



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)  
دانشکده عمران و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد  
گرایش برنامه ریزی حمل و نقل

## مقایسه رفتار سفر فردی و گروهی با استفاده از اطلاعات کارت هوشمند اتوبوس رانی

نگارش  
مصطفی ابوالفضلی

استاد راهنما  
دکتر سید محمود مصباح نمینی

شهریور 1399

اللَّهُ أَكْبَرُ

بسمه تعالی



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی عمران

توجه: این قسمت در زمان تصویب پروژه تکمیل شده و در صفحه اول کلیه نسخ پایان نامه گنجانده می شود.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| عنوان، اهداف و روش تحقیق این پروژه کارشناسی ارشد مطابق با مشخصات زیر در تاریخ ۱۳۹۷/۳/۱۳ شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسید.                                                                                                                                          | شورای تحصیلات                     |
| عنوان پروژه:<br>مقایسه رفتار سفر فردی و رفتار سفر گروهی با استفاده از اطلاعات کارت هوشمند اتوبوسرانی                                                                                                                                                                                                             |                                   |
| اهداف و روش تحقیق:<br>هدف اصلی این مطالعه شناسایی الگوی سفرهای گروهی در حمل و نقل همگانی و مقایسه آن با الگوی سفرهای فردی است. از اهداف دیگر مطالعه می توان تخمین ماتریس مبدأ-مقصد سفرها و خوشه بندی نظم سفر مسافران را نام برد. از روش خوشه بندی و روش زنجیره مارکوف در مراحل انجام این مطالعه استفاده شده است. |                                   |
| نام و امضای استاد راهنما<br>سید محمود مصباح                                                                                                                                                                                                                                                                      | امضای مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده |
| نام و امضای دانشجو<br>مصلحی ابوالفضل                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                   |

توجه: این قسمت در زمان ارائه پروژه تکمیل شده و همراه با قسمت فوق در صفحه اول پایان نامه گنجانده می شود.

|                                                                                                                                                                                                                              |           |           |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-------------------|
| اینجانب سید محمود مصباح نمینی استاد راهنمای پروژه گواهی می نمایم که کلیه قسمتهای مشدرج در این پایان نامه توسط دانشجو، آقای ابوالفضل مصلحی ابوالفضل به اتمام رسیده و محتوای آن مطابق با عنوان، اهداف و روش تحقیق فوق می باشد. |           |           |                   |
| امضای استاد راهنما:<br>                                                                                                                   |           |           |                   |
| اعضاء هیات داوران پس از بررسی کامل کار انجام شده از نظر کیفی، نوآوری، احاطه به موضوع و نحوه ارائه، رای نهایی خود را بدین صورت اعلام می نمایند:                                                                               |           |           |                   |
| نام داور:                                                                                                                                                                                                                    | نام داور: | نام داور: | نام استاد راهنما: |
| امضاء:                                                                                                                                                                                                                       | امضاء:    | امضاء:    | امضاء:            |
| توجه: اعضاء محترم هیات داوران می توانند نظرات تکمیلی خود را در پشت همین برگه مرقوم فرمایند.                                                                                                                                  |           |           |                   |

به نام خدا



## تعهدنامه اصالت اثر

تاریخ ۱۳۹۶/۷/۱۵

اینجانب مصطفی ابوالفضلی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است. در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

مصطفی ابوالفضلی  
امضا

GF-55-4

## چکیده

استفاده از سیستم‌های پرداخت کرایه سفر از طریق کارت هوشمند در حمل و نقل همگانی مزایای بسیاری را به همراه دارد که یکی از آنها بایگانی داده‌های تراکنش‌های مسافران است. از داده‌های کارت هوشمند می‌توان در زمینه‌ی مدل‌سازی تقاضای سفر، شناسایی الگوهای سفر و یا تخمین ماتریس مبدأ-مقصد سفرها استفاده نمود. همچنین دسترسی به حجم بزرگتری از داده‌های سفر و ثبت اطلاعات سفر افراد به طور پیوسته باعث شده‌است که از این داده‌ها به منظور بررسی رفتار سفر مسافران حمل و نقل همگانی استفاده شود. درک بهتر رفتار سفر مسافران حمل و نقل همگانی به منظور بهبود کیفیت خدمات و همچنین تشویق مردم به استفاده بیشتر از آن، از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعات گذشته در زمینه بررسی رفتار سفر بیشتر با تمرکز بر روی الگوی سفرهای فردی انجام گرفته است و نسبت به الگوی سفرهای گروهی توجه چندانی نشده‌است. همچنین تا کنون مطالعه‌ای که سفرهای گروهی را شناسایی کند و به مقایسه آن با سفرهای فردی در حمل و نقل همگانی بپردازد، در ایران انجام نشده‌است. در این مطالعه با استفاده از داده‌های کارت هوشمند اتوبوسرانی شهر اراک به مقایسه رفتار سفر فردی و گروهی مسافران حمل و نقل همگانی پرداخته شده‌است. در راستای این هدف ابتدا روشی برای تخمین ماتریس مبدأ-مقصد سفرها مبتنی بر روش زنجیره سفر ارائه گردیده‌است. همچنین خوشه‌بندی نظم سفر مسافران با استفاده از روش خوشه‌بندی میانگین K انجام شده است. سپس روشی برای شناسایی سفرهای گروهی بر اساس نظریه همجواری ارائه گردیده است. در نهایت الگوهای زمانی و مکانی سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای هفته شناسایی و با یکدیگر مقایسه شده‌است.

این مطالعه بر اساس بررسی و تحلیل داده‌های کارت هوشمند اتوبوسرانی شهر اراک در یک دوره زمانی 9 ماهه انجام گرفته‌است. بر اساس نتایج، استفاده از روش خوشه‌بندی در تخمین ماتریس مبدأ-مقصد سفرها منجر به افزایش 20 درصدی در تعداد سفرهای تخمینی شده‌است. خوشه‌بندی نظم سفر مسافران نشان داد که تنها 19 درصد مسافران به طور منظم و روزانه از حمل‌ونقل همگانی استفاده نموده‌اند. همچنین مشخص شد که 28 درصد سفرها به صورت گروهی انجام شده‌است. سفرهای گروهی نسبت به سفرهای فردی بیشتر در روزهای پایانه هفته و در ساعات پایانی روز انجام شده‌اند. همچنین مقصد بیشتر سفرهای فردی و گروهی نواحی اطراف مرکز شهر بوده است. علاوه بر این نشان داده شد که تمرکز بیشتر سفرهای فردی در مسافت‌های کوتاه است، در حالی که در مسافت‌های طولانی‌تر درصد سفرهای گروهی بیشتری نسبت به سفرهای فردی مشاهده شده‌است. در نهایت مشخص شد که سفرهای فردی تکرارپذیری بیشتری نسبت به سفرهای گروهی دارند.

## واژه‌های کلیدی:

کارت هوشمند حمل‌ونقل همگانی، ماتریس مبدأ-مقصد، خوشه‌بندی، نظم سفر، رفتار سفر فردی، رفتار سفر گروهی

فهرست مطالب

|    |                                                                          |
|----|--------------------------------------------------------------------------|
| 1  | فصل اول مقدمه                                                            |
| 2  | 1-1 ضرورت انجام مطالعه                                                   |
| 3  | 2-1 تعریف مسئله                                                          |
| 4  | 3-1 رویکرد حل مسئله                                                      |
| 4  | 4-1 اهداف مطالعه                                                         |
| 4  | 5-1 فرض‌های مطالعه                                                       |
| 5  | 1-6 ساختار پایان‌نامه                                                    |
| 6  | 2 فصل دوم پیشینه مطالعات                                                 |
| 7  | 1-2 رفتار سفر                                                            |
| 8  | 2-1-1 رفتار سفر فردی و گروهی                                             |
| 8  | 2-1-2 مطالعات انجام شده در زمینه بررسی رفتار سفر فردی                    |
| 9  | 3-1-2 مطالعات انجام شده در زمینه بررسی رفتار سفر گروهی                   |
| 10 | 2-2 کارت هوشمند                                                          |
| 10 | 1-2-2 سیستم خودکار دریافت کرایه                                          |
| 11 | 2-2-2 اهمیت کارت هوشمند در حمل‌ونقل همگانی                               |
| 12 | 3-2 مطالعات انجام شده با استفاده از داده‌های کارت هوشمند حمل‌ونقل همگانی |
| 12 | 1-3-2 مطالعات راهبردی                                                    |
| 13 | 2-3-2 مطالعات تاکتیکی                                                    |
| 14 | 3-3-2 مطالعات عملیاتی                                                    |
| 15 | 4-2 شناسایی الگوهای سفر با استفاده از داده‌های کارت هوشمند               |
| 18 | 5-2 تحلیل رفتار سفر گروهی با استفاده از داده‌های کارت هوشمند             |
| 19 | 6-2 خلاء مطالعات پیشین                                                   |
| 19 | 7-2 جمع‌بندی                                                             |
| 21 | 3 فصل سوم روش تحقیق                                                      |
| 22 | 1-3 ساختار مطالعه                                                        |

|    |                                                                    |
|----|--------------------------------------------------------------------|
| 23 | 2-3 پیش پردازش بر روی داده ها                                      |
| 23 | 3-3 تخمین ناحیه پیاده شدن                                          |
| 24 | 1-3-3 جداسازی تورهای داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه |
| 25 | 2-3-3 جداسازی تورهای تراکنش‌های کارت هوشمند                        |
| 26 | 3-3-3 ناحیه پیاده شدن                                              |
| 27 | 4-3 تخمین ناحیه سوار شدن                                           |
| 27 | 1-4-3 روش زنجیره سفر                                               |
| 28 | 2-4-3 روش خوشه‌بندی                                                |
| 31 | 3-4-3 خوشه‌بندی تراکنش‌ها                                          |
| 33 | 4-4-3 ناحیه سوار شدن                                               |
| 34 | 5-3 خوشه‌بندی نظم سفر                                              |
| 35 | 6-3 سفرهای گروهی                                                   |
| 35 | 1-6-3 پیشینه نظری                                                  |
| 36 | 2-6-3 روش شناسایی سفرهای گروهی                                     |
| 37 | 7-3 مقایسه رفتار سفر                                               |
| 37 | 1-7-3 الگوی زمانی سفر                                              |
| 38 | 2-7-3 الگوی مکانی سفر                                              |
| 38 | 8-3 جمع‌بندی                                                       |
| 39 | 4 فصل چهارم مطالعه موردی و تحلیل نتایج                             |
| 40 | 1-4 مطالعه موردی                                                   |
| 41 | 1-1-4 داده های کارت هوشمند                                         |
| 42 | 2-1-4 داده های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه                |
| 43 | 2-4 آماده سازی پایگاه داده                                         |
| 43 | 1-2-4 زمان تراکنش                                                  |
| 43 | 4-2-2 تاریخ تراکنش                                                 |
| 43 | 4-2-3 تراکنش‌های همزمان کارت                                       |

|    |       |                                     |
|----|-------|-------------------------------------|
| 44 | 4-2-4 | کارت‌های غیر فعال                   |
| 44 | 4-2-5 | شناسه پایانه                        |
| 44 | 3-4   | آمار توصیفی                         |
| 45 | 1-3-4 | تعداد روزهای سفر                    |
| 46 | 2-3-4 | توزیع زمانی سفرها                   |
| 49 | 4-4   | تحلیل نتایج                         |
| 49 | 1-4-4 | نتایج خوشه بندی تراکنش های هر کارت  |
| 51 | 2-4-4 | نتایج تخمین مبدا-مقصد سفرها         |
| 53 | 3-4-4 | ارزیابی نتایج تخمین مبدا-مقصد سفرها |
| 54 | 4-4-4 | نتایج خوشه‌بندی نظم سفر             |
| 57 | 5-4-4 | نتایج سفرهای فردی و گروهی           |
| 60 | 6-4-4 | مقایسه رفتار سفر فردی و گروهی       |
| 71 | 5-4   | جمع‌بندی                            |
| 73 | 5     | فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات     |
| 74 | 1-5   | جمع‌بندی                            |
| 74 | 2-5   | نتیجه‌گیری                          |
| 76 | 3-5   | پیشنهادهای                          |
| 78 |       | منابع و مراجع                       |

## فهرست اشکال

- شکل 3-1: ساختار کلی مطالعه ..... 22
- شکل 3-2: روش تخمین محل پیاده‌شدن ترانکشها ..... 24
- شکل 3-3: نقشه خطوط و ایستگاههای شبکه اتوبوسرانی اراک ..... 26
- شکل 3-4: روش خوشه‌بندی میانگین K ..... 31
- شکل 4-1: شبکه اتوبوسرانی شهر اراک ..... 40
- شکل 4-2: توزیع تعداد روزهای سفر کاربران ..... 45
- شکل 4-3: توزیع کارتها بر اساس متوسط تعداد ترانکش در روز ..... 46
- شکل 4-4: تعداد ترانکشهای ثبت شده در سیستم به تفکیک ماههای مختلف ..... 47
- شکل 4-5: تعداد ترانکش در ساعات روز ..... 48
- شکل 4-6: توزیع ساعتی ترانکشهای ثبت شده به تفکیک روزهای هفته ..... 49
- شکل 4-7: مثال خوشه بندی ترانکشهای یک کارت ..... 50
- شکل 4-8: مقصد ترانکشها به تفکیک نواحی حمل و نقل شهر اراک ..... 51
- شکل 4-9: مبدا ترانکشها به تفکیک نواحی حمل و نقل شهر اراک ..... 52
- شکل 4-10: تعداد سفرها به تفکیک خطوط اتوبوسرانی شهر اراک ..... 53
- شکل 4-11: تعداد متوسط سفرهای روزانه هر مسافر در هر خوشه ..... 55
- شکل 4-12: توزیع تعداد روزهای سفر مسافران منظم و غیر منظم ..... 56
- شکل 4-13: تعداد مسافران منظم و غیر منظم به تفکیک تعداد روزهای سفر ..... 57
- شکل 4-14: نتایج تحلیل حساسیت روش شناسایی سفرهای گروهی ..... 58
- شکل 4-15: درصد سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای هفته ..... 59
- شکل 4-16: تعداد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای کاری هفته ..... 60
- شکل 4-17: درصد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای کاری هفته ..... 61
- شکل 4-18: تعداد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای پایانی هفته ..... 62
- شکل 4-19: درصد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای پایانی هفته ..... 63
- شکل 4-20: تعداد و درصد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای شنبه ..... 64
- شکل 4-21: تعداد و درصد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای جمعه ..... 64
- شکل 4-22: الگوی مکانی سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای کاری هفته ..... 67

