیکی، زمانی و مالی که دارند، همیشه گزینه‌ای را که مطلوبیت شخصی بیشتری برایشان دارد، انتخاب می‌کنند.

۲. مجموعه خاصی از گزینه‌های موجود  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_J\}$  و مجموعه‌ای از بردارهای ویژگی‌های اندازه‌گیری شده افراد  $(X)$  و گزینه‌هایشان وجود دارد. هر فرد  $(n)$  یک سری ویژگی‌ها  $(x \in X)$  دارد و با یک مجموعه انتخاب  $C(n) \in C$  مواجه است.

۳. هر گزینه  $C_j \in C$  از طریق مطلوبیت فرد  $(U_{nj})$  با وی در ارتباط است. پژوهش‌گر درباره همه عناصر مورد نظر فرد برای تصمیم‌گیری و انتخاب اطلاعات کاملی ندارد. بنابراین، فرض می‌شود که مطلوبیت فرد می‌تواند دو مؤلفه داشته باشد: یک بخش قابل اندازه‌گیری، سیستماتیک<sup>۲</sup> یا مشاهده شده مطلوبیت  $(V_{nj})$ ، که تابعی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده  $(x)$  است و یک بخش تصادفی  $(\varepsilon_{nj})$ ، که خصوصیات اخلاقی و سلیقه خاص هر فرد را همراه با خطاهای اندازه‌گیری یا مشاهده صورت گرفته در فرآیند تحلیل در نظر می‌گیرد. مثلاً ممکن است دو نفر با ویژگی‌های یکسان و در مواجهه با مجموعه انتخاب یکسان گزینه‌های مختلفی را انتخاب

<sup>۱</sup>. Random Utility Theory

<sup>۲</sup>. Systematic Utility

|                                                                                     |                |                                                                     |        |                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  | صفحه ۶         | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     |  |
|                                                                                     | تاریخ          | گزارش                                                               | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                       |
|                                                                                     | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                  | ۰۱     |                                     |                                                                                       |

کنند و یا ممکن است برخی افراد همیشه بهترین گزینه را انتخاب نکنند. برای توضیح رفتار غیر منطقی فرد در انتخاب گزینه‌ها، به این عبارت خطا نیاز است. به این ترتیب رابطه ۲-۳ برقرار است:

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

$U_{nj}$ : مطلوبیت گزینه  $j$  برای فرد  $n$

$V_{nj}$ : مطلوبیت مشاهده شده گزینه  $j$  برای فرد  $n$

$\varepsilon_{nj}$ : بخش تصادفی مطلوبیت گزینه  $j$  برای فرد  $n$

یک شکل محبوب و ساده برای  $V_{nj}$  به صورت رابطه ۲-۴ است:

$$V_{nj} = \sum_k \beta_{jk} X_{nj k} \quad \text{رابطه ۲-۴}$$

$X_{nj k}$ : متغیرهای توضیحی مربوط به ویژگی‌های فرد  $n$  یا گزینه  $j$

$\beta_{jk}$ : ضرایب متغیرهای توضیحی

ضرایب  $\beta_{jk}$ ، ثابت‌هایی هستند که برای افراد در یک جمعیت همگن یکسان فرض می‌شوند، اما برای

گزینه‌های مختلف می‌توانند متفاوت باشند. این ضرایب اهمیت نسبی هر متغیر را تعیین می‌کنند.

۴. همان‌طور که در بند یک اشاره شد، فرد  $n$  گزینه با بیشترین مطلوبیت را انتخاب می‌کند، یعنی فرد

$C_j$  را انتخاب می‌کند، اگر و فقط اگر رابطه ۲-۵ برقرار باشد:

$$U_{nj} \geq U_{ni} \quad \forall C_j \in C_n \quad \text{رابطه ۲-۵}$$

که معادل است با این‌که:

$$V_{nj} - V_{ni} \geq \varepsilon_{ni} - \varepsilon_{nj} \quad \text{رابطه ۲-۶}$$

تعیین مقدار  $(\varepsilon_{ni} - \varepsilon_{nj})$  از رابطه ۲-۶ با اطمینان، ممکن نیست. بنابراین احتمال انتخاب  $C_j$  برابر است

با [۱]:

$$P_{ni} = \text{Prob}\{\varepsilon_{ni} \leq \varepsilon_{nj} + (V_{nj} - V_{ni})\}, \quad \forall C_i \in C(n) \quad \text{رابطه ۲-۷}$$

## ۲-۳-۲- مدل لوجیت دوگانه

با توجه به مفهوم مدل‌های مطلوبیت تصادفی، اگر مجموعه انتخاب افراد تنها دارای دو عضو  $i$  و  $j$  باشد،

احتمال انتخاب گزینه  $i$  توسط فرد  $n$  به صورت رابطه ۲-۸ است:

|                                                                                                      |                                                                     |       |        |                                                                                                |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |        | <br>شیراز |                                     |
|                                                                                                      | صفحه ۷                                                              |       |        |                                                                                                |                                     |
|                                                                                                      | تاریخ                                                               | گزارش | ویرایش |                                                                                                | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                      | ۰۴    | ۰۱     |                                                                                                |                                     |

$$p_{ni} = p_r(U_i > U_j) \quad \text{رابطه ۸-۲}$$

و احتمال انتخاب گزینه  $j$  برابر خواهد بود با:

$$p_{nj} = 1 - p_{ni} \quad \text{رابطه ۹-۲}$$

با این فرض که  $\varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_j$  دارای توزیع لجستیک و  $\varepsilon_i$  و  $\varepsilon_j$  هر دو دارای توزیع مستقل گامبل با پارامترهای  $\mu = 1$  و  $\eta = 0$  باشد، رابطه مدل لجیت دوگانه به صورت رابطه ۱۰-۲ و رابطه ۱۱-۲ به دست می آید:

$$p_i = p_r(U_i > U_j) = p_r(V_i + \varepsilon_i > V_j + \varepsilon_j) = p_r(\varepsilon_i - \varepsilon_j > V_i - V_j) \quad \text{رابطه ۱۰-۲}$$

$$p_i = p_r(\varepsilon > V_i - V_j) = \frac{e^{v_i}}{e^{v_i} + e^{v_j}} = \frac{1}{1 + e^{v_j - v_i}} \quad \text{رابطه ۱۱-۲}$$

$p_i$ : احتمال انتخاب گزینه  $i$

$V_i$ : بخش قابل مشاهده مطلوبیت گزینه  $i$  برای فرد  $n$

$V_j$ : بخش قابل مشاهده مطلوبیت گزینه  $j$  برای فرد  $n$  [۲].

### ۲-۳-۳- مدل لجیت چندگانه (MNL)<sup>۱</sup>

مدل لجیت چندگانه از ساده ترین و محبوب ترین مدل های انتخاب گسسته است. با فرض این که که مطلوبیت تصادفی برای هر گزینه برقرار باشد و  $\varepsilon_{ni}$  توزیع مستقل و یکسان گامبل با پارامتر مکان  $\eta$  و پارامتر مقیاس  $\mu > 0$  داشته باشد، آنگاه رابطه مدل لجیت به صورت رابطه ۱۲-۲ به دست می آید:

$$p_n(i) = \frac{e^{\mu V_{ni}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\mu V_{nj}}} \quad \text{رابطه ۱۲-۲}$$

$p_n(i)$ : احتمال انتخاب گزینه  $i$

$V_{ni}$ : مطلوبیت مشاهده شده گزینه  $i$

$\mu$  یک پارامتر قابل شناسایی نیست و معمولاً یک مقدار قراردادی مثل عدد یک برای آن در نظر می گیرند.

بنابراین رابطه مدل لجیت چندگانه به صورت رابطه ۱۳-۲ در می آید:

$$p_n(i) = \frac{e^{v_{ni}}}{\sum_{j \in C_n} e^{v_{nj}}} \quad \text{رابطه ۱۳-۲}$$

<sup>۱</sup>. Multinomial Logit Model

|                                                                                     |                |                                                                      |        |                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  | صفحه ۸         | بازبینی و بهنگام سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان شهر شیراز |        |                                     |  |
|                                                                                     | تاریخ          | گزارش                                                                | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                       |
|                                                                                     | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                   | ۰۱     |                                     |                                                                                       |

رابطه ۲-۱۴ و رابطه ۲-۱۵ همواره برقرار هستند؛ یعنی احتمال انتخاب هر گزینه در مجموعه انتخاب بین صفر و یک بوده و جمع احتمالات انتخاب گزینه‌ها برابر با یک می‌شود [۱ و ۲]:

$$0 \leq p_n(i) \leq 1 \quad \forall i \in C_n \quad \text{رابطه ۲-۱۴}$$

$$\sum_{i \in C_n} p_n(i) = 1 \quad \text{رابطه ۲-۱۵}$$

باید توجه شود که شرط استقلال و یکسان بودن توزیع خطاها نشان می‌دهد که گزینه‌ها باید مستقل باشند، در حالی که به کار بردن وسایل سفر ترکیبی مانند خودرو- قطار از این اصل پیروی نمی‌کند [۳]. واضح است که احتمال انتخاب یک گزینه وابسته به نوع تابع چگالی احتمال عبارت خطا  $\varepsilon_{ni}$  است. در مدل‌های انتخاب گسسته، عموماً، تابع چگالی احتمال خطا را نرمال<sup>۱</sup> یا گامبل<sup>۲</sup> فرض می‌نمایند. فرض تابع چگالی احتمال گامبل برای عبارت خطا، منجر به مدل لوجیت<sup>۳</sup> و فرض تابع چگالی احتمال نرمال برای عبارت خطا، منجر به مدل پروبیت<sup>۴</sup> می‌شود.

## ۲-۳-۴- استقلال گزینه‌های نامرتبط

مدل لوجیت چندگانه از اصل استقلال گزینه‌های نامرتبط<sup>۵</sup> (IIA) پیروی می‌کند. این اصل را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

«زمانی که دو گزینه احتمال انتخاب بزرگ‌تر از صفر دارند، نسبت احتمال آن‌ها از وجود یا عدم وجود گزینه‌های دیگر در مجموعه انتخاب تأثیر نمی‌پذیرد». در مورد مدل لوجیت چندگانه روابط زیر برقرار است:

$$p_n(i) = \frac{e^{v_{ni}}}{\sum_{j \in C_n} e^{v_{nj}}} \quad \text{رابطه ۲-۱۶}$$

$$p_n(j) = \frac{e^{v_{nj}}}{\sum_{j \in C_n} e^{v_{nj}}} \quad \text{رابطه ۲-۱۷}$$

در نتیجه نسبت احتمالات انتخاب دو گزینه نسبت به هم از رابطه ۲-۱۸ به دست می‌آید که به سایر گزینه‌ها وابسته نیست:

<sup>1</sup> Normal Distribution

<sup>2</sup> Gumbel Distribution

<sup>3</sup> Logit Model

<sup>4</sup> Probit Model

<sup>5</sup> independence of irrelevant alternatives

|                                                                                     |                |                                                                     |        |                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  | صفحه ۹         | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     |  |
|                                                                                     | تاریخ          | گزارش                                                               | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                       |
|                                                                                     | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                  | ۰۱     |                                     |                                                                                       |



$$\frac{p_n(j)}{p_n(i)} = \exp\{\beta(V_j - V_i)\}$$

در ابتدا این موضوع یک مزیت برای مدل به‌شمار می‌آید، زیرا با برقراری این اصل می‌توان سهم یک گزینه غایب را پیش‌بینی کرد. با این حال، امروزه در صورت وجود همبستگی بین گزینه‌ها، این ویژگی به‌عنوان یک نقطه ضعف جدی در مدل به‌شمار می‌رود. در این مورد مثال معروفی به‌نام مسئله اتوبوس آبی- قرمز وجود دارد. اگر در شهری یک فرد دو گزینه خودروی شخصی و اتوبوس‌های آبی رنگ را برای سفر کاری در اختیار داشته باشد، با فرض اینکه مطلوبیت این دو گزینه برابر باشد، احتمال انتخاب آن‌ها مساوی هم ( $P_{bb} = P_c$ ) و برابر با ۰/۵ است، یعنی نسبت احتمالات دو گزینه برابر با یک می‌شود، حال اگر اتوبوس‌های قرمز رنگی با سطح کیفیت و خدمات مشابه اتوبوس‌های آبی رنگ تعریف شوند، در این صورت باید سهم اتوبوس آبی و قرمز برابر باشد ( $P_{bb} = P_{rb}$ )، از طرفی طبق اصل استقلال گزینه‌های نامرتب، نسبت سهم خودروی شخصی به اتوبوس آبی هم نسبت قبلی خود را حفظ می‌کند ( $P_{bb} = P_c$ )، به‌این ترتیب سهم خودروی شخصی ۰/۳۳ به‌دست می‌آید. این در حالی است که انتظار می‌رود سهم خودروی شخصی ۵۰ درصد باقی بماند. این مشکلی است که از برقراری اصل استقلال گزینه‌های نامرتب در مدل لجیت چندگانه به‌وجود می‌آید. [۱ و ۴].

## ۲-۳-۵- مدل لجیت آشیانه‌ای<sup>۱</sup>

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، زمانی که بین دو یا چند گزینه در مجموعه انتخاب همبستگی وجود داشته باشد، فرض استقلال گزینه‌های نامرتب منطقی نیست و مدل لجیت چندگانه مدل مناسبی نخواهد بود. در این حالت می‌توان از مدل لجیت آشیانه‌ای استفاده کرد. در این مدل مجموعه گزینه‌های پیش روی فرد، به زیرمجموعه‌هایی تقسیم‌بندی می‌شود که به هریک از آن‌ها یک آشیانه گفته می‌شود. در مدل لجیت آشیانه‌ای ویژگی‌های زیر برقرار هستند:

- برای هر دو گزینه‌ای که در یک آشیانه قرار دارند، نسبت احتمالات، مستقل از ویژگی‌ها و حضور سایر گزینه‌های آن آشیانه است؛ یعنی استقلال گزینه‌های نامرتب در هر آشیانه حفظ می‌شود.
  - برای دو گزینه در آشیانه‌های مختلف، نسبت احتمالات می‌تواند به ویژگی‌های دیگر گزینه‌ها در دو آشیانه وابسته باشد. به عبارتی استقلال گزینه‌های نامرتب در آشیانه‌های متفاوت حفظ نمی‌شود [۴].
- در ساختار مدل لجیت آشیانه‌ای گزینه‌ها دارای همبستگی یا شبیه‌تر به هم در یک آشیانه قرار می‌گیرند. در واقع هر آشیانه یک گزینه ترکیبی است که با سایر گزینه‌های ترکیبی در دسترس فرد رقابت می‌کند. اگر

<sup>۱</sup>. Nested Logit Model

|                                                                                     |                |                                                                     |        |                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  | صفحه ۱۰        | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     |  |
|                                                                                     | تاریخ          | گزارش                                                               | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                       |
|                                                                                     | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                  | ۰۱     |                                     |                                                                                       |

مجموعه گزینه‌ها (J)، به k زیرمجموعه بدون هم‌پوشانی به صورت  $(B_1, B_2, \dots, B_k)$  تقسیم شود، مطلوبیت فرد n برای انتخاب گزینه j در آشیانه  $B_k$  به صورت رابطه ۳-۲ بیان می‌شود  $[1](U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj})$ .

بدون از دست دادن کلیت مسئله، مؤلفه مشاهده شده مطلوبیت به دو بخش تقسیم می‌شود. یک بخش  $W_{nk}$  که برای همه گزینه‌های یک آشیانه ثابت است و یک بخش  $Y_{ni}$  که برای گزینه‌های داخل یک آشیانه متفاوت است. مطلوبیت مشاهده شده به صورت رابطه ۲-۱۹ نوشته می‌شود  $[4]$ :

$$V_{nj} = W_{nk} + Y_{ni} \quad \text{رابطه ۲-۱۹}$$

برای هر  $j \in B_k$ :

$W_{nk}$ : تنها به متغیرهایی که آشیانه  $B_k$  را توصیف می‌کنند بستگی دارد. این متغیرها برای آشیانه‌های مختلف متفاوت هستند.

$Y_{ni}$ : به متغیرهایی بستگی دارد که گزینه j را توصیف می‌کنند. این متغیرها در داخل یک آشیانه متفاوت هستند  $[4]$ .

با استفاده از این تجزیه مطلوبیت، احتمال لوجیت آشیانه‌ای برای یک مدل دوسطحی می‌تواند به صورت حاصل ضرب احتمال دو لوجیت استاندارد نوشته شود، یعنی احتمال انتخاب گزینه  $i \in B_k$  برابر با حاصل ضرب احتمال انتخاب یک گزینه در آشیانه  $B_k$  در احتمال اینکه گزینه i با توجه به این که آشیانه  $B_k$  انتخاب شده است، انتخاب شود، می‌باشد  $[4]$ :

$$P_{ni} = (P_{ni} | B_k) P_{nB_k} \quad \text{رابطه ۲-۲۰}$$

$P_{ni} | B_k$ : احتمال شرطی انتخاب گزینه i با توجه به اینکه یک گزینه در آشیانه  $B_k$  انتخاب شده است.

$P_{nB_k}$ : احتمال حاشیه‌ای انتخاب یک گزینه در آشیانه  $B_k$

این احتمالات با استفاده از رابطه مدل لوجیت به این صورت به دست می‌آیند:

$$P_{nB_k} = \frac{e^{W_{nk}}}{\sum_{i=1}^k e^{W_{nk}}} = \frac{e^{W'_{nk} + \varphi_k I_{nk}}}{\sum_{i=1}^k e^{W'_{nk} + \varphi_k I_{nk}}} \quad \text{رابطه ۲-۲۱}$$

$$P_{ni} | B_k = \frac{e^{Y_{ni}/\varphi_k}}{\sum_{j \in B_k} e^{Y_{nj}/\varphi_k}} \quad \text{رابطه ۲-۲۲}$$

$W_{nk}$ : مطلوبیت سطح بالایی مدل

$W'_{nk}$ : مطلوبیت حاصل از ویژگی‌های آشیانه  $B_k$

|                                                                                                      |                |                                                                     |        |                                     |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | صفحه ۱۱        | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                      | تاریخ          | گزارش                                                               | ویرایش | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                        |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                  | ۰۱     |                                     |                                                                                                        |

$I_{nk}$ : مطلوبیت عمومی آشیانه  $B_k$  (عبارت لگسام)

$\varphi_k$ : ضریب مطلوبیت عمومی آشیانه

$Y_{ni}$ : مطلوبیت گزینه  $i$  در آشیانه  $B_k$

همان طور که در رابطه ۲-۲۱ دیده می شود، در ساختار مطلوبیت سطح بالایی مدل، علاوه بر مطلوبیت حاصل از ویژگی های آشیانه  $B_k$ ، یعنی  $w'_{nk}$ ، عبارت  $\varphi_k I_{nk}$  هم مشاهده می شود.  $I_{nk}$  در واقع لگاریتم مخرج مدل سطح پایین، یعنی بیشینه مطلوبیت مورد انتظار (EMU) <sup>۱</sup> تصمیم گیرنده  $n$  از انتخاب بین گزینه های آشیانه  $B_k$  است که برای معرفی اطلاعات آشیانه های سطح پایینی به آشیانه های سطح بالایی به کار می رود.  $I_{nk}$  اغلب به عنوان مقدار عمومی <sup>۲</sup> یا مطلوبیت عمومی <sup>۳</sup> آشیانه  $B_k$  و  $\varphi_k I_{nk}$  نیز عبارت لگسام <sup>۴</sup> نامیده می شود. مناسب است که لگسام به صورت یک متغیر توضیحی در مدل سطح بالاتر وارد شود [۱ و ۴].

$$EMU_k = I_{nk} = \ln \sum_{j \in B_k} e^{Y_{nj}/\varphi_k} \quad \text{رابطه ۲-۲۳}$$

$EMU_k$ : مطلوبیت عمومی آشیانه

$Y_{ni}$ : مطلوبیت گزینه  $i$  واقع در آشیانه  $B_k$

$\varphi_k$ : ضریب مطلوبیت عمومی آشیانه

$\varphi_k$ ، ضریب  $I_{nk}$  که اغلب به آن ضریب لگسام نیز گفته می شود، نشان دهنده درجه استقلال میان بخش های مشاهده نشده مطلوبیت گزینه ها در یک آشیانه است.  $\varphi_k$  کمتر، نشان از همبستگی بیشتر بین این بخش ها دارد.  $\varphi_k$  باید بین محدوده صفر و یک باشد تا با بیشینه مطلوبیت برای همه مقادیر ممکن متغیرهای توضیحی سازگاری داشته باشد [۴]:

$$0 < \varphi_k \leq 1 \quad \text{رابطه ۲-۲۴}$$

- اگر  $\varphi_k < 0$ ، افزایش مطلوبیت یک گزینه در آشیانه، که باید مقدار مطلوبیت عمومی آشیانه را افزایش دهد، احتمال انتخاب آشیانه را کاهش خواهد داد.
- اگر  $\varphi_k = 0$ ، چنین افزایشی احتمال انتخاب آشیانه را تحت تأثیر قرار نمی دهد.

1. Expected Maximum Utility

2. Inclusive Value

3. Inclusive Utility

4. logsum term

|                                                                                     |                |                                                                      |        |                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  | صفحه ۱۲        | بازبینی و بهنگام سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان شهر شیراز |        |                                     |  |
|                                                                                     | تاریخ          | گزارش                                                                | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                       |
|                                                                                     | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                   | ۰۱     |                                     |                                                                                       |

- اگر  $\varphi_k > 1$ ، افزایش مطلوبیت یک گزینه در یک آشیانه، نه تنها به افزایش احتمال انتخاب آن منجر خواهد شد، بلکه احتمال انتخاب بقیه گزینه‌ها در آن آشیانه را نیز افزایش می‌دهد.
  - و در نهایت اگر  $\varphi_k = 1$ ، مدل لوجیت آشیانه‌ای، به مدل لوجیت چندگانه تبدیل خواهد شد [۱].
- در حالتی که مدل لوجیت آشیانه‌ای بیش از دو سطح داشته باشد، رابطه ۲-۲۵ برقرار است:

$$0 < \varphi_1 \leq \varphi_2 \leq \dots \leq \varphi_m \leq 1 \quad \text{رابطه ۲-۲۵}$$

برای اطمینان از این که  $\varphi_k$  فاصله معناداری از صفر داشته باشد، لازم است معناداری آن بررسی شود و برای اطمینان از فاصله معنادار این ضریب با عدد یک، آزمون والد به کار می‌رود. آماره این آزمون از رابطه ۲-۲۶ به دست می‌آید [۵]:

$$wald\_test = \frac{\varphi_k - 1}{std\ error} \quad \text{رابطه ۲-۲۶}$$

$std\ error$ : خطای استاندارد ضریب آشیانه‌ای

|                                                                                                                 |                |                                                                      |        |                                     |                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه علم و صنعت ایران | صفحه ۱۳        | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                                 | تاریخ          | گزارش                                                                | ویرایش | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                        |
|                                                                                                                 | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                   | ۰۱     |                                     |                                                                                                        |

### ۳- برآورد مدل لجیت

#### ۳-۱- روش تخمین تمایل بیشینه MLE<sup>۱</sup>

برآورد ضرایب توابع مطلوبیت مدل لجیت معمولاً به روش درست‌نمایی بیشینه صورت می‌گیرد. اگر برای نمونه‌ای N نفری، انتخاب افراد ( $J_n$ ) و مقادیر  $X_{njk}$  برای هر گزینه مشخص باشد، از آنجا که مشاهدات مستقل هستند، تابع درست‌نمایی<sup>۲</sup> از حاصل ضرب احتمالات مدل برای گزینه انتخابی هر فرد در واقعیت به صورت زیر به دست می‌آید:

$$L(\beta) = P_{1J_1} P_{2J_2} P_{3J_3} \dots \quad \text{رابطه ۱-۳}$$

با تعریف متغیر جایگزین  $y_{nj}$  به صورت زیر، تابع درست‌نمایی به صورت رابطه ۲-۳ در می‌آید:

$$L(\beta) = \prod_{n=1}^N \prod_{C_j \in C(n)} (P_{nj})^{y_{nj}} \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

$P_{nj}$ : احتمال انتخاب گزینه  $C_j$  برای فرد  $n$

$y_{nj}$ : اگر  $C_j$  انتخاب واقعی فرد باشد، برابر با یک و در غیر این صورت، برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.  $\beta$  بردار پارامترهای مدل است. برای بیشینه نمودن این تابع، معمولاً نسبت به  $\beta$  مشتق‌گیری شده و حاصل برابر با صفر قرار می‌گیرد. در عمل لگاریتم طبیعی  $L(\beta)$  را که قابل کنترل‌تر است و به یک جواب بهینه می‌رسد، بیشینه می‌کنند که به آن لگاریتم درست‌نمایی یا لوگ لایکلیهود<sup>۳</sup>،  $LL(\beta)$  گفته می‌شود [۱ و ۴]:

$$LL(\beta) = \sum_{n=1}^N \sum_{C_j \in C(n)} y_{nj} \log P_{nj} \quad \text{رابطه ۳-۳}$$

$$\frac{dLL(\beta)}{d(\beta)} = 0 \quad \text{رابطه ۴-۳}$$

برای سادگی محاسبات فرض می‌شود توابع مطلوبیت به صورت خطی  $V_{nj} = \beta x_{ni}$  باشند. با انجام مشتق‌گیری رابطه ۳-۵ به دست می‌آید [۴]:

<sup>۱</sup> - Maximum Likelihood Estimation

<sup>۲</sup>. Likelihood Function

<sup>۳</sup>. Log Likelihood

|                                                                                     |                |                                                                     |        |                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  | صفحه ۱۴        | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     |  |
|                                                                                     | تاریخ          | گزارش                                                               | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                       |
|                                                                                     | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                  | ۰۱     |                                     |                                                                                       |

$$\sum_n \sum_i (y_{ni} - P_{ni}) x_{ni} = 0$$

رابطه ۵-۳

با تغییر آرایش رابطه ۵-۳ و تقسیم طرفین بر  $N$ ، رابطه ۶-۳ به دست می آید:

$$\frac{1}{N} \sum_n \sum_i y_{ni} x_{ni} = \frac{1}{N} \sum_n \sum_i P_{ni} x_{ni}$$

رابطه ۶-۳

سمت چپ رابطه ۳-۳ را می توان بردار متوسط ویژگی های مشاهده شده،  $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_n \sum_i y_{ni} x_{ni}$  و سمت راست را بردار متوسط ویژگی های پیش بینی شده،  $\hat{x} = \frac{1}{N} \sum_n \sum_i P_{ni} x_{ni}$  نامید. به عبارتی هر مؤلفه بردار  $\bar{x}$  (از متوسط آن ویژگی روی انتخاب های تمام افراد نمونه به دست می آید. بنابراین  $\bar{x}$  متوسط ویژگی های مشاهده شده و  $\hat{x}$  متوسط ویژگی های پیش بینی شده است. از این رابطه می توان نتیجه گرفت که با بیشینه سازی درست نمایی، متوسط پیش بینی شده برای هر متغیر توصیفی با متوسط مشاهده شده برابر است  $(\bar{x} = \hat{x})$  [۴].