- شکل 4-23: الگوی مکانی سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای پایانی هفته ..... 68
- شکل 4-24: درصد فراوانی سفرهای فردی بر حسب مسافت سفر ..... 69
- شکل 4-25: درصد فراوانی مسافران بر حسب متوسط تعداد سفر فردی در هفته ..... 70
- شکل 4-26: درصد فراوانی مسافران بر حسب متوسط تعداد سفر گروهی در هفته ..... 71

## فهرست جداول

- جدول 2-1: خلاصه مطالعات مرتبط با برنامه‌ریزی راهبردی در حمل‌ونقل همگانی.....13
- جدول 2-2: خلاصه مطالعات مرتبط با برنامه‌ریزی تاکتیکی در حمل‌ونقل همگانی.....14
- جدول 2-3: خلاصه مطالعات مرتبط با برنامه‌ریزی عملیاتی در حمل‌ونقل همگانی.....15
- جدول 1-4: نمونه‌ای از داده‌های کارت‌های هوشمند اتوبوس‌رانی شهر اراک.....41
- جدول 4-2: نمونه‌ای از داده‌های سیستم موقعی‌تیابی خودکار وسیله نقلیه.....42
- جدول 4-3: داده تمیز شده در پایگاه داده نهایی.....44
- جدول 4-4: آمار مربوط به تعداد روزهای سفر.....45
- جدول 4-5: تعداد تراکنش ثبت شده در روزهای مختلف هفته.....47
- جدول 4-6: فواصل نواحی تراکنش‌های کارت از ناحیه مبدا.....50
- جدول 4-7: خلاصه نتایج تخمین مبدا مقصد سفرها.....53
- جدول 4-8: نتایج خوشه‌بندی نظم سفر.....54
- جدول 4-9: تعداد سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای هفته.....58
- جدول 4-10: نحوه دسته‌بندی مکانی سفرها.....65
- جدول 4-11: مقادیر چولگی و کشیدگی توزیع فراوانی سفر بر حسب مسافت.....69

## افصل اول مقدمه

## مقدمه

حمل و نقل همگانی به عنوان روشی موثر در زمینه کاهش بار ترافیکی، آلودگی هوا و همچنین مصرف انرژی شناخته می شود. به منظور بهبود سرویس های حمل و نقل همگانی و تشویق مردم به استفاده بیشتر از آن، شرکت های حمل و نقل همگانی همواره در تلاش بوده اند تا عوامل موثر بر جذب مسافران را از طریق مطالعه الگوها و رفتارهای سفر آنها، شناسایی نمایند. با روی کار آمدن سیستم های جمع آوری خودکار کرایه سفر از طریق کارت هوشمند<sup>1</sup> که قابلیت ثبت اطلاعات سفر مثل زمان و محل سوار شدن و پیاده شدن مسافران را دارند، این امکان فراهم شده است که بتوان الگوهای حرکتی زمانی و مکانی را برای هر فرد تحلیل نمود. درک بهتر الگوهای سفر مسافران حمل و نقل همگانی، مدیران حمل و نقلی را قادر می سازد تا وضعیت فعلی سرویس دهی را ارزیابی کنند و برای ترغیب مردم به استفاده بیشتر از حمل و نقل همگانی، سیاست های خود را به بهترین نحو ممکن تنظیم نمایند. به عنوان مثال، شناسایی مسافران وفادار به سیستم حمل و نقل همگانی این امکان را به شرکت های حمل و نقلی می دهد تا با اعمال مشوق هایی در زمان و مکان مناسب، علاوه بر حفظ این مسافران، کاربران جدیدی را نیز جذب سیستم کنند.

در این فصل ابتدا ضرورت انجام مطالعه تبیین شده است. سپس مسئله مورد مطالعه تعریف گردیده است. در ادامه رویکرد مطالعه بیان شده است. سپس اهداف و فرضیات مطالعه و در انتها ساختار پایان نامه و موضوعات فصل های بعدی ارائه شده است.

## ۱-۱ ضرورت انجام مطالعه

مسافران حمل و نقل همگانی طیف وسیعی از افراد جامعه را در برمی گیرند و شامل گروه های مختلفی هستند که هر کدام رفتاری متفاوت با دیگری را در سیستم از خود نشان می دهد. به عنوان مثال برای فردی که سفرهای کاری روزانه خود را از طریق حمل و نقل همگانی انجام می دهد، عملکرد به موقع و راحتی انتقال بین خطوط مهم است، اما برای فردی که از حمل و نقل همگانی به طور منظم استفاده نمی کند، مساحت تحت پوشش سرویس از اهمیت بیشتری برخوردار است چرا که توانایی سفر به مقصد دلخواه خود را از آن طریق پیدا می کند. بنابراین برای رفع نیازهای مسافران به طور موثر، ضروری است که مدیران حمل و نقلی درک بهتری از رفتار آنها داشته باشند.

مطالعات اولیه انجام شده در زمینه شناسایی الگوهای سفر، بیشتر به کمک فرم های نظرسنجی از کاربران حمل و نقل همگانی صورت می گرفت. استفاده از این فرم ها مشکلاتی از جمله محدود بودن اندازه نمونه و هزینه اجرای بالا را به همراه داشت. امروزه با روی کار آمدن سیستم های جمع آوری خودکار کرایه

<sup>1</sup> Smart card Automatic Fare Collection Systems

سفر انواع مختلفی از داده‌های سفر در دسترس است. استفاده از این سیستم‌ها مزیت‌های بسیاری دارد که از جمله آن می‌توان به سهولت کار رانندگان، آسایش بیشتر مسافر و تولید حجم انبوهی از داده‌های سفر اشاره نمود (1). از آنجایی که در سیستم‌های جمع‌آوری خودکار کرایه سفر، اطلاعات سفر افراد به طور پیوسته ثبت می‌شود، می‌توان تغییر الگوی سفر افراد را بررسی کرد، اثر سیاست‌های اعمالی توسط شرکت‌های حمل‌ونقل را بر تغییر رفتار مسافران مشاهده نمود و بهترین سیاست‌گذاری را به جهت بهبود کیفیت خدمت و جذب بیشتر مردم به استفاده از حمل‌ونقل همگانی انجام داد. همچنین با شناخت بیشتر رفتار سفر افرادی که به صورت گروهی سفر می‌کنند می‌توان اطلاعات مفیدی در جهت سیاست‌های خرید بلیط حمل‌ونقل همگانی به دست آورد. به عنوان مثال می‌توان از طریق فروش بلیط‌های سفر گروهی، استفاده از حمل و نقل همگانی را در میان افراد درگیر در سفرهای گروهی افزایش داد و با اعمال تخفیف‌هایی بر روی این کارت بلیط‌ها، مسافران را به انجام سفر گروهی ترغیب نمود. بنابراین تحلیل رفتار سفر گروهی برای ارائه اطلاعاتی است که می‌تواند از طراحی مناسب و موثر سیاست بلیط گروهی پشتیبانی کرده و اثر این سیاست را در طولانی مدت ارزیابی کند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های کارت هوشمند، الگوهای سفر مسافران حمل و نقل همگانی شهر اراک شناسایی شده‌است. همچنین رفتار سفر گروهی که در مطالعات گذشته کمتر به آن توجه شده مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌است.

## ۲-۱ تعریف مسئله

همان‌طور که گفته شد تحلیل رفتار سفر مسافران حمل‌ونقل همگانی منجر به بهبود عملکرد سیستم شده و اطلاعات بسیار مهمی را در اختیار مدیران حمل‌ونقلی قرار می‌دهد. اما این اطلاعات معمولاً با این فرض حاصل شده‌است که افراد به صورت منفرد و جدا از هم سفر خود را انجام می‌دهند و نسبت به اینکه مسافران به صورت گروهی چه رفتار سفری را از خود بروز می‌دهند شناختی بسیار اندکی وجود دارد. تا کنون، با نهایت اطلاعاتی که نویسنده دارد، هیچ مطالعه‌ای در ایران انجام نشده‌است که رفتار سفر گروهی را در حمل‌ونقل همگانی به صورت جزئی بررسی کند و آن را با رفتار سفر فردی مقایسه نماید. در این مطالعه سعی شده‌است که با استفاده از داده‌های کارت هوشمند اتوبوسرانی شهر اراک، روشی برای شناسایی رفتار سفر گروهی مسافران حمل‌ونقل همگانی ارائه شود و پس آن مقایسه‌ای بین رفتار سفر فردی و رفتار سفر گروهی انجام شود. از طرفی داده‌هایی که در مطالعات پیشین استفاده شده‌است، عموماً مربوط به چند روز و یا چند هفته بوده‌است، در صورتی که داده‌های مورد استفاده در این مطالعه بازه زمانی یک سال را پوشش می‌دهد.

### ۳-۱ رویکرد حل مسئله

در این مطالعه با استفاده از از داده‌های کارت هوشمند اتوبوس‌رانی شهر اراک، به مقایسه رفتار سفر فردی و گروهی مسافران حمل و نقل همگانی پرداخته شده‌است. در گام اول، با استفاده از داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه<sup>۱</sup> ایستگاه پیاده شدن تراکنش‌ها برای تمامی اتوبوس‌ها تخمین زده شده‌است. سپس از روی ایستگاه پیاده شدن، ناحیه پیاده شدن هر تراکنش تعیین گردیده‌است. در گام بعدی با استفاده از روش خوشه‌بندی و روش زنجیره سفر ناحیه سوار شدن تراکنش‌ها نیز مشخص گردیده‌است. در ادامه خوشه‌بندی نظم سفر برای کارت‌ها انجام شده و درصد مسافران روزانه و غیر روزانه در سیستم تعیین شده‌است. در گام بعدی با ارائه روشی مبتنی بر نظریه همجواری سفرهای گروهی شناسایی شده‌اند. در نهایت رفتار سفر فردی و گروهی از نظر الگوی زمانی و مکانی سفرها با یکدیگر مقایسه شده‌است.

### ۴-۱ اهداف مطالعه

هدف اصلی این مطالعه مقایسه رفتار سفر فردی و رفتار سفر گروهی با استفاده از اطلاعات کارت‌های هوشمند اتوبوس‌رانی شهر اراک است. آنچه که در این مطالعه تحت عنوان رفتار سفر تعریف شده‌است، این است که افراد در چه زمان‌ها و مکان‌هایی و با چه تکراری سفرهای خود را انجام می‌دهند. برای تحقق این هدف، مجموعه‌ای از اهداف به شرح زیر مشخص گردیده‌است:

- ارائه روشی جهت تخمین نقطه پیاده شدن مسافران
- تشکیل ماتریس مبدا-مقصد به تفکیک سفرهای هر فرد
- معرفی روشی جهت شناسایی سفرهای گروهی
- شناسایی الگوی زمانی و مکانی سفرهای فردی و گروهی
- مقایسه الگوی زمانی و مکانی سفرهای فردی و گروهی
- خوشه‌بندی نظم سفر کاربران

### ۵-۱ فرض‌های مطالعه

در این مطالعه موارد زیر فرض شده‌است:

- لزوماً هر کارت متعلق به یک کاربر نیست و چند نفر می‌توانند از یک کارت استفاده کنند.

<sup>1</sup> Automatic Vehicle Location

- تمام مسافران هنگام توقف اتوبوس در ایستگاه و در زمان پیاده شدن کارت می‌زنند.
- در دوره زمانی مطالعه تغییر به خصوصی در برنامه زمان‌بندی اتوبوس‌ها اعمال نشده‌است.

## ۱-۶ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل تهیه و تنظیم گردیده‌است. فصل اول، به بیان ضرورت و تعریف مسئله و اهداف مطالعه اختصاص داده شده‌است. در فصل دوم به بیان مطالعات پیشین مرتبط، مفاهیم و خلاء مطالعاتی پرداخته شده‌است. در فصل سوم روش مطالعه توضیح داده شده و در فصل چهارم مورد مطالعه، پایگاه داده و آمار توصیفی مربوط به آن بیان شده‌است. همچنین در این فصل به بررسی و تحلیل نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش مطالعه بر داده‌های مورد مطالعه، پرداخته شده‌است. در نهایت در فصل پنجم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری حاصل از این مطالعه و سپس پیشنهاداتی برای مطالعه‌های پیش رو آورده شده‌است. در انتها نیز منابع و مراجع استفاده شده در این مطالعه ارائه گردیده‌است.

## ۲ فصل دوم پیشینه مطالعات

## مقدمه

مطالعات اولیه در زمینه بررسی رفتار سفر کاربران حمل و نقل همگانی با استفاده از روش‌های سنتی برداشت اطلاعات سفر مثل فرم‌های نظرسنجی از کاربران انجام می‌گرفت. استفاده از این فرم‌ها مشکلات بسیاری مانند محدود بودن اندازه نمونه و هزینه بالا را به همراه داشت. امروزه با رشد و توسعه روش‌های جمع‌آوری خودکار داده‌ها، حجم بزرگی از اطلاعات سفر کاربران در اختیار محققان قرار گرفته است که از طریق آن امکان ردیابی مسافران و بررسی تغییرات رفتاری آنها در طی یک بازه زمانی فراهم شده است. در این فصل مطالعات پیشین انجام شده در زمینه تحلیل رفتار سفر کاربران حمل‌ونقل همگانی با استفاده از اطلاعات سیستم‌های خودکار جمع‌آوری داده مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا مفاهیم رفتار سفر توضیح داده شده و بعد از آن مطالعات انجام شده در زمینه بررسی رفتار سفر به صورت خلاصه ارائه شده است. در بخش بعد دلایل اهمیت استفاده از کارت هوشمند در سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی بیان شده است. در ادامه به مرور ادبیات در زمینه تحلیل رفتار سفر کاربران حمل‌ونقل همگانی با استفاده از اطلاعات کارت هوشمند پرداخته شده است. در بخش پایانی نیز خلاءهای مطالعه عنوان گردیده است.

۱-۲ رفتار سفر<sup>۱</sup>

رفتار سفر به فرآیند تصمیم‌گیری مسافران در طول سفر، از جمله انتخاب روش سفر، انتخاب مسیر، انتخاب زمان انجام سفر، انتخاب مقصد و موارد دیگر اشاره دارد (2). اولین هدف انجام مطالعات رفتار سفر، شناسایی درصد افرادی است که در هر روز یا در هر دوره زمانی از محل زندگی خود خارج می‌شوند (3). افراد معمولاً زمانی را در خارج از خانه سپری می‌کنند تا به برنامه‌ی روزانه‌ی<sup>۲</sup> زندگی خود که شامل فعالیت‌های مختلف است رسیدگی کنند. بنابراین آنچه که منجر به ایجاد رفتار سفر می‌شود انجام فعالیت‌های روزانه است. آخوزن (4) در مطالعه‌ی خود نشان داد که هدف، زمان شروع و محل انجام فعالیت و همچنین مدت زمان انجام فعالیت و مقدار هزینه پرداخت شده برای انجام آن، عوامل تاثیرگذار در تصمیم‌گیری فرد برای انجام سفر است. از آنجایی که سفر مشتق شده از فعالیت‌های سازمان یافته در برنامه‌های زمانی است، سفرهای یک فرد را باید با تمرکز بر توالی یا الگوهایی که در آن تحقق می‌یابند بررسی نمود (5). الگوهای سفر را می‌توان به دو دسته الگوی زمانی سفر<sup>۳</sup> و الگوی مکانی سفر<sup>۴</sup> تقسیم نمود. الگوی مکانی سفر بدین معناست که مسافر در یک دوره چند روزه به یک مکان مشابه و یا مکان‌های مجاور آن سفر می‌کند و الگوی زمانی

<sup>1</sup> Travel behavior<sup>2</sup> Daily schedule<sup>3</sup> Temporal travel pattern<sup>4</sup> Spatial travel pattern

سفر بدین معناست که مسافر سفرهای روزانه خود را در یک بازه زمانی مشابه شروع می کند و یا به پایان می رسد (6).

### ۲-۱-۱ رفتار سفر فردی و گروهی

رفتار سفر را می توان از جنبه های گوناگونی مثل رفتار سفر بر اساس گروه های جمعیتی مختلف یا مطابق با انواع مختلف شیوه های انجام سفر مورد بررسی قرار داد. همچنین می توان رفتار سفر را به دو دسته رفتار سفر فردی و رفتار سفر گروهی تقسیم نمود. رفتار سفر فردی بدین معناست که هر فرد به صورت جدا و مستقل از دیگران، چگونه در زمان و مکان جابجا می شود. تا کنون مطالعات بسیاری در زمینه تحلیل رفتار سفر فردی انجام شده است ولی نسبت به اینکه افراد به صورت گروهی چه رفتار سفری را از خود بروز می دهند شناخت کافی وجود ندارد. تریدو و پرز (7) رفتار سفر گروهی را به عنوان سفر تعدادی از مسافران تعریف نمودند که دارای هدف و مقصد سفر مشابه هستند. به طور کلی اگر دو نفر و یا تعداد بیشتری از افراد، در یک سفر خاص با یکدیگر از مکانی به مکان دیگر سفر کنند، رفتار آنها را می توان رفتار سفر گروهی نامید.

### ۲-۱-۲ مطالعات انجام شده در زمینه بررسی رفتار سفر فردی

در سال های اخیر محققان زیادی به بررسی رفتار سفر فردی پرداخته اند. در میان این مطالعات، موضوعات یا دیدگاه های بسیاری وجود دارد که شامل، اما نه محدود به موارد زیر است:

تعدادی از مطالعات به کشف روابط بین رفتار سفر و سایر مسائل پرداخته اند. به عنوان مثال کائو و همکاران (8) در مطالعه ای خود به تحلیل رابطه ای بین محیط شهری، رفتار سفر و مالکیت وسیله نقلیه پرداختند. همچنین در مطالعه ای دیگر یوآن و همکاران (9) ارتباط بین جنبه های مختلف رفتار سفر و استفاده از تلفن همراه را مورد بررسی قرار دادند. بخش بزرگی از مطالعات پیشین توجه ویژه ای به مدل سازی رفتار سفر داشته اند. در این زمینه کوکلمن (10) رفتار سفر را به صورت تابعی از معیارهای مختلف از شکل شهری (مثل دسترسی و یا ترکیب کاربری های مختلف) بررسی نمود. در مطالعه ای دیگر ژانگ و همکاران (11) چارچوبی را برای یکپارچه سازی مدل های رفتاری مبتنی بر عامل<sup>1</sup> با شبیه سازی ترافیک در مقیاس بزرگ پیشنهاد نمودند تا اثرات منطقه ای ناشی از توسعه های جدید را به دست آورند. در تعدادی از مطالعات، ویژگی های رفتار سفر گروهی مختلف جمعیتی مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال مک میلان (12) در مطالعه ای تاثیر عوامل شکل شهری و شکل غیر شهری را بر رفتار سفر کودکان مورد بررسی

<sup>1</sup> Agent-based travel behavior model

قرار داد . وانگ و چای (13) در مطالعه خود بررسی نمودند که آیا بین رفتار سفر کاری افرادی که در خانه‌های سازمانی زندگی می‌کنند با افرادی که منازل غیر سازمانی دارند تفاوتی وجود دارد. همچنین تعدادی از محققان تلاش نمودند که رفتار سفر را بر مبنای شیوه‌ی انجام سفر تحلیل نمایند. در این زمینه لارسن و ال جنیدی (14) به کمک اطلاعات حاصل از نظرسنجی آنلاین از 2917 دوچرخه سوار ایالت مونترال کانادا، عوامل فردی را که بر روی میزان استفاده از تسهیلات دوچرخه‌سواری و اینکه چگونه انواع این تسهیلات و خصوصیات فضایی آنها بر انتخاب مسیر تاثیر می‌گذارد، مورد بررسی قرار دادند.

## ۳-۱-۲ مطالعات انجام شده در زمینه بررسی رفتار سفر گروهی

اگرچه تحقیقات انجام گرفته در زمینه بررسی رفتار سفر معمولاً بر روی رفتار سفر فردی متمرکز است، اما در این میان تعدادی از شاخه‌های ادبیات را می‌توان متمایز نمود که به طور مستقیم یا غیر مستقیم رفتار سفر گروهی را بررسی می‌کند. رفتار پیاده‌روی گروهی شاید شناخته شده‌ترین نوع از رفتار سفر گروهی باشد. در بسیاری از مطالعات نشان داده شده‌است که بیش از نیمی از عابران پیاده به صورت گروهی در برخی از اماکن عمومی تردد می‌کنند (15). انتظار می‌رود که این درصد در محیط‌های اجتماعی-دوستانه<sup>۱</sup> مثل پارک‌های تفریحی، مراکز خرید، موزه‌ها و نمایشگاه‌ها بیشتر باشد. یکی دیگر از انواع رفتار سفر گروهی رفتار سفر خانوار است. مطالعات انجام شده در این زمینه، خانوار را به عنوان واحد پایه‌ای تحلیل رفتار سفر در نظر می‌گیرد (16). به عنوان مثال کانگ و اسکات (17) توانستند در مطالعه‌ای بخش‌های مشترک سفرهای افراد یک خانوار را با استفاده از معیارهای محدودکننده و معیارهای انعطاف پذیر مشخص کنند. معیارهای محدود کننده مستلزم آن است که قسمت‌های مشترک سفر دارای زمان شروع / پایان یکسان و نوع فعالیت / شیوه سفر مشابه باشند، در حالی که معیارهای انعطاف‌پذیر برای سفر مشترک می‌تواند اختلاف 10 دقیقه‌ای در زمان شروع/پایان سفر داشته باشد. اگرچه مطالعه آنها تا حدودی به درک الگوی رفتار سفر گروهی کمک می‌کند، اما از لحاظ جمعیت تحت پوشش و روش نسبی برای شناسایی الگوهای سفر مشترک محدود است. پدیده‌ی ماشین اشتراکی<sup>۲</sup> (کارپولینگ) نیز یک فرم خاص از رفتار سفر گروهی است که در آن افرادی که حتی از لحاظ مبدا یا مقصد سفر خود متفاوت هستند، در یک ماشین برای حداقل بخشی از سفر با یکدیگر سفر می‌کنند. با این حال، بیشتر مطالعات انجام شده در مورد کارپولینگ، به دنبال توضیح تصمیم استفاده از این پدیده بوده‌است و به ندرت الگوی کارپولینگ با الگوی مکانی و زمانی سفر رانندگانی که به تنهایی در وسایل نقلیه خود سفر می‌کنند، مقایسه شده‌است.

<sup>1</sup> Social-friendly environments

<sup>2</sup> Carpooling phenomenon

## ۲-۲ کارت هوشمند

به کارت‌های پلاستیکی حاوی ریزپردازنده<sup>۱</sup> که در تراکنش‌های مالی مورد استفاده قرار می‌گیرند، کارت هوشمند گفته می‌شود (18). ایده‌ی اولیه استفاده از کارت پلاستیکی حاوی ریز تراشه<sup>۲</sup> برای اولین بار در سال 1968 توسط دو مخترع آلمانی به نام دتلوف و گروتروپ ارائه شد (19). پس از توسعه اولیه توسط آلمانی‌ها، ژاپنی‌ها نیز نسخه کارت هوشمند خود را ثبت نمودند (20). در اواخر سال 1970 شرکت موتورولا نوعی دیگر از کارت‌های هوشمند را ارائه نمود که توسط فرانسه برای بهبود امنیت معاملات سیستم بانکی مورد استفاده قرار گرفت. با این حال، از سال 1990 است که با پیشرفت فن‌آوری و رشد چشمگیر اینترنت، استفاده از کارت هوشمند بسیار مهم تلقی شده است (18). در حال حاضر فناوری کارت هوشمند وارد حوزه‌های مختلف فعالیت‌های اقتصادی مانند مراقبت‌های درمانی، بانکداری، منابع انسانی، کارهای دولتی و البته حمل‌ونقل شده‌است. در حمل‌ونقل همگانی از کارت هوشمند برای دریافت کرایه سفر استفاده می‌شود که در ادامه به توضیح آن پرداخته شده‌است.

۲-۲-۱ سیستم خودکار دریافت کرایه<sup>۳</sup>

سیستم خودکار دریافت کرایه مجموعه‌ای از مولفه‌هایی است که عملیات جمع‌آوری و دریافت هزینه سفر در یک شبکه حمل‌ونقل همگانی را به صورت خودکار انجام می‌دهد. این سیستم‌ها پس از خواندن اطلاعات بلیط‌های کاغذی و یا کارت‌های هوشمند، آنها را تبدیل به داده‌های الکترونیک کرده و به یک پایگاه داده مرکزی ارسال می‌نمایند (21). سیستم‌های خودکار دریافت کرایه اطلاعات مختلفی شامل زمان و محل ایستگاه سوارشدن و پیاده‌شدن، شماره مسیر<sup>۴</sup> و جهت حرکات وسیله نقلیه را در پایگاه داده تراکنش‌ها ثبت می‌کنند. اساس کار این سیستم‌ها به این صورت است که معمولاً راننده به طور دستی شماره و جهت مسیر را قبل از حرکت مشخص می‌نماید. در هر ایستگاه، هنگام سوار شدن یا پیاده‌شدن مسافران از وسیله نقلیه، اعتبارسنجی کارت‌های هوشمند آنها به وسیله دستگاه‌های کارتخوان<sup>۵</sup> داخل وسیله نقلیه انجام می‌گیرد. محل و زمان سوارشدن و یا پیاده‌شدن نیز با استفاده از داده‌های به دست آمده از سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه ثبت می‌شود. نوع اعتبارسنجی کارت‌ها (فقط هنگام سوارشدن یا پیاده‌شدن، یا هم در

<sup>1</sup> Microprocessor<sup>2</sup> Microchip<sup>3</sup> Automatic Fare Collection System<sup>4</sup> Route number<sup>5</sup> Reader machines

زمان سوارشدن و هم در زمان پیاده‌شدن) بستگی به ساختار سیستم دریافت کرایه دارد که می‌تواند یکنواخت<sup>۱</sup>، مسافت-محور<sup>۲</sup> و یا ناحیه-محور<sup>۳</sup> باشد (22).