ثابت ویژه گزینه ها را نیز می توان به صورت ضریب یک متغیر مجازی صفر و یکی در نظر گرفت. اگر این متغیر مجازی  $d_i^j$  برای گزینه  $j$  ام در تابع مطلوبیت گزینه  $i$ ، به گونه ای تعریف شود که هرگاه  $i = j$ ، مقدار آن برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر باشد، آن گاه ثابت های ویژه گزینه ها در رابطه ۶-۳ صدق می کنند و رابطه ۷-۳ برقرار است [۴]:

$$\frac{1}{N} \sum_n \sum_i y_{ni} d_i^j = \frac{1}{N} \sum_n \sum_i P_{ni} d_i^j$$

رابطه ۷-۳

سمت چپ تساوی برابر سهمی از افراد نمونه است که گزینه  $j$  را انتخاب کرده اند  $(\bar{S}_j)$ ، و سمت راست سهم پیش بینی شده مدل برای انتخاب گزینه  $j$ ،  $(\hat{S}_j)$  است  $(\bar{S}_j = \hat{S}_j)$  [۴].  
رابطه ۷-۳ را می توان به صورت رابطه ۸-۳ ساده نمود [۱]:

$$\sum_n y_{nj} = \sum_n P_{nj}$$

رابطه ۸-۳

از این مسئله می توان نتیجه گرفت که با وجود ثابت های ویژه در توابع مطلوبیت گزینه ها، مدل همواره سهم بازارهای همفزون هر گزینه را باز تولید می کند. در واقع با در نظر گرفتن این ثابت ها، اثر متغیرهای در نظر گرفته نشده جبران شده و سهم های پیش بینی و مشاهده هر گزینه با هم برابر می شوند [۱ و ۴].

|                                                                                                      |                                                                      |       |        |                                                                                                       |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | بازیابی و بهنگام سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان شهر شیراز |       |        | <br>شهردای شیراز |                                     |
|                                                                                                      | صفحه ۱۵                                                              |       |        |                                                                                                       |                                     |
|                                                                                                      | تاریخ                                                                | گزارش | ویرایش |                                                                                                       | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                       | ۰۴    | ۰۱     |                                                                                                       |                                     |

### ۳-۲- ارزیابی مدل‌های تفکیک سفر

ارزیابی مدل‌های تفکیک سفر ساخته شده در سه بخش کلی در زیر، انجام می‌گیرد:

۱- آزمون‌های غیررسمی<sup>۱</sup>

۲- آزمون‌های نکویی برازش<sup>۲</sup>

۳- آزمون‌های آماری<sup>۳</sup>

در ادامه، در مورد هریک از دسته‌های اشاره شده معیارهایی معرفی می‌شود که در این گزارش نیز از آن‌ها بهره گرفته شده است.

### ۳-۲-۱- آزمون‌های غیررسمی

این آزمون‌ها که معمولاً در هنگام ساخت مدل توسط کارشناس در نظر گرفته می‌شود، به صورت زیر هستند:

#### ۳-۲-۲- علامت متغیرها

با آگاهی از تأثیر مثبت و منفی متغیرها بر مدل و دید کارشناسی می‌توان صحت و منطقی بودن علائم را تشخیص داد. در مورد برخی متغیرها، بین ضرایب یک متغیر در گزینه‌های مختلف باید اختلاف علامت مثبت یا منفی وجود داشته باشد. به عنوان نمونه، متغیری مانند سرانه مالکیت سواری شخصی در تابع مطلوبیت این وسیله با علامت مثبت و در تابع مطلوبیت پیاده‌روی با علامت منفی منطقی است، چرا که این متغیر باید باعث افزایش مطلوبیت سواری شخصی یا کاهش مطلوبیت وسایل نقلیه رقیب شود.

#### ۳-۲-۳- نسبت بین زوج متغیرها

منظور این است که اگر بین یک زوج از متغیرها یک رابطه به گونه‌ای وجود دارد که مثلاً اگر آن دو را بر هم تقسیم کنیم به عددی می‌رسیم که تعریف خاصی برای آن وجود دارد و قابل مقایسه است، این کار صورت گیرد و صحت عملیات تأیید شود. به عنوان مثال از تقسیم زمان سفر بر هزینه سفر می‌توان به ارزش زمانی<sup>۴</sup> رسید.

<sup>۱</sup> Informal Tests

<sup>۲</sup> Goodness of Fit

<sup>۳</sup> Statistical Tests

<sup>۴</sup> Value of time

|                                                                                     |                                                                     |        |                                     |                                                                                       |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     |  |  |
|                                                                                     | صفحه ۱۶                                                             | گزارش  |                                     |                                                                                       |  |
|                                                                                     | تاریخ                                                               | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                       |  |
|                                                                                     | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                      | ۰۴     | ۰۱                                  |                                                                                       |  |

همانند مدل‌های خطی، در مدل‌های انتخاب گسسته نیز آزمون آماره t برای سنجش فرضیات مربوط به پارامترها، تعیین معناداری و اهمیت آن‌ها به کار می‌رود. این آماره از خروجی نرم‌افزار قابل استفاده است.

## ۳-۲-۵- آزمون‌های نکویی برازش

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 می‌شود. براین اساس چهار حالت به صورت زیر تعریف می‌شود:

- ۱- حالتی که تمام ضرایب در مدل صفر باشد<sup>۱</sup> و سهم تمام وسایل با هم برابر در نظر گرفته شود (LL(0)).
- ۲- حالتی که تابع مطلوبیت هر وسیله سفر برابر با سهم آن در وضع موجود قرار داده شود (LL(C)).<sup>۲</sup>
- ۳- حالتی که ضرایب در توابع مطلوبیت بر اساس روش تمایل بیشینه تخمین زده شود (LL(β)).
- ۴- حالتی که مدل ارائه شده پیش‌بینی آینده را بسیار مناسب و کامل انجام داده است<sup>۳</sup> که این حالت به عنوان حد نهایی فرض شده و قابل دستیابی نیست (LL(\*)).

بین مقادیر لگاریتم تابع تمایل در چهار حالت مذکور باید شرطی به صورت زیر برقرار باشد:

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

گرچه این امکان وجود ندارد که برای مدل لوجیت شاخصی مثل  $R^2$  در مدل رگرسیون تعریف شود، نیاز به شاخصی بین صفر و یک برای مقایسه بین مدل‌ها وجود دارد. یکی از شاخص‌هایی که این نیاز را تاحدی برآورده می‌کند، شاخص نسبت درست‌نمایی<sup>۲</sup>  $\rho^2$  است.

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

$\rho_0^2$  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

<sup>1</sup> - Zero Coefficients Models

<sup>2</sup> - Constants-Only Models

<sup>3</sup> - Perfect Prediction Model

|                                                                                     |                |                                                                     |        |                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  | صفحه ۱۷        | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     |  |
|                                                                                     | تاریخ          | گزارش                                                               | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                       |
|                                                                                     | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                  | ۰۱     |                                     |                                                                                       |



در بهترین حالت ممکن که کامل و بی نقص است و به صورت زیر نشان داده می شود:

$$\rho^2 = \frac{LL(\hat{\beta}) - LL(0)}{LL(*) - LL(0)} \quad \text{رابطه ۳-۹}$$

حالت کامل و بی نقصی که به آن اشاره شد، احتمال پیامد هر وسیله را به گونه ای ارائه و برآورد می کند که احتمال وقوع در حالت کلی برابر با یک باشد. بر این اساس مقدار  $LL(*)$  که در واقع  $LL(1)$  است، برابر با صفر خواهد شد و رابطه به صورت زیر در می آید:

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\hat{\beta})}{LL(0)} \quad \text{رابطه ۳-۱۰}$$

چنان چه مجموعه انتخاب همه افراد دارای  $C$  عضو باشد،  $LL(\cdot)$  از رابطه زیر به دست می آید:

$$LL(\cdot) = -N \ln(C) \quad \text{رابطه ۳-۱۱}$$

به طریق مشابه،  $\rho_c^2$  به صورت زیر تعریف می شود:

$$\rho_c^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(C)} \quad \text{رابطه ۳-۱۲}$$

$LL(C)$  مقدار لگاریتم تابع درست نمایی است در حالتی که تنها ثابت های ویژه گزینه ها در تابع مطلوبیت وجود داشته باشند و سایر ضرایب صفر در نظر گرفته شوند. این حالت متناظر با مدلی است که سهم های مشاهده شده در داده ها را به دست می دهد، اما به تغییر هیچ یک از متغیرها حساس نیست و قابلیت پیش بینی ندارد. مقدار  $LL(C)$  از رابطه ۳-۱۳ قابل محاسبه است:

$$LL(C) = \sum_{i=1}^J \lambda_i \ln\left(\frac{\lambda_i}{\gamma_i}\right) \quad \text{رابطه ۳-۱۳}$$

$\lambda_i$ : تعداد مشاهداتی که گزینه  $i$  را انتخاب کرده اند.

$\gamma_i$ : تعداد مشاهداتی که گزینه  $i$  برای آن ها موجود بوده است.

$$\lambda_i = \sum_{n=1}^N y_{ni} \quad \text{رابطه ۳-۱۴}$$

اگرچه شاخص  $\rho^2$  متناظر با  $R^2$  در مدل های خطی است و هر دو در بازه صفر تا یک تغییر می کنند، اما مفهوم این دو متفاوت است؛  $R^2$  درصد تغییرات در متغیر وابسته را نسبت به مدل برآورد شده بیان می کند، اما  $\rho^2$  بیانگر درصد بهبود در مقدار لگاریتم تابع درست نمایی نسبت به شرایطی است که همه پارامترهای مدل

|                                                                                     |                                                                      |       |    |                                                                                       |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|----|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | بازیابی و بهنگام سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان شهر شیراز |       |    |  |  |
|                                                                                     | صفحه ۱۸                                                              | گزارش |    |                                                                                       |  |
|                                                                                     | تاریخ                                                                | ۰۴    | ۰۱ |                                                                                       |  |
| ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر)                                                 |                                                                      |       |    |                                                                                       |  |
| مرداد ماه ۱۴۰۱                                                                      |                                                                      |       |    |                                                                                       |  |

صفر باشند. به طور کلی در مورد  $\rho^2$  نمی توان حدودی را برای رد یا تایید مدل تعیین نمود. در مقایسه دو مدل که روی یک سری داده خاص برازش داده شده اند و مجموعه انتخاب آن ها نیز مشابه است، می توان گفت که مدل با  $\rho^2$  بیشتر مناسب تر است [۵ و ۶].

مسئله ای که در رابطه با این معیار وجود دارد این است که با اضافه شدن یک متغیر به مدل و زیاد شدن درجات آزادی آن، هنوز از یک سری اطلاعات یکسان برای تخمین خوب بودن مدل بهره برده می شود. یک راه حل برای این مشکل آن است که معیار  $\rho^2$  را با معیار بهبود یافته و اصلاح شده  $\rho_{adj}^2$  جایگزین کنیم که به نوعی می خواهد مشکل به وجود آمده را تا حدی کاهش دهد. بر این اساس  $\rho_{adj}^2$  و  $\rho_{cadj}^2$  به صورت زیر برآورد می شوند:

$$\rho_{adj}^2 = 1 - \frac{LL(\hat{\beta}) - k}{LL(0)} \quad \text{رابطه ۳-۱۵}$$

$$\rho_{cadj}^2 = 1 - \frac{LL(\hat{\beta}) - k}{LL(C) - k_{ms}} \quad \text{رابطه ۳-۱۶}$$

که  $k$  تعداد درجات آزادی (تعداد متغیرهای) استفاده شده در مدل است. همچنین،  $k_{ms}$ ، بیانگر تعداد متغیرها مورد استفاده است در حالتی که تمام توابع مطلوبیت برابر یک عدد ثابت باشند.

### ۳-۲-۶- آزمون نسبت درست نمایی

فرض صفر  $H$  را به عنوان محدودیتی روی مقادیر پارامترها بیان می کنند. برای مثال دو فرض رایج در این باره این ها هستند:

۱- چندین پارامتر صفر باشند.

۲- دو یا چند پارامتر برابر باشند [۴].

اگر برآورد درست نمایی بیشینه پارامترها تحت این محدودیت ها را با  $L(\beta^H)$  نشان دهند، نسبت درست نمایی به صورت رابطه ۳-۱۷ تعریف می شود:

$$R = \frac{L(\beta^H)}{L(\beta)} \quad \text{رابطه ۳-۱۷}$$

$L(\beta^H)$ : درست نمایی بیشینه تحت فرض  $H$

$L(\beta)$ : درست نمایی بیشینه بدون فرض  $H$

همانند نسبت درست نمایی در سایر مدل ها، آماره آزمون به صورت  $-2 \log R$  تعریف می شود و توزیع مربع

|                                                                                                      |                                                                      |        |    |                                                                                                        |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | بازبینی و بهنگام سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان شهر شیراز |        |    | <br>شهرداری شیراز |                                     |
|                                                                                                      | صفحه ۱۹                                                              | گزارش  |    |                                                                                                        | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |
|                                                                                                      | تاریخ                                                                | ویرایش |    |                                                                                                        |                                     |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                       | ۰۴     | ۰۱ |                                                                                                        |                                     |

کای با درجه آزادی برابر با تعداد قیدهای به کار رفته در فرض صفر دارد. بنابراین آماره آزمون نسبت درست‌نمایی به صورت رابطه ۳-۱۸ است:

$$-2\log R = -2(LL(\beta^H) - LL(\beta)) \quad \text{رابطه ۳-۱۸}$$

اگر این مقدار از مقدار بحرانی آزمون کای دو بیشتر شود، آنگاه فرض صفر رد می‌شود [۴].

فرض‌هایی که معمولاً برای مدل لجیت بررسی می‌شوند، این‌ها هستند:

۱. ضرایب همه متغیرها صفر باشند، در این صورت  $LL(\beta^H) = LL(0)$  خواهد بود و آماره آزمون به صورت

$$-2(LL(0) - LL(\beta)) \sim \chi^2_k$$

خواهد بود. درجه آزادی در این حالت برابر با تعداد پارامترها ( $k$ ) است.

۲. ضرایب همه متغیرها به جز ثابت ویژه گزینه‌ها برابر با صفر باشند، در این حالت  $LL(\beta^H) = LL(C)$  و آماره

$$-2(LL(C) - LL(\beta)) \sim \chi^2_{k-j+1}$$

آزمون به شکل  $-2(LL(C) - LL(\beta)) \sim \chi^2_{k-j+1}$  در می‌آید. درجه آزادی در این جا برابر با تعداد کل

پارامترها منهای تعداد ثابت‌های ویژه  $(k - (j - 1))$  می‌باشد.

### ۳-۲-۷- کشسانی<sup>۱</sup> و اثر حاشیه‌ای<sup>۲</sup> متغیرها

به طور کلی الاستیسیته یا کشسانی یک متغیر وابسته  $y$  با توجه به یک متغیر مستقل در یک تابع،

به صورت رابطه ۳-۱۹ تعریف می‌شود. معمولاً کشسانی به صورت درصد تغییرات در متغیر وابسته با توجه به

یک درصد افزایش در یک متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شود [۱].

$$E(y, x_i) = \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{x_i}{y} \quad \text{رابطه ۳-۱۹}$$

در یک مدل انتخاب گسسته کشسانی را به دو صورت مستقیم و معکوس تعریف می‌کنند که اولی درصد

تغییرات در احتمال انتخاب گزینه‌ای که متغیر مستقل مورد نظر در آن قرار دارد و دومی درصد تغییرات را

برای گزینه‌های رقیب آن نشان می‌دهد. در این پژوهش برای بررسی اهمیت متغیرهای مستقل از مفهوم

کشسانی استفاده شده و ضرایب کشسانی مستقیم و معکوس برای همه متغیرها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

هم‌چنین اثر حاشیه‌ای متغیرها نیز که به صورت میزان تغییر در متغیر وابسته به‌ازای یک واحد افزایش در متغیر

مستقل تعریف می‌شود، برای متغیرهای هر مدل ارائه شده است.

<sup>۱</sup>. Elasticity

<sup>۲</sup>. Marginal Effect

|                                                                                                             |                                                                     |       |        |                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه صنعتی اصفهان | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |        | <br>شیرازی شیراز |
|                                                                                                             | صفحه ۲۰                                                             |       |        |                                                                                                       |
|                                                                                                             | تاریخ                                                               | گزارش | ویرایش |                                                                                                       |
| مرداد ماه ۱۴۰۱                                                                                              | ۰۴                                                                  | ۰۱    |        |                                                                                                       |

## ۴- مروری بر مطالعات خارجی

### ۴-۱- اهداف سفر مورد استفاده در مدل‌ها

مطالعات انجام شده در کشور آمریکا نشان می‌دهد که مطالعات جامع ۹۰ درصد شهرهای بزرگ این کشور دارای مدل‌های تفکیک سفر بوده است. نمودار شکل ۴-۱ نشان‌دهنده تعداد شهرهای دارای مدل تفکیک سفر در این کشور است.



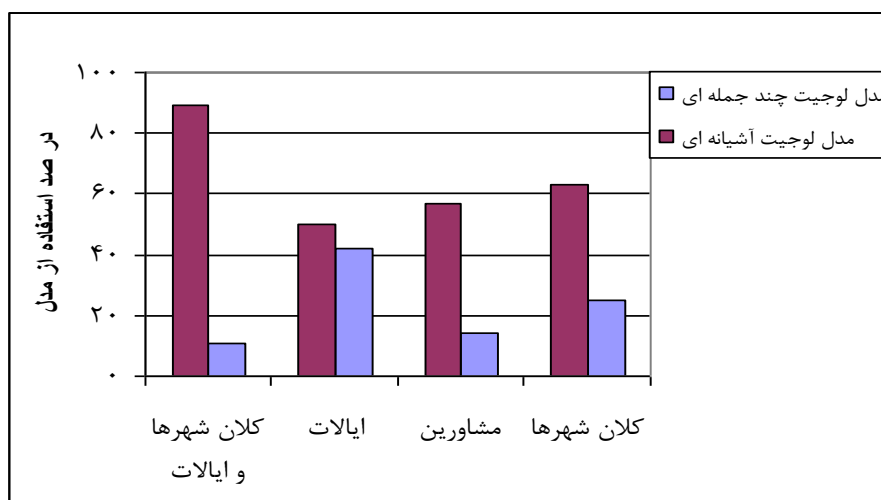
شکل ۴-۱- درصد شهرهای دارای مدل تفکیک سفر در کشور آمریکا

این شکل همچنین نشان می‌دهد که بیشترین سفرهایی که در این مطالعات مورد توجه قرار گرفته، سفرهای خانه‌مبنای غیر خرید است. در مجموع در شهرهای بزرگ سفرهای خانه‌مبنای کاری، خرید، غیرخرید، مدرسه و دانشگاهی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

### ۴-۲- ساختار مورد استفاده در مدل‌ها

در رابطه با ساختار مدل‌های مورد استفاده در شهرهای آمریکا باید بیان نمود که تنها تعداد کمی از شهرها استفاده از مدل‌های رگرسیون و یا منحنی‌های انحراف را گزارش نموده‌اند و تقریباً تمامی شهرها از مدل‌های لجیت چندگانه یا آشیانه‌ای استفاده نموده‌اند.

همان‌گونه که شکل ۴-۲ نشان می‌دهد، ۶۳ درصد کلان‌شهرهای آمریکا برای مدل‌سازی تفکیک سفر، از مدل‌های لجیت آشیانه‌ای استفاده کرده‌اند. باید توجه نمود که این موضوع به عواملی از جمله نوع وسایل (گزینه‌های) در نظر گرفته شده بستگی دارد.



شکل ۴-۲- درصد استفاده از مدل‌های لوجیت آشیانه‌ای در شهرهای آمریکا

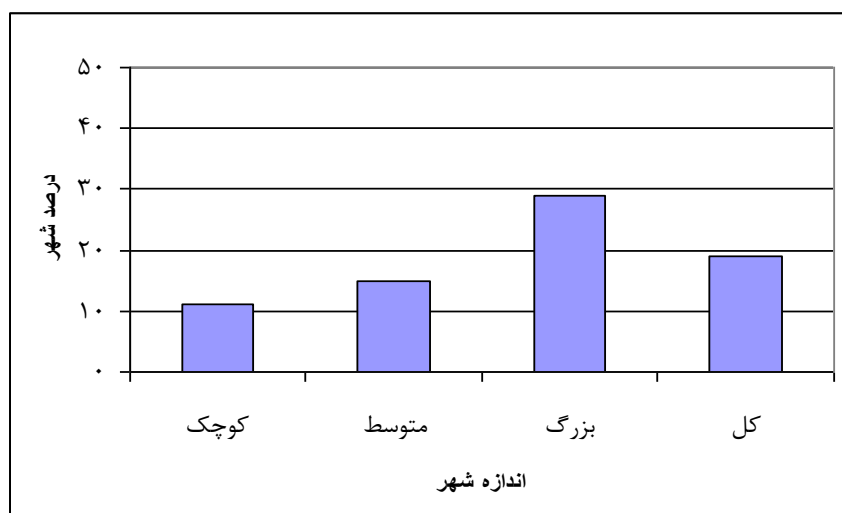
#### ۴-۳- وسایل سفر مورد بررسی در مدل‌ها

بیشترین وسایل سفر که در مطالعات تفکیک سفر در آمریکا مورد نظر قرار گرفته عبارتند از: سواری شخصی با یک راننده، سواری شخصی با دو سرنشین و اتوبوس. سیستم ریلی تنها در یک سوم شهرهای مورد بررسی قرار گرفته است. در اکثر شهرهایی که سیستم ریلی مورد بررسی قرار گرفته، ساختار مدل آشیانه‌ای بوده و وسیله دسترسی پیاده و سواری برای دسترسی به آن در نظر گرفته شده است. ۲۵ درصد شهرهای آمریکا از پیاده و دوچرخه به عنوان یک وسیله سفر مجزا استفاده نموده‌اند. در رابطه با نوع وسایل سفر نکته مهمی که در مطالعات کشورهای خارجی دیده می‌شود در نظر گرفتن یا نگرفتن دسترسی است. به طور مثال اگر لازم باشد شخصی برای دسترسی به اتوبوس مسافتی را با تاکسی طی نماید، برخی از شهرها وسیله جدایی را با عنوان تاکسی- اتوبوس که نشان‌دهنده نحوه دسترسی است تعریف می‌نماید. شکل ۴-۳ نشان‌دهنده تعداد شهرهایی است که نحوه دسترسی را در نظر گرفته‌اند. در این شکل دیده می‌شود که ۲۹ درصد شهرهای بزرگ و ۱۵ درصد شهرهای متوسط آمریکا به این موضوع توجه نموده‌اند.

جدول ۴-۱ نشان‌دهنده وسایل سفر مورد بررسی در شهرهای آمریکا برای اهداف کاری و سایر اهداف است. در این جدول نیز میزان استفاده از سواری شخصی در مدل‌ها دیده می‌شود.

جدول ۴-۱- میزان استفاده از انواع وسایل سفر در مدل سازی تفکیک سفر در کشور آمریکا

| درصد استفاده |                 | نوع وسیله سفر                          |
|--------------|-----------------|----------------------------------------|
| سایر         | خانه مبنای کاری |                                        |
| ۶۸           | ۷۴              | خودروی تک سرنشین                       |
| ۵۰           | ۶۲              | خودروی دارای دو سرنشین                 |
| ۵۶           | ۵۶              | اتوبوس محلی                            |
| ۵۹           | ۵۳              | پیاده روی تا اتوبوس محلی               |
| ۴۷           | ۵۰              | رانندگی تا اتوبوس محلی                 |
| ۳۸           | ۴۴              | اتوبوس سریع السیر/ برون شهری           |
| ۲۹           | ۳۸              | خودروی دارای سه سرنشین یا بیشتر        |
| ۳۸           | ۳۸              | پیاده روی                              |
| ۳۲           | ۳۵              | پیاده روی تا ایستگاه قطار              |
| ۳۲           | ۳۵              | رانندگی تا ایستگاه قطار                |
| ۳۸           | ۳۵              | قطار سبک شهری                          |
| ۲۹           | ۳۲              | پیاده روی تا ایستگاه اتوبوس سریع السیر |
| ۲۹           | ۳۲              | رانندگی تا ایستگاه اتوبوس سریع السیر   |
| ۲۹           | ۲۹              | قطار برون شهری                         |
| ۲۹           | ۲۶              | حمل و نقل همگانی                       |
| ۲۶           | ۲۶              | دوچرخه                                 |
| ۱۲           | ۲۴              | خودروی دارای دو سرنشین یا بیشتر        |
| ۲۴           | ۲۱              | اتوبوس سریع شهری                       |
| ۱۵           | ۱۸              | خودرو                                  |
| ۹            | ۱۵              | خودروی دارای سه سرنشین                 |
| ۹            | ۱۵              | رانندگی تا دسترسی به سایر وسایل        |
| ۹            | ۱۲              | پیاده روی تا دسترسی به سایر وسایل      |
| ۱۲           | ۱۲              | قطار سنگین                             |
| ۶            | ۹               | سایر                                   |
| ۳            | ۶               | خودروی دارای چهار سرنشین               |
| ۳            | ۶               | خودروی دارای چهار سرنشین یا بیشتر      |



شکل ۳-۴- سهم استفاده از «نحوه دسترسی» در تفکیک سفر شهرهای آمریکا

#### ۴-۴- دوره زمانی مدل سازی

به طور کلی مدل های تفکیک سفر به تفکیک اهداف سفر و به صورت روزانه یا یک دوره زمانی خاص از روز ساخته شده و مورد استفاده قرار می گیرند. جدول ۲-۴ اهداف سفر و دوره زمانی ساخت مدل های تفکیک سفر را در شهرهای آمریکا نشان می دهد.

جدول ۲-۴- هدف و زمان سفرهای مدل شده در مطالعات جامع حمل و نقل در آمریکا

| دوره زمانی                 | هدف سفر                     |
|----------------------------|-----------------------------|
| اوج صبح                    | سفر کاری خانه مبنا          |
| میان روز                   | سفر خرده فروشی خانه مبنا    |
| اوج صبح، غیر اوج و اوج عصر | سفرهای خدماتی خانه مبنا     |
| اوج صبح و غیر اوج          | سفرهای تحصیلی خانه مبنا     |
| اوج صبح                    | سفرهای دانشگاهی خانه مبنا   |
| غیر اوج                    | سفر خانه مبنا با سایر اهداف |
| غیر اوج                    | سفرهای غیر خانه مبنا        |

## ۵- بررسی مدل‌های تفکیک سفر در شهرهای کشور

در این بخش به‌عنوان نمونه‌های داخلی، به بررسی مدل‌های برآورد شده در برخی شهرهای کشور پرداخته می‌شود. در این بررسی‌ها نقاط ضعف و قوت هریک از مدل‌های برآورده شده در این شهرها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. برای این منظور، ساختار مدل، نوع اطلاعات مورد استفاده در برآورد مدل‌ها، متغیرها و نحوه ارزیابی مدل‌ها مورد نقد و بررسی قرار می‌گیرد.

### ۵-۱- بررسی ساختار مدل‌های تفکیک سفر شهرهای تهران، مشهد، اصفهان، شیراز و کرمانشاه

در رابطه با ساختار مدل‌های تفکیک سفر ساخته شده در شهرهای تهران، مشهد، اصفهان، شیراز و کرمانشاه به‌عنوان چند نمونه مهم از شهرهای دارای مدل تفکیک در کشور، موارد زیر قابل توجه است:

۱- نوع مدل‌ها: نوع مدل‌های مورد استفاده در تمامی شهرهای کشور مدل لوجیت است. علت این امر را می‌توان در سادگی بیشتر این مدل‌ها دانست. مدل‌های پروبیت دارای ساختار بسیار پیچیده‌ای هستند که به‌کارگیری آن‌ها مستلزم صرف هزینه‌های هنگفتی خواهد بود. از طرف دیگر مدل‌های پروبیت دارای فرم خاص ۱ (به‌عنوان مثال نمایی، کسری و ...) نیستند که این موضوع نیز کاربرد آن‌ها را با مشکل روبرو می‌کند. تمامی مدل‌های ساخته شده در شهرهای نام‌برده به‌جز شهر تهران دارای ساختار چندگانه هستند. در شهر تهران مدل‌های تفکیک سفرهای شغلی دارای ساختار آشیانه‌ای بوده است. از آنجا که جمعیت تمامی شهرهای مورد مطالعه، زیاد بوده و مدل‌ساز تشخیص داده است که مشخصات مبدأ و مقصد بر روی انتخاب وسیله سفر تأثیرگذار است، از مدل‌هایی استفاده شده که مشخصات مبدأ و مقصد (همانند واقع شدن مقصد در مرکز تجاری شهر یا سرانه مالکیت مبدأ) نیز در انتخاب وسیله تأثیرگذار است.