سیستم‌های خودکار دریافت کرایه با استفاده از کارت هوشمند توسط شرکت‌های حمل‌ونقلی به عنوان روشی مطمئن برای تایید اعتبار کاربر و روشی سودمند در پرداخت کرایه، جایگزین بلیط‌های کاغذی و کارت‌های مغناطیسی شده‌است (18,23). اگر چه هدف اصلی استفاده از این سیستم‌ها در حمل‌ونقل جمع‌آوری کرایه بوده‌است، اما اطلاعات این کارت‌ها را می‌توان برای اهداف مختلفی استفاده نمود که در ادامه توضیح آن ارائه شده‌است.

## ۲-۲-۲ اهمیت کارت هوشمند در حمل‌ونقل همگانی

طی سالیان گذشته، شرکت‌های حمل‌ونقلی به طور گسترده‌ای از داده‌های کارت هوشمند برای بهبود زیرساخت‌ها، برنامه‌ریزی و تحلیل تقاضای سفر حال و آینده و همچنین مدیریت سرویس‌های حمل‌ونقل همگانی استفاده نموده‌اند. مزیت عمده‌ی این کارت‌ها علاوه بر استفاده اصلی آنها به عنوان روش پرداخت کرایه سفر، ارائه منبع اطلاعاتی با کیفیت و حجم بالا، برای شرکت‌های حمل‌ونقلی و محققان است (1,24). اهداف دیگر اجرای سیستم‌های کارت هوشمند در حمل‌ونقل همگانی در ادامه به صورت مختصر گفته شده‌است.

- **راحتی کاربر<sup>۴</sup> و کاهش زمان تاخیر در شبکه:** راحتی مسافر و کاهش تاخیر در وسایل نقلیه از دیگر مزایای استفاده از کارت‌های هوشمند است. ارتباط بین کارت هوشمند و کارتخوان وسیله نقلیه کاملاً سریع انجام می‌شود، که منجر به راحتی مسافر، کاهش تأخیر وسایل نقلیه و بار کاری کمتری در راننده می‌شود (25,26). همچنین کارت هوشمند روش دائمی برای پرداخت کرایه بوده و به راحتی قابل شارژ است و مانند کارت‌های مغناطیسی نیازی به وارد کردن در دستگاه کارتخوان ندارد (18).
- **کاهش هزینه تجهیزات<sup>۵</sup>:** با استفاده از روش‌های سنتی جمع‌آوری کرایه مانند پرداخت نقدی، 5 تا 15٪ از درآمد شرکت‌های حمل‌ونقل همگانی صرف جمع‌آوری بلیط و دریافت کرایه نقدی و نیروی انسانی می‌شود. اگرچه اجرای اولیه سیستم‌های کارت هوشمند نیاز به سرمایه‌گذاری بالایی

<sup>1</sup> Flat

<sup>2</sup> Distance-based

<sup>3</sup> Zone-based

<sup>4</sup> Passenger convenience

<sup>5</sup> Cost of equipment

در تجهیزات خودرو و یا ایستگاه‌ها دارد، اما استفاده از این سیستم‌ها منجر به کاهش هزینه‌های گفته شده می‌شود، و بنابراین سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً بالا را در بلند مدت توجیه می‌کند (1,26,27).

- **افزایش کیفیت و مقدار داده‌ها:** مقدار داده‌های به‌دست آمده از روش‌های متداول به دلیل هزینه بالا و زمانبر بودن، بسیار محدود است. استفاده از داده‌های کارت هوشمند به عنوان روش جدید جمع‌آوری داده می‌تواند منجر به تولید مجموعه داده‌های بزرگ و پیوسته شود. علاوه بر این، نقش کاربر در جمع‌آوری داده‌های قبلی که از طریق پرسشنامه صورت می‌گیرد به حداقل می‌رسد، که باعث بهبود کیفیت داده‌ها می‌شود (26,28).

- **بروزرسانی مداوم داده‌ها:** در بسیاری از سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی، تحلیل رفتار سفر مسافران و تقاضای سفر متکی بر انجام پرسشنامه حین سفر است که به ندرت انجام می‌شود (هر 5 یا 10 سال) (29). طی این مدت، هرگونه تغییر عمده در سیستم، منجر به خطاهای اساسی در تحلیل و برنامه‌ریزی سرویس‌ها خواهد شد. جمع‌آوری داده از طریق کارت هوشمند به دلیل اینکه فرآیندی پیوسته است و نیروی انسانی در آن نقشی ندارد، همیشه در دسترس بوده‌است و امکان درک بهتر رفتارهای سفر را فراهم می‌آورد (1,26).

## ۳-۲ مطالعات انجام شده با استفاده از داده‌های کارت هوشمند حمل‌ونقل همگانی

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در مورد استفاده از داده‌های کارت هوشمند در حمل‌ونقل همگانی انجام شده است. پلتیر<sup>۲</sup> و همکاران (1) این مطالعات را به سه دسته تقسیم نموده‌اند.

### ۱-۳-۲ مطالعات راهبردی<sup>۳</sup>

بسیاری از محققان معتقدند که از داده‌های کارت هوشمند می‌توان برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت سیستم حمل‌ونقل همگانی و همچنین تحلیل رفتار سفر کاربران استفاده نمود. به عنوان مثال آگارد و همکاران (30) و باگچی و وایت (31) نشان دادند که تحلیل داده‌های کارت هوشمند می‌تواند منجر به درک بهتری از رفتار کاربران شود، زیرا هر کاربر در طول سفر خود قابلیت ردیابی را دارد. همان‌طور که در جدول 1-2

<sup>1</sup> Frequent data updating

<sup>2</sup> Pelletier

<sup>3</sup> Strategic-level studies

دیده می‌شود، در بیشتر این مطالعات به دسته‌بندی رفتاری مسافران پرداخته شده‌است. همچنین با کمک کارت‌های هوشمند می‌توان میزان وفاداری کاربران در شبکه را اندازه‌گیری کرد. با توجه به این که زمان ورود و خروج کارت‌ها از سیستم موجود است، می‌توان طول عمر هر کارت را نیز محاسبه نمود (32).

جدول 2-1: خلاصه مطالعات مرتبط با برنامه‌ریزی راهبردی در حمل‌ونقل همگانی

| محقق            | سال  | داده‌ها                                         | کاربرد                                          | مرجع |
|-----------------|------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------|
| بلیت            | 2004 | داده‌های خطوط                                   | مدیریت تقاضا                                    | (18) |
| آگارد و همکاران | 2006 | اطلاعات سوار شدن و نوع کارت                     | بررسی رفتار سفر کاربران                         | (30) |
| چو و چاپلیو     | 2008 | اطلاعات سوار شدن و نوع کارت                     | بررسی پارامترهای عملکرد شبکه                    | (33) |
| پارک و کیم      | 2008 | داده‌های تاریخیچه‌ای                            | تخمین ماتریس تقاضای سفر آینده                   | (34) |
| ترپنیر و مورنسی | 2010 | اطلاعات سوار شدن و نوع کارت                     | مدلسازی وفاداری کاربران                         | (32) |
| ما و همکاران    | 2013 | اطلاعات سوار شدن                                | استنتاج هدف سفر                                 | (6)  |
| کیو و همکاران   | 2015 | اطلاعات سوار شدن و پیاده شدن                    | دسته‌بندی مسافران <sup>1</sup>                  | (35) |
| ما و همکاران    | 2017 | اطلاعات سوار شدن و پیاده شدن                    | شناسایی الگوهای سفر مسافران روزانه <sup>2</sup> | (36) |
| ژائو و همکاران  | 2019 | اطلاعات سوار شدن و پیاده شدن-اطلاعات ایستگاه‌ها | شناسایی الگوهای سفر در ایستگاه‌های مترو         | (37) |

## ۲-۳-۲ مطالعات تاکتیکی<sup>۳</sup>

در مطالعات تاکتیکی، همان‌طور که در جدول 2-2 نشان داده شده‌است، بیشتر موضوع اصلاح خدمات حمل‌ونقلی مطرح است. معمولاً شرکت‌های حمل‌ونقل همگانی برنامه‌ی زمان‌بندی مشابهی را برای تمامی روزهای هفته در نظر می‌گیرند، در حالی که میزان استفاده از سیستم حمل‌ونقل همگانی در این روزها متفاوت است. با در دسترس بودن داده‌های کارت هوشمند می‌توان این مشکل را برطرف نمود و برای هر روز برنامه زمانی مشخصی را ارائه کرد (38). همچنین در بسیاری از سیستم‌های دریافت کرایه با کارت

<sup>1</sup> Passengers segmentation

<sup>2</sup> Commuting patterns

<sup>3</sup> Tactical-level studies

هوشمند، مسافران فقط در هنگام سوار شدن و یا پیاده شدن کارت می‌زنند که بخشی از مطالعات این سطح به تخمین نقاط سوار و یا پیاده شدن مسافران اختصاص یافته‌است. موضوع مورد علاقه دیگر در این سطح، شناسایی سفرهای تعویض خط<sup>۱</sup> است. شناخت بهتر عادت‌های انتقال بین خطوط (زمان و مکان)، به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا هندسه شبکه و برنامه‌های زمان‌بندی را مجدداً تنظیم نمایند به گونه‌ای که نیازهای مسافران به بهترین نحو تامین شود.

جدول 2-2: خلاصه مطالعات مرتبط با برنامه‌ریزی تاکتیکی در حمل‌ونقل همگانی

| محقق               | سال  | داده‌ها                                | کاربرد                                          | مرجع |
|--------------------|------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|------|
| باگچی و وایت       | 2004 | اطلاعات کارت و اطلاعات شخصی            | اصلاح برنامه زمانبندی                           | (26) |
| چاپلیو و چو        | 2007 | اطلاعات تراکنش سوار شدن و نوع کارت     | هماهنگ‌سازی برنامه زمانی اتوبوس و مترو          | (39) |
| سیبورن و همکاران   | 2009 | اطلاعات کارت هوشمند اویستر             | شناسایی و تخمین سفرهای چند شیوه‌ای <sup>۲</sup> | (40) |
| وانگ و همکاران     | 2011 | زمان سوار شدن و شماره مسیر             | تخمین ماتریس مبدا-مقصد اتوبوس                   | (41) |
| مونیزاگا و همکاران | 2012 | اطلاعات تراکنش سوار شدن و داده‌های GPS | تخمین ماتریس مبدا-مقصد اتوبوس                   | (42) |
| گوردن و همکاران    | 2013 | زمان سوار شدن و پیاده شدن اطلاعات AVL  | تخمین ماتریس مبدا-مقصد                          | (43) |
| نصیر و همکاران     | 2015 | اطلاعات سوار شدن و پیاده شدن           | جداسازی سفرهای فعالیت مبنا از سفرهای ترانسفر    | (44) |
| السر و همکاران     | 2016 | اطلاعات سوار شدن و پیاده شدن           | بهبود الگوریتم تخمین ماتریس مبدا-مقصد           | (45) |
| یان و همکاران      | 2019 | اطلاعات سوار شدن                       | تخمین ماتریس مبدا-مقصد دسته‌بندی مسافران        | (46) |

### ۳-۳-۲ مطالعات عملیاتی<sup>۳</sup>

<sup>1</sup> Transfer journeys

<sup>2</sup> Multi-modal journeys

<sup>3</sup> Operational-level studies

در این سطح از مطالعات، از داده‌های کارت هوشمند می‌توان برای محاسبه شاخص‌های دقیق عملکردی در شبکه حمل‌ونقل همگانی، مانند پایبندی به برنامه زمان‌بندی<sup>۱</sup>، کیلومتر-وسیله نقلیه و کیلومتر-نفر برای یک مسیر یا در کل شبکه، در یک بازه زمانی، استفاده کرد (47). همچنین با استفاده از داده‌های کارت هوشمند می‌توان خطاها و بی‌نظمی‌های موجود در سیستم پرداخت را شناسایی نمود (48). وجود خطا در داده‌های تراکنش‌ها می‌تواند منجر به شناسایی سریع تجهیزات معیوب، تقلب، یا خطاهای نیروی انسانی شود. در جدول 2-3 خلاصه‌ای از مطالعات پیشین در سطح عملیاتی آورده شده است.

جدول 2-3: خلاصه مطالعات مرتبط با برنامه‌ریزی عملیاتی در حمل‌ونقل همگانی

| محقق             | سال  | داده‌ها                             | کاربرد                                      | مرجع |
|------------------|------|-------------------------------------|---------------------------------------------|------|
| دکین و کیم       | 2001 | اطلاعات سرویس‌های اطلاع‌رسانی سفر   | ارائه اطلاعات آنلاین شبکه                   | (48) |
| چو و چاپلیو      | 2008 | اطلاعات تراکنش سوار شدن             | جداسازی داده‌های صحیح و بهبود سیستم         | (33) |
| ترپنیر و همکاران | 2009 | اطلاعات تراکنش‌ها و نوع کارت        | محاسبه شاخص‌های عملکردی                     | (47) |
| ما و وانگ        | 2014 | اطلاعات تراکنش سوار شدن و پیاده شدن | ایجاد پلتفرم آنلاین نظارت بر عملکرد شبکه    | (49) |
| ژو و همکاران     | 2017 | اطلاعات پیاده شدن و آماربرداری      | مدلسازی زمان رسیدن اتوبوس به ایستگاه        | (50) |
| وب و همکاران     | 2020 | اطلاعات سوار شدن AVL                | تخمین زمان انتظار مسافران در ایستگاه اتوبوس | (51) |

## ۴-۲ شناسایی الگوهای سفر با استفاده از داده‌های کارت هوشمند

اغلب شرکت‌های حمل‌ونقل همگانی برای ذخیره‌سازی داده‌های کارت هوشمند، اقدامات جامعی تنظیم نمودند که مکانیسم‌های امنیتی و سخت‌گیرانه‌ای برای حفاظت از اطلاعات شخصی به دست آمده از داده‌های کارت هوشمند ارائه می‌کند. اطلاعات حساسی مانند سن مسافر، نام، مکان و موقعیت سوار شدن و پیاده شدن عمده‌اً ناقص و کوتاه شده‌اند تا ملاحظات حریم خصوصی مورد توجه قرار گیرد. بنابراین برای پی‌بردن به اطلاعات رفتار سفر از روی مجموعه اطلاعات ناقص کارت هوشمند، به روش‌ها و رویکردهای مناسب داده‌کاوی<sup>۲</sup> نیاز است. داده‌کاوی به عنوان علم کشف الگوهای

<sup>1</sup> Schedule adherence

<sup>2</sup> Data mining

غیر بدیهی، ضمنی، از پیش ناشناخته و قابل فهم از مجموعه داده‌های بزرگ تعریف شده است (30). داده‌کاوی الگوریتم‌های مختلفی برای طبقه‌بندی، برآورد، خوشه‌بندی و تجسم داده‌ها دارد. در زمینه حمل-ونقل الگوریتم‌های خوشه‌بندی کاربرد بیشتری دارند (52). این الگوریتم‌ها بر اساس یک معیار از پیش تعریف‌شده، داده‌ها را به مجموعه‌های کوچک‌تر با رفتار مشابه تقسیم می‌کنند. اولین مطالعه در زمینه شناسایی الگوهای داده‌های کارت هوشمند با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی، توسط آگارد و همکاران (30) صورت گرفت. بدین منظور آنها با پیاده‌سازی الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی بر روی داده‌های سه ماهه کارت هوشمند شهر گاتینو کانادا، مسافران را در چهار خوشه با الگوهای زمانی مشابه قرار دادند. مورنسی و همکاران (53) از روش k-میانگین<sup>1</sup> برای خوشه‌بندی بیش از شش میلیون تراکنش طی ده ماه در گاتینو استفاده کردند. آنها سفرها را بر اساس زمان سوارشدن خوشه‌بندی کرده و سپس تأثیرات فصلی را در تقاضای حمل‌ونقل همگانی مشاهده نمودند و دریافتند که با شروع فصل تابستان، به تعداد ایستگاه‌های پر سفر افزوده می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر چو و چاپلو (54) با به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری قواعد وابستگی<sup>2</sup> و خوشه‌بندی، نظم سفر کاربران حمل‌ونقل همگانی<sup>3</sup> را مورد بررسی قرار دادند و رفتار سفر فردی را با استفاده از روش‌های زمانی و مکانی تحلیل نمودند.

به طور کلی، بعد از سال 2013، علاقه به استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی برای تحلیل داده‌های کارت‌های هوشمند حمل‌ونقل همگانی در میان محققان افزایش یافت. افزایش حجم داده‌ها و ناتوانی الگوریتم‌های کلاسیک در شناسایی الگوهای موجود در آنها و همچنین آشکار شدن اهمیت و تاثیر مطالعات بلندمدت در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را می‌توان از عوامل اصلی ایجاد این علاقه در میان محققان دانست (55). به عنوان مثال حسن و همکاران (56) با تمرکز بر سوابق سفر 626 فرد در یک شبکه مترو طی یک دوره سه ماهه، الگوهای موجود در انتخاب مقصد سفر آنها را مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که بیشتر افراد محل مقاصد غیر خانه و غیر کار خود را به صورت تصادفی انتخاب نمی‌کنند. در مطالعه‌ای دیگر ما و همکاران (6) نظم سفر<sup>4</sup> مسافران حمل‌ونقل همگانی را از طریق خوشه‌بندی آنها بر اساس محل ایستگاه‌های سوار شدن مشخص کردند و سپس خوشه‌ها را مطابق با بازه‌های زمانی تراکنش‌های سوار شدن مجزا نمودند. آنها با استفاده از اطلاعات تراکنش‌های سیستم حمل‌ونقل همگانی شهر پکن طی دوره یک هفته‌ای، به مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم‌های مختلف خوشه‌بندی در شناسایی الگوی سفر پرداختند و نشان دادند که نظم انجام سفر می‌تواند عامل مهمی در تحلیل بازار حمل‌ونقل همگانی باشد. الماحرثی و همکاران (57) نیز در مطالعه‌ای، روشی را برای خوشه‌بندی مسافران بر اساس عادت‌های زمانی انجام سفر، ارائه نمودند. این رویکرد بر روی داده‌های کارت هوشمند سیستم حمل‌ونقل همگانی شهر رن فرانسه که چهار هفته سفرهای انجام شده به وسیله اتوبوس و مترو را ثبت کرده بود، به کار گرفته شد.

<sup>1</sup> K-means

<sup>2</sup> Association rule learning

<sup>3</sup> Transit riders' regularity

<sup>4</sup> Travel regularity

در مطالعات زیادی علاقه به ارائه توصیف الگوهای سفر به صورت جزئی دیده شده است که یکی از مزایای کلیدی استفاده از داده‌های کارت‌های هوشمند است. اینگونه مطالعات در کشورهای زیادی انجام شده است. در این زمینه گانگ و همکاران (58) با استفاده از داده‌های کارت هوشمند متروی شهر شنجن چین، الگوهای سفرهای درون شهری را کشف نمودند. نتایج آنها نشان داد که سفرهای درون شهری دارای دو ساعت اوج قابل توجه در روز هستند، که بین روزهای کاری هفته و آخر هفته متفاوت است. همچنین حجم مسافران نیز به اندازه‌ی الگوهای مکانی-زمانی، برای ایستگاه‌های مختلف متفاوت است. نیشیوچی و همکاران (59) به کمک داده‌های کارت هوشمند، تغییرات الگوهای سفر را بررسی نمودند تا دریابند که چگونه الگوهای سفرهای روزانه مسافران، در طول یک ماه، هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی تغییر می‌کند. نتایج حاکی از آن بود که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در تعداد سفرهای ساعتی بین روزهای هفته وجود ندارد. آنها همچنین رابطه بین الگوهای مکانی و زمانی را در یک فضای دو بعدی (XY) نشان دادند و دریافتند که الگوهای سفر برای انواع مختلف کاربران متفاوت است.

کیو و همکاران (35) در مطالعه‌ای از روش خوشه‌بندی برای تحلیل داده‌های کارت هوشمند شهر بریسبین در طی یک دوره چهار ماهه استفاده نمودند و مشخص کردند که 72 درصد مسافران مورد مطالعه دارای الگوی سفر نامنظم هستند. در مطالعه‌ای دیگر کت و همکاران (60) مراکز فعالیت‌های شهری را از طریق خوشه‌بندی سفرها با توجه به نزدیکی مکانی بین ایستگاه‌ها و مراکز شناسایی کردند. آنها همچنین تغییرات زمانی را به عنوان عاملی برای تقسیم خوشه‌های مکانی مشخص شده به خوشه‌های کوچکتر در نظر گرفتند. هان و سون (61) در مطالعه‌ی خود روشی دقیق برای نسبت دادن توالی انجام فعالیت‌ها برای هر زنجیره سفر پیشنهاد کردند. آنها با در نظر گرفتن اینکه فعالیت فعلی مشخص باشد به محاسبه احتمال انتخاب فعالیت بعدی پرداختند. زمان شروع فعالیت، مدت زمان انجام فعالیت و کاربری‌های زمین‌های اطراف ایستگاه‌ها، پارامترهایی بود که آنها برای انجام این کار در نظر گرفتند. در نهایت آنها مسافران در هشت خوشه با الگوهای فعالیتی مختلف قرار دادند.

بریاند و همکاران (62) در مطالعه‌ای، تحلیلی شامل دسته‌بندی کارت‌های هوشمند حمل‌ونقل همگانی شهر گاتینو در کانادا ارائه نمودند. آنها با استفاده از خوشه‌بندی اطلاعات این کارت‌ها را بین سال‌های 2005 تا 2009 بررسی نمودند و دریافتند که علاوه بر الگوهای زمانی رایج مربوط به سفرهای تحصیلی و کاری، بعضی از گروه‌ها، سفرهای خود را زودتر و یا منظم‌تر از دیگران انجام می‌دهند. همچنین تحلیل تکامل تخصیص خوشه‌بندی کارت‌های مشابه در طول چندین سال نشان می‌دهد که با وجود بروز برخی از تغییرات در خوشه‌ها، به نظر می‌رسد که نسبت خوشه‌ها از تعداد کارت‌ها ثابت باقی می‌ماند. اخیراً نیز هی و همکاران (63) با استفاده از ترکیب روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی و سری‌های زمانی، به دسته بندی مسافران حمل‌ونقل همگانی پرداختند. آنها بر اساس زمان انجام سفر، کاربران سیستم حمل و نقل همگانی شهر گاتینو کانادا را در شش گروه قرار دادند و تعداد سفرهای هر گروه را در بازه‌های زمانی مختلف در طول روز به دست آوردند. آنها نشان دادند که نتایج مطالعه‌ی آنها می‌تواند به بهبود خدمات حمل‌ونقل

همگانی منجر شود، چرا که شرکت‌های حمل‌ونقلی می‌توانند برنامه زمانی خدمات خود را بر اساس نیازهای هر گروه اصلاح کنند.

به این ترتیب تا کنون الگوریتم‌های خوشه‌بندی مختلفی برای شناسایی الگوهای سفر و تحلیل رفتار سفر از داده‌های کارت هوشمند به کار گرفته شده‌است. بیشتر مطالعات با تمرکز بر تعیین رفتار مکانی سفر و یا تشخیص ایستگاه‌های پرطرفدار<sup>۱</sup> انجام گرفته‌است. با این حال، جنبه‌های مکانی و زمانی جابجایی‌ها در یک شبکه حمل‌ونقلی به منظور دید جامع‌تری از الگوهای سفر، سزاوار توجه بیشتری است.

## ۵-۲ تحلیل رفتار سفر گروهی با استفاده از داده‌های کارت هوشمند

تاکنون، با نهایت اطلاعاتی که نویسنده دارد، مطالعه‌ای انجام نشده‌است که در آن رفتار سفر گروهی را با استفاده از داده‌های کارت هوشمند به صورت جزیی بررسی کرده و آن را با رفتار سفر فردی مقایسه نماید. اگرچه در تعداد محدودی از مطالعات پیشین، روابط مکانی یا فاصله بین فردی در بین مسافران حمل‌ونقل همگانی در نظر گرفته شده‌است، اما رفتار سفر در مطالعات آنها، تعریف رفتار سفر گروهی در این مطالعه را برآورده نمی‌کند. به عنوان مثال سان و همکاران (64) در مطالعه‌ای با استفاده از اطلاعات سفر کاربران سیستم اتوبوسرانی سنگاپور، الگوهای سفر کاربرانی که به طور روزانه در وسایل نقلیه همگانی با یکدیگر مواجه می‌شوند را مورد بررسی قرار دادند. آنها این افراد را غریبه‌های آشنا<sup>۲</sup> نامیدند. شناسایی این افراد مبتنی بر نزدیکی فیزیکی یا حضور هم‌زمان است که توسط مسافرانی که به طور هم‌زمان یک وسیله نقلیه را اشغال می‌کنند، مشخص می‌شود. نتایج آنها حاکی از آن بود که غریبه‌های آشنا، الگوهای زمانی تکراری را از خود نشان می‌دهند و رفتار سفر منظم و یکسانی دارند. مثال دیگر مطالعه‌ی دو و همکاران (65) است. آنها روش جدیدی برای شناسایی الگوی سفر گروهی در مناطق شهری ارائه نمودند. آنها در ابتدا مناطق با شدت تجمع بالای مسافر را شناسایی کرده و سپس ایستگاه‌های این مناطق را بر اساس زمان و حجم مسافران ورودی به هر ایستگاه دسته‌بندی نمودند و در انتها تعداد سفرهای گروهی در هر ایستگاه را برای بازه‌های زمانی یک ساعته به دست آوردند. آنها نشان دادند که سفرهای گروهی همانند سفرهای فردی دارای یک ساعت اوج صبح و یک ساعت اوج بعد از ظهر می‌باشند. اشکال اصلی کار آنها این بود که فقط ایستگاه‌های شلوغ و پر سفر را برای تحلیل رفتار سفر گروهی در نظر گرفتند.

اخیرا نیز مطالعه‌ای توسط ژانگ و همکاران (66) انجام شده‌است که در آن الگوهای رفتار سفر گروهی مسافران متروی شهر پکن چین آشکار شده‌است. آنها پس از بررسی داده‌های کارت هوشمند دریافتند که اندازه گروه و تکرار رفتار سفر گروهی از یک توزیع با دنباله‌ی بلند پیروی می‌کند. مردم در گروه‌های کوچک

<sup>1</sup> Popular stops

<sup>2</sup> Familiar strangers

نسبت به گروه‌های بزرگ، به مراتب بیشتر سفر می‌کنند. تعداد مسافرانی که تنها یک سفر گروهی در هفته انجام می‌دهند بسیار بیشتر از آنهایی است که چند سفر گروهی انجام می‌دهند. همچنین سفرهای گروهی بیشتر در تعطیلات آخر هفته، بعد از ظهر و در تعطیلات عمومی اتفاق می‌افتد.