۲- سطح مدل‌سازی: در مطالعات جامع حمل‌ونقل انجام‌شده برای شهرهای کرمانشاه، اصفهان، شیراز، تهران و مشهد، از اطلاعات هم‌فزون استفاده شده است. عدم استفاده از اطلاعات ناهم‌فزون، به مشکلات موجود در پیاده‌سازی مدل‌های ناهم‌فزون و نبود اطلاعات کافی در سطح حوزه‌های ترافیکی برای کاربرد آن‌ها است.

### ۵-۱-۱- نوع اطلاعات مورد استفاده

در رابطه با اطلاعات مورد استفاده در برآورد مدل‌های تفکیک سفر شهرهای نام‌برده موارد زیر دارای

<sup>1</sup> - Closed Form

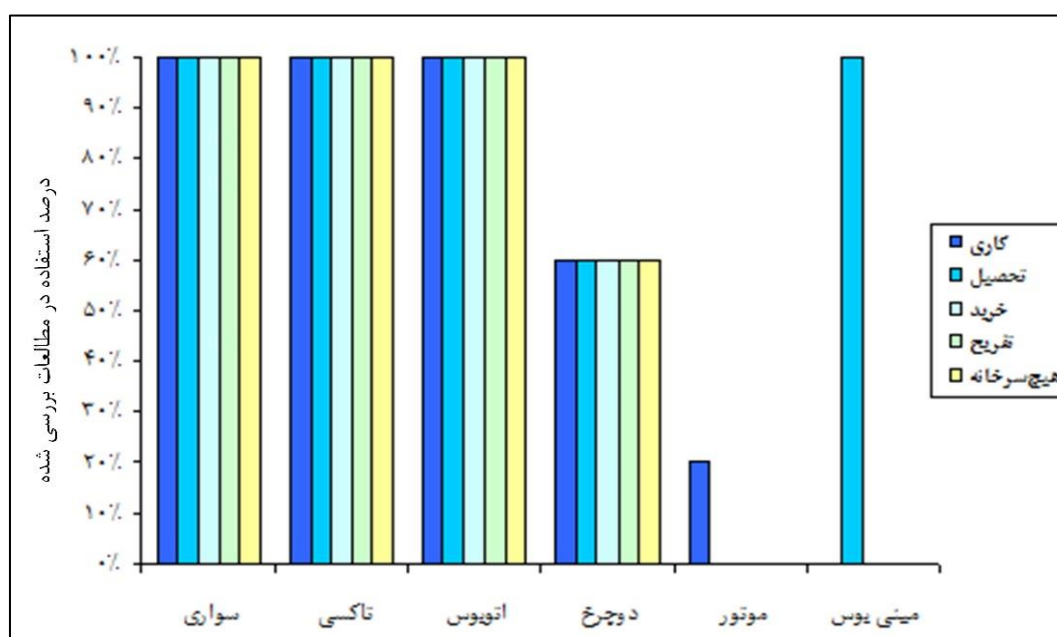
|                                                                                                      |                                                                     |       |       |                                                                                                        |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <br>دانشگاه شیراز | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |       | <br>شهرداری شیراز |  |
|                                                                                                      | صفحه ۲۵                                                             | تاریخ | گزارش |                                                                                                        |  |
|                                                                                                      | ۱۴۰۱ ماه مرداد                                                      |       |       |                                                                                                        |  |
| ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر)                                                                  |                                                                     | ۰۱    | ۰۴    |                                                                                                        |  |



اهمیت است:

۱- وسایل سفر در نظر گرفته شده: وسایل سفری که برای مدل سازی تفکیک سفر برای هریک از اهداف در نظر گرفته شده، آنهایی بوده اند که بیشترین نقش را در جابجایی مسافران در آن هدف خاص داشته اند. در این رابطه وسایلی که دارای سهم کمی در جابجایی مسافر بوده اند از مدل سازی حذف شده اند. شکل ۱-۵، درصد در نظر گرفتن وسایل مختلف را در مدل های تفکیک سفر شهرهای نامبرده نشان می دهد. برای مثال، وسیله نقلیه سواری در تمامی مطالعات مورد بررسی برای مدل سازی تفکیک در نظر گرفته شده است.

۲- نوع داده های مورد استفاده: برای برآورد مدل های تفکیک سفر تمامی شهرها از اطلاعات پرسشگری خانوار (قبل از تعمیم داده ها) استفاده شده است [۷ و ۸ و ۹].



شکل ۱-۵- وسایل نقلیه مدل شده در مدل های با اهداف سفر مختلف در شهرهای مورد بررسی [۷ و ۸ و ۹]

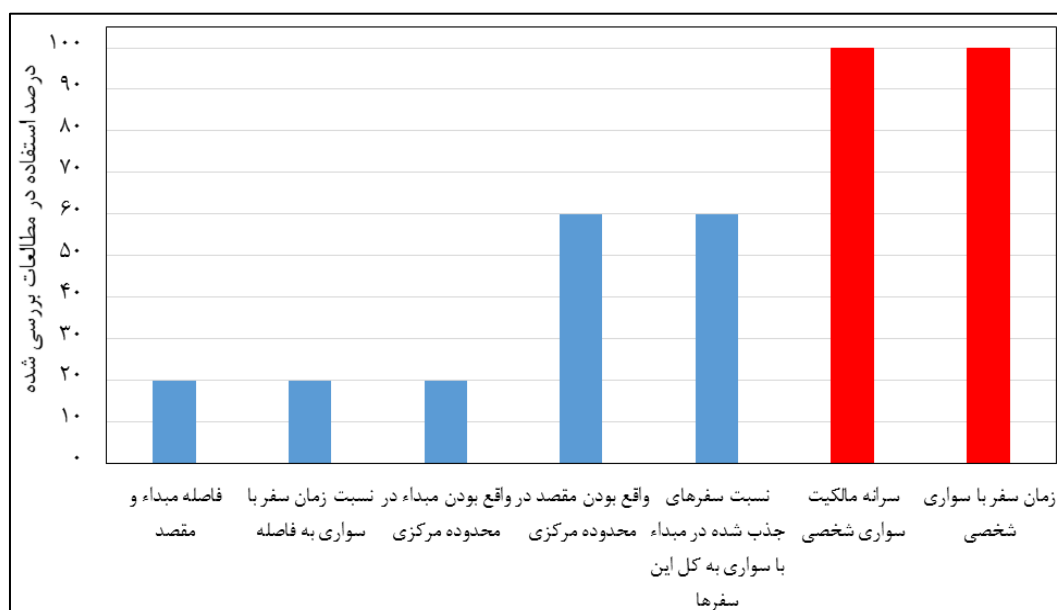
#### ۵-۱-۲- متغیرهای مورد استفاده

هرچند در مدل های تفکیک سفر به صورت کلاسیک هم متغیرهای اقتصادی- اجتماعی و هم متغیرهای مربوط به سفر شامل خصوصیات وسیله، مبدأ و مقصد دخیل هستند، ولی در مدل های ساخته شده در شهرهای نامبرده متغیرهای اقتصادی- اجتماعی چندان مورد توجه قرار نبوده است. تنها متغیر اقتصادی- اجتماعی موجود در مدل های سایر شهرهای کشور مالکیت خودرو است. این موضوع به علت مشکلات موجود در جمع آوری اطلاعات اقتصادی- اجتماعی و پیش بینی آن ها در سطح ناحیه است.

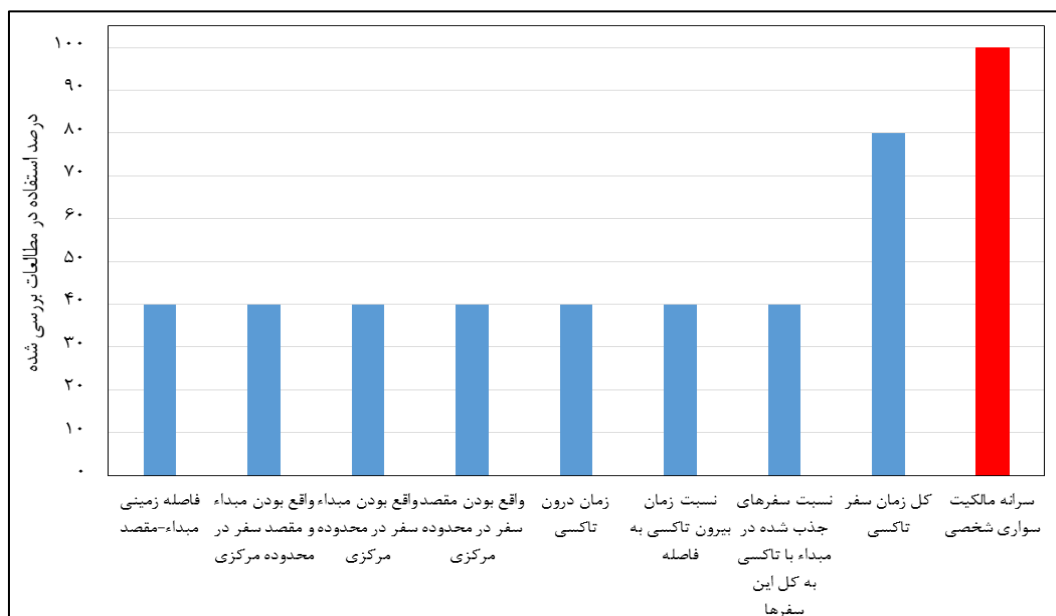
|                                                                                                            |                |                                                                      |        |                                     |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه صنعتی شیراز | صفحه ۲۶        | بازبینی و بهنگام سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان شهر شیراز |        |                                     | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                            | تاریخ          | گزارش                                                                | ویرایش | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                        |
|                                                                                                            | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                   | ۰۱     |                                     |                                                                                                        |

اکثر متغیرهای در نظر گرفته شده در این مدل‌ها متغیرهای مربوط به وسیله سفر است. متغیرهایی همچون، زمان سفر درون خودرو، زمان انتظار و نیز برخی متغیرهای مربوط به میزان دسترسی به وسیله سفر مانند تعداد ایستگاه‌های موجود یا واقع بودن در محدوده مرکزی شهر که به نوعی متغیر ناحیه‌ای محسوب می‌شوند. شکل ۲-۵ تا شکل ۶-۵ نمونه‌ای از متغیرهای در نظر گرفته شده برای هریک از وسایل سفر را نشان می‌دهد [۷ و ۸ و ۹].

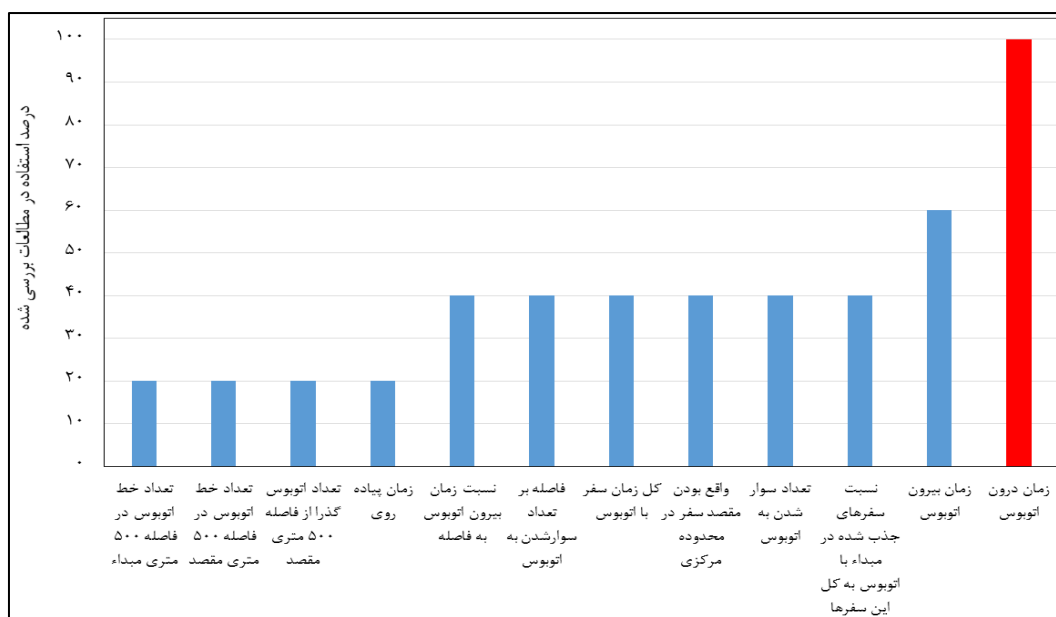
در شکل ۲-۵ تا شکل ۶-۵ محور قائم درصد استفاده را نشان می‌دهد. در این نمودارها منظور متغیرهای مورد بررسی در تمام اهداف است و ذاتاً مفهوم جمع‌پذیری ندارد و موضوع مورد بررسی آن است که آیا از یک متغیر در این مدل‌ها استفاده شده است یا خیر.



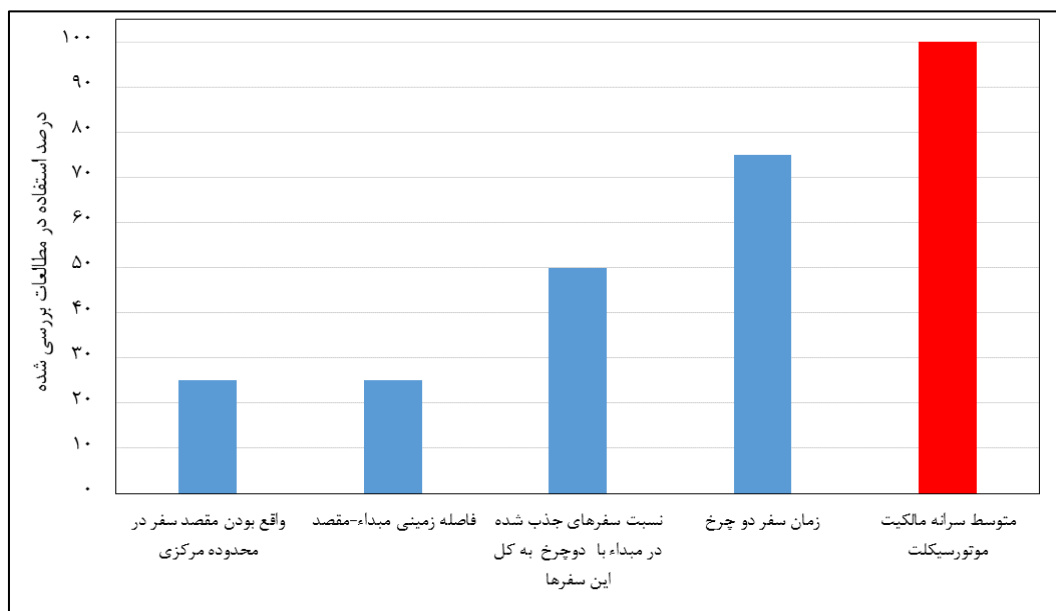
شکل ۲-۵- متغیرهای مدل مطلوبیت خودروی سواری در شهرهای مورد بررسی



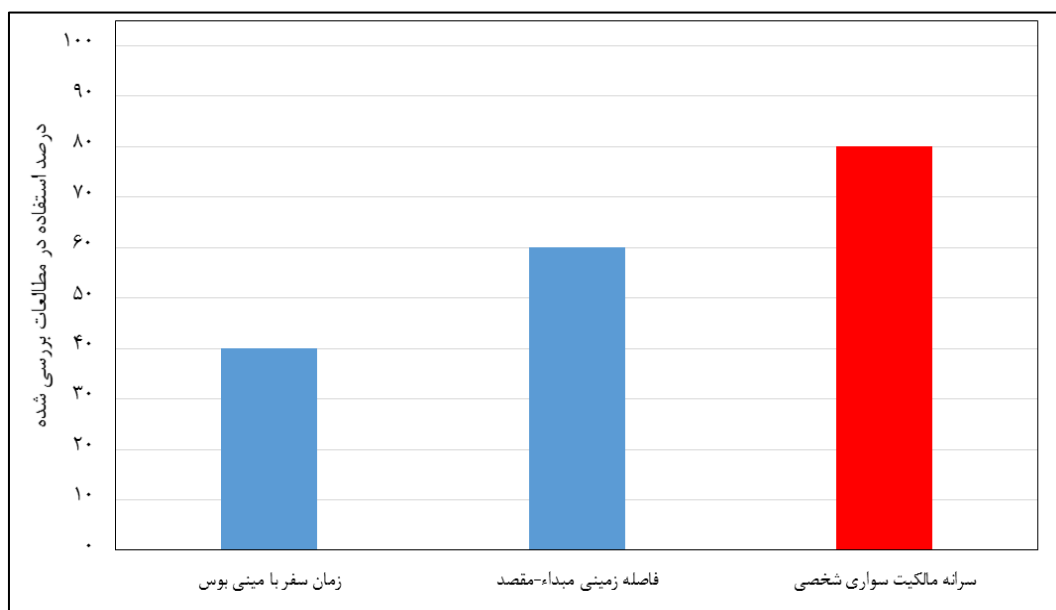
شکل ۵-۳- متغیرهای مدل مطلوبیت تاکسی در شهرهای مورد بررسی



شکل ۵-۴- متغیرهای مدل مطلوبیت اتوبوس در شهرهای مورد بررسی



شکل ۵-۵- متغیرهای مدل مطلوبیت دوچرخه و موتورسیکلت در شهرهای مورد بررسی



شکل ۵-۶- متغیرهای در نظر گرفته شده در مدل مطلوبیت مینی بوس در شهرهای مورد بررسی [۷ و ۸ و ۹]

### ۵-۱-۳- روش ارزیابی مدل‌ها

برای بررسی و ارزیابی صحت و نیز دقت مدل‌های تفکیک می‌توان از آزمون‌های مختلفی استفاده نمود. طبق مطالعات انجام شده در ۵ شهر مورد بررسی در کشور، آزمون‌های انجام شده شامل معنی دار بودن متغیرها، آزمون نسبت درست نمایی، شاخص‌های  $\rho^2$  و  $\bar{\rho}^2$  و ارزیابی مدل‌های انتخاب وسیله بر اساس نتایج تخصیص است. در تمامی شهرهای بررسی شده به جز شهر تهران از تمامی روش‌های فوق برای ارزیابی مدل‌ها استفاده

شده است. در شهر کرمانشاه نیز ارزیابی مدل‌ها بر اساس نتایج تخصیص انجام نشده است.

## ۵-۲- مدل‌های تفکیک سفر در شهرهای اراک، ارومیه و مشهد

در ادامه، مدل‌های تفکیک سفر شهرهای اراک، ارومیه و مشهد به‌طور جداگانه و اجمالی بررسی می‌شود.

### ۵-۲-۱- مدل‌های تفکیک سفر شهر ارومیه

مدل‌های تفکیک شهر ارومیه برای اهداف سفر شغلی، خرید، تحصیلی، پزشکی/مراجعه به ادارات، هیچ‌سرخانه و سایر ساخته شده است. وسایل نقلیه غالب در این مدل‌ها به تفکیک اهداف در جدول ۵-۱ آورده شده است. معیار انتخاب وسایل سفر غالب داشتن سهم سفر بیشتر از ۱۰ درصد از سفرهای صورت گرفته با آن هدف سفر بوده است.

جدول ۵-۱- وسایل سفر غالب به تفکیک اهداف سفر در شهر ارومیه [۱۰]

| هدف سفر                | وسایل سفر غالب                         |
|------------------------|----------------------------------------|
| شغلی                   | سواری و تاکسی و اتوبوس واحد            |
| خرید                   | سواری و تاکسی و اتوبوس واحد            |
| تحصیل                  | سواری و تاکسی و اتوبوس واحد و مینی‌بوس |
| پزشکی/مراجعه به ادارات | سواری و تاکسی و اتوبوس واحد            |
| هیچ سرخانه             | سواری و تاکسی و اتوبوس واحد            |
| سایر                   | سواری و تاکسی و اتوبوس واحد            |

پارامترهای به‌کار رفته در توابع مطلوبیت این مدل‌ها شامل خصوصیات اقتصادی-اجتماعی استفاده کنندگان، خصوصیات فیزیکی و خصوصیات حمل‌ونقلی شبکه (بر اساس تخصیص تقاضای ساعت اوج صبح در سال پایه) است. لیست متغیرهای به‌کار رفته در جدول ۵-۲ آورده شده است.

جدول ۵-۲- لیست متغیرهای به کار رفته در مدل‌های تفکیک شهر ارومیه [۱۰]

| متغیر      | تعریف                                                    |
|------------|----------------------------------------------------------|
| $T_{in}$   | زمان سفر درون اتوبوس                                     |
| $T_{wait}$ | زمان انتظار در ایستگاه مبدأ اتوبوس                       |
| $T_c$      | زمان سفر سواری شخصی                                      |
| $T_{walk}$ | زمان پیاده‌روی در استفاده از اتوبوس                      |
| $D_{dst}$  | فاصله هوایی بین زوج مبدأ- مقصد                           |
| $N_{dst}$  | فاصله بین زوج مبدأ- مقصد روی شبکه                        |
| $d_2$      | اگر $N_{dst}$ بزرگ‌تر از ۲ باشد، ۱ و در غیر این صورت صفر |
| $PCBD$     | اگر مبدأ در CBD باشد ۱، در غیر این صورت صفر              |
| $PACBD$    | اگر مبدأ و مقصد در CBD باشند ۱، در غیر این صورت صفر      |
| $Aco$      | سرانه مالکیت سواری شخصی                                  |
| $Stu/Sum$  | نسبت دانش‌آموزان ساکن به کل دانش‌آموزان ساکن ناحیه       |
| $R_m$      | سهم سفرهای جذب شده با وسیله $m$ در ناحیه مبدأ            |

همچنین در جدول ۵-۳ مقادیر آماره‌های به‌دست آمده برای مدل‌ها ارائه شده است.

جدول ۵-۳- نتایج معیارهای آماری برای اهداف سفر مختلف در شهر ارومیه [۱۰]

| هدف سفر                 | $L(0)$  | $L(c)$  | $L(B)$  | $\rho_0^2$ | K  | $k_{ms}$ | $\bar{\rho}_0^2$ |
|-------------------------|---------|---------|---------|------------|----|----------|------------------|
| شغلی                    | -۴۹۷۸/۶ | -۴۳۰۱/۸ | -۴۰۹۷/۸ | ۰/۱۸       | ۷  | ۲        | ۰/۱۸             |
| خرید                    | -۴۷۰۹/۷ | -۴۵۲۷/۷ | -۴۰۳۱   | ۰/۱۴       | ۸  | ۲        | ۰/۱۴             |
| تحصیل                   | -۸۸۰۴/۵ | -۵۴۰۹/۹ | -۳۹۲۹   | ۰/۵۵       | ۱۰ | ۳        | ۰/۵۵             |
| پزشکی/ مراجعه به ادارات | -۱۷۳۶/۹ | -۱۶۲۰   | -۱۵۵۶/۳ | ۰/۱۰       | ۸  | ۲        | ۰/۱۰             |
| هیچ سرخانه              | -۴۱۵۳/۶ | -۳۷۹۹/۲ | -۳۷۵۰/۹ | ۰/۱۰       | ۸  | ۲        | ۰/۱۰             |
| سایر                    | -۷۹۹۱/۵ | -۵۴۷۴/۱ | -۵۱۶۱/۵ | ۰/۳۵       | ۸  | ۲        | ۰/۳۵             |

#### ۵-۲-۲- مدل‌های تفکیک سفر شهر اراک

مدل‌های تفکیک شهر اراک برای اهداف سفر شغلی، خرید، تحصیلی، پزشکی/ مراجعه به ادارات، هیچ‌سرخانه و سایر توسعه یافته است. وسایل نقلیه غالب در این مدل‌ها به تفکیک اهداف در جدول ۵-۴ آورده شده که معیار انتخاب آن‌ها داشتن سهم سفر بیشتر از ۱۰ درصد از سفرهای هر هدف سفر بوده است [۱۱].

#### جدول ۴-۵- وسایل سفر غالب به تفکیک اهداف سفر در شهر اراک [۱۱]

| وسایل سفر غالب                      | هدف سفر                  |
|-------------------------------------|--------------------------|
| سواری و تاکسی و اتوبوس واحد و موتور | شغلی                     |
| سواری و تاکسی و اتوبوس واحد         | خرید                     |
| تاکسی و اتوبوس واحد و مینی بوس      | تحصیل                    |
| سواری و تاکسی و اتوبوس واحد         | پزشکی / مراجعه به ادارات |
| سواری و تاکسی و اتوبوس واحد         | هیچ سرخانه               |
| سواری و تاکسی و اتوبوس واحد         | سایر                     |

لیست پارامترهای به کار رفته در توابع مطلوبیت این مدل‌ها در جدول ۵-۵ و مقادیر آماره‌های به دست آمده برای مدل‌ها در جدول ۶-۵ آورده شده است.

#### جدول ۵-۵- لیست متغیرهای به کار رفته در مدل‌های تفکیک شهر اراک [۱۱]

| متغیر   | تعریف                                               |
|---------|-----------------------------------------------------|
| Tin     | زمان سفر درون اتوبوس                                |
| Twait   | زمان انتظار در ایستگاه مبدأ اتوبوس                  |
| Tc      | زمان سفر سواری شخصی                                 |
| Twalk   | زمان پیاده روی در استفاده از اتوبوس                 |
| Ddst    | فاصله هوایی بین زوج مبدأ- مقصد                      |
| Ndst    | فاصله بین زوج مبدأ- مقصد روی شبکه                   |
| d2      | اگر Ndst بزرگ‌تر از ۲ باشد، ۱ و در غیر این صورت صفر |
| PCBD    | اگر مبدأ در CBD باشد ۱، در غیر این صورت صفر         |
| PACBD   | اگر مبدأ و مقصد در CBD باشند ۱، در غیر این صورت صفر |
| Aco     | سرانه مالکیت سواری شخصی                             |
| Stu/Sum | نسبت دانش‌آموزان ساکن به کل محصلین ساکن ناحیه       |
| Rm      | سهم سفرهای جذب شده با وسیله m در ناحیه مبدأ         |
| Jou     | کل زمان سفر با اتوبوس از مبدأ تا مقصد               |
| ACBD    | اگر مقصد در CBD باشد ۱، در غیر این صورت صفر         |
| Tac     | زمان پیاده روی از مبدأ تا رسیدن به شبکه معابر       |
| To      | زمان سفر آزاد در شبکه                               |
| BusStop | تعداد ایستگاه‌های اتوبوس در هر ناحیه مبدأ           |
| Nbrd    | تعداد دفعات سوارشدن بر اتوبوس از مبدأ تا مقصد       |

جدول ۵-۶- نتایج معیارهای آماری برای اهداف سفر مختلف در شهر اراک [۱۱]

| هدف سفر                  | L(0)    | L(B)    | $\bar{\rho}^2$ | K  | $k_{ms}$ | $\bar{\rho}^2$ |
|--------------------------|---------|---------|----------------|----|----------|----------------|
| شغلی                     | -۵۷۸۳۸۷ | -۴۹۴۴۲۸ | ۰/۱۵           | ۱۱ | ۳        | ۰/۱۵           |
| خرید                     | -۱۷۱۸۰۳ | -۱۵۲۶۹۶ | ۰/۱۱           | ۹  | ۲        | ۰/۱۱           |
| تحصیل                    | -۲۵۴۹۹۶ | -۲۱۳۵۵۲ | ۰/۱۶           | ۷  | ۲        | ۰/۱۶           |
| پزشکی / مراجعه به ادارات | -۱۷۱۰۲۷ | -۱۵۸۳۸۰ | ۰/۰۷           | ۷  | ۲        | ۰/۰۷           |
| هیچ سرخانه               | -۱۵۲۶۴۷ | -۱۳۴۷۲۱ | ۰/۱۱           | ۷  | ۲        | ۰/۱۱           |
| سایر                     | -۳۶۲۹۰۷ | -۳۳۷۵۵۷ | ۰/۰۷           | ۸  | ۲        | ۰/۰۷           |

### ۵-۲-۳- مدل‌های تفکیک سفر شهر مشهد

مدل‌های تفکیک سفر شهر مشهد برای اهداف سفر شغلی، خرید، تحصیلی، خدماتی، تفریح، زیارت و هیچ سرخانه ساخته شده است. وسایل نقلیه غالب در این مدل‌ها به تفکیک اهداف در جدول ۵-۷ معرفی شده است. معیار انتخاب وسایل سفر غالب اهمیت داشتن در انجام سفر، با توجه به درصد سفرهای انجام شده در هر هدف سفر است.

جدول ۵-۷- وسایل سفر غالب به تفکیک اهداف سفر در مطالعات شهر مشهد [۱۲]

| هدف سفر    | وسایل سفر غالب               |
|------------|------------------------------|
| شغلی       | اتوبوس، تاکسی، سواری و موتور |
| خرید       | اتوبوس، تاکسی و سواری        |
| خدماتی     | اتوبوس، تاکسی و سواری        |
| زیارت      | اتوبوس، تاکسی و سواری        |
| تفریح      | اتوبوس، تاکسی و سواری        |
| تحصیلی     | اتوبوس، تاکسی و سواری        |
| هیچ سرخانه | اتوبوس، تاکسی و سواری        |

پارامترهای به‌کار رفته در توابع مطلوبیت این مدل‌ها شامل خصوصیات اقتصادی- اجتماعی استفاده کنندگان، خصوصیات عرضه و تقاضا است. متغیرهای به‌کار رفته در ساخت مدل‌ها در جدول ۵-۸ معرفی شده است.



جدول ۵-۸- لیست متغیرهای به کار رفته در مدل‌های تفکیک پیشین شهر مشهد [۱۲]

| متغیر   | تعریف                                                       |
|---------|-------------------------------------------------------------|
| RA      | نسبت سفرهای جذب شده به ناحیه با وسیله شخصی                  |
| Tout    | زمان سفر خارج اتوبوس                                        |
| RB      | نسبت سفرهای جذب شده به ناحیه با اتوبوس                      |
| Nbrd    | تعداد دفعات سوارشدن بر اتوبوس، از مبدأ تا مقصد              |
| Tc      | زمان سفر با سواری شخصی                                      |
| Ndst    | فاصله بین زوج مبدأ- مقصد روی شبکه                           |
| D5      | اگر Ndst کوچک‌تر از ۵ کیلومتر باشد، ۱ و در غیر این صورت صفر |
| PCBD    | اگر مبدأ در CBD باشد ۱، در غیر این صورت صفر                 |
| PACBD   | اگر مبدأ و مقصد در CBD باشند ۱، در غیر این صورت صفر         |
| Aco     | سرانه مالکیت سواری شخصی                                     |
| ACBD    | اگر مقصد در CBD باشد ۱، در غیر این صورت صفر                 |
| STP/Pop | تعداد دانش‌آموز تقسیم بر جمعیت ناحیه                        |
| Amo     | سرانه مالکیت موتورسیکلت                                     |

همچنین در جدول ۵-۹ مقادیر آماره‌های مدل ارائه شده است.

جدول ۵-۹- نتایج معیارهای آماری برای اهداف سفر مختلف در مطالعات شهر مشهد [۱۲]

| هدف سفر    | L(0)   | L(c)   | L(B)   | $\rho_0^2$ | $\bar{\rho}^2$ | K  |
|------------|--------|--------|--------|------------|----------------|----|
| شغلی       | -۱۸۰۷۰ | -۱۵۹۲۸ | -۱۴۸۴۷ | ۰/۱۷۸      | ۰/۰۶۸          | ۱۰ |
| خرید       | -۴۸۱۷  | -۴۵۹۵  | -۴۳۱۱  | ۰/۱۰۵      | ۰/۰۶۲          | ۸  |
| خدماتی     | -۳۹۰۰  | -۳۵۹۸  | -۳۴۱۷  | ۰/۱۲۴      | ۰/۰۵۰          | ۷  |
| تحصیلی     | -۸۶۴۰  | -۷۹۸۱  | -۷۵۷۲  | ۰/۱۲۴      | ۰/۰۵۱          | ۷  |
| تفریح      | -۵۲۱۸  | -۵۰۵۷  | -۴۸۶۰  | ۰/۰۶۹      | ۰/۰۳۹          | ۶  |
| زیارت      | -۲۵۴۵  | -۲۱۵۳  | -۲۰۵۸  | ۰/۱۹۱      | ۰/۰۴۴          | ۹  |
| هیچ سرخانه | -۵۰۱۸  | -۴۵۶۵  | -۴۴۲۰  | ۰/۱۱۹      | ۰/۰۳۲          | ۱۰ |

## ۶- جمع‌آوری اطلاعات و متغیرهای مدل تفکیک شهر شیراز

اطلاعات سفرهای مشاهده شده در آمارگیری مبدأ- مقصد ساکنان شهر شیراز را می‌توان به دو گروه کلی خانه‌مبنا و غیرخانه‌مبنا تقسیم نمود. حدود نیمی از سفرهای خانه‌مبنا با شروع از خانه به وقوع می‌پیوندند و نیم دیگر با هدف بازگشت به خانه صورت می‌گیرند. سفرهای بازگشت به خانه معمولاً جزء آخرین سفرهای صورت گرفته توسط فرد در طول یک روز بوده و صرفاً به دلیل ویژگی‌های خانه که حضور اعضای خانوار را در انتهای روز ضروری می‌کند، صورت می‌گیرد. بنابراین ویژگی‌های این سفر بسیار وابسته به خصوصیات خانه بوده و خانه تولیدکننده آن محسوب می‌شود و بر این اساس، این سفرها را نیز خانه‌مبنا در نظر می‌گیرند. تفاوت سفرهای خانه‌مبنا از نوع بازگشت به خانه و از نوع شروع از خانه در زمان وقوع این سفرها بوده که با در نظر گرفتن دوره‌های زمانی برای وقوع سفر از جمله اوج صبح، اوج ظهر، اوج عصر و غیر اوج مورد توجه قرار می‌گیرد. پس از دسته‌بندی کلی سفرها به سفرهای خانه‌مبنا و هیچ سرخانه، شایسته است سفرهای خانه‌مبنا بر اساس اهداف سفرهای صورت گرفته به دسته‌های کوچک‌تری تقسیم‌بندی شوند. این تقسیم‌بندی بر اساس اهداف، کاملاً منطقی است، زیرا می‌توان گفت افراد با توجه به نوع سفری که می‌خواهند انجام دهند، به روش‌های متفاوتی وسیله سفر خود را انتخاب می‌کنند.

برای به دست آوردن ماتریس‌های سفر از نوع خانه‌مبنا باید ماتریس‌های خانه‌مبنای با شروع از خانه را با ترانزاده ماتریس سفرهای بازگشت به خانه جمع کرد، تا از این طریق سفرهای خانه‌مبنا به نقاط تولید و جذب خود، مربوط شوند و می‌توان گفت که پس از این مرحله نقاط ابتدا و انتهای سفر به درستی نقاط تولید و جذب یک سفر هستند (جزئیات بیشتر در گزارش مدل‌های ایجاد سفر ارائه شده است). لازم به ذکر است که هدف سفر بازگشت به خانه مطابق با هدف سفر قبل از آن در نظر گرفته شده است.

### ۶-۱- انتخاب وسایل سفر غالب به تفکیک هدف سفر برای شهر شیراز

به منظور ایجاد یک دسته‌بندی مناسب برای مدل‌سازی، اهداف و وسایل اولیه تعریف شده در پایگاه داده مبدأ-مقصد خانوار، به صورتی که در جدول ۶-۱ و جدول ۶-۲ آمده است، در نظر گرفته شد. سپس سهم حاصل از سفرها به تفکیک هدف و شیوه سفر، بر مبنای ضرایب تعمیم به دست آمد که در جدول ۶-۳ نشان داده شده است. آن دسته از وسایل سفر که بیشترین سهم را در انجام سفرها داشته باشند، به عنوان وسایل سفر غالب انتخاب می‌شوند. در مطالعات دیگر شهرهای کشور، معمولاً سهم حداقل ۱۰ درصدی از سفرهای هر هدف، ملاک انتخاب یک وسیله به عنوان وسیله سفر غالب در آن هدف در نظر گرفته شده است. در این مطالعات برای

|                                                                                                            |                                                                     |       |        |                                                                                                        |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <br>دانشگاه صنعتی شیراز | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |        | <br>شهرداری شیراز |                                     |
|                                                                                                            | صفحه ۳۵                                                             |       |        |                                                                                                        |                                     |
|                                                                                                            | تاریخ                                                               | گزارش | ویرایش |                                                                                                        | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |
| مرداد ماه ۱۴۰۱                                                                                             | ۰۴                                                                  | ۰۱    |        |                                                                                                        |                                     |
|                                                                                                            |                                                                     |       |        |                                                                                                        |                                     |

در نظر گرفتن تأثیر رفتار مسافران در قبال استفاده از شیوه‌های سفر مختلف و در نتیجه امکان استفاده از مدل‌ها برای مدیریت تقاضا، عدد ۳ درصد مدنظر قرار گرفته است. در مورد وسیله وانت با وجود سهم بین ۳ تا ۵ درصدی در اهداف شغلی و غیرخانه‌مبنا، از آنجا که این وسیله معمولاً برای جابجایی بار به کار می‌رود و در پایگاه داده نیز بیشتر سفرهای گزارش شده آن مربوط به افرادی است که با وانت کار می‌کنند و بعضاً سفرهای متوالی خود را گزارش نموده‌اند، از ورود این وسیله در مدل‌سازی صرف‌نظر شده است (این وسیله در مدل دیگر شهرها نیز معمولاً جزء دسته سایر وسایل در نظر گرفته شده و در مدل‌ها وارد نشده است). بر این اساس، جدول ۴-۶ نشان می‌دهد که در هر هدف چه وسایل سفری برای ساخت مدل تفکیک به کار رفته‌اند.

سهم وسایل نقلیه غیر غالب که در مدل‌های تفکیک به آن‌ها پرداخته نمی‌شود، در سال افق مانند سال پایه فرض می‌شود، بر این اساس، پس از مرحله توزیع سفر، سهم مربوط به کل وسایل نقلیه غیر غالب (که برابر با سهم آن‌ها در سال پایه است) از کل سفرهای صورت گرفته کسر شده و سپس بر اساس مدل‌های تفکیک ساخته شده، تفکیک سفر بر روی سفرهای باقی‌مانده انجام می‌شود.

نکته مورد توجه در مطالعه حاضر، عدم برداشت سفرهای پیاده در آماربرداری سفرهای ساکنین شهر شیراز در سال ۱۳۹۴ است که به‌همین دلیل امکان مدل‌سازی سفرهای پیاده در مدل‌های تفکیک سفر این شهر فراهم نیست.

|                                                                                                      |                                                                     |                                     |        |                                                                                                        |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <br>دانشگاه شیراز | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |                                     |        | <br>شهرداری شیراز |  |
|                                                                                                      | صفحه ۳۶                                                             | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |        |                                                                                                        |  |
|                                                                                                      | تاریخ                                                               | گزارش                               | ویرایش |                                                                                                        |  |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                      | ۰۴                                  | ۰۱     |                                                                                                        |  |

جدول ۱-۶- اهداف سفر در نظر گرفته شده برای مدل سازی تفکیک سفر

| ردیف | هدف در مدل سازی | نام هدف در پایگاه داده |
|------|-----------------|------------------------|
| ۱    | شغلی            | شغلی                   |
| ۲    | تحصیلی          | تحصیلی                 |
| ۳    | خرید            | خرید                   |
| ۴    | تفریحی          | تفریح یا زیارت         |
|      |                 | دیدار نزدیکان          |
| ۵    | کار شخصی        | مراجعه به ادارات       |
|      |                 | موارد پزشکی            |
|      |                 | همراهی و رساندن دیگران |
|      |                 | سایر                   |
| ۶    | غیرخانه مینا    | غیر خانه مینا          |

جدول ۲-۶- وسایل سفر در نظر گرفته شده برای مدل سازی تفکیک سفر

| ردیف | نام وسیله در مدل سازی    | نام وسیله در پایگاه داده | سهم از سفرها |
|------|--------------------------|--------------------------|--------------|
| ۱    | خودروی شخصی              | خودروی شخصی              | ۴۵.۸٪        |
| ۲    | تاکسی                    | تاکسی                    | ۱۴.۵٪        |
|      |                          | تاکسی تلفنی              | ۲.۴٪         |
|      |                          | مسافرکش شخصی             | ۱.۲۲٪        |
|      |                          | ون                       | ۰.۳۹٪        |
| ۳    | سرویس                    | سرویس اتوبوس             | ۰.۱۹٪        |
|      |                          | سرویس سواری              | ۱۰.۶٪        |
|      |                          | سرویس مینی بوس           | ۰.۹۹٪        |
|      |                          | سرویس ون                 | ۰.۱۷٪        |
| ۴    | اتوبوس واحد یا قطار شهری | اتوبوس واحد              | ۱۴.۳٪        |
|      |                          | قطار شهری                | ۰.۱۳٪        |
| ۵    | موتورسیکلت               | موتور                    | ۴.۰۷٪        |
| ۶    | دوچرخه                   | دوچرخه                   | ۱.۶۰٪        |
| ۷    | وانت                     | وانت                     | ۱.۹۹٪        |
| ۸    | سایر                     | اتوبوس غیر واحد          | ۰.۱۷٪        |
|      |                          | سایر                     | ۰.۳۸٪        |
|      |                          | کامیون                   | ۰.۰۱٪        |
|      |                          | مینی بوس                 | ۰.۹۶٪        |

جدول ۳-۶- درصد سفرهای شهروندان شهر شیراز به تفکیک هدف و وسیله سفر در حالت تعمیم یافته

| شغلی  | تحصیلی | خرید  | تفریحی | کار شخصی | غیر خانه مبنا | جمع   |
|-------|--------|-------|--------|----------|---------------|-------|
| ۶۲.۱٪ | ۱۸.۲٪  | ۴۳.۴٪ | ۴۹.۹٪  | ۵۳.۲٪    | ۶۲.۶٪         | ۴۵.۸٪ |
| ۱۲.۶٪ | ۱۷.۶٪  | ۲۸.۱٪ | ۲۵.۸٪  | ۲۲.۱٪    | ۱۵.۹٪         | ۱۸.۶٪ |
| ۳.۴٪  | ۴۰.۹٪  | ۰.۰٪  | ۰.۱٪   | ۰.۴٪     | ۱.۰٪          | ۱۲.۰٪ |
| ۷.۴٪  | ۱۸.۱٪  | ۲۱.۱٪ | ۱۶.۸٪  | ۱۸.۷٪    | ۱۱.۳٪         | ۱۴.۵٪ |
| ۷.۷٪  | ۰.۹٪   | ۳.۴٪  | ۲.۶٪   | ۲.۶٪     | ۳.۶٪          | ۴.۱٪  |
| ۰.۷٪  | ۱.۹٪   | ۲.۷٪  | ۳.۴٪   | ۰.۸٪     | ۱.۰٪          | ۱.۶٪  |
| ۴.۲٪  | ۰.۱٪   | ۱.۰٪  | ۰.۸٪   | ۱.۳٪     | ۳.۵٪          | ۲.۰٪  |
| ۱.۹٪  | ۲.۲٪   | ۰.۴٪  | ۰.۷٪   | ۰.۸٪     | ۱.۱٪          | ۱.۵٪  |
| ۱۰۰٪  | ۱۰۰٪   | ۱۰۰٪  | ۱۰۰٪   | ۱۰۰٪     | ۱۰۰٪          | ۱۰۰٪  |

جدول ۴-۶- وسایل غالب به تفکیک هدف سفر

| هدف سفر       | وسایل سفر غالب                                                                  |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| شغلی          | خودروی شخصی، تاکسی، سرویس، وسایل همگانی (اتوبوس واحد یا قطار شهری) و موتورسیکلت |
| تحصیلی        | خودروی شخصی، تاکسی، سرویس و وسایل همگانی                                        |
| خرید          | خودروی شخصی، تاکسی، وسایل همگانی، موتورسیکلت و دوچرخه                           |
| تفریحی        | خودروی شخصی، تاکسی، وسایل همگانی، موتورسیکلت و دوچرخه                           |
| کار شخصی      | خودروی شخصی، تاکسی، وسایل همگانی و موتورسیکلت                                   |
| غیر خانه مبنا | خودروی شخصی، تاکسی، وسایل همگانی و موتورسیکلت                                   |

## ۲-۶- مشاهدات مدل‌های تفکیک سفر شیراز

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، مدل‌های انتخاب شیوه سفر برای شهر شیراز به تفکیک اهداف و بر اساس داده‌های پرسشگری خانوارهای ساکن توسعه یافته است. از آنجا که متغیرهای به کار رفته در مدل‌ها همگی در سطح نواحی ترافیکی هستند، مدل‌های تفکیک سفر شهر شیراز مدل‌های هم‌فزون روی نواحی ترافیکی مبدأ و مقصد به‌شمار می‌روند. این مدل‌ها بر مبنای سهم وسیله حاصل از نمونه تعمیم نیافته توسعه یافته‌اند. جدول ۵-۶ تعداد مشاهدات را بر مبنای سفرهای افراد نشان می‌دهد.

جدول ۵-۶- تعداد مشاهدات نفر-سفر به تفکیک هدف و وسیله سفر

| خودروی شخصی | تاکسی | سرویس | وسایل همگانی | موتورسیکلت | دوچرخه | جمع   |              |
|-------------|-------|-------|--------------|------------|--------|-------|--------------|
| ۱۷۳۵۲       | ۳۴۸۵  | ۹۶۴   | ۲۰۷۰         | ۲۲۴۵       | ۰      | ۲۶۱۱۶ | شغلی         |
| ۳۹۱۳        | ۳۸۰۲  | ۸۹۳۲  | ۴۰۹۳         | ۰          | ۰      | ۲۰۷۴۰ | تحصیلی       |
| ۴۲۲۵        | ۲۵۸۸  | ۰     | ۲۰۳۱         | ۳۴۳        | ۲۷۶    | ۹۴۶۳  | خرید         |
| ۴۲۸۴        | ۲۱۸۷  | ۰     | ۱۴۴۱         | ۲۷۴        | ۳۱۲    | ۸۴۹۸  | تفریحی       |
| ۴۸۴۸        | ۲۰۶۲  | ۰     | ۱۶۶۶         | ۲۶۴        | ۰      | ۸۸۴۰  | کار شخصی     |
| ۱۴۷۹        | ۳۹۴   | ۰     | ۲۴۷          | ۱۰۵        | ۰      | ۲۲۲۵  | غیرخانه‌مبنا |
| ۳۶۱۰۱       | ۱۴۵۱۸ | ۹۸۹۶  | ۱۱۵۴۸        | ۳۲۳۱       | ۵۸۸    | ۷۵۸۸۲ | جمع          |

جدول ۶-۶ نیز ویژگی‌های آماری مشاهدات مورد استفاده برای مدل‌سازی را به تفکیک هدف و وسیله سفر نشان می‌دهد.

جدول ۶-۶- مشخصه‌های آماری تعداد مشاهدات سفر بین زوج مبدا-مقصد‌های مورد استفاده در مدل‌سازی

| شیوه سفر            |             |        |       |              |            |               |
|---------------------|-------------|--------|-------|--------------|------------|---------------|
| شاخص                | خودروی شخصی | تاکسی  | سرویس | وسایل همگانی | موتورسیکلت | دوچرخه        |
| متوسط تعداد مشاهده  | ۱.۷         | ۰.۷    | ۰.۵   | ۰.۵          | ۰.۲        | ۰.۰۳          |
| کمینه تعداد مشاهده  | ۰           | ۰      | ۰     | ۰            | ۰          | ۰             |
| بیشینه تعداد مشاهده | ۲۷۴         | ۱۰۷    | ۱۲۱   | ۳۲           | ۳۰         | ۱۲            |
| هدف سفر             |             |        |       |              |            |               |
| شاخص                | شغلی        | تحصیلی | خرید  | تفریحی       | کار شخصی   | غیر خانه مبنا |
| متوسط تعداد مشاهده  | ۱.۲         | ۱.۰    | ۰.۴   | ۰.۴          | ۰.۴        | ۰.۱           |
| کمینه تعداد مشاهده  | ۰           | ۰      | ۰     | ۰            | ۰          | ۰             |
| بیشینه تعداد مشاهده | ۱۸۲         | ۱۸۸    | ۸۰    | ۴۸           | ۵۷         | ۱۱            |

### ۶-۳- متغیرهای به کار رفته در مدل‌های تفکیک وسیله شهر شیراز

متغیرهای مورد استفاده در مدل‌های تفکیک وسیله سفر را می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم کرد که عبارتند از: خصوصیات عملکردی و فیزیکی سیستم‌های حمل‌ونقل، خصوصیات فیزیکی شبکه، متغیرهای اقتصادی- اجتماعی جامعه و خصوصیات سفر. خصوصیات عملکردی شبکه مثل زمان سفر معمولاً از خروجی‌های نرم‌افزار VISUM پس از تخصیص ترافیک بر شبکه به دست می‌آیند. خصوصیات اقتصادی- اجتماعی مانند مالکیت خودرو نیاز به برآورد دارند که در گزارش‌های بند ۱-۳-۱ شرح خدمات به آن‌ها پرداخته شده است و در اینجا از نتایج آن استفاده می‌شود. متغیرهای هزینه نیز به دلیل نواقص موجود در پایگاه داده اغلب نیازمند برآورد هستند که در بند ۱-۳-۶- گزارش حاضر به آن پرداخته شده است.

|                                                                                     |                                                                     |        |       |                |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |       | صفحه ۳۹        |  |
|                                                                                     | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر)                                 |        |       | تاریخ          |                                                                                       |
|                                                                                     |                                                                     |        |       | مرداد ماه ۱۴۰۱ |                                                                                       |
|                                                                                     | ۰۱                                                                  | ویرایش | گزارش | ۰۴             |                                                                                       |

متغیرهای مورد استفاده در برآورد مدل‌های تفکیک سفر شهر شیراز در جدول ۶-۷ معرفی شده‌اند.

جدول ۶-۷- متغیرهای به کار رفته در مدل‌سازی تفکیک وسیله سفر شهر شیراز

| نوع متغیر                                         | متغیر     | توضیح                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| خصوصیات عملکردی و فیزیکی سیستم‌ها و شبکه حمل‌ونقل | CST-CAR   | هزینه سفر با خودروی شخصی (هزار تومان)                                                                                 |
|                                                   | CST-TAXI  | هزینه سفر با تاکسی (هزار تومان)                                                                                       |
|                                                   | CST-SERV  | هزینه سفر با سرویس (هزار تومان)                                                                                       |
|                                                   | CST-PUT   | هزینه سفر با حمل‌ونقل همگانی (هزار تومان)                                                                             |
|                                                   | CST-MOT   | هزینه سفر با موتورسیکلت (هزار تومان)                                                                                  |
|                                                   | DIS-CAR   | مسافت سفر بین نواحی با خودروی شخصی (کیلومتر)                                                                          |
|                                                   | TTC-CAR   | زمان سفر تجربه شده بین نواحی با خودروی شخصی (دقیقه)                                                                   |
|                                                   | TOTT- TAX | کل زمان سفر تجربه شده بین نواحی با تاکسی (دقیقه)<br>(شامل زمان پیاده‌روی و زمان داخل وسیله)                           |
|                                                   | IVT- TAXI | زمان داخل وسیله در سفر با تاکسی (دقیقه)                                                                               |
|                                                   | WKT-TAXI  | زمان پیاده‌روی در سفر با تاکسی (دقیقه)                                                                                |
|                                                   | JRT       | کل زمان سفر با همگانی (دقیقه)                                                                                         |
|                                                   | JRD       | کل مسافت سفر با حمل‌ونقل همگانی (کیلومتر)                                                                             |
|                                                   | IVT       | زمان سفر داخل وسیله همگانی (دقیقه)                                                                                    |
|                                                   | IVD       | مسافت داخل وسیله سفر با همگانی (کیلومتر)                                                                              |
|                                                   | TOT-WKT   | کل زمان پیاده‌روی در سفر با همگانی (دقیقه)<br>(شامل زمان پیاده‌روی تا ایستگاه مبدأ، از ایستگاه مقصد و هنگام تغییر خط) |
|                                                   | TOT-WT    | کل زمان انتظار در سفر با همگانی (دقیقه)<br>(شامل زمان انتظار در مبدأ و زمان انتظار در هنگام تغییر خط)                 |
|                                                   | NTR       | تعداد تعویض خط در سفر با وسایل همگانی                                                                                 |
|                                                   | DID2      | فاصله مستقیم بین نواحی بیشتر از ۲ کیلومتر: ۱ در غیر این صورت: *                                                       |
|                                                   | DID5      | فاصله مستقیم بین نواحی بیشتر از ۵ کیلومتر: ۱ در غیر این صورت: *                                                       |
| متغیرهای اقتصادی- اجتماعی                         | CO        | متوسط سرانه مالکیت خودرو در ناحیه ترافیکی محل سکونت                                                                   |
|                                                   | MO        | متوسط سرانه مالکیت موتورسیکلت در ناحیه ترافیکی محل سکونت                                                              |
| خصوصیات سفر                                       | DCBD      | مقصد در نواحی مرکزی شهر: ۱ در غیر این صورت: *                                                                         |
|                                                   | ODCBD     | مبدأ یا مقصد در نواحی مرکزی شهر: ۱ در غیر این صورت: *                                                                 |

هم‌چنین متغیرهای وابسته یعنی توابع مطلوبیت شیوه‌های سفر به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند:

U(CAR): مطلوبیت خودروی شخصی

U(TAXI): مطلوبیت تاکسی

U(SERV): مطلوبیت سرویس

U(PUT): مطلوبیت وسایل همگانی

U(MOT): مطلوبیت موتورسیکلت

U(BIC): مطلوبیت دوچرخه سواری

جدول ۸-۶ ویژگی‌های آماری متغیرهای مستقل را در کل نمونه مدل‌سازی و جدول ۹-۶ این ویژگی‌ها را در مشاهدات هر هدف نشان می‌دهد.