## ۶-۲ خلاء مطالعات پیشین

تحلیل رفتار سفر بر اساس گروه‌های جمعیتی مختلف، بررسی الگوهای مکانی و زمانی سفر و ارتباط رفتار سفر با سایر مسائل موضوعات مختلفی هستند که تا به حال بر روی آنها مطالعات زیادی انجام شده است. همچنین رفتار سفر گروهی در موضوعات مختلفی مثل رفتار پیاده‌روی گروهی، رفتار سفر خانوار و کارپولینگ در نظر گرفته شده و وجود گسترده این پدیده و ارزش تحقیقاتی آن اثبات گردیده است. در مطالعات پیشین، نسبت به موضوع رفتار سفر گروهی در حمل‌ونقل همگانی توجه چندانی نشده، به ویژه آن که در ایران نیز تا کنون مطالعه‌ای در این زمینه انجام نشده است. موارد زیر به عنوان خلا مطالعات پیشین قابل بیان می‌باشد:

- عدم وجود مدل مفهومی برای توصیف رفتار سفر گروهی در حمل‌ونقل همگانی
- عدم مقایسه رفتار سفر گروهی کاربران حمل‌ونقل همگانی با رفتار سفر فردی آنها

در این مطالعه علاوه بر پرداختن به موارد ذکر شده، یکی از شهرهای کشور به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است.

## ۷-۲ جمع‌بندی

در این فصل به مرور و ارائه خلاصه‌ای از مطالعات مرتبط با تحلیل رفتار سفر کاربران حمل‌ونقل همگانی پرداخته شد. در ابتدا مفاهیم پایه شامل رفتار سفر، رفتار سفر فردی و گروهی، کارت هوشمند و سیستم جمع‌آوری خودکار کرایه سفر مورد بررسی قرار گرفت. سپس به مرور مطالعات پیشین در زمینه بررسی رفتار سفر فردی و گروهی با استفاده از روش‌های سنتی جمع‌آوری داده پرداخته شد. بعد از آن دلایل اهمیت استفاده از کارت هوشمند در حمل‌ونقل همگانی بیان شد. در ادامه مطالعات انجام شده با استفاده از داده‌های کارت هوشمند حمل‌ونقل همگانی دسته‌بندی گردید. در انتهای فصل نیز با مرور مطالعات پیشین، روش‌های شناسایی الگوی سفر با استفاده از داده‌های کارت هوشمند مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که روش‌های خوشه‌بندی نقش به‌سزایی در تحلیل رفتار سفر دارند.



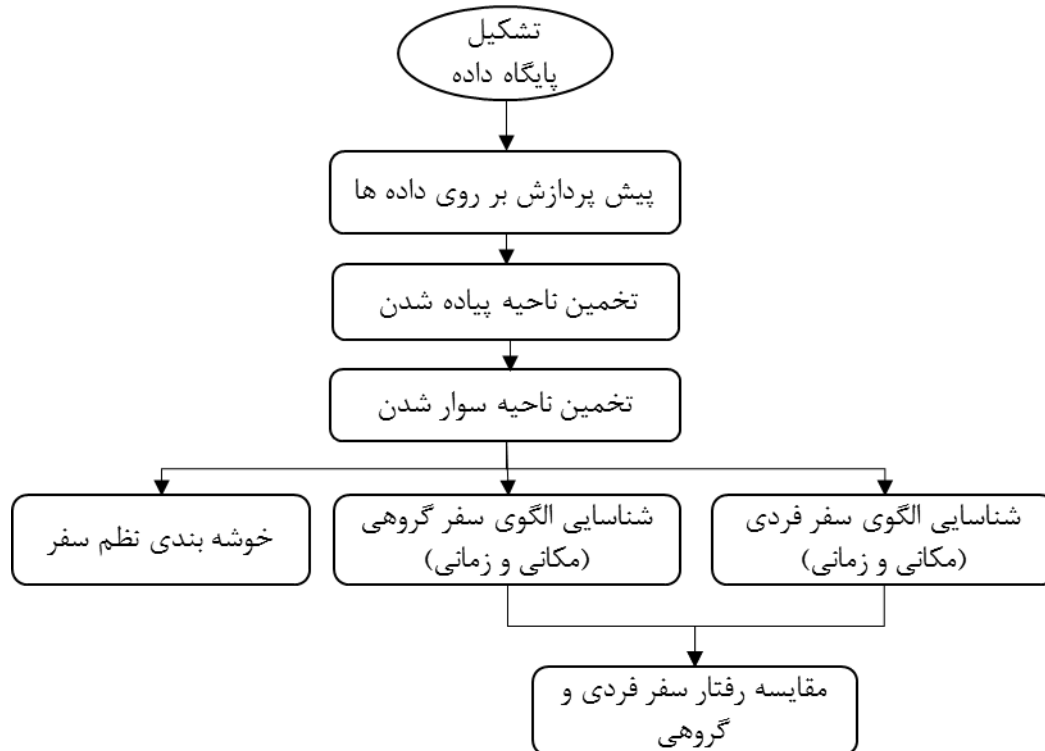
## فصل سوم روش تحقیق

## مقدمه

در این فصل پس از ارائه‌ی ساختار کلی مطالعه، به شرح روش مطالعه شامل مراحل تخمین مبدا و مقصد سفرهای مسافران و خوشه‌بندی نظم سفر پرداخته شده‌است. در ادامه روش شناسایی سفرهای گروهی و همچنین نحوه مقایسه رفتار سفر فردی و گروهی توضیح داده شده‌است.

## ۱-۳ ساختار مطالعه

همانطور که در فصل اول اشاره شد، هدف از انجام این مطالعه مقایسه رفتار سفر فردی و گروهی مسافران حمل‌ونقل همگانی شهر اراک با استفاده از داده‌های کارت هوشمند است. داده‌های کارت هوشمند اتوبوس-رانی این شهر فاقد اطلاعات مهم سفر از جمله محل سوار شدن و محل پیاده‌شدن است که برای تحلیل رفتار سفر ابتدا لازم است این اطلاعات استخراج گردد. بدین منظور پس از آماده‌سازی پایگاه داده، ناحیه پیاده‌شدن تراکنش‌ها تخمین زده شده است و پس از آن با استفاده از روش زنجیره سفر ناحیه سوارشدن تعیین شده‌است. سپس ماتریس مبدا-مقصد سفرهای هر فرد تشکیل شده‌است. در ادامه سفرهای گروهی شناسایی شده و الگوهای زمانی و مکانی سفرهای فردی و گروهی با یکدیگر مقایسه گردیده است. در شکل 1-3 ساختار کلی مطالعه ارائه شده‌است.



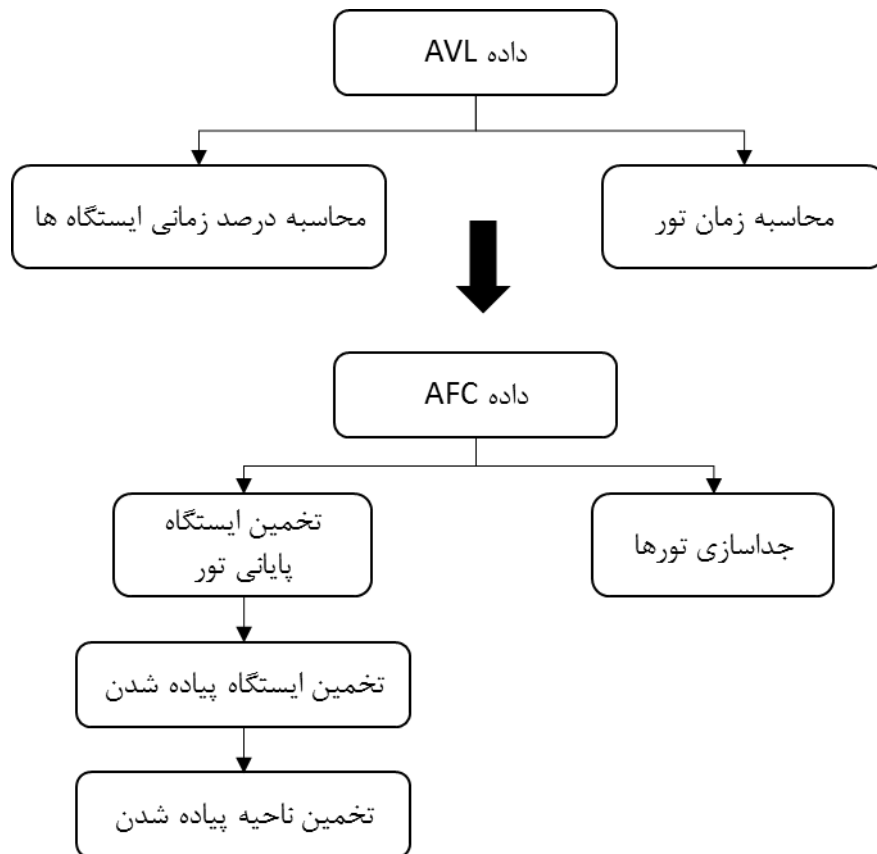
شکل 1-3: ساختار کلی مطالعه

### ۲-۳ پیش پردازش بر روی داده ها

منظور از پیش پردازش بر روی داده‌ها، اصلاح و یا حذف داده‌های پرت، ناقص و یا تکراری از پایگاه داده و همچنین تغییر ساختار بعضی از ویژگی‌های داده‌ها برای استفاده در مراحل بعدی است. در این مطالعه پس از بررسی داده‌های خام پایگاه داده کارت هوشمند اتوبوس‌رانی اراک، ابتدا برای سهولت انجام محاسبات، شناسه کارت‌ها به ترتیب اعداد صحیح از 1 شماره‌گذاری شده‌است. همچنین زمان تراکنش‌ها به صورت تعداد روز از تاریخ یکم ژانویه سال یکم میلادی تغییر داده شده‌است. در مرحله بعد داده‌های معیوب بر حسب ویژگی‌های مختلف تراکنش شامل تاریخ و زمان تراکنش، مبلغ کرایه و شناسه پایانه شناسایی شده و از مجموعه داده‌ها حذف گردیده‌است. همچنین تراکنش‌های همزمان هر کارت و کارت‌هایی که فقط یک تراکنش ثبت شده در دوره زمانی مطالعه داشته‌اند از مجموعه داده‌ها کنار گذاشته شده‌اند. آمار مربوط به این بخش و ساختار پایگاه داده نهایی در فصل بعد ارائه شده‌است.

### ۳-۳ تخمین ناحیه پیاده شدن

در داده‌های کارت هوشمند اتوبوس‌رانی اراک، محل سوار شدن و پیاده شدن تراکنش‌ها ثبت نمی‌گردد. بنابراین مبدا و مقصد سفرهایی که با اتوبوس انجام می‌گیرد مشخص نیست. برای اینکه در هر تراکنش ناحیه پیاده شدن مشخص گردد، از داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه استفاده شده‌است. فلوچارت مربوط به این مرحله در شکل 3-2 ارائه شده‌است.



شکل 3-2: روش تخمین محل پیاده شدن تراکنشها

### ۱-۳-۳ جداسازی تورهای داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه

در داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه زمان رسیدن اتوبوس به هر ایستگاه مشخص است. بنابراین می‌توان با استفاده از این داده‌ها زمان تور را برای هر اتوبوس محاسبه نمود. در اتوبوس‌رانی اراک معمولاً هر اتوبوس از ایستگاه پایانه شروع به حرکت می‌کند و در انتهای مسیر دوباره به همان ایستگاه باز می‌گردد. مقدار زمانی که طول می‌کشد تا اتوبوس این مسیر رفت و برگشتی به ایستگاه پایانه را طی کند تحت عنوان زمان تور شناخته می‌شود. اتوبوس در هر تور در تعداد مشخصی از ایستگاه‌ها توقف می‌کند. پس با استفاده از اینکه در هر تور چه تعدادی ایستگاه وجود دارد می‌توان درصد زمانی از تور که طول می‌کشد تا اتوبوس به یک ایستگاه مشخص برسد را به دست آورد. بدین منظور ایستگاه‌های هر خط اتوبوس به ترتیب حرکت اتوبوس از ابتدای مسیرش شماره‌گذاری شده‌است. به عنوان مثال فرض کنید که برای اتوبوسی زمان تور برابر 60 دقیقه محاسبه شده‌است. تعداد کل ایستگاه‌های مسیر حرکت اتوبوس نیز برابر 20 است. اگر پس از گذشت 10 دقیقه از زمان تور اتوبوس به چهارمین ایستگاه در مسیر حرکتش رسیده باشد، درصد زمانی از تور که طول کشیده است تا اتوبوس به این ایستگاه برسد برابر است با :  $10/60=16.6\%$ . به صورت کلی اگر زمان تور برابر  $T$ ، مجموعه ایستگاه‌های هر خط اتوبوس  $N$ ، تعداد