جدول ۸-۶- شاخص‌های آماری متغیرهای مستقل در کل نمونه

| متغیر     | کمینه | بیشینه | میانگین | انحراف معیار |
|-----------|-------|--------|---------|--------------|
| CST-CAR   | ۰.۰۲  | ۱۲.۴۱  | ۱.۷۴    | ۱.۶۳         |
| CST-TAXI  | ۰.۴۰  | ۱۲.۷۰  | ۱.۹۸    | ۱.۶۴         |
| CST-SERV  | ۱.۲۰  | ۱.۸۰   | ۱.۴۰    | ۰.۲۱         |
| CST-PUT   | ۰.۳۰  | ۱.۶۰   | ۰.۵۰    | ۰.۲۲         |
| CST-MOT   | ۰.۰۱  | ۳.۷۲   | ۰.۵۲    | ۰.۴۹         |
| DIS-CAR   | ۰.۱۲  | ۶۲.۰۵  | ۸.۶۹    | ۸.۱۷         |
| TTC-CAR   | ۰.۲۸  | ۸۷.۲۲  | ۱۶.۳۳   | ۱۳.۱۰        |
| TOTT- TAX | ۲.۹۶  | ۱۰۲.۶۷ | ۲۶.۰۶   | ۱۳.۷۹        |
| IVT- TAXI | ۰.۰۰  | ۸۲.۶۷  | ۱۴.۹۶   | ۱۲.۷۷        |
| WKT-TAXI  | ۱.۱۵  | ۲۰.۰۰  | ۱۱.۱۰   | ۳.۷۳         |
| JRT       | ۱.۸۴  | ۲۷۸.۰۸ | ۵۳.۶۱   | ۳۳.۷۶        |
| JRD       | ۰.۱۲  | ۵۷.۸۶  | ۹.۲۳    | ۸.۱۲         |
| IVT       | ۰.۰۰  | ۱۷۴.۶۶ | ۲۸.۸۸   | ۲۵.۶۸        |
| IVD       | ۰.۰۰  | ۵۲.۵۳  | ۷.۹۵    | ۷.۸۲         |
| TOT-WKT   | ۰.۰۰  | ۸۷.۵۸  | ۱۸.۹۰   | ۱۰.۳۹        |
| TOT-WT    | ۰.۰۰  | ۴۶.۲۲  | ۵.۸۳    | ۵.۰۳         |
| NTR       | ۰.۰۰  | ۴.۳۳   | ۰.۶۷    | ۰.۷۴         |
| CO        | ۰.۱۱۵ | ۰.۴۷۴  | ۰.۲۹۲   | ۰.۰۷۵        |
| MO        | ۰.۰۰۳ | ۰.۱۶۹  | ۰.۰۵۳   | ۰.۰۲۷        |



جدول ۹-۶- شاخص‌های آماری متغیرهای مستقل در نمونه مدل‌سازی هر هدف

| متغیر     | شغلی    |              | تحصیلی  |              | خرید    |              | تفریحی  |              | کار شخصی |              | غیرخانه مینا |              |
|-----------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|
|           | میانگین | انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار | میانگین  | انحراف معیار | میانگین      | انحراف معیار |
| CST-CAR   | ۲۰.۱۳   | ۱.۷۵۸        | ۱.۵۸۲   | ۱.۶۰۰        | ۱.۴۲۲   | ۱.۳۳۰        | ۱.۶۷۵   | ۱.۶۱۳        | ۱.۶۹۲    | ۱.۴۵۱        | ۱.۵۴۵        | ۱.۳۴۸        |
| CST-TAXI  | ۲.۲۵۹   | ۱.۷۷۰        | ۱.۸۲۸   | ۱.۶۱۰        | ۱.۶۶۹   | ۱.۳۳۹        | ۱.۹۲۰   | ۱.۶۱۸        | ۱.۹۳۶    | ۱.۴۵۴        | ۱.۷۸۶        | ۱.۳۵۶        |
| CST-SERV  | ۱.۴۴۰   | ۰.۲۱۰        | ۱.۳۷۳   | ۰.۲۰۰        | ۱.۳۶۶   | ۰.۱۸۸        | ۱.۳۹۴   | ۰.۲۰۱        | ۱.۴۰۴    | ۰.۱۹۶        | ۱.۳۷۹        | ۰.۱۹۵        |
| CST-PUT   | ۰.۵۴۴   | ۰.۲۳۹        | ۰.۴۷۸   | ۰.۲۱۰        | ۰.۴۵۳   | ۰.۱۸۵        | ۰.۴۹۰   | ۰.۲۱۲        | ۰.۴۸۶    | ۰.۱۹۵        | ۰.۴۸۲        | ۰.۱۹۷        |
| CST-MOT   | ۰.۶۰۴   | ۰.۵۲۸        | ۰.۴۷۵   | ۰.۴۸۰        | ۰.۴۲۷   | ۰.۳۹۹        | ۰.۵۰۳   | ۰.۴۸۴        | ۰.۵۰۸    | ۰.۴۳۵        | ۰.۴۶۳        | ۰.۴۰۴        |
| DIS-CAR   | ۱۰.۰۷   | ۸.۷۹         | ۷.۹۱    | ۸.۰۰         | ۷.۱۱    | ۶.۶۵         | ۸.۳۸    | ۸.۰۶         | ۸.۴۶     | ۷.۲۵         | ۷.۷۲         | ۶.۷۴         |
| TTC-CAR   | ۱۸.۱۳   | ۱۳.۳۳        | ۱۵.۱۶   | ۱۳.۴۰        | ۱۴.۷۰   | ۱۱.۸۶        | ۱۵.۴۷   | ۱۲.۶۸        | ۱۷.۰۸    | ۱۲.۹۴        | ۱۴.۵۲        | ۱۰.۶۲        |
| TOTT- TAX | ۲۷.۸۴   | ۱۴.۱۷        | ۲۵.۳۹   | ۱۴.۱۸        | ۲۳.۷۷   | ۱۲.۰۳        | ۲۵.۰۸   | ۱۳.۱۵        | ۲۶.۵۶    | ۱۳.۳۸        | ۲۲.۷۷        | ۱۱.۷۷        |
| IVT- TAXI | ۱۶.۷۳   | ۱۳.۰۵        | ۱۳.۹۳   | ۱۳.۱۱        | ۱۳.۱۸   | ۱۱.۳۶        | ۱۳.۸۶   | ۱۲.۱۴        | ۱۵.۹۱    | ۱۲.۷۲        | ۱۳.۲۹        | ۱۰.۳۷        |
| WKT-TAXI  | ۱۱.۱۱   | ۳.۷۰         | ۱۱.۴۶   | ۳.۷۵         | ۱۰.۵۸   | ۳.۷۸         | ۱۱.۲۲   | ۳.۵۷         | ۱۰.۶۵    | ۳.۵۶         | ۹.۴۸         | ۳.۵۰         |
| JRT       | ۵۹.۸۶   | ۳۶.۱۵        | ۴۹.۹۴   | ۳۱.۶۴        | ۴۶.۰۷   | ۲۸.۸۷        | ۵۱.۵۲   | ۳۳.۰۷        | ۵۲.۹۸    | ۲۹.۹۲        | ۴۷.۴۲        | ۲۷.۰۶        |
| JRD       | ۱۰.۶۸   | ۸.۶۷         | ۸.۳۵    | ۷.۹۳         | ۷.۵۳    | ۶.۷۰         | ۸.۹۰    | ۸.۰۴         | ۸.۹۸     | ۷.۱۶         | ۸.۱۴         | ۶.۶۷         |
| IVT       | ۳۳.۳۲   | ۲۶.۹۹        | ۲۶.۲۵   | ۲۵.۵۹        | ۲۳.۹۹   | ۲۱.۵۱        | ۲۷.۶۲   | ۲۵.۵۸        | ۲۸.۲۸    | ۲۲.۸۸        | ۲۴.۵۱        | ۲۱.۱۲        |
| IVD       | ۹.۳۲    | ۸.۳۲         | ۷.۱۳    | ۷.۷۴         | ۶.۳۷    | ۶.۴۱         | ۷.۶۸    | ۷.۷۷         | ۷.۶۹     | ۶.۸۹         | ۶.۹۳         | ۶.۴۷         |
| TOT-WKT   | ۱۹.۷۶   | ۱۰.۷۸        | ۱۸.۳۹   | ۹.۵۷         | ۱۷.۲۹   | ۱۰.۳۵        | ۱۸.۳۸   | ۱۰.۰۸        | ۱۹.۳۱    | ۹.۶۷         | ۱۸.۰۳        | ۸.۲۱         |
| TOT-WT    | ۶.۷۸    | ۶.۱۳         | ۵.۲۹    | ۳.۹۴         | ۴.۷۹    | ۳.۸۴         | ۵.۵۱    | ۴.۱۲         | ۵.۴۰     | ۳.۷۸         | ۴.۸۷         | ۳.۸۴         |
| NTR       | ۰.۸۱    | ۰.۸۰         | ۰.۵۹    | ۰.۷۰         | ۰.۵۱    | ۰.۶۲         | ۰.۶۳    | ۰.۷۱         | ۰.۶۲     | ۰.۶۵         | ۰.۶۱         | ۰.۶۶         |
| CO        | ۰.۲۹۳   | ۰.۰۷۵        | ۰.۲۹۱   | ۰.۰۷۴        | ۰.۲۹۴   | ۰.۰۷۵        | ۰.۲۹۵   | ۰.۰۷۵        | ۰.۲۹۳    | ۰.۰۷۴        | ۰.۳۰۷        | ۰.۰۷۴        |
| MO        | ۰.۰۵۳   | ۰.۰۲۸        | ۰.۰۵۳   | ۰.۰۲۷        | ۰.۰۵۳   | ۰.۰۲۸        | ۰.۰۵۳   | ۰.۰۲۷        | ۰.۰۵۲    | ۰.۰۲۷        | ۰.۰۴۹        | ۰.۰۲۵        |

### ۶-۳-۱- برآورد متغیرهای هزینه

معمولاً در پایگاه داده آماربرداری ساکنین، هزینه انجام سفر در درصد بالایی از مشاهدات گزارش نمی‌شود و این متغیر مهم در مدل‌های تفکیک وسیله از پایگاه داده به‌طور کامل در دسترس نیست. هم‌چنین برای استفاده از مدل ساخته شده در سال‌های پایه و افق (در صورت استفاده از متغیر هزینه در مدل)، به هزینه سفر با وسایل مختلف بین تمام مبدأ- مقصدها نیاز است. از این‌رو باید این متغیر را به شیوه‌ای مطلوب برآورد نمود. در این بخش به نحوه برآورد هزینه وسایل مختلف برای ساخت مدل‌های تفکیک سفر شهر شیراز پرداخته شده است.

### ۶-۳-۱-۱- برآورد هزینه خودروی شخصی

هزینه سفر با خودروی شخصی از عوامل مختلفی تأثیر می‌پذیرد که هزینه سوخت، تعمیر و نگهداری، استهلاک، بیمه و عوارض مهم‌ترین آن‌ها هستند. هم‌چنین مواردی مثل هزینه استفاده از پارکینگ و هزینه ورود به محدوده طرح ترافیک را در صورت وجود باید در نظر گرفت. جدول ۶-۱۰ جزئیات در نظر گرفته شده برای هزینه تعمیر و نگهداری یک دستگاه خودروی شخصی را در سال ۱۳۹۴ نشان می‌دهد. کارکرد سالانه خودرو ۲۵۰۰۰ کیلومتر فرض شده است. جدول ۶-۱۱ نیز بخش‌های مختلف هزینه سفر با خودروی شخصی را نشان داده و هزینه کل را به‌ازای هر کیلومتر گزارش می‌کند. این هزینه از رابطه ۶-۱ به‌دست آمده است. لازم به یادآوری است که به‌طور کلی هزینه‌ها در مدل تفکیک با واحد «هزار تومان» وارد شده‌اند.

|                                                                                                      |                                                                     |        |                                     |                                                                                                       |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <br>دانشگاه شیراز | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     | <br>شهردای شیراز |  |
|                                                                                                      | صفحه ۴۳                                                             | گزارش  |                                     |                                                                                                       |  |
|                                                                                                      | تاریخ                                                               | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                       |  |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                      | ۰۴     | ۰۱                                  |                                                                                                       |  |

جدول ۱۰-۶- هزینه تعمیر و نگهداری یک دستگاه تاکسی در سال ۱۳۹۴

| ردیف  | موضوع            | کیلومتر اژ تعویض | تعداد دفعات تعویض در سال | هزینه قطعه (هزار تومان) | هزینه اجرت (هزار تومان) | جمع هزینه (هزار تومان) | هزینه در هر سال (هزار تومان) |
|-------|------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|
| ۱     | روغن موتور       | ۱۰۰۰۰            | ۲,۵                      | ۲۹                      | ۸                       | ۳۷                     | ۹۲                           |
| ۲     | روغن گیربکس      | ۴۰۰۰۰            | ۰,۶                      | ۱۵                      | ۸                       | ۲۳                     | ۱۵                           |
| ۳     | فیلتر روغن       | ۱۰۰۰۰            | ۲,۵                      | ۴                       | -                       | ۴                      | ۱۱                           |
| ۴     | فیلتر هوا        | ۱۰۰۰۰            | ۲,۵                      | ۴                       | -                       | ۴                      | ۱۰                           |
| ۵     | فیلتر بنزین      | ۱۰۰۰۰            | ۲,۵                      | ۶                       | -                       | ۶                      | ۱۴                           |
| ۶     | فیلتر هوای کابین | ۳۰۰۰۰            | ۰,۸                      | ۳                       | -                       | ۳                      | ۲                            |
| ۷     | چهار حلقه لاستیک | ۴۵۰۰۰            | ۰,۶                      | ۳۷۸                     | ۸                       | ۳۸۶                    | ۲۱۵                          |
| ۸     | شمع و وایر       | ۳۰۰۰۰            | ۰,۸                      | ۳۴                      | ۸                       | ۴۲                     | ۳۵                           |
| ۹     | لنت جلو          | ۳۰۰۰۰            | ۰,۸                      | ۲۹                      | ۸                       | ۳۷                     | ۳۱                           |
| ۱۰    | لنت عقب          | ۳۰۰۰۰            | ۰,۸                      | ۲۹                      | ۱۵                      | ۴۳                     | ۳۶                           |
| ۱۱    | دیسک و صفحه کلاچ | ۷۰۰۰۰            | ۰,۴                      | ۱۷۰                     | ۳۸                      | ۲۰۸                    | ۷۴                           |
| ۱۲    | تسمه پروانه      | ۳۰۰۰۰            | ۰,۸                      | ۲۶                      | ۶                       | ۳۳                     | ۲۷                           |
| ۱۳    | تسمه تایم        | ۷۰۰۰۰            | ۰,۴                      | ۳۴                      | ۲۱                      | ۵۵                     | ۲۰                           |
| ۱۴    | شستشوی کامل      | -                | ۰,۰                      | ۴                       | ۰                       | ۴                      | ۰                            |
| ۱۵    | جلوبندی          | ۴۵۰۰۰            | ۰,۶                      | ۶۴                      | ۳۴                      | ۹۸                     | ۵۴                           |
| مجموع |                  |                  |                          | ۸۲۷                     | ۱۵۵                     | ۹۸۳                    | ۶۳۶                          |

جدول ۶-۱۱- هزینه سفر با خودروی شخصی به ازای هر کیلومتر در سال ۱۳۹۴

| عنوان                                                 | واحد         | مقدار |
|-------------------------------------------------------|--------------|-------|
| متوسط کیلومتر طی شده یک خودرو در سال                  | کیلومتر      | ۲۵۰۰۰ |
| هزینه تعمیرات و نگهداری وسایل نقلیه شخصی در یک سال    | میلیون تومان | ۰,۶۴  |
| هزینه تعمیرات و نگهداری به ازای هر خودرو- کیلومتر     | تومان        | ۲۵    |
| متوسط عمر خودرو                                       | سال          | ۱۲    |
| متوسط هزینه خرید خودرو                                | میلیون تومان | ۲۵    |
| ارزش اسقاط خودرو نسبت به قیمت خرید                    | میلیون تومان | ۱۲,۵  |
| استهلاک یک خودرو در هر سال                            | میلیون تومان | ۱,۰۴  |
| هزینه بیمه و عوارض سالانه                             | میلیون تومان | ۰,۸۳۵ |
| هزینه استهلاک، بیمه و عوارض به ازای هر خودرو- کیلومتر | تومان        | ۷۵    |
| هزینه سوخت خودرو به ازای هر خودرو- کیلومتر            | تومان        | ۱۰۰   |
| هزینه پارکینگ                                         | تومان        | ۰     |
| هزینه ورود به محدوده طرح ترافیک                       | تومان        | ۰     |
| کل هزینه سفر با خودرو به ازای هر کیلومتر              | تومان        | ۲۰۰   |

$$CST_{CAR} = (C_F + C_O) * DIS_{CAR} + C_P + C_M$$

رابطه ۶-۱

$CST_{CAR}$ : هزینه سفر با خودروی شخصی

$DIS_{CAR}$ : مسافت سفر (کیلومتر)

$C_F$ : هزینه سوخت به ازای هر کیلومتر

$C_O$ : هزینه مالکیت خودرو شامل تعمیر، نگهداری، بیمه عوارض و استهلاک به ازای هر کیلومتر

$C_P$ : هزینه استفاده از پارکینگ

$C_M$ : هزینه ورود به محدوده طرح ترافیک

#### ۶-۳-۱-۲- برآورد هزینه تاکسی

با استفاده اطلاعات کرایه تاکسی‌های خطی و گردشی شهر شیراز در سال ۱۳۹۴، هزینه سفر با تاکسی به صورت یک تابع پلکانی از مسافت برآورد شده و مورد استفاده قرار گرفت. در اطلاعات دریافتی، هر کورس تاکسی حدوداً معادل با ۱,۵ کیلومتر در نظر گرفته شده است. همچنین در سال ۱۳۹۴ به جز تعداد ۱۵ خط تاکسی، دیگر تاکسی‌ها به صورت گردشی فعالیت داشته‌اند. با توجه به اطلاعات در دسترس، تابع محاسبه هزینه سفر با تاکسی به صورت رابطه ۶-۲ در نظر گرفته شد. بر مبنای این رابطه برای سفر با تاکسی، به ازای کورس اول ۴۰۰ تومان و از کورس دوم به بعد به ازای هر کورس ۳۰۰ تومان کرایه باید پرداخت شود.

|                                                                                                                 |                                                                      |       |        |                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه علم و صنعت ایران | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |        | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                                 | صفحه ۴۵                                                              |       |        |                                                                                                        |
|                                                                                                                 | تاریخ                                                                | گزارش | ویرایش |                                                                                                        |
|                                                                                                                 | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                       | ۰۴    | ۰۱     | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر)                                                                    |

$$CST_{TAXI} = \begin{cases} DIS_{TAXI} \leq 1.5, & 400 \\ DIS_{TAXI} > 1.5, & 400 + 300 * \frac{ROUNDUP(DIS_{TAXI} - 1.5)}{1.5} \end{cases} \quad \text{رابطه ۲-۶}$$

$CST_{TAXI}$ : هزینه سفر با تاکسی

$DIS_{TAXI}$ : مسافت سفر با تاکسی

$ROUNDUP$ : تابعی برای رُند نمودن عدد به اولین عدد صحیح بزرگ‌تر از آن

۳-۱-۳-۶- برآورد هزینه همگانی (اتوبوس واحد و یا قطار شهری)

هزینه سفر با حمل‌ونقل همگانی (اتوبوس واحد و یا قطار شهری) با استفاده از اطلاعات کرایه خطوط اتوبوس و قطار شهری به صورت میانگین وزنی کرایه بر مبنای حجم مسافر آن‌ها برای سال ۹۴ برابر با ۳۰۰ تومان به ازای هر بار سوار شدن به وسیله همگانی در نظر گرفته شد. هزینه سفر با حمل‌ونقل همگانی مطابق با رابطه ۳-۶ محاسبه می‌شود.

$$CST_{PUT} = FARE * (1 + NTR) \quad \text{رابطه ۳-۶}$$

$CST_{PUT}$ : هزینه سفر با حمل‌ونقل همگانی

$FARE$ : هزینه یک بار سوار شدن به وسیله همگانی

$NTR$ : تعداد تعویض خط همگانی در یک سفر

|                                                                                                      |                                                                     |       |        |                                     |                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |        |                                     | <br>شیراز |
|                                                                                                      | صفحه ۴۶                                                             |       |        |                                     |                                                                                                |
|                                                                                                      | تاریخ                                                               | گزارش | ویرایش | ۵-۳-۱- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                      | ۰۴    | ۰۱     |                                     |                                                                                                |

## ۷- پرداخت مدل‌های تفکیک سفر برای شهر شیراز

در ادامه مدل‌های تفکیک سفر که برای اهداف مختلف سفر شهروندان ساکن شهر شیراز پرداخت شده‌اند، ارائه می‌شود. نمونه کد مدل‌سازی و خروجی حاصل از آن در نرم‌افزار Nlogit در پیوست (الف) آمده است.

### ۷-۱- مدل تفکیک سفرهای خانه‌مبنا با هدف شغلی

در مدل سفرهای خانه‌مبنای شغلی شهروندان شیراز پنج شیوه خودروی شخصی، تاکسی، سرویس، وسایل همگانی و موتورسیکلت در نظر گرفته شده است. مدل‌سازی تفکیک وسیله با استفاده از مشاهدات مبدأ-مقصدی مربوط به این سفرها انجام گرفت. سنجش اولیه برای اولویت ورود متغیرها به مدل با استفاده از تحلیل همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته (انتخاب هر وسیله در مشاهدات) انجام شد، اما به‌طور کلی وجود متغیرهای معنادار قابل سیاست‌گذاری در توابع مطلوبیت مدل‌ها مدنظر و در اولویت قرار گرفته است. متغیرها یک‌به‌یک در مدل وارد شده و روند بهبود مدل در هر مرحله با بررسی علامت متغیرها و آزمون‌های آماری پایش شد. مدل نهایی به‌دست آمده در زیر ارائه شده و مشخصات آماری این مدل در جدول ۷-۱ آمده است. به‌منظور تحلیل حساسیت، مقادیر الاستیسیته<sup>۱</sup> برای تمام متغیرهای استفاده شده در مدل محاسبه و در این جدول ارائه شده است.

$$U(\text{CAR}) = 0.51346 + 3.54192 * \text{CO} - 0.13979 * \text{CST-CAR}$$

$$U(\text{TAXI}) = 0.14147 - 0.22526 * \text{CST-TAXI} - 0.01151 * \text{WKT-TAXI} + 0.14268 * \text{DCBD} + 0.13818 * \text{DID2}$$

$$U(\text{SERV}) = -1.74885 + 0.58838 * \text{DID5} - 5.86519 * \text{MO}$$

$$U(\text{PUT}) = 0.35015 - 0.00619 * \text{JRT} - 0.18249 * \text{NTR} + 0.52444 * \text{DCBD} + 0.54902 * \text{DID2} - 3.55245 * \text{CO} - 5.72334 * \text{MO}$$

$$U(\text{MOT}) = 10.6663 * \text{MO} - 1.15755 * \text{CST-MOT} + 0.21723 * \text{DCBD} - 3.2589 * \text{CO}$$

<sup>1</sup> Elasticity

|                                                                                                                 |                                                                      |       |        |                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه علم و صنعت ایران | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |        | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                                 | صفحه ۴۷                                                              |       |        |                                                                                                        |
|                                                                                                                 | تاریخ                                                                | گزارش | ویرایش |                                                                                                        |
|                                                                                                                 | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                       | ۰۴    | ۰۱     | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر)                                                                    |

جدول ۷-۱- مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای خانه‌مبنای شغلی

| گزینه                                                                                                                                                              | متغیر    | ضریب        | آماره t | الاستیسیته      | الاستیسیته معکوس |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|---------|-----------------|------------------|
| خودروی شخصی                                                                                                                                                        | ASC-CAR  | ۰.۵۱۳۴۶*    | ۱.۸۶    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                    | CO       | ۳.۵۴۱۹۲***  | ۱۴.۱۹   | ۰.۳۲۵۹          | -۰.۷۱۱۴          |
|                                                                                                                                                                    | CST-CAR  | -۰.۱۳۹۷۹*** | -۸.۷۴   | -۰.۰۹۲۳         | ۰.۱۸۹۱           |
| تاکسی                                                                                                                                                              | ASC-TAXI | ۰.۱۴۱۴۷     | ۰.۴۸    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                    | CST-TAXI | -۰.۲۲۵۲۶*** | -۱۱.۳۴  | -۰.۴۴۶۳         | ۰.۰۶۲۶           |
|                                                                                                                                                                    | WKT-TAXI | -۰.۰۱۱۵۱**  | -۱.۹۹   | -۰.۱۱۱۱         | ۰.۰۱۶۷           |
|                                                                                                                                                                    | DCBD     | ۰.۱۴۲۶۸***  | ۳.۱۴    | ۰.۰۳۵۳          | -۰.۰۰۵۹          |
|                                                                                                                                                                    | DID2     | ۰.۱۳۸۱۸***  | ۲.۶۵    | ۰.۰۹۶۷          | -۰.۰۱۴۸          |
| سرویس                                                                                                                                                              | ASC-SERV | -۱.۷۴۸۸۵*** | -۵.۸۱   | -               | -                |
|                                                                                                                                                                    | DID5     | ۰.۵۸۸۳۸***  | ۶.۷۳    | ۰.۲۷۸۲          | -۰.۰۱۶           |
|                                                                                                                                                                    | MO       | -۵.۸۶۵۱۹*** | -۴.۴۱   | -۰.۳۰۲۴         | ۰.۰۱۱            |
| همگانی<br>(اتوبوس یا قطار شهری)                                                                                                                                    | ASC-PUT  | ۰.۳۵۰۱۵     | ۰.۹۱    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                    | JRT      | -۰.۰۰۶۱۹*** | -۴.۵۸   | -۰.۳۴۰۹         | ۰.۰۲۹۸           |
|                                                                                                                                                                    | NTR      | -۰.۱۸۲۴۹*** | -۳.۶۶   | -۰.۱۳۷۱         | ۰.۰۱۱۵           |
|                                                                                                                                                                    | DCBD     | ۰.۵۲۴۴۴***  | ۱۰.۵۶   | ۰.۱۳۵۲          | -۰.۰۱۶۳          |
|                                                                                                                                                                    | DID2     | ۰.۵۴۹۰۲***  | ۷.۲۱    | ۰.۴۰۵۲          | -۰.۰۳۷۶          |
|                                                                                                                                                                    | CO       | -۳.۵۵۲۴۵*** | -۵.۰۲   | -۰.۹۶۲۳         | ۰.۰۷۸            |
|                                                                                                                                                                    | MO       | -۵.۷۲۳۳۴*** | -۳.۲۶   | -۰.۲۷۹۹         | ۰.۰۲۶            |
| موتورسیکلت                                                                                                                                                         | MO       | ۱۰.۶۶۶۳***  | ۶.۷     | ۰.۵۰۴۷          | -۰.۰۶۵۴          |
|                                                                                                                                                                    | CST-MOT  | -۱.۱۵۷۵۵*** | -۱۵.۰۷  | -۰.۶۵۲۶         | ۰.۰۴۶۵           |
|                                                                                                                                                                    | DCBD     | ۰.۲۱۷۲۳***  | ۴.۳۴    | ۰.۰۵۶۷          | -۰.۰۰۰۶          |
|                                                                                                                                                                    | CO       | -۳.۲۵۸۹۰*** | -۴.۷    | -۰.۸۸۴۶         | ۰.۰۶۹۸           |
| مشخصات مدل                                                                                                                                                         |          |             |         |                 |                  |
| تعداد مشاهدات نفر-سفر                                                                                                                                              | ۲۷۰۲۶    | $LL_0$      | -۴۳۴۹۷  | $\rho^2$        | ۰,۳۸             |
| تعداد مبدأ- مقصد در نمونه                                                                                                                                          | ۱۰۰۹۸    | $LL_c$      | -۲۸۰۵۰  | $\rho_{adj}^2$  | ۰,۳۸             |
| تعداد پارامترها                                                                                                                                                    | ۲۲       | $LL_\beta$  | -۲۶۹۸۴  | $\rho_{cadj}^2$ | ۰,۰۴             |
| <p>✓ ***، ** و * به ترتیب معناداری متغیر را در سطح ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد نشان می‌دهند.</p> <p>✓ متغیرهای ASC-CAR، ASC-TAXI و ... ضرایب ثابت در توابع مطلوبیت هستند.</p> |          |             |         |                 |                  |

متغیر مالکیت خودرو (CO) در تابع مطلوبیت خودروی شخصی با علامت مثبت و در تابع مطلوبیت وسایل همگانی و موتورسیکلت با علامت منفی ظاهر شده که قابل انتظار است. به همین ترتیب متغیر مالکیت موتورسیکلت (MO) در تابع مطلوبیت این وسیله با علامت مثبت و در تابع مطلوبیت وسایل همگانی و سرویس

با علامت منفی معنادار شده است.

مطابق با انتظار هزینه سفر با خودروی شخصی (CST-CAR)، تاکسی (CST-TAXI) و موتورسیکلت (CST-MOT) بر مطلوبیت این مدها تأثیر منفی دارد. افزایش کل زمان سفر با حمل و نقل همگانی (JRT) و افزایش تعداد تعویض خط در سفر با وسایل همگانی مانعی برای انتخاب این شیوه به شمار می‌رود. همچنین هرچه زمان پیاده‌روی در سفر با تاکسی (TAXI-WKT) بیشتر شود، مطلوبیت این وسیله کمتر خواهد شد. متغیر DCBD یعنی واقع شدن مقصد سفر در مرکز شهر در انتخاب وسایل تاکسی، وسایل همگانی و موتورسیکلت (رقیب‌های خودروی شخصی) برای رفت و بازگشت به محل کار تأثیر مثبت دارد (DCBD: سر دیگر سفر یک خانه مبنای شغلی یا همان محل کار افراد است). متغیر صفر و یکی DID2 یعنی فاصله هوایی بالای ۲ کیلومتر با مطلوبیت وسایل تاکسی و همگانی و متغیر DID5 یعنی فاصله هوایی بالای ۵ کیلومتر با مطلوبیت سرویس برای انجام سفرهای شغلی رابطه مثبت دارد.

## ۷-۲- مدل تفکیک سفرهای خانه‌مبنا با هدف تحصیلی

مدل سفرهای خانه‌مبنای تحصیلی شهروندان شیراز شامل چهار شیوه خودروی شخصی، تاکسی، سرویس و وسایل همگانی است. روند مدل‌سازی مشابه با آنچه برای مدل شغلی آمد، انجام شد. مدل نهایی به‌دست آمده در زیر و مشخصات آماری آن در جدول ۷-۲ آمده است.

$$U(CAR) = -1.71938 + 2.08279 * CO$$

$$U(TAXI) = -0.82954 - 0.0779 * CST-TAXI + 0.3697 * DCBD - 0.69158 * CO$$

$$U(SERV) = 2.77432 - 2.30888 * CST-SERV + 0.17456 * DID2$$

$$U(PUT) = 0.75416 * DCBD + 0.32872 * DID2 - 4.93092 * CO - 0.01181 * TOT-WT$$

|                                                                                                      |                                                                      |       |        |                                     |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |        |                                     | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                      | صفحه ۴۹                                                              |       |        |                                     |                                                                                                        |
|                                                                                                      | تاریخ                                                                | گزارش | ویرایش | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                        |
| مرداد ماه ۱۴۰۱                                                                                       | ۰۴                                                                   | ۰۱    |        |                                     |                                                                                                        |



جدول ۷-۲- مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای خانه‌مبنای تحصیلی

| گزینه                                                                                                                                                          | متغیر    | ضریب        | آماره t | الاستیسیته      | الاستیسیته معکوس |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|---------|-----------------|------------------|
| خودروی شخصی                                                                                                                                                    | ASC-CAR  | -۱.۷۱۹۳۸*** | -۱۶.۵۳  | -               | -                |
|                                                                                                                                                                | CO       | ۲.۰۸۲۷۹***  | ۷.۹۴    | ۰.۴۸۵۷          | -۰.۱۲۰۴          |
| تاکسی                                                                                                                                                          | ASC-TAXI | -۰.۸۲۹۵۴*** | -۸.۱۸   | -               | -                |
|                                                                                                                                                                | CST-TAXI | -۰.۰۷۷۹۰*** | -۶.۲۷   | -۰.۱۱۵۵         | ۰.۰۲۶۹           |
|                                                                                                                                                                | DCBD     | ۰.۳۶۹۷۰***  | ۷.۸۲    | ۰.۰۵۶۵          | -۰.۰۱۴۲          |
|                                                                                                                                                                | CO       | -۰.۶۹۱۵۸*** | -۲.۵۹   | -۰.۱۶۴۴         | ۰.۰۳۶۸           |
| سرویس                                                                                                                                                          | ASC-SERV | ۲.۷۷۴۳۲***  | ۱۹.۷۱   | -               | -                |
|                                                                                                                                                                | CST-SERV | -۲.۳۰۸۸۸*** | -۲۳.۶۸  | -۱.۸۴۷۴         | ۱.۳۲۳۶           |
|                                                                                                                                                                | DID2     | ۰.۱۷۴۵۶***  | ۴.۳۴    | ۰.۰۷۳۲          | -۰.۰۴۸۴          |
| همگانی<br>(اتوبوس یا قطار شهری)                                                                                                                                | DCBD     | ۰.۷۵۴۱۶***  | ۱۷.۲۵   | ۰.۱۰۰۲          | -۰.۰۴۴           |
|                                                                                                                                                                | DID2     | ۰.۳۲۸۷۲***  | ۶.۱۸    | ۰.۱۷۸۵          | -۰.۰۵۰۴          |
|                                                                                                                                                                | CO       | -۴.۹۳۰۹۲*** | -۱۷.۷۳  | -۱.۱۷۳۴         | ۰.۲۶۱۶           |
|                                                                                                                                                                | TOT-WT   | -۰.۰۱۱۸۱**  | -۲.۲    | -۰.۰۴۸۸         | ۰.۰۱۳۷           |
| مشخصات مدل                                                                                                                                                     |          |             |         |                 |                  |
| تعداد مشاهدات نفر-سفر                                                                                                                                          | ۲۰۷۴۰    | $LL_0$      | -۲۸۷۵۲  | $\rho^2$        | ۰.۰۹             |
| تعداد مبدأ- مقصد در نمونه                                                                                                                                      | ۶۵۵۲     | $LL_c$      | -۲۷۱۴۳  | $\rho_{adj}^2$  | ۰.۰۹             |
| تعداد پارامترها                                                                                                                                                | ۱۳       | $LL_\beta$  | -۲۶۲۷۶  | $\rho_{cadj}^2$ | ۰.۰۳             |
| <p>✓ *** و * به ترتیب معناداری متغیر را در سطح ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد نشان می‌دهند.</p> <p>✓ متغیرهای ASC-CAR، ASC-TAXI و ... ضرایب ثابت در توابع مطلوبیت هستند.</p> |          |             |         |                 |                  |

متغیر مالکیت خودرو (CO) در تابع مطلوبیت خودروی شخصی با علامت مثبت ظاهر شده که قابل انتظار است. همچنین این متغیر بر مطلوبیت تاکسی و وسایل همگانی اثر منفی دارد.

هزینه سفر با تاکسی (CST-CAR) و هزینه سفر با سرویس (CST-SERV) در مطلوبیت این دو شیوه تأثیر منفی و معنادار نشان داده است. همچنین زیاد شدن زمان انتظار در سفر با حمل‌ونقل همگانی (TOT-WT) مطلوبیت انتخاب این مد را برای انجام سفرهای تحصیلی کاهش می‌دهد.

مرکز شهر واقع شدن محل تحصیل در انتخاب تاکسی و یا وسایل همگانی برای انجام سفرهای تحصیلی اثر مثبت دارد. همچنین متغیر DID2، یعنی فاصله بالای ۲ کیلومتر با مطلوبیت وسایل سرویس و همگانی رابطه مثبت دارد.

### ۷-۳- مدل تفکیک سفرهای خانه‌مبنا با هدف خرید

مدل سفرهای خانه‌مبنا با هدف خرید شهروندان شیراز شامل پنج شیوه خودروی شخصی، تاکسی، وسایل همگانی، موتورسیکلت و دوچرخه است. مدل نهایی در زیر و مشخصات آماری آن در جدول ۷-۳ آمده است.

$$U(\text{CAR}) = -0.55843 + 3.18031 * \text{CO}$$

$$U(\text{TAXI}) = -0.03565 - 0.10828 * \text{CST-TAXI} + 0.33358 * \text{DCBD}$$

$$U(\text{PUT}) = 0.66792 - 0.00285 * \text{JRT} + 1.2216 * \text{DCBD} + 0.41625 * \text{DID2}$$

$$-4.62337 * \text{CO} - 8.16984 * \text{MO}$$

$$U(\text{MOT}) = -1.60432 + 13.436 * \text{MO} - 2.09095 * \text{CST-MOT} - 3.19385 * \text{CO} + 0.43006 * \text{DID2}$$

$$U(\text{BIC}) = -4.60067 * \text{CO} - 0.09409 * \text{DIS-CAR} - 1.40168 * \text{DID2}$$

جدول ۷-۳- مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای خانه‌مبنای خرید

| گزینه                                                                                                                                                                      | متغیر    | ضریب        | آماره t | الاستیسیته      | الاستیسیته معکوس |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|---------|-----------------|------------------|
| خودروی شخصی                                                                                                                                                                | ASC-CAR  | -۰.۵۵۸۴۳*** | -۲.۱۸   | -               | -                |
|                                                                                                                                                                            | CO       | ۳.۱۸۰۳۱***  | ۹.۲۹    | ۰.۴۹۷           | -۰.۴۳۹۴          |
| تاکسی                                                                                                                                                                      | ASC-TAXI | -۰.۰۳۵۶۵    | -۰.۱۴   | -               | -                |
|                                                                                                                                                                            | CST-TAXI | -۰.۱۰۸۲۸*** | -۵.۵۴   | -۰.۱۳۴۲         | ۰.۰۴۶۵           |
|                                                                                                                                                                            | DCBD     | ۰.۳۳۳۵۸***  | ۶.۴۴    | ۰.۱۰۰۶          | -۰.۰۳۶۴          |
| همگانی<br>(اتوبوس یا قطار شهری)                                                                                                                                            | ASC-PUT  | ۰.۶۶۷۹۲*    | ۱.۶۸    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                            | JRT      | -۰.۰۰۲۸۵**  | -۲.۳۲   | -۰.۱۰۰۲         | ۰.۰۳۰۹           |
|                                                                                                                                                                            | DCBD     | ۱.۲۲۱۶۰***  | ۲۰.۵    | ۰.۳۳۱۶          | -۰.۱۷            |
|                                                                                                                                                                            | DID2     | ۰.۴۱۶۲۵***  | ۵.۱۷    | ۰.۲۰۷۶          | -۰.۰۷۱۴          |
|                                                                                                                                                                            | CO       | -۴.۶۲۳۳۷*** | -۶.۰۱   | -۱.۰۸۵۹         | ۰.۲۷۵۵           |
|                                                                                                                                                                            | MO       | -۸.۱۶۹۸۴*** | -۴.۲۷   | -۰.۳۲۹۴         | ۰.۱۰۰۴           |
| موتورسیکلت                                                                                                                                                                 | ASC-MOT  | -۱.۶۰۴۳۲**  | -۲.۴۱   | -               | -                |
|                                                                                                                                                                            | MO       | ۱۳.۴۳۶۰***  | ۳.۷۱    | ۰.۶۷۲۹          | -۰.۰۳۳۹          |
|                                                                                                                                                                            | CST-MOT  | -۲.۰۹۰۹۵*** | -۶.۴۶   | -۰.۸۷۰۱         | ۰.۰۲۱۷           |
|                                                                                                                                                                            | CO       | -۳.۱۹۳۸۵**  | -۲.۰۹   | -۰.۹۱۱          | ۰.۰۲۹۴           |
|                                                                                                                                                                            | DID2     | ۰.۴۳۰۰۶***  | ۲.۸     | ۰.۲۷۹۴          | -۰.۰۰۹           |
| دوچرخه                                                                                                                                                                     | CO       | -۴.۶۰۰۶۷*** | -۵.۲۳   | -۱.۳۱۸۵         | ۰.۰۳۶۲           |
|                                                                                                                                                                            | DIS-CAR  | -۰.۰۹۴۰۹*** | -۳.۳    | -۰.۶۶۰۷         | ۰.۰۰۸۱           |
|                                                                                                                                                                            | DID2     | -۱.۴۰۱۶۸*** | -۶.۳۳   | -۰.۹۳۱۲         | ۰.۰۰۸۴           |
| مشخصات مدل                                                                                                                                                                 |          |             |         |                 |                  |
| تعداد مشاهدات نفر-سفر                                                                                                                                                      | ۹۴۶۳     | $LL_0$      | -۱۵۲۳۰  | $\rho^2$        | ۰.۲۶             |
| تعداد مبدأ- مقصد در نمونه                                                                                                                                                  | ۳۷۱۸     | $LL_c$      | -۱۲۰۰۱  | $\rho_{adj}^2$  | ۰.۲۶             |
| تعداد پارامترها                                                                                                                                                            | ۱۹       | $LL_\beta$  | -۱۱۲۹۳  | $\rho_{cadj}^2$ | ۰.۰۶             |
| <div>✓ ***، ** و * به ترتیب معناداری متغیر را در سطح ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد نشان می‌دهند.</div> <div>✓ متغیرهای ASC-CAR، ASC-TAXI و ... ضرایب ثابت در توابع مطلوبیت هستند.</div> |          |             |         |                 |                  |

متغیر سرانه مالکیت خودرو (CO) در تابع مطلوبیت خودروی شخصی و با علامت مثبت و در تابع مطلوبیت وسایل همگانی، موتورسیکلت و دوچرخه با علامت منفی ظاهر شده که منطقی است. هم‌چنین سرانه مالکیت موتورسیکلت (MO) در تابع مطلوبیت این وسیله با علامت مثبت و در تابع وسایل همگانی با علامت منفی آمده است.

هزینه سفر با تاکسی (CST-TAXI) و موتورسیکلت (CST-MOT) و زمان کل در سفر با وسایل همگانی (JRT) در توابع مطلوبیت مربوط به خود با علامت منفی ظاهر شده‌اند؛ هم‌چنین هرچه مسافت سفر (DIS-CAR) بیشتر شود، مطلوبیت دوچرخه‌سواری کاهش می‌یابد که قابل انتظار است.

متغیر فاصله بالای ۲ کیلومتر (DID2) با مطلوبیت وسایل همگانی و موتورسیکلت رابطه مثبت و با مطلوبیت دوچرخه رابطه منفی نشان داده که منطقی است.

واقع شدن مقصد سفر (سر دیگر سفر خانه‌مبنا) در مرکز شهر (DCBD) در انتخاب وسایل تاکسی و همگانی برای انجام سفرهای خرید تأثیر مثبت دارد.

#### ۷-۴- مدل تفکیک سفرهای خانه‌مبنا با هدف تفریح

مدل سفرهای خانه‌مبنا با هدف تفریح شهروندان شیراز شامل پنج شیوه خودروی شخصی، تاکسی، وسایل همگانی، موتورسیکلت و دوچرخه است. مدل نهایی به‌دست آمده در زیر ارائه شده است. هم‌چنین مشخصات آماری مدل در جدول ۷-۴ آمده است.

$$U(CAR) = 0.4474 + 3.6879 * CO - 0.15712 * CST-CAR$$

$$U(TAXI) = 0.97195 - 0.21047 * CST-TAXI + 0.23046 * DCBD$$

$$U(PUT) = 1.38723 - 0.45353 * NTR + 1.23978 * DCBD - 4.45015 * CO$$

$$- 5.94745 * MO + 0.38824 * DID2$$

$$U(MOT) = -0.17756 + 11.4486 * MO - 1.56379 * CST-MOT - 4.85535 * CO$$

$$U(BIC) = -1.23211 * DID2 - 0.10104 * DIS-CAR$$

|                                                                                                                 |                |                                                                      |        |                                     |                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه علم و صنعت ایران | صفحه ۵۲        | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                                 | تاریخ          | گزارش                                                                | ویرایش | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                        |
|                                                                                                                 | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                   | ۰۱     |                                     |                                                                                                        |

جدول ۷-۴- مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای خانه‌مبنای تفریحی

| گزینه                                                                                                                                                                 | متغیر    | ضریب        | آماره t | الاستیسیته      | الاستیسیته معکوس |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|---------|-----------------|------------------|
| خودروی شخصی                                                                                                                                                           | ASC-CAR  | ۰.۴۴۷۴۰***  | ۳.۳۶    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                       | CO       | ۳.۶۸۷۹۰***  | ۱۰.۵۶   | ۰.۵۱۲۶          | -۰.۵۷۳۵          |
|                                                                                                                                                                       | CST-CAR  | -۰.۱۵۷۱۲*** | -۵.۶۲   | -۰.۱۲۶۶         | ۰.۱۳۶۷           |
| تاکسی                                                                                                                                                                 | ASC-TAXI | ۰.۹۷۱۹۵***  | ۱۱.۲۱   | -               | -                |
|                                                                                                                                                                       | CST-TAXI | -۰.۲۱۰۴۷*** | -۷.۰۳   | -۰.۳۰۳۸         | ۰.۱۰۰۳           |
|                                                                                                                                                                       | DCBD     | ۰.۲۳۰۴۶***  | ۳.۵۲    | ۰.۰۳۹۵          | -۰.۰۱۲۶          |
| همگانی<br>(اتوبوس یا قطار شهری)                                                                                                                                       | ASC-PUT  | ۱.۳۸۷۲۳***  | ۳.۶۴    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                       | NTR      | -۰.۴۵۳۵۳*** | -۶.۸    | -۰.۲۳۸۲         | ۰.۰۴۸۸           |
|                                                                                                                                                                       | DCBD     | ۱.۲۳۹۷۸***  | ۱۸.۲    | ۰.۱۸۶۹          | -۰.۰۹۲۹          |
|                                                                                                                                                                       | CO       | -۴.۴۵۰۱۵*** | -۴.۹۹   | -۱.۱۰۴۷         | ۰.۲۰۵۹           |
|                                                                                                                                                                       | MO       | -۵.۹۴۷۴۵*** | -۲.۶۳   | -۰.۲۵۴          | ۰.۰۵۸۹           |
|                                                                                                                                                                       | DID2     | ۰.۳۸۸۲۴***  | ۴.۵۴    | ۰.۲۲۸۷          | -۰.۰۵۳۷          |
| موتورسیکلت                                                                                                                                                            | ASC-MOT  | -۰.۱۷۷۵۶    | -۰.۲۳   | -               | -                |
|                                                                                                                                                                       | MO       | ۱۱.۴۴۸۶**   | ۲.۵۱    | ۰.۵۷۶           | -۰.۰۲۶۳          |
|                                                                                                                                                                       | CST-MOT  | -۱.۵۶۳۷۹*** | -۷.۲۲   | -۰.۷۶۷۹         | ۰.۰۱۸۲           |
|                                                                                                                                                                       | CO       | -۴.۸۵۵۳۵*** | -۲.۶    | -۱.۳۹۱۴         | ۰.۰۳۸۶           |
| دوچرخه                                                                                                                                                                | DID2     | -۱.۲۳۲۱۱*** | -۷.۲۲   | -۰.۸۸۱۲         | ۰.۰۱۴۸           |
|                                                                                                                                                                       | DIS-CAR  | -۰.۱۰۱۰۴*** | -۵.۲    | -۰.۸۳۲          | ۰.۰۱۴۵           |
| مشخصات مدل                                                                                                                                                            |          |             |         |                 |                  |
| تعداد مشاهدات نفر-سفر                                                                                                                                                 | ۸۴۹۸     | $LL_0$      | -۱۳۶۷۷  | $\rho^2$        | ۰.۲۸             |
| تعداد مبدأ- مقصد در نمونه                                                                                                                                             | ۳۵۸۲     | $LL_c$      | -۱۰۴۳۲  | $\rho_{adj}^2$  | ۰.۲۸             |
| تعداد پارامترها                                                                                                                                                       | ۱۸       | $LL_\beta$  | -۹۸۴۱   | $\rho_{cadj}^2$ | ۰.۰۶             |
| <p>✓ ****، *** و ** به ترتیب معناداری متغیر را در سطح ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد نشان می‌دهند.</p> <p>✓ متغیرهای ASC-CAR، ASC-TAXI و ... ضرایب ثابت در توابع مطلوبیت هستند.</p> |          |             |         |                 |                  |

همان‌طور که انتظار می‌رود، مالکیت خودرو (CO) بر مطلوبیت خودروی شخصی اثر مثبت و بر مطلوبیت وسایل همگانی و موتورسیکلت اثر منفی دارد. همچنین سرانه مالکیت موتورسیکلت (MO) بر مطلوبیت این وسیله اثر مثبت و بر مطلوبیت وسایل همگانی اثر منفی دارد.

هزینه سفر با خودروی شخصی (ASC-CAR)، تاکسی (CST-TAXI) و موتورسیکلت (CST-MOT) در توابع مطلوبیت این وسایل با علامت منفی ظاهر شده‌اند. همچنین با افزایش تعداد تعویض خط در سفر با وسایل همگانی (NTR) مطلوبیت استفاده از این وسیله کم می‌شود و با زیاد شدن مسافت سفر (DIS-CAR)

مطلوبیت دوچرخه کاهش می‌یابد.

متغیر DCBD یعنی واقع شدن مقصد سفر (سر دیگر سفر خانه‌مبنا) در مرکز شهر در انتخاب وسایل تاکسی و همگانی برای انجام سفرهای تفریحی تأثیر مثبت دارد. فاصله بالای ۲ کیلومتر (DID2)، با مطلوبیت وسایل همگانی رابطه مثبت و با مطلوبیت دوچرخه رابطه منفی دارد که منطقی است.

#### ۷-۵- مدل تفکیک سفرهای خانه‌مبنا با هدف کار شخصی

مدل سفرهای خانه‌مبنا با هدف کار شخصی شهروندان شیراز شامل چهار شیوه خودروی شخصی، تاکسی، وسایل همگانی و موتورسیکلت است. مدل نهایی به‌دست آمده در زیر و مشخصات آماری این مدل در جدول ۷-۵ آمده است.

$$U(\text{CAR}) = 0.39104 + 4.40374 * \text{CO}$$

$$U(\text{TAXI}) = 0.81555 - 0.07346 * \text{CST-TAXI} + 0.45963 * \text{DCBD}$$

$$U(\text{PUT}) = 2.4059 - 0.00426 * \text{JRT} - 5.77703 * \text{CO} - 10.6693 * \text{MO} + 0.84149 * \text{DCBD} + 0.39967 * \text{DID2}$$

$$U(\text{MOT}) = 7.39078 * \text{MO} - 0.80656 * \text{CST-MOT} - 4.91333 * \text{CO}$$

|                                                                                                      |                |                                                                      |        |                                     |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | صفحه ۵۴        | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                      | تاریخ          | گزارش                                                                | ویرایش | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                        |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                   | ۰۱     |                                     |                                                                                                        |

جدول ۷-۵- مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای خانه‌مبنای کار شخصی

| گزینه                                                                                                                                                                    | متغیر    | ضریب        | آماره t | الاستیسیته      | الاستیسیته معکوس |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|---------|-----------------|------------------|
| خودروی شخصی                                                                                                                                                              | ASC-CAR  | ۰.۳۹۱۰۴     | ۰.۵۱    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                          | CO       | ۴.۴۰۳۷۴***  | ۱۱.۷۷   | ۰.۵۴۸۸          | -۰.۷۴۰۹          |
| تاکسی                                                                                                                                                                    | ASC-TAXI | ۰.۸۱۵۵۵     | ۱.۰۶    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                          | CST-TAXI | -۰.۷۳۴۶***  | -۳.۸۵   | -۰.۱۱۰۲         | ۰.۰۳۲            |
|                                                                                                                                                                          | DCBD     | ۰.۴۵۹۶۳***  | ۸.۳۱    | ۰.۱۲۲۵          | -۰.۰۴۳۱          |
| همگانی<br>(اتوبوس یا قطار شهری)                                                                                                                                          | ASC-PUT  | ۲.۴۰۵۹۰***  | ۲.۹۶    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                          | JRT      | -۰.۰۰۴۲۶*** | -۳.۵۲   | -۰.۱۸۱۱         | ۰.۰۴۴۷           |
|                                                                                                                                                                          | CO       | -۵.۷۷۷۰۳*** | -۶.۷۱   | -۱.۳۹۶۵         | ۰.۲۹۵۳           |
|                                                                                                                                                                          | MO       | -۱۰.۶۶۹۳*** | -۵.۱۱   | -۰.۴۴۲۹         | ۰.۱۱۶۸           |
|                                                                                                                                                                          | DCBD     | ۰.۸۴۱۴۹***  | ۱۳.۹۱   | ۰.۲۲۲۲          | -۰.۰۸۰۹          |
|                                                                                                                                                                          | DID2     | ۰.۳۹۹۶۷***  | ۴.۵۹    | ۰.۲۴۱۹          | -۰.۰۶۲۶          |
| موتورسیکلت                                                                                                                                                               | MO       | ۷.۳۹۰۷۸*    | ۱.۶۶    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                          | CST-MOT  | -۰.۸۰۶۵۶*** | -۴.۱۸   | -۰.۳۹۹۷         | ۰.۰۰۹۷           |
|                                                                                                                                                                          | CO       | -۴.۹۱۳۳۳*** | -۲.۶۱   | -۱.۴۰۲۲         | ۰.۰۳۶۷           |
| مشخصات مدل                                                                                                                                                               |          |             |         |                 |                  |
| تعداد مشاهدات نفر-سفر                                                                                                                                                    | ۸۸۴۰     | $LL_0$      | -۱۲۲۵۵  | $\rho^2$        | ۰.۲۵             |
| تعداد مبدأ- مقصد در نمونه                                                                                                                                                | ۳۸۳۱     | $LL_c$      | -۹۶۲۱   | $\rho_{adj}^2$  | ۰.۲۵             |
| تعداد پارامترها                                                                                                                                                          | ۱۴       | $LL_\beta$  | -۹۲۳۵   | $\rho_{cadj}^2$ | ۰.۰۴             |
| <p>✓ ****، ***، ** و * به ترتیب معناداری متغیر را در سطح ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد نشان می‌دهند.</p> <p>✓ متغیرهای ASC-CAR، ASC-TAXI و ... ضرایب ثابت در توابع مطلوبیت هستند.</p> |          |             |         |                 |                  |

هزینه سفر با تاکسی (CST-TAXI)، هزینه سفر با موتورسیکلت (CST-MOT)، کل زمان سفر با وسایل همگانی (JRT) در توابع مطلوبیت مربوط به خود با علامت منفی ظاهر شده‌اند که قابل انتظار است. متغیر سرانه مالکیت خودرو (CO) در تابع مطلوبیت خودروی شخصی با علامت مثبت و در تابع مطلوبیت وسایل همگانی و موتورسیکلت با علامت منفی ظاهر شده که منطقی است. همچنین سرانه مالکیت موتورسیکلت (MO) بر مطلوبیت این وسیله اثر مثبت و بر مطلوبیت وسایل همگانی اثر منفی دارد. واقع شدن مقصد سفر در مرکز شهر (DCBD) در انتخاب وسایل تاکسی و همگانی تأثیر مثبت دارد. همچنین متغیر فاصله بالای ۲ کیلومتر (DID2) در تابع مطلوبیت وسایل همگانی با علامت مثبت ظاهر شده است.

## ۶-۷- مدل تفکیک سفرهای غیرخانه‌مبنا

مدل سفرهای غیرخانه‌مبنای شهروندان شیراز شامل چهار شیوه خودروی شخصی، تاکسی، وسایل همگانی و موتورسیکلت است. مدل نهایی به‌دست آمده در زیر ارائه شده است. همچنین مشخصات آماری مدل در جدول ۶-۷ آمده است.

$$U(\text{CAR}) = 2.44688 - 0.09273 * \text{CST-CAR} - 0.17259 * \text{ODCBD}$$

$$U(\text{TAXI}) = 1.35661 - 0.26812 * \text{CST-TAXI}$$

$$U(\text{PUT}) = -0.05663 + 0.79514 * \text{ODCBD}$$

$$U(\text{MOT}) = -0.97051 * \text{CST-MOT}$$

جدول ۶-۷- مشخصات و آماره‌های مدل تفکیک وسیله سفرهای غیرخانه‌مبنا

| گزینه                                                                                                                                                                      | متغیر    | ضریب        | آماره t | الاستیسیته      | الاستیسیته معکوس |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|---------|-----------------|------------------|
| خودروی شخصی                                                                                                                                                                | ASC-CAR  | ۲.۴۴۶۸۸***  | ۱۴.۵۵   | -               | -                |
|                                                                                                                                                                            | CST-CAR  | -۰.۰۹۲۷۳*   | -۱.۹۴   | -۰.۰۴۴۷         | ۰.۰۹۸۶           |
|                                                                                                                                                                            | ODCBD    | -۰.۱۷۲۵۹*   | -۱.۶۵   | -۰.۰۳۳۴         | ۰.۰۵۳۴           |
| تاکسی                                                                                                                                                                      | ASC-TAXI | ۱.۳۵۶۶۱***  | ۷.۷۶    | -               | -                |
|                                                                                                                                                                            | CST-TAXI | -۰.۲۶۸۱۲*** | -۴.۲۳   | -۰.۴۰۵۱         | ۰.۰۷۳۷           |
| همگانی<br>(اتوبوس یا قطار شهری)                                                                                                                                            | ASC-PUT  | -۰.۰۵۶۶۳    | -۰.۲۶   | -               | -                |
|                                                                                                                                                                            | ODCBD    | ۰.۷۹۵۱۴***  | ۴.۷۷    | ۰.۳۳۹۵          | -۰.۰۶۰۸          |
|                                                                                                                                                                            | CST-MOT  | -۰.۹۷۰۵۱*** | -۲.۸۹   | -۰.۴۳۲۱         | ۰.۰۱۷۷           |
| مشخصات مدل                                                                                                                                                                 |          |             |         |                 |                  |
| تعداد مشاهدات نفر-سفر                                                                                                                                                      | ۲۲۲۵     | $LL_0$      | -۳۰۸۵   | $\rho^2$        | ۰.۳۱             |
| تعداد مبدأ- مقصد در نمونه                                                                                                                                                  | ۲۰۱۱     | $LL_c$      | -۲۱۵۰   | $\rho_{adj}^2$  | ۰.۳۱             |
| تعداد پارامترها                                                                                                                                                            | ۸        | $LL_\beta$  | -۲۱۱۵   | $\rho_{cadj}^2$ | ۰.۰۱۴            |
| <div>✓ ***، ** و * به ترتیب معناداری متغیر را در سطح ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد نشان می‌دهند.</div> <div>✓ متغیرهای ASC-CAR، ASC-TAXI و ... ضرایب ثابت در توابع مطلوبیت هستند.</div> |          |             |         |                 |                  |

در این مدل از به‌کارگیری متغیر سرانه مالکیت خودرو (CO) در توابع مطلوبیت خودداری شده است، چراکه این متغیر بر مبنای میانگین سرانه مالکیت در محل سکونت افراد سفر کننده محاسبه می‌شود و محاسبه آن برای سفرهای غیرخانه‌مبنا در سال‌های افق دقیقاً امکان‌پذیر نیست.