ایستگاه های خط اتوبوس  $n$  و زمانی از تور که طول می کشد اتوبوس به ایستگاه  $i$ ام برسد برابر  $t_i$  در نظر گرفته شود، درصد زمانی رسیدن اتوبوس به ایستگاه  $i$ ام ( $P_i$ ) مطابق رابطه ی (1-3) محاسبه می شود:

$$N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

$$P_i = \frac{t(i)}{T}, \quad i = 2:n \quad (3-1)$$

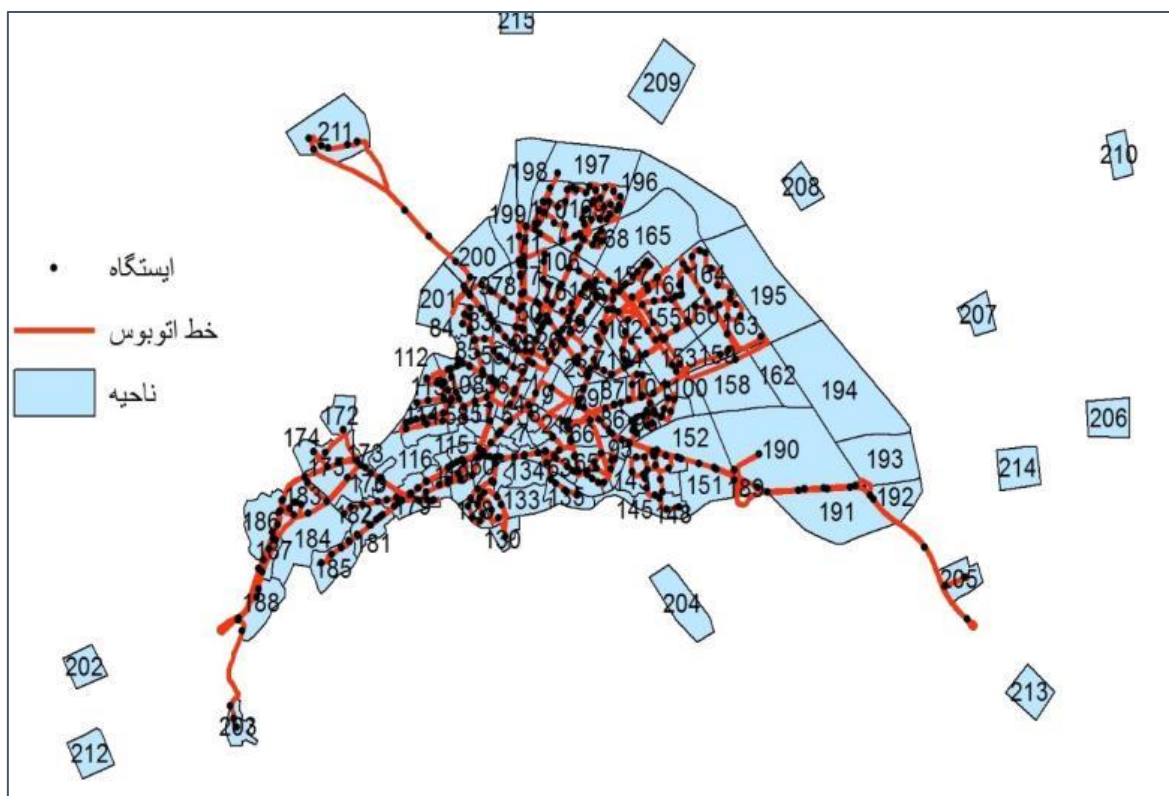
چون زمان تور از شروع حرکت اتوبوس از ایستگاه پایانه (ایستگاه اول تور) آغاز می شود بنابراین  $P_1$  برای ایستگاه دوم به بعد قابل محاسبه است. اگر در رابطه ی (1-3) مقدار  $i$  را برابر  $n$  قرار دهیم،  $P_n$  مساوی 1 می شود. یعنی اینکه 100 درصد از زمان تور باید سپری شود تا اتوبوس به ایستگاه آخر تور (ایستگاه پایانه) برسد که منطقی است. با استفاده از رابطه (1-3) درصد زمانی ایستگاه های هر اتوبوس در تمامی تورهای محاسبه می شود. لازم به ذکر است که داده های سیستم موقعیت یابی خودکار وسیله نقلیه فقط برای یک روز در دسترس بوده است. بنابراین از اطلاعات این روز برای همه بازه زمانی تراکنش های کارت هوشمند استفاده شده است.

### ۲-۳-۳ جداسازی تورهای تراکنش های کارت هوشمند

در ابتدا تراکنش ها بر اساس اتوبوس هایی که داده های سیستم موقعیت یابی خودکار وسیله نقلیه برای آنها در دسترس بوده تفکیک شده است. سپس برای جداسازی تورهای هر اتوبوس، دو شرط در نظر گرفته شده است. شرط اول حداقل زمان تور و شرط دوم حداقل زمان استراحت اتوبوس در ایستگاه پایانه با ضریب اطمینان 90 درصد است. در داده های سیستم موقعیت یابی خودکار وسیله نقلیه، زمان استراحت اتوبوس از اختلاف زمانی آخرین ایستگاه تور (ایستگاه پایانه) با اولین ایستگاهی که اتوبوس در تور بعدی در آن توقف می کند (ایستگاه دوم تور) به دست می آید. چون افراد در هنگام پیاده شدن کارت می زنند بنابراین در هر تور امکان کارت زدن از ایستگاه دوم به بعد وجود دارد چرا که در ایستگاه اول تور (پایانه) مسافران فقط سوار می شوند و مسافری پیاده نمی شود. به عنوان مثال اتوبوسی در طول روز دارای 20 زمان تور مختلف است. حداقل زمان 90 درصد از تورهای این اتوبوس بیشتر از 60 دقیقه است. پس می توان گفت که با 90 درصد اطمینان زمان تور این اتوبوس 60 دقیقه یا بیشتر است. برای زمان استراحت اتوبوس نیز به همین صورت عمل شده است. در نهایت برای هر اتوبوس دو عدد به دست می آید که یکی زمان تور و دیگری زمان استراحت آن با ضریب اطمینان 90 درصد است. با اعمال این دو شرط بر روی داده های کارت هوشمند تورهای هر روز و ایستگاه های پایانی مشخص می گردد. پس از مشخص شدن ایستگاه های پایانی تورهای هر اتوبوس در هر روز، بر اساس اطلاعاتی که در بخش قبلی به دست آمده است، ایستگاه پیاده شدن هر تراکنش مشخص می شود.

## ۳-۳-۳ ناحیه پیاده شدن

در بخش قبلی نحوه تخمین ایستگاه پیاده شدن تراکنش‌ها توضیح داده شد. از آنجایی که داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه فقط برای یک روز در دسترس بوده است، و اطلاعات کارت هوشمند برای یک سال موجود است، تشخیص اینکه هر تراکنش دقیقاً مربوط به کدام ایستگاه است کار دشواری بوده و با خطا همراه است. همچنین در بعضی از خطوط اتوبوس، درصد زمانی ایستگاه‌های متوالی از تور بسیار نزدیک به هم بوده به گونه‌ای که تفکیک این ایستگاه‌ها از یکدیگر عملاً امکان‌پذیر نبوده است. برای اینکه مقدار خطا کاهش یابد با استفاده از اطلاعات ناحیه بندی شبکه حمل و نقل شهر اراک، ناحیه پیاده شدن تراکنش‌ها تخمین زده شده است. در شکل 3-3 نقشه شبکه اتوبوسرانی اراک ارائه شده است. در این نقشه نواحی حمل و نقل، مسیر حرکت و ایستگاه‌های موجود در هر خط اتوبوس مشخص شده است. با تطابق این نقشه و نقشه جغرافیایی شهر و همچنین اسامی ایستگاه‌های هر خط اتوبوس، مشخص شده است که هر ایستگاه در چه ناحیه حمل و نقلی قرار دارد. مزیت این کار این است که باعث می‌شود ایستگاه‌های مجاور و نزدیک به هم در یک ناحیه قرار گیرند و مشکل ایستگاه‌هایی که درصد زمانی نزدیک به هم دارند تا حد زیادی برطرف شود.



شکل 3-3: نقشه خطوط و ایستگاه‌های شبکه اتوبوسرانی اراک

### ۴-۳ تخمین ناحیه سوار شدن

برای اینکه مبدا سفرها مشخص گردد لازم است که ابتدا ناحیه سوارشدن هر تراکنش مشخص شود. بدین منظور از ترکیب روش خوشه بندی و روش زنجیره سفر استفاده شده است. بدین صورت که اگر مسافری در روز یک سفر انجام داده باشد از روش خوشه بندی و اگر بیش از یک سفر در روز انجام داده باشد از روش زنجیره سفر برای تخمین مبدا سفرش (سفرهایش) استفاده شده است. در ادامه توضیحات مربوط به این دو روش ارائه شده است.

#### ۱-۴-۳ روش زنجیره سفر

پس از آن که برای همه تراکنش ها ناحیه پیاده شدن مسافران از اتوبوس مشخص گردید، باید ناحیه سوار شدن مسافران به اتوبوس نیز تعیین گردد. بدین منظور از روش زنجیره سفر<sup>۱</sup> استفاده شده است. روش زنجیره سفر یکی از پرکاربردترین روش های تخمین مبدا-مقصد سفر مسافران در یک روز خاص یا روزهای مختلف هفته است (67). فرض اصلی برای روش زنجیره سفر این است که هر کارت هوشمند متعلق به یک مسافر است. همچنین هر مسافر در طول روز باید حداقل دو پاره سفر<sup>۲</sup> داشته باشد تا بتوان از طریق آن مبدا و مقصد سفرهایش را به دست آورد. به مقدار زمان سفر داخل وسیله نقلیه یا مسافت بین سوار شدن و پیاده شدن مسافر از وسیله نقلیه پاره سفر گفته می شود. علاوه بر این فرض می شود که حمل و نقل همگانی تنها شیوه جابجایی مسافران در طول سفرهایشان است (44).

یکی از چالش های تخمین مبدا-مقصد سفرها با استفاده از روش زنجیره سفر، زمان بین تراکنش های متوالی (پاره سفرهای) مسافران است. این زمان می تواند کوتاه باشد مانند زمان لازم برای تغییر خط<sup>۳</sup>، و یا طولانی باشد که مدت زمان لازم برای انجام یک فعالیت است (45). یک آستانه زمان مجاز برای تغییر خط باید در نظر گرفته شود تا بتوان پاره سفرهای مسافران را به هم متصل کرده و سفرهای مبدا-مقصد را به دست آورد. اگر زمان بین دو تراکنش متوالی مسافری (زمان های پیاده شدن از اتوبوس) در یک روز کمتر از مقدار فرض شده باشد، تراکنش اول یک تراکنش تغییر خط است و ناحیه پیاده شدن تراکنش دوم به عنوان مقصد سفر در نظر گرفته می شود و اگر این زمان بیشتر از مقدار فرض شده باشد، هر تراکنش نشان دهنده یک سفر است و ناحیه پیاده شدن تراکنش اول به عنوان مبدا سفر دوم در نظر گرفته می شود. در مطالعات پیشین مقادیر متفاوتی برای زمان مجاز تغییر خط (از 30 تا 90 دقیقه) در نظر گرفته شده است. با توجه به داده هایی که در این مطالعه استفاده شده است حداکثر زمان لازم برای تغییر خط 30 دقیقه لحاظ شده است. از طرفی دیگر اگر اختلاف زمانی بین تراکنش های متوالی کارتی کمتر از 10 ثانیه باشد

<sup>1</sup> Trip chaining method

<sup>2</sup> Trip leg

<sup>3</sup> Transfer

احتمال این وجود دارد که فرد دارنده‌ی کارت برای فردی که همراهش بوده کارت زده‌است و می‌تواند به عنوان سفر گروهی در نظر گرفته شود. بنابراین اگر اختلاف زمانی دو تراکنش متوالی مسافری کمتر از 30 دقیقه و بیشتر از 10 ثانیه باشد به این معناست که این فرد تنها یک سفر انجام داده است و ناحیه پیاده شدن تراکنش دومش به عنوان مقصد سفرش در نظر گرفته می‌شود.

### ۲-۴-۳ روش خوشه‌بندی

خوشه‌بندی یکی از مسائل بهینه‌سازی است که در حوزه هوش مصنوعی و تشخیص الگو با نام یادگیری بدون نظارت<sup>۱</sup> شناخته شده و در تشخیص ساختارها و ساده‌سازی حجم انبوهی از داده‌های پیچیده نقش بسزایی دارد. داده‌های ورودی به روش‌های یادگیری بدون نظارت فاقد برچسب هستند، بدین معنا که هیچ داده خروجی شناخته‌شده‌ای از قبل وجود ندارد که از آن به عنوان داده یادگیری<sup>۲</sup> و برای دسته‌بندی داده‌ها ورودی استفاده شود. بنابراین هدف این روش‌ها پیدا کردن خوشه‌هایی بر اساس شباهت‌های بین داده‌های ورودی است. در این مطالعه به دلیل اینکه هیچ نمونه واقعی از دسته‌بندی سفرهای کاربران حمل‌ونقل همگانی اراک وجود نداشته‌است، از روش خوشه‌بندی استفاده شده تا مشخص شود که هر مسافر بیشتر در چه زمان‌ها و مکان‌هایی سفرهایش را انجام داده‌است.

خوشه‌بندی به عمل تقسیم جمعیت ناهمگن به تعدادی از زیر مجموعه‌ها یا خوشه‌های همگن گفته می‌شود. در خوشه‌بندی مجموعه‌ای از داده‌ها به عنوان ورودی دریافت می‌شوند و بر اساس ویژگی‌هایی که دارند به چندین زیر گروه تقسیم می‌شوند. هدف اصلی در این روش یافتن صحیح مراکز خوشه‌ها می‌باشد که با معیارهایی مانند معیار درون خوشه‌ای که در واقع همان کمترین میزان فاصله هر داده تا مرکز خوشه و یا فاصله برون خوشه‌ای یا همان فاصله مراکز خوشه‌ها از یکدیگر می‌باشد، باعث ایجاد یک خوشه‌بندی بهینه می‌شود. هدف همه الگوریتم‌های خوشه‌بندی کمینه کردن فاصله درون خوشه‌ای و بیشینه نمودن فاصله بین خوشه‌ای می‌باشد. عملکرد خوب یک الگوریتم خوشه‌بندی زمانی مشخص می‌شود که تا حد امکان خوشه‌ها را از یکدیگر دورتر کند، یعنی داده‌های موجود در خوشه‌های مختلف کمترین شباهت را با یکدیگر و داده‌های موجود در یک خوشه بیشترین شباهت را به یکدیگر داشته باشند. روش‌های خوشه‌بندی معمولاً به دو دسته‌ی خوشه‌بندی سلسله مراتبی<sup>۳</sup> و خوشه‌بندی تفکیکی<sup>۴</sup> تقسیم می‌شوند که در ادامه توضیحات مربوط به هر روش ارائه شده‌است.