واقع شدن مبدأ یا مقصد سفر (غیرخانه‌مبنا) در مرکز شهر (ODCBD) برای انجام سفرهای غیرخانه‌مبنا، با مطلوبیت خودروی شخصی رابطه منفی و با مطلوبیت وسایل همگانی رابطه مثبت دارد.

هزینه سفر با خودروی شخصی (CST-CAR)، تاکسی (CST-BUS) و موتورسیکلت (CST-MOT) در توابع مطلوبیت مربوط به خود با علامت منفی ظاهر شده‌اند که قابل انتظار است.

## ۷-۷- خلاصه نتایج مدل‌ها

جدول ۷-۷ تمامی مدل‌ها را به تفکیک اهداف به‌صورت خلاصه نشان می‌دهد.

جدول ۷-۷- خلاصه مدل‌های ساخته شده برای تفکیک وسیله شهر شیراز

| مدل                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | هدف           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| $U(CAR) = 0.51346 + 3.54192*CO - 0.13979*CST-CAR$<br>$U(TAXI) = 0.14147 - 0.22526*CST-TAXI - 0.01151*WKT-TAXI + 0.14268*DCBD + 0.13818*DIC2$<br>$U(SERV) = -1.74885 + 0.58838*DIC5 - 5.86519*MO$<br>$U(BUS) = 0.35015 - 0.00619*JRT - 0.18249*NTR + 0.52444*DCBD + 0.54902*DIC2 - 3.55245*CO - 5.72334*MO$<br>$U(MOT) = 10.6663*MO - 1.15755*CST-MOT + 0.21723*DCBD - 3.2589*CO$ | شغلی          |
| $U(CAR) = -1.71938 + 2.08279*CO$<br>$U(TAXI) = -0.82954 - 0.0779*CST-TAXI + 0.3697*DCBD - 0.69158*CO$<br>$U(SERV) = 2.77432 - 2.30888*CST-SERV + 0.17456*DIC2$<br>$U(BUS) = 0.75416*DCBD + 0.32872*DIC2 - 4.93092*CO - 0.01181*TOT-WT$                                                                                                                                           | تحصیلی        |
| $U(CAR) = -0.55843 + 3.18031*CO$<br>$U(TAXI) = -0.03565 - 0.10828*CST-TAXI + 0.33358*DCBD$<br>$U(BUS) = 0.66792 - 0.00285*JRT + 1.2216*DCBD + 0.41625*DIC2 - 4.62337*CO - 8.16984*MO$<br>$U(MOT) = -1.60432 + 13.436*MO - 2.09095*CST-MOT - 3.19385*CO + 0.43006*DIC2$<br>$U(BIC) = -4.60067*CO - 0.09409*DIS-CAR - 1.40168*DIC2$                                                | خرید          |
| $U(CAR) = 0.4474 + 3.6879*CO - 0.15712*CST-CAR$<br>$U(TAXI) = 0.97195 - 0.21047*CST-TAXI + 0.23046*DCBD$<br>$U(BUS) = 1.38723 - 0.45353*NTR + 1.23978*DCBD - 4.45015*CO - 5.94745*MO + 0.38824*DIC2$<br>$U(MOT) = -0.17756 + 11.4486*MO - 1.56379*CST-MOT - 4.85535*CO$<br>$U(BIC) = -1.23211*DIC2 - 0.10104*DIS-CAR$                                                            | تفریحی        |
| $U(CAR) = 0.39104 + 4.40374*CO$<br>$U(TAXI) = 0.81555 - 0.07346*CST-TAXI + 0.45963*DCBD$<br>$U(BUS) = 2.4059 - 0.00426*JRT - 5.77703*CO - 10.6693*MO + 0.84149*DCBD + 0.39967*DIC2$<br>$U(MOT) = 7.39078*MO - 0.80656*CST-MOT - 4.91333*CO$                                                                                                                                      | کار شخصی      |
| $U(CAR) = 2.44688 - 0.09273*CST-CAR - 0.17259*ODCBD$<br>$U(TAXI) = 1.35661 - 0.26812*CST-TAXI$<br>$U(BUS) = -0.05663 + 0.79514*ODCBD$<br>$U(MOT) = -0.97051*CST-MOT$                                                                                                                                                                                                             | غیر خانه‌مبنا |



جدول ۷-۸- متغیرهای وارد شده در مدل‌های تفکیک وسیله شهر شیراز

| وسيله               | متغير    | توضيح                           | هدف سفر   |          |           |          |           |               |
|---------------------|----------|---------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|---------------|
|                     |          |                                 | شغلي      | تحصيلي   | خرید      | تفریحی   | کار شخصی  | غير خانه مبنا |
| خودروی شخصی         | ASC-CAR  | عدد ثابت خودروی شخصی            | ۰.۵۱۳۴۶   | -۱.۷۱۹۳۸ | -۰.۵۵۸۴۳  | ۰.۴۴۷۴۰  | ۰.۳۹۱۰۴   | ۲.۴۴۶۸۸       |
|                     | CST-CAR  | هزینه سفر با خودروی شخصی        | -۰.۱۳۹۷۹  | -        | -         | -۰.۱۵۷۱۲ | -         | -۰.۰۹۲۷۳      |
|                     | CO       | سرانه مالکیت خودرو              | ۳.۵۴۱۹۲   | ۲.۰۸۲۷۹  | ۳.۱۸۰۳۱   | ۳.۶۸۷۹۰  | ۴.۴۰۳۷۴   | -             |
|                     | ODCBD    | مبدأ یا مقصد در مرکز شهر        | -         | -        | -         | -        | -         | -۰.۱۷۲۵۹      |
| تاکسی               | ASC-TAXI | عدد ثابت تاکسی                  | ۰.۱۴۱۴۷   | -۰.۸۲۹۵۴ | -۰.۰۳۵۶۵  | ۰.۹۷۱۹۵  | ۰.۸۱۵۵۵   | ۱.۳۵۶۶۱       |
|                     | CST-TAXI | هزینه سفر با تاکسی              | -۰.۲۲۵۲۶  | -۰.۰۷۷۹۰ | -۰.۱۰۸۲۸  | -۰.۲۱۰۴۷ | -۰.۰۷۳۴۶  | -۰.۲۶۸۱۲      |
|                     | WKT-TAXI | زمان پیاده‌روی در سفر با تاکسی  | -۰.۰۱۱۵۱  | -        | -         | -        | -         | -             |
|                     | DCBD     | مقصد در مرکز شهر                | ۰.۱۴۲۶۸   | ۰.۳۶۹۷۰  | ۰.۳۳۳۵۸   | ۰.۲۳۰۴۶  | ۰.۴۵۹۶۳   | -             |
|                     | CO       | سرانه مالکیت خودرو              | -         | -۰.۶۹۱۵۸ | -         | -        | -         | -             |
|                     | DID2     | فاصله هوایی بیشتر از ۲ کیلومتر  | ۰.۱۳۸۱۸   | -        | -         | -        | -         | -             |
| سرویس               | ASC-SERV | عدد ثابت سرویس                  | -۱.۷۴۸۸۵  | ۲.۷۷۴۳۲  | -         | -        | -         | -             |
|                     | CST-SERV | هزینه سرویس مدرسه               | -         | -۲.۳۰۸۸۸ | -         | -        | -         | -             |
|                     | DID2     | فاصله هوایی بیشتر از ۲ کیلومتر  | -         | ۰.۱۷۴۵۶  | -         | -        | -         | -             |
|                     | DID5     | فاصله هوایی بیشتر از ۵ کیلومتر  | ۰.۵۸۸۳۸   | -        | -         | -        | -         | -             |
|                     | MO       | سرانه مالکیت موتورسیکلت         | -۵.۸۶۵۱۹  | -        | -         | -        | -         | -             |
|                     | ASC-PUT  | عدد ثابت همگانی                 | ۰.۳۵۰۱۵   | -        | ۰.۶۶۷۹۲   | ۱.۳۸۷۲۳  | ۲.۴۰۵۹۰   | -۰.۰۵۶۶۳      |
| اتوبوس یا قطار شهری | JRT      | کل زمان سفر با همگانی           | -۰.۰۰۰۶۱۹ | -        | -۰.۰۰۰۲۸۵ | -        | -۰.۰۰۰۴۲۶ | -             |
|                     | NTR      | میانگین تعداد تعویض خط همگانی   | -۰.۱۸۲۴۹  | -        | -         | -۰.۴۵۳۵۳ | -         | -             |
|                     | TOT-WT   | کل زمان انتظار در سفر با همگانی | -         | -۰.۰۱۱۸۱ | -         | -        | -         | -             |
|                     | DCBD     | مقصد در مرکز شهر                | ۰.۵۲۴۴۴   | ۰.۷۵۴۱۶  | ۱.۲۲۱۶۰   | ۱.۲۳۹۷۸  | ۰.۸۴۱۴۹   | -             |
|                     |          |                                 |           |          |           |          |           |               |

| وسیله      | متغیر   | توضیح                          | هدف سفر  |          |          |          |           |
|------------|---------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|            |         |                                | شغلی     | تحصیلی   | خرید     | تفریحی   | کار شخصی  |
|            | ODCBD   | مبدأ یا مقصد در مرکز شهر       | -        | -        | -        | -        | -         |
|            | DID2    | فاصله هوایی بیشتر از ۲ کیلومتر | ۰.۵۴۹۰۲  | ۰.۳۲۸۷۲  | ۰.۴۱۶۲۵  | ۰.۳۸۸۲۴  | ۰.۳۹۹۶۷   |
|            | CO      | سرايه مالکیت خودرو             | -۳.۵۵۲۴۵ | -۴.۹۳۰۹۲ | -۴.۶۲۳۳۷ | -۴.۴۵۰۱۵ | -۵.۷۷۷۰۳  |
|            | MO      | سرايه مالکیت موتورسیکلت        | -۵.۷۲۳۳۴ | -        | -۸.۱۶۹۸۴ | -۵.۹۴۷۴۵ | -۱۰.۶۶۹۳۰ |
| موتورسیکلت | ASC-MOT | عدد ثابت موتورسیکلت            | -        | -        | -۱.۶۰۴۳۲ | -۰.۱۷۷۵۶ | -         |
|            | CST-MOT | هزینه سفر با موتورسیکلت        | -۱.۱۵۷۵۵ | -        | -۲.۰۹۰۹۵ | -۱.۵۶۳۷۹ | -۰.۸۰۶۵۶  |
|            | MO      | سرايه مالکیت موتورسیکلت        | ۱۰.۶۶۶۳۰ | -        | ۱۳.۴۳۶۰۰ | ۱۱.۴۴۸۶۰ | ۷.۳۹۰۷۸   |
|            | CO      | سرايه مالکیت خودرو             | -۳.۲۵۸۹۰ | -        | -۳.۱۹۳۸۵ | -۴.۸۵۵۳۵ | -۴.۹۱۳۳۳  |
|            | DCBD    | مقصد در مرکز شهر               | ۰.۲۱۷۲۳  | -        | -        | -        | -         |
|            | DID2    | فاصله هوایی بیشتر از ۲ کیلومتر | -        | -        | ۰.۴۳۰۰۶  | -        | -         |
|            | DIS-CAR | مسافت سفر با خودروی شخصی       | -        | -        | -۰.۰۹۴۰۹ | -۰.۱۰۱۰۴ | -         |
| دوچرخه     | DID2    | فاصله هوایی بیشتر از ۲ کیلومتر | -        | -        | -۱.۴۰۱۶۸ | -۱.۲۳۲۱۱ | -         |
|            | CO      | سرايه مالکیت خودرو             | -        | -        | -۴.۶۰۰۶۷ | -        | -         |

جدول ۷-۹ و جدول ۷-۱۰ نیز خلاصه نتایج آماره‌های مدل را برای اهداف سفر مختلف ارائه می‌کند.

جدول ۷-۹- نتایج معیارهای آماری برای اهداف سفر مختلف

| هدف سفر      | LL(0)  | LL(C)  | LL( $\beta$ ) | K  | $k_{ms}$ | $\rho_0^2$ | $\bar{\rho}_0^2$ | $\rho_c^2$ | $\bar{\rho}_c^2$ |
|--------------|--------|--------|---------------|----|----------|------------|------------------|------------|------------------|
| شغلی         | -۴۳۴۹۷ | -۲۸۰۵۰ | -۲۶۹۸۴        | ۲۲ | ۴        | ۰.۳۸       | ۰.۳۸             | ۰.۰۴       | ۰.۰۴             |
| تحصیلی       | -۲۸۷۵۲ | -۲۷۱۴۳ | -۲۶۲۷۶        | ۱۳ | ۳        | ۰.۰۹       | ۰.۰۹             | ۰.۰۳       | ۰.۰۳             |
| خرید         | -۱۵۲۳۰ | -۱۲۰۰۱ | -۱۱۲۹۳        | ۱۹ | ۴        | ۰.۲۶       | ۰.۲۶             | ۰.۰۶       | ۰.۰۶             |
| تفریحی       | -۱۳۶۷۷ | -۱۰۴۳۲ | -۹۸۴۱         | ۱۸ | ۴        | ۰.۲۸       | ۰.۲۸             | ۰.۰۶       | ۰.۰۶             |
| کار شخصی     | -۱۲۲۵۵ | -۹۶۲۱  | -۹۲۳۵         | ۱۴ | ۳        | ۰.۲۵       | ۰.۲۵             | ۰.۰۴       | ۰.۰۴             |
| غیرخانه‌مبنا | -۳۰۸۵  | -۲۱۵۰  | -۲۱۱۵         | ۸  | ۳        | ۰.۳۱       | ۰.۳۱             | ۰.۰۱۶      | ۰.۰۱۴            |

جدول ۷-۱۰- نتایج آماره کای دو برای اهداف مختلف

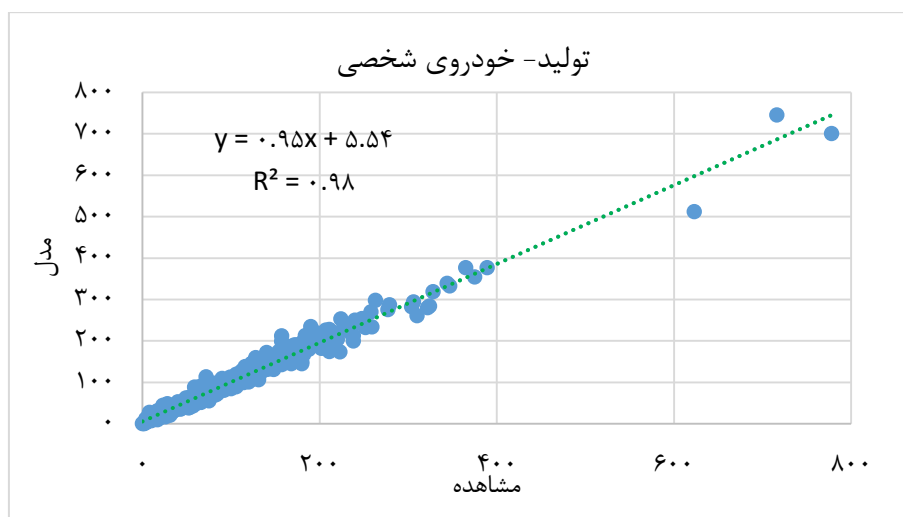
| هدف سفر      | LL(0)  | LL(C)  | LL( $\beta$ ) | -2[L(0)-L(B)] | K  | سطح اطمینان | Kms | -2[L(C)-L(B)] | K-Kms | سطح اطمینان |
|--------------|--------|--------|---------------|---------------|----|-------------|-----|---------------|-------|-------------|
| شغلی         | -۴۳۴۹۷ | -۲۸۰۵۰ | -۲۶۹۸۴        | ۳۳۰۲۶         | ۲۲ | ۹۹/۹۰٪      | ۴   | ۲۱۳۳          | ۱۸    | ۹۹/۹۰٪      |
| تحصیلی       | -۲۸۷۵۲ | -۲۷۱۴۳ | -۲۶۲۷۶        | ۴۹۵۱          | ۱۳ | ۹۹/۹۰٪      | ۳   | ۱۷۳۳          | ۱۰    | ۹۹/۹۰٪      |
| خرید         | -۱۵۲۳۰ | -۱۲۰۰۱ | -۱۱۲۹۳        | ۷۸۷۴          | ۱۹ | ۹۹/۹۰٪      | ۴   | ۱۴۱۶          | ۱۵    | ۹۹/۹۰٪      |
| تفریحی       | -۱۳۶۷۷ | -۱۰۴۳۲ | -۹۸۴۱         | ۷۶۷۳          | ۱۸ | ۹۹/۹۰٪      | ۴   | ۱۱۸۳          | ۱۴    | ۹۹/۹۰٪      |
| کار شخصی     | -۱۲۲۵۵ | -۹۶۲۱  | -۹۲۳۵         | ۶۰۳۹          | ۱۴ | ۹۹/۹۰٪      | ۳   | ۷۷۲           | ۱۱    | ۹۹/۹۰٪      |
| غیرخانه‌مبنا | -۳۰۸۵  | -۲۱۵۰  | -۲۱۱۵         | ۱۹۳۹          | ۸  | ۹۹/۹۰٪      | ۳   | ۷۰            | ۵     | ۹۹/۹۰٪      |

در جدول ۷-۱۱ سفرهای برآورد شده از طریق مدل‌های تفکیک سفر با مقادیر مشاهده شده آن‌ها در نمونه مدل‌سازی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته‌اند. این مقایسه بر مبنای جمع سفرهای تولید و جذب شده با هر وسیله -در همه اهدافی که آن وسیله غالب است- در سطح نواحی ترافیکی انجام شده است. برای این منظور رابطه خطی بین مقادیر مشاهده و مدل ( $y=ax+b$ ) مدنظر قرار گرفته است. این رابطه در دو حالت ( $b=0$ ) و ( $b \neq 0$ ) ارائه شده است. هرچه ضریب  $a$  و مقدار  $R^2$  مدل بیشتر باشد، پیش‌بینی‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. شکل ۷-۱ تا شکل ۷-۱۲ نیز نمودار این روابط را نشان می‌دهد.

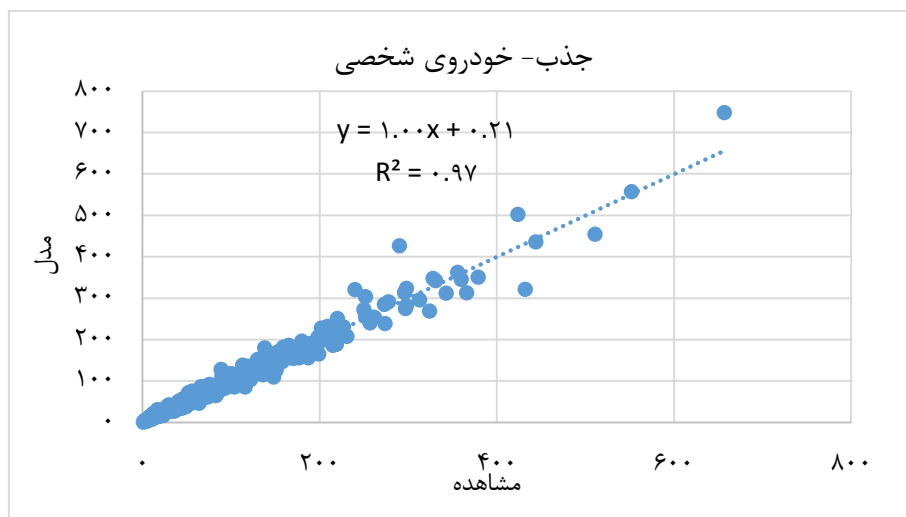
لازم به یادآوری است که دوچرخه تنها در مدل دو هدف خرید و تفریحی وارد شده است. هم‌چنین تعداد کل سفرها و نیز مشاهدات مبدأ- مقصدی آن نسبت به دیگر وسایل ناچیز است. با توجه به این موارد و نیز عدم دسترسی به متغیرهای تأثیرگذار بیشتر (غیر از فاصله) برای تعیین مطلوبیت این وسیله، مقدار نسبتاً پایین  $R^2$  در نمودارهای شکل ۷-۱۱ و شکل ۷-۱۲ دور از انتظار نیست.

جدول ۷-۱۱- رابطه بین سفرهای برآورد و مشاهده شده هر وسیله

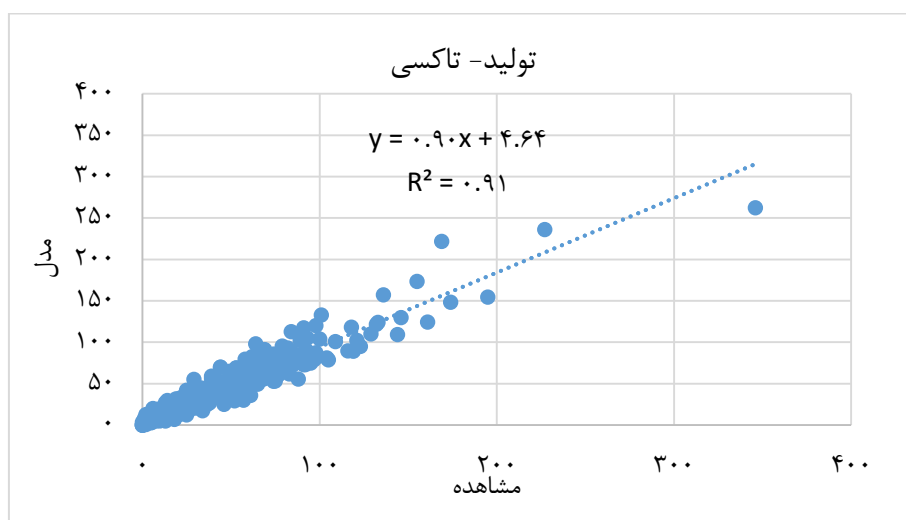
| نوع وسیله          | تعداد انتخاب وسیله در مشاهدات مدل سازی | رابطه              | R <sup>2</sup> | رابطه       | R <sup>2</sup> |
|--------------------|----------------------------------------|--------------------|----------------|-------------|----------------|
| تولید- خودروی شخصی | ۳۶۱۰۱                                  | $y = ۰,۹۵x + ۵,۵۴$ | ۰,۹۸           | $y = ۰,۹۸x$ | ۰,۹۸           |
| جذب- خودروی شخصی   |                                        | $y = ۱,۰۰x + ۰,۲۱$ | ۰,۹۷           | $y = ۱,۰۰x$ | ۰,۹۷           |
| تولید- تاکسی       | ۱۴۵۱۸                                  | $y = ۰,۹۰x + ۴,۶۴$ | ۰,۹۱           | $y = ۰,۹۵x$ | ۰,۹۰           |
| جذب- تاکسی         |                                        | $y = ۰,۸۶x + ۶,۲۳$ | ۰,۹۲           | $y = ۰,۹۳x$ | ۰,۹۱           |
| تولید- سرویس       | ۹۸۹۶                                   | $y = ۰,۸۹x + ۳,۵۸$ | ۰,۹۲           | $y = ۰,۹۵x$ | ۰,۹۱           |
| جذب- سرویس         |                                        | $y = ۰,۸۰x + ۶,۲۲$ | ۰,۷۱           | $y = ۰,۸۸x$ | ۰,۶۹           |
| تولید- همگانی      | ۱۱۵۴۸                                  | $y = ۰,۹۰x + ۳,۶۷$ | ۰,۸۴           | $y = ۰,۹۵x$ | ۰,۸۴           |
| جذب- همگانی        |                                        | $y = ۰,۷۶x + ۸,۶۹$ | ۰,۸۸           | $y = ۰,۸۴x$ | ۰,۸۴           |
| تولید- موتورسیکلت  | ۳۲۳۱                                   | $y = ۰,۷۹x + ۲,۰۸$ | ۰,۷۷           | $y = ۰,۸۷x$ | ۰,۷۵           |
| جذب- موتورسیکلت    |                                        | $y = ۰,۶۵x + ۳,۴۵$ | ۰,۶۵           | $y = ۰,۸۲x$ | ۰,۵۶           |
| تولید- دوچرخه      | ۵۸۸                                    | $y = ۰,۳۹x + ۱,۱۷$ | ۰,۳۲           | $y = ۰,۶۱x$ | ۰,۰۴           |
| جذب- دوچرخه        |                                        | $y = ۰,۴۸x + ۰,۹۶$ | ۰,۳۶           | $y = ۰,۶۷x$ | ۰,۲۰           |



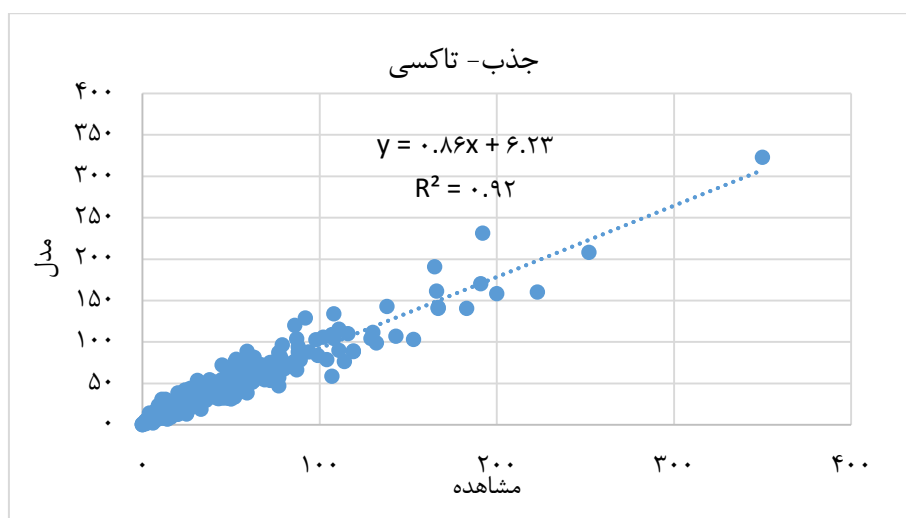
شکل ۷-۱- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله خودروی شخصی از مشاهده و مدل تفکیک



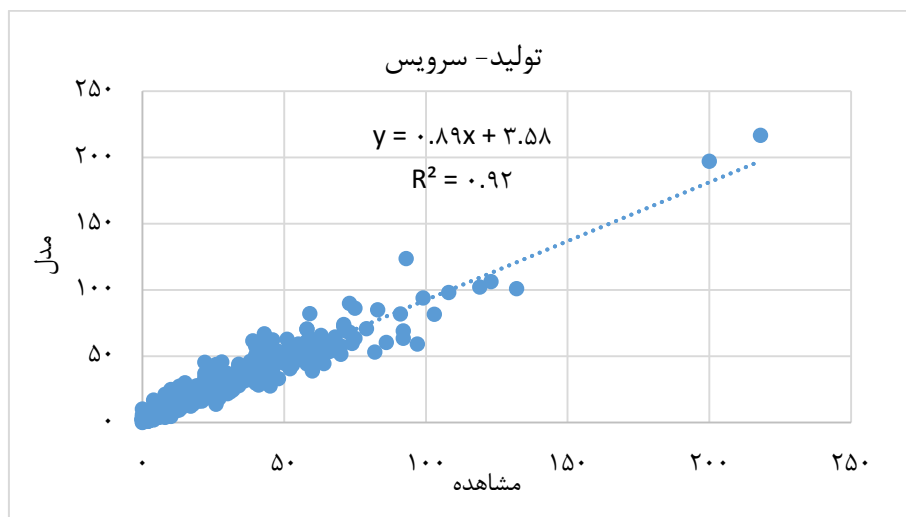
شکل ۲-۷- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله خودروی شخصی از مشاهده و مدل تفکیک



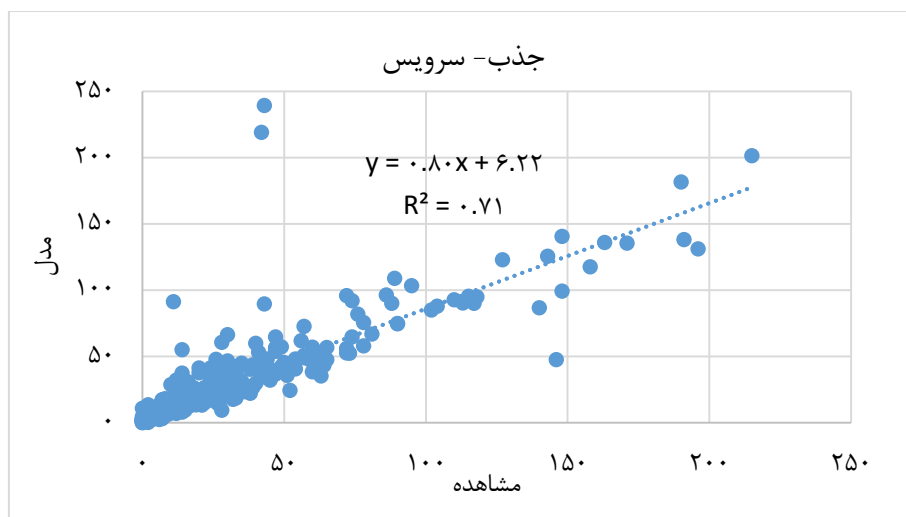
شکل ۳-۷- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله تاکسی از مشاهده و مدل تفکیک



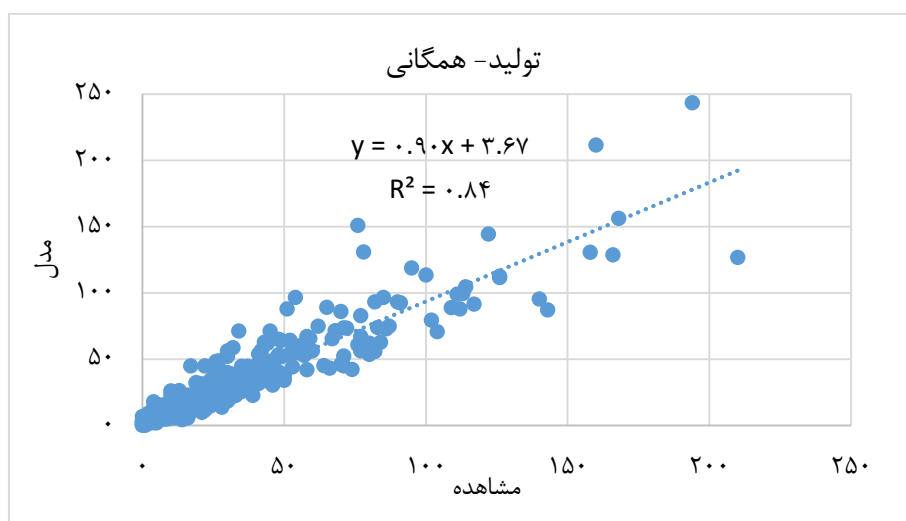
شکل ۴-۷- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله تاکسی از مشاهده و مدل تفکیک



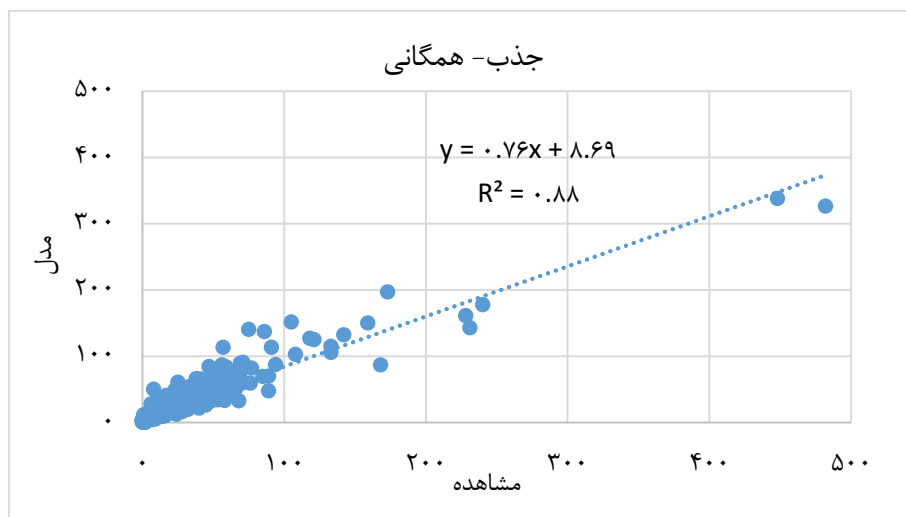
شکل ۵-۷- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله سرویس از مشاهده و مدل تفکیک



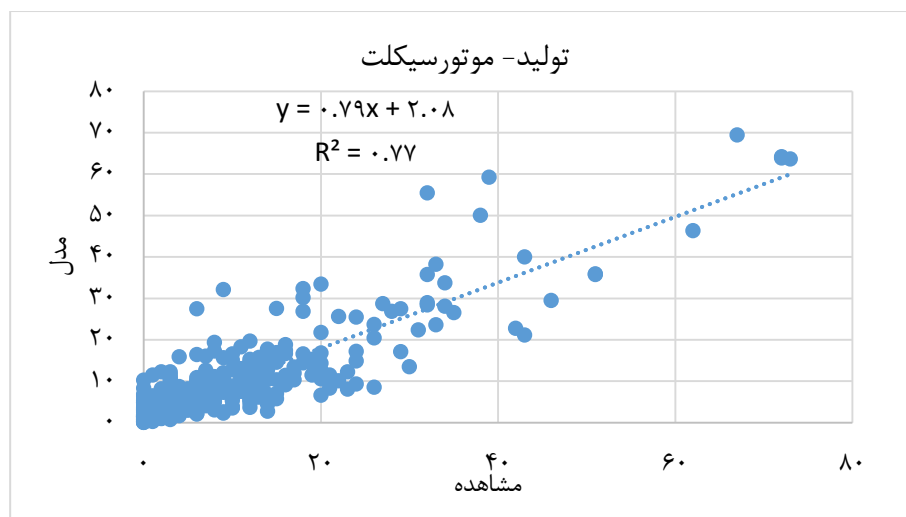
شکل ۶-۷- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله سرویس از مشاهده و مدل تفکیک



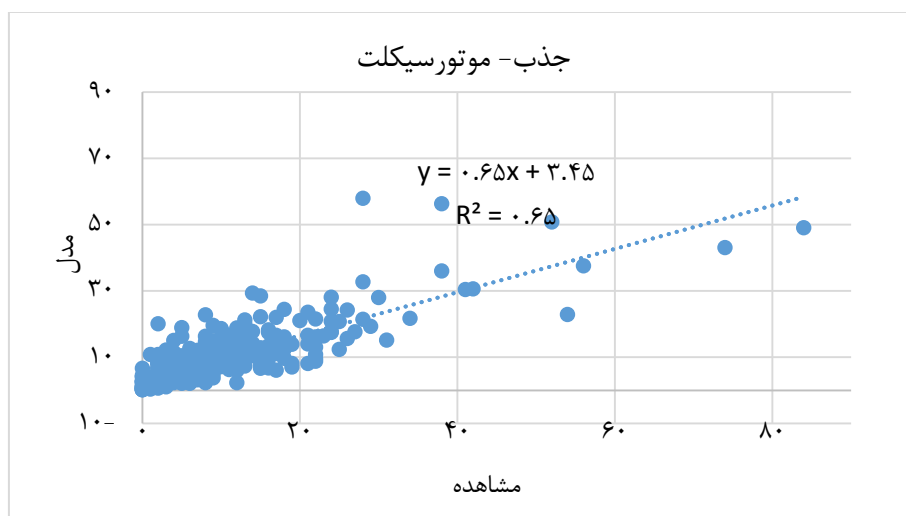
شکل ۷-۷- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله همگانی از مشاهده و مدل تفکیک



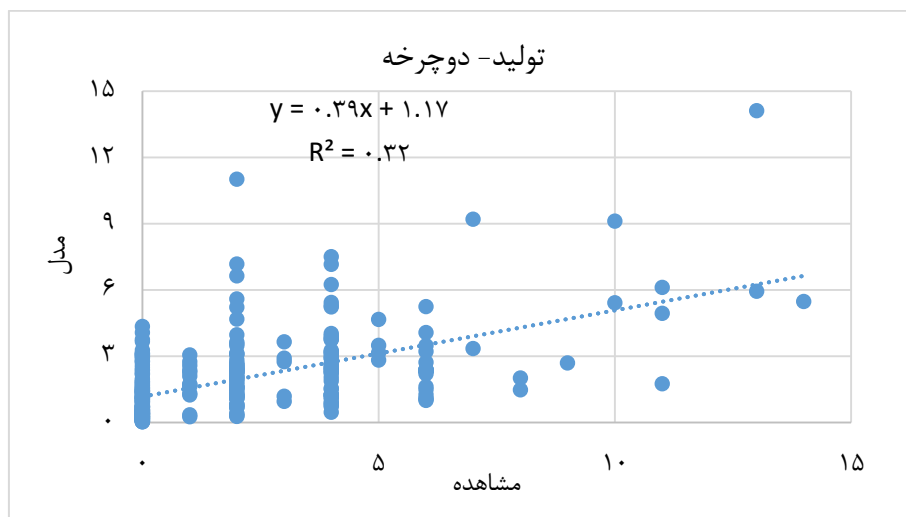
شکل ۷-۸- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله همگانی از مشاهده و مدل تفکیک



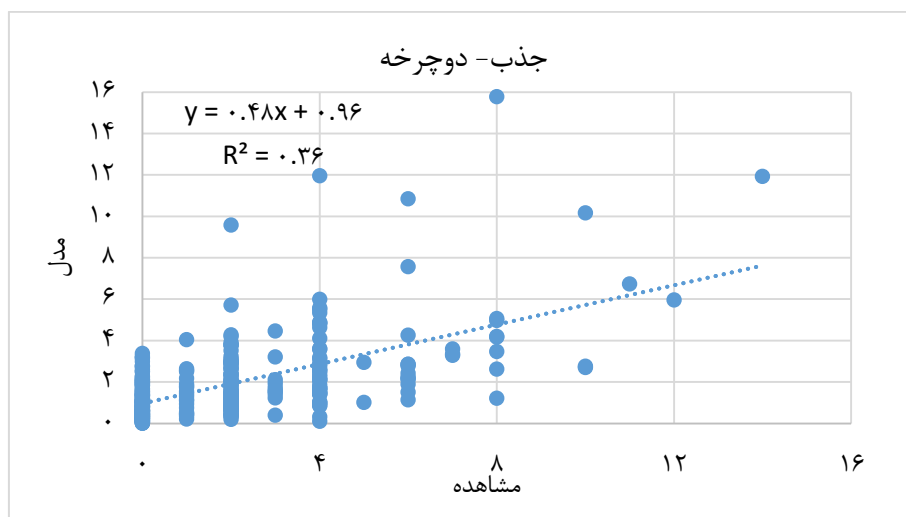
شکل ۷-۹- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله موتورسیکلت از مشاهده و مدل تفکیک



شکل ۷-۱۰- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله موتورسیکلت از مشاهده و مدل تفکیک



شکل ۷-۱۱- نمودار سفرهای تولید شده نواحی ترافیکی با وسیله دوچرخه از مشاهده و مدل تفکیک



شکل ۷-۱۲- نمودار سفرهای جذب شده نواحی ترافیکی با وسیله دوچرخه از مشاهده و مدل تفکیک



## ۸- جمع‌بندی

در گزارش حاضر به مدل‌سازی تفکیک سفر در شهر شیراز پرداخته شد. ابتدا، انواع مدل‌های تفکیک سفر و مبانی نظری مربوط به آن‌ها ارائه شد و مطالعات خارجی و داخلی در این زمینه بررسی شدند. سپس با استفاده از نرم‌افزار Nlogit، مدل‌سازی مرحله به مرحله با ورود متغیرهای مختلف در مدل و بررسی روند بهبود آن با استفاده از آزمون‌های آماری و معیارهای ارزیابی نیکویی برازش مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت بهترین مدل‌های به‌دست آمده برای مدل‌سازی تفکیک سفر هر هدف انتخاب و در گزارش ارائه شدند.

از مدل‌های تفکیک ساخته شده برای پیش‌بینی سهم هریک از شیوه‌های سفر در سال‌های افق استفاده خواهد شد. برای این منظور ابتدا، باید مقادیر متغیرهای استفاده‌شده در این مدل‌ها برای سال مورد نظر برآورد شوند. سپس بر اساس مقادیر برآورد شده، تابع مطلوبیت هر شیوه برای هر هدف سفر برآورد می‌شود. در نهایت، بر اساس مطلوبیت محاسبه‌شده، سهم هریک از وسایل به تفکیک اهداف محاسبه خواهد شد.

|                                                                                                            |                                                                     |       |        |                                                                                                        |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <br>دانشگاه صنعتی شیراز | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |       |        | <br>شهرداری شیراز |                                     |
|                                                                                                            | صفحه ۶۶                                                             | گزارش | ویرایش |                                                                                                        | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |
|                                                                                                            | تاریخ                                                               |       |        |                                                                                                        |                                     |
|                                                                                                            | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                      | ۰۴    | ۰۱     |                                                                                                        |                                     |

1. Ortuzar. J.de.D, Willumsen. L.G, Modelling Transport, Third Edition. John Wiley Co., New York. 2001.
2. Ben-Akiva, M. E., & Lerman, S. R. (1985). Discrete choice analysis: theory and application to travel demand (Vol. 9). MIT press.
3. Koppelman F. Bhat .C, Mode Choice Modeling : Multinomial and Nested Logit Models, Prepared For U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration, 2006.
4. Train, Kenneth E. (2009). Discrete choice methods with simulation. Cambridge university press.
5. Hensher, D. A., Rose, J. M., & Greene, W. H. (2005). Applied choice analysis: a primer. Cambridge University Press.

۶. افندی زاده، شهریار و عبدالمنافی، سید ابراهیم، ۱۳۹۷، مدل سازی و تحلیل تقاضای سفر، چاپ اول، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

۷. مدل انتخاب وسیله شهر کرمانشاه، مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر کرمانشاه، گزارش شماره ۲۱-۶۵۶، شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران، فروردین ماه ۱۳۸۳.

۸. مدل های انتخاب وسیله نقلیه، مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان، گزارش شماره ۰۶-۸۳، مرکز مطالعات و تحقیقات حمل و نقل، دانشگاه صنعتی شریف، شهریور ۱۳۸۳.

۹. مدل های انتخاب وسیله نقلیه، مطالعات جامع حمل و نقل شهر مشهد، گزارش شماره ۰۳-۷۶، مرکز مطالعات و تحقیقات حمل و نقل، دانشگاه صنعتی شریف، مرداد ۱۳۷۶.

۱۰. ساخت، پرداخت و اعتبارسنجی مدل های تفکیک سفر، مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر ارومیه، مهندسین مشاور طرح هفتم، گزارش شماره ۰۳-۳۸-۱۰۰، اردیبهشت ماه ۱۳۸۸.

۱۱. ساخت، پرداخت و اعتبارسنجی مدل های تفکیک سفر، مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر اراک، مهندسین مشاور طرح هفتم، گزارش شماره ۰۲-۳۸-۲۰۰، آبان ماه ۱۳۸۸.

۱۲. ساخت، پرداخت و اعتبارسنجی مدل های تفکیک سفر، بهنگام سازی مطالعات جامع حمل و نقل شهر مشهد، مهندسین مشاور طرح هفتم، گزارش شماره ۰۳-۳۷-۳۰۰، اردیبهشت ماه ۱۳۸۹.

|                                                                                                                 |                                                                      |       |    |                                                                                                |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <br>دانشگاه علم و صنعت ایران | بازبینی و بهنگام سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان شهر شیراز |       |    | <br>شیراز |                                     |
|                                                                                                                 | صفحه ۶۷                                                              | گزارش |    |                                                                                                |                                     |
|                                                                                                                 | تاریخ                                                                | ۰۴    | ۰۱ |                                                                                                | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |
|                                                                                                                 | مرداد ماه ۱۴۰۱                                                       |       |    |                                                                                                |                                     |

# پیوست الف

نمونه کد و خروجی مدل‌های تفکیک سفر شهر شیراز به کمک

نرم افزار ان لوجیت (NLOGIT)

|                                                                                                      |                |                                                                      |        |                                     |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>دانشگاه شیراز | صفحه ۶۸        | بازبینی و بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک کلان‌شهر شیراز |        |                                     | <br>شهرداری شیراز |
|                                                                                                      | تاریخ          | گزارش                                                                | ویرایش | ۱-۳-۵- تفکیک سفر (انتخاب وسیله سفر) |                                                                                                        |
|                                                                                                      | مرداد ماه ۱۴۰۱ | ۰۴                                                                   | ۰۱     |                                     |                                                                                                        |

```

nlogit; LHS=MODE,cset,altij; choices=CAR,TAXI,SERV,BUS,MOT;
model:
U(CAR)=a+aCO*co+aCST_CAR*CST_CAR/
U(TAXI)=B+bCST_TAXI*CST_TAXI+bWKT_TAXI*WKT_TAXI+bDCBD*DCBD+bdid2*DID2/
U(SERV)=C+cdid5*DID5+cMO*MO/
U(BUS)=D+djrt*jrt+dntr*ntr+dDCBD*DCBD+ddid2*DID2+dCO*co+dMO*MO/
U(MOT)=EMO*MO+eCST_MOT*CST_MOT+eDCBD*DCBD+eCO*co;
showmodel;
utility=ul;
prob=p1;

EFFECTS:co(*)/CST_CAR(*)/CST_TAXI(*)/DCBD(*)/WKT_TAXI(*)/DID2(*)/DID5(*)/MO
(*)/jrt(*)/ntr(*)/CST_MOT(*)$

```

Sample proportions are marginal, not conditional.  
 Choices marked with \* are excluded for the IIA test.

| Choice | (prop.) | Weight | IIA |
|--------|---------|--------|-----|
| CAR    | .66442  | 1.000  |     |
| TAXI   | .13344  | 1.000  |     |
| SERV   | .03691  | 1.000  |     |
| BUS    | .07926  | 1.000  |     |
| MOT    | .08596  | 1.000  |     |

| Model Specification: Table entry is the attribute that multiplies the indicated parameter. |       |           |          |          |          |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Choice                                                                                     | ***** | Parameter |          |          |          |          |
|                                                                                            | Row 1 | A         | ACO      | ACST_CAR | B        | BCST_TAX |
|                                                                                            | Row 2 | BWKT_TAX  | BDCBD    | BDID2    | C        | CDID5    |
|                                                                                            | Row 3 | CMO       | D        | DJRT     | DNTR     | DDCBD    |
|                                                                                            | Row 4 | DDID2     | DCO      | DMO      | EMO      | ECST_MOT |
|                                                                                            | Row 5 | EDCBD     | ECO      |          |          |          |
| CAR                                                                                        | 1     | Constant  | CO       | CST_CAR  | none     | none     |
|                                                                                            | 2     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 3     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 4     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 5     | none      | none     |          |          |          |
| TAXI                                                                                       | 1     | none      | none     | none     | Constant | CST_TAXI |
|                                                                                            | 2     | WKT_TAXI  | DCBD     | DID2     | none     | none     |
|                                                                                            | 3     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 4     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 5     | none      | none     |          |          |          |
| SERV                                                                                       | 1     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 2     | none      | none     | none     | Constant | DID5     |
|                                                                                            | 3     | MO        | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 4     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 5     | none      | none     |          |          |          |
| BUS                                                                                        | 1     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 2     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 3     | none      | Constant | JRT      | NTR      | DCBD     |
|                                                                                            | 4     | DID2      | CO       | MO       | none     | none     |
|                                                                                            | 5     | none      | none     |          |          |          |
| MOT                                                                                        | 1     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 2     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 3     | none      | none     | none     | none     | none     |
|                                                                                            | 4     | none      | none     | none     | MO       | CST_MOT  |
|                                                                                            | 5     | DCBD      | CO       |          |          |          |

Normal exit: 6 iterations. Status=0, F= 26983.65

```

-----
Discrete choice (multinomial logit) model
Dependent variable      Choice
Log likelihood function  -26983.64976
Estimation based on N = 26116, K = 22
Inf.Cr.AIC = 54011.3 AIC/N = 2.068
Model estimated: May 10, 2010, 00:17:34
R2=1-LogL/LogL* Log-L fncn R-sqrd R2Adj
Constants only must be computed directly
Use NLOGIT ;...;RHS=ONE$
Chi-squared[18]         = 2132.76792
Prob [ chi squared > value ] = .00000
Response data are given as ind. choices
Number of obs.= 26116, skipped 0 obs

```

| MODE      | Coefficient | Standard Error | z      | Prob.  z >Z* | 95% Confidence Interval |          |
|-----------|-------------|----------------|--------|--------------|-------------------------|----------|
| A         | .51346*     | .27535         | 1.86   | .0622        | -.02623                 | 1.05314  |
| ACO       | 3.54192***  | .24968         | 14.19  | .0000        | 3.05256                 | 4.03129  |
| ACST_CAR  | -.13979***  | .01600         | -8.74  | .0000        | -.17115                 | -.10843  |
| B         | .14147      | .29305         | .48    | .6293        | -.43290                 | .71583   |
| BCST_TAXI | -.22526***  | .01986         | -11.34 | .0000        | -.26418                 | -.18633  |
| BWKT_TAXI | -.01151**   | .00578         | -1.99  | .0464        | -.02284                 | -.00018  |
| BDCBD     | .14268***   | .04548         | 3.14   | .0017        | .05354                  | .23181   |
| BDID2     | .13818***   | .05218         | 2.65   | .0081        | .03592                  | .24044   |
| C         | -1.74885*** | .30084         | -5.81  | .0000        | -2.33849                | -1.15920 |
| CDID5     | .58838***   | .08737         | 6.73   | .0000        | .41714                  | .75962   |
| CMO       | -5.86519*** | 1.32959        | -4.41  | .0000        | -8.47115                | -3.25923 |
| D         | .35015      | .38564         | .91    | .3639        | -.40569                 | 1.10599  |
| DJRT      | -.00619***  | .00135         | -4.58  | .0000        | -.00885                 | -.00354  |
| DNTR      | -.18249***  | .04986         | -3.66  | .0003        | -.28021                 | -.08477  |
| DDCBD     | .52444***   | .04964         | 10.56  | .0000        | .42715                  | .62174   |
| DDID2     | .54902***   | .07615         | 7.21   | .0000        | .39977                  | .69827   |
| DCO       | -3.55245*** | .70810         | -5.02  | .0000        | -4.94030                | -2.16460 |
| DMO       | -5.72334*** | 1.75365        | -3.26  | .0011        | -9.16042                | -2.28626 |
| EMO       | 10.6663***  | 1.59175        | 6.70   | .0000        | 7.5465                  | 13.7861  |
| ECST_MOT  | -1.15755*** | .07681         | -15.07 | .0000        | -1.30810                | -1.00700 |
| EDCBD     | .21723***   | .05004         | 4.34   | .0000        | .11915                  | .31531   |
| ECO       | -3.25890*** | .69392         | -4.70  | .0000        | -4.61895                | -1.89884 |

Note: \*\*\*, \*\*, \* ==> Significance at 1%, 5%, 10% level.

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

| CO  | CAR   | TAXI   | SERV   | BUS    | MOT    |
|-----|-------|--------|--------|--------|--------|
| CAR | .3259 | -.7114 | -.7114 | -.7114 | -.7114 |
| BUS | .0780 | .0780  | .0780  | -.9623 | .0780  |
| MOT | .0698 | .0698  | .0698  | .0698  | -.8846 |

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

| CST_CAR | CAR    | TAXI  | SERV  | BUS   | MOT   |
|---------|--------|-------|-------|-------|-------|
| CAR     | -.0923 | .1891 | .1891 | .1891 | .1891 |

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

| CST_TAXI | CAR | TAXI | SERV | BUS | MOT |
|----------|-----|------|------|-----|-----|
|----------|-----|------|------|-----|-----|

```

-----+-----
TAXI|    .0626   -.4463    .0626    .0626    .0626

```

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

```

-----+-----
DCBD  |      CAR      TAXI      SERV      BUS      MOT
-----+-----
TAXI|   -.0059    .0353   -.0059   -.0059   -.0059
BUS|   -.0163   -.0163   -.0163    .1352   -.0163
MOT|   -.0060   -.0060   -.0060   -.0060    .0567

```

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

```

-----+-----
WKT_TAXI|      CAR      TAXI      SERV      BUS      MOT
-----+-----
TAXI|    .0167   -.1111    .0167    .0167    .0167

```

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

```

-----+-----
DID2   |      CAR      TAXI      SERV      BUS      MOT
-----+-----
TAXI|   -.0148    .0967   -.0148   -.0148   -.0148
BUS|   -.0376   -.0376   -.0376    .4052   -.0376

```

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

```

-----+-----
DID5   |      CAR      TAXI      SERV      BUS      MOT
-----+-----
SERV|   -.0160   -.0160    .2782   -.0160   -.0160

```

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

```

-----+-----
MO      |      CAR      TAXI      SERV      BUS      MOT
-----+-----
SERV|    .0110    .0110   -.3024    .0110    .0110
BUS|    .0260    .0260    .0260   -.2799    .0260
MOT|   -.0654   -.0654   -.0654   -.0654    .5047

```

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

```

-----+-----
JRT     |      CAR      TAXI      SERV      BUS      MOT
-----+-----
BUS|    .0298    .0298    .0298   -.3409    .0298

```

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

```

-----+-----
NTR     |      CAR      TAXI      SERV      BUS      MOT
-----+-----
BUS|    .0115    .0115    .0115   -.1371    .0115

```

Elasticity wrt change of X in row choice on Prob[column choice]

```

-----+-----
CST_MOT |      CAR      TAXI      SERV      BUS      MOT
-----+-----
MOT|    .0465    .0465    .0465    .0465   -.6526

```



نشانی کارفرما:  
فارس، شیراز  
میدان شهدا  
شهرداری شیراز



نشانی مشاور:  
تهران  
بزرگراه رسالت، خیابان فرجام  
دانشگاه علم و صنعت ایران