<sup>1</sup> Unsupervised Learning

<sup>2</sup> Training Data

<sup>3</sup> Hierarchical Clustering

<sup>4</sup> Partitional Clustering

### ۱-۲-۴-۳ خوشه بندی سلسله مراتبی

در این روش داده‌ها در یک ساختار سلسله‌مراتبی خوشه‌بندی می‌شوند. خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به دو روش تجمیعی و تقسیمی انجام می‌گیرد. در روش تجمیعی که به آن روش پایین به بالا نیز گفته می‌شود، هر نمونه در ابتدا بیانگر یک خوشه است و در هر مرحله نمونه‌ها با یکدیگر ادغام می‌شوند تا خوشه‌های بزرگ‌تر را تولید کنند و در نهایت همه‌ی نمونه‌ها با هم یک خوشه‌ی بزرگ را تشکیل می‌دهند. در روش تقسیمی یا پایین به بالا، دقیقاً برعکس روش تجمیعی عمل می‌شود، به گونه‌ای که در ابتدا تمامی نمونه‌ها با هم به عنوان یک خوشه‌ی بزرگ در نظر گرفته می‌شوند. سپس در هر مرحله هر خوشه به خوشه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود تا جایی که هر نمونه بیانگر یک خوشه باشد. روش‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به دلیل پیچیدگی محاسباتی بالایی که دارند معمولاً برای مجموعه داده‌های کوچک و کم حجم استفاده می‌شوند. از آنجایی که در این روش، تخصیص نمونه به خوشه به صورت تکراری انجام نمی‌گیرد، در صورتی که نمونه‌ای به اشتباه در خوشه‌ای قرار گیرد امکان اصلاح نتایج خوشه‌بندی وجود ندارد.

### ۲-۲-۴-۳ خوشه‌بندی تفکیکی

در روش‌های خوشه‌بندی تفکیکی داده‌ها به خوشه‌هایی تقسیم می‌شوند که با یکدیگر همپوشانی ندارند و هر داده فقط به یک خوشه تعلق دارد. معمولاً این روش‌ها بر مبنای بهینه‌سازی یک تابع هدف عمل می‌کنند. از آنجایی که یافتن تمام ترکیبات خوشه‌ای ممکن برای دستیابی به یک مقدار بهینه از نظر محاسباتی قابل قبول نیست در نتیجه، بهترین ساختار خوشه‌بندی پس از چندین بار اجرای الگوریتم با استفاده از سناریوهای اولیه مختلف، انتخاب می‌شود. به دلیل سرعت محاسباتی بالایی که روش‌های خوشه‌بندی تفکیکی دارند معمولاً برای خوشه‌بندی مجموعه داده‌های بزرگ به روش‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی ترجیح داده می‌شوند. رویکردهای مختلفی برای فرموله کردن تابع هدف در روش‌های خوشه‌بندی تفکیکی وجود دارد که پرکاربردترین آن خوشه‌بندی بر مبنای مربعات خطا<sup>۱</sup> است. هدف این روش پیدا کردن ساختاری از خوشه‌بندی است که در آن مربعات خطا به ازای تعداد خوشه‌ها کمترین مقدار را داشته باشد. یکی از رایج‌ترین روش‌های خوشه‌بندی بر مبنای مربعات خطا، روش خوشه‌بندی میانگین  $K$  است. در این مطالعه در دو مرحله که یکی تخمین مبدا سفر (ناحیه سوار شدن مسافر به اتوبوس) مسافرانی که تنها یک سفر در روز داشته‌اند و دیگری تعیین نظم سفر مسافران، از روش خوشه‌بندی میانگین  $k$  استفاده شده‌است.

<sup>1</sup> Squared-error Clustering

## ۳-۲-۴-۳ خوشه‌بندی میانگین K

روش خوشه‌بندی میانگین K یکی از پرکاربردترین روش‌های خوشه‌بندی است که از نظر محاسباتی کارآمد بوده و برای مسائلی مناسب است که تمامی متغیرها مقادیر کمی داشته و معیار تشابه داده‌ها فاصله اقلیدسی باشد. در این روش ابتدا به تعداد خوشه‌های مورد نیاز نقاطی به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس داده‌ها با توجه به معیار فاصله (شباهت) به یکی از این خوشه‌ها نسبت داده می‌شوند به طوری که سطح شباهت داخلی خوشه‌ها بالا بوده و سطح شباهت داده‌های بیرون خوشه‌ها پایین باشد و بدین ترتیب خوشه‌های جدیدی حاصل می‌شود. شباهت هر خوشه به نسبت مرکز آن خوشه سنجیده می‌شود. به صورتی که هر داده به خوشه‌ای تعلق می‌گیرد که کمترین میزان فاصله را با مرکز آن دارد. فاصله داده‌ها از مرکز خوشه را می‌توان از روش‌های مختلفی به دست آورد که پرکاربردترین روش، فاصله اقلیدسی است که در رابطه‌ی (3-2) نشان داده شده‌است.

$$\text{dist}_E(x, y) = (x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_i - y_i)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2 \quad (2-3)$$

در این رابطه:

$\text{dist}_E(x, y)$ : فاصله اقلیدسی دو داده X و y،

$x_i$ : مولفه i ام از داده X و

$y_i$ : مولفه i ام از داده y.

مرکز هر خوشه k با استفاده از داده‌های آن خوشه طبق رابطه‌ی (3-3) محاسبه می‌شود.

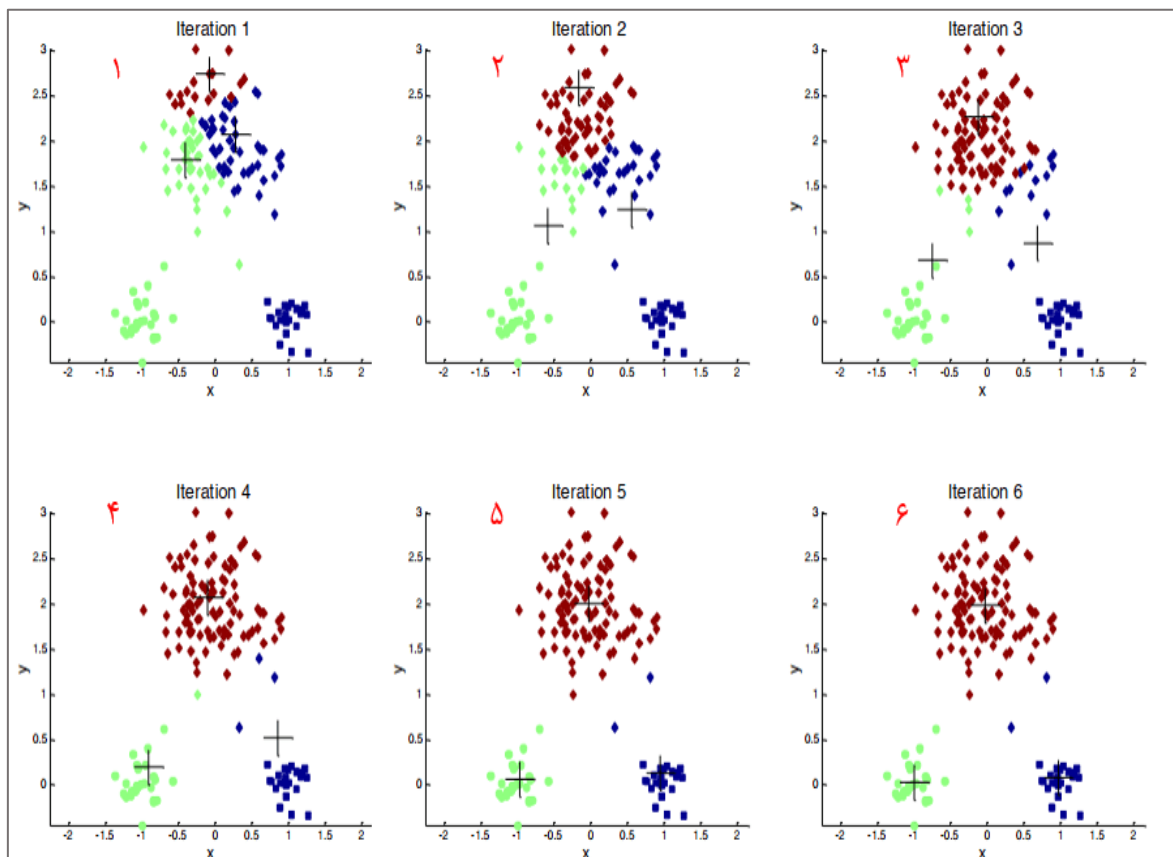
$$C_j^{(k)} = \left(\frac{1}{n_k}\right) \sum_{i=1}^{n_k} x_{ij}^{(k)} \quad (3-3)$$

که در این رابطه  $C_j^{(k)}$  مولفه j از مرکز خوشه k،  $n_k$  تعداد داده‌های متعلق به خوشه k و  $x_{ij}^{(k)}$  مولفه j ام از داده i ام در خوشه k است. بنابراین مرکز هر خوشه در یک مسئله چند متغیره به صورت  $C^{(k)} = (C_1^{(k)}, C_2^{(k)}, \dots, C_j^{(k)})$  نمایش داده می‌شود. بر این اساس، مربع خطای هر خوشه برابر با مجموع فواصل اقلیدسی داده‌های هر خوشه از مرکزش است و مطابق رابطه‌ی (3-4) محاسبه می‌شود.

$$e_{jk}^2 = \sum_{i=1}^{n_k} (x_{ij}^{(k)} - C_j^{(k)})^2 \quad (3-4)$$

در این رابطه  $e_{jk}^2$  مربع خطای خوشه k ام برای مولفه j ام است.

بنابراین تابع هدف روش خوشه‌بندی میانگین  $k$  کمینه کردن مجموع مقدار مربعات خطای خوشه‌ها است. در شکل 3-4 نحوه اعمال این الگوریتم خوشه‌بندی بر روی یک مجموعه داده (شامل سه گروه داده قرمز، سبز و آبی) نشان داده شده‌است. همان‌طور که در این شکل مشخص است در ابتدا به تعداد خوشه‌ها (در این مثال سه خوشه) نقاطی به عنوان مرکز خوشه انتخاب شده‌است (نقاط با علامت +). در تکرار دوم هریک از نمونه داده‌ها به یکی از این سه خوشه نسبت داده شده و برای هر خوشه مرکزی جدید محاسبه شده‌است. این روال به همین صورت تکرار شده تا اینکه نهایتاً پس از شش تکرار مراکز خوشه‌ها همگرا شده‌است.



شکل 3-4: روش خوشه‌بندی میانگین  $K$  (68)

### ۳-۴-۳ خوشه‌بندی تراکنش‌ها

همان‌طور که گفته شد یکی از فرضیات مهم روش زنجیره سفر وجود حداقل دو پاره‌سفر در هر روز برای هر مسافر است که از طریق آن بتوان مبدا و مقصد سفرها را مشخص نمود. بنابراین مبدا سفر مسافرانی که فقط یک سفر در روز دارند را نمی‌توان با استفاده از این روش تخمین زد. برای رفع این مشکل، قبل از اینکه روش زنجیره سفر به کار گرفته شود، از روش خوشه‌بندی میانگین  $K$  استفاده شده‌است. برای اینکه مشخص شود هر مسافر از چه ناحیه‌ای سفرش را آغاز کرده‌است باید تاریخچه‌ی سفرهایش مورد بررسی

قرار گیرد. به عبارت دیگر بررسی تراكش‌های هر کارت در یک بازه زمانی مشخص (در این مطالعه دوره زمانی 30 روزه) تا حد زیادی مشخص می‌کند که هر مسافر بیشتر در چه زمان‌ها و مکان‌هایی سفرهای خود را انجام داده‌است. بنابراین بر اساس دو مشخصه (ویژگی) زمان انجام تراكش و ناحیه‌ی انجام تراكش (محل پیاده شدن) از روش خوشه‌بندی میانگین K استفاده شده‌است. مراحل خوشه‌بندی تراكش‌های هر کارت در ادامه و به ترتیب بیان شده‌است:

- (1) ماتریس تراكش‌های هر کارت در 30 روز آخری که در سیستم فعال بوده تشکیل شده‌است.
- (2) زمان انجام تراكش‌های هر کارت بر حسب ساعت محاسبه شده‌است.
- (3) فاصله اقلیدسی محل پیاده شدن هر تراكش نسبت به ناحیه مبنا (ناحیه مرکزی شهر) در مختصات  $xy$  محاسبه شده‌است.
- (4) برای همسان کردن بزرگی و تغییرپذیری دو ویژگی ورودی (زمان و محل انجام تراكش)، استاندارد سازی متغیرها از رابطه (3-4) استفاده شده‌است.

$$Z = \frac{v - \min(v)}{\max(v) - \min(v)} \quad (3-4)$$

در این رابطه:

$Z$ : مقدار استاندارد هر مشخصه (بین 0 و 1)

$v$ : مقدار اولیه هر مشخصه

$\min(v)$ : کمترین مقدار مشخصه در کل داده‌ها

$\max(v)$ : بیشترین مقدار مشخصه در کل داده‌ها

با استفاده از رابطه‌ی (3-4) مقدار استاندارد شده زمان انجام سفر و ناحیه پیاده شدن تراكش‌های هر فرد محاسبه شده‌است. برای ناحیه‌ی پیاده شدن تراكش هرچه این مقدار به 1 نزدیکتر باشد یعنی اینکه مسافت آن ناحیه تا ناحیه‌ی مرکزی شهر بیشتر است.

- (5) با استفاده از روش خوشه‌بندی میانگین  $k$  تراكش‌های هر فرد بر اساس دو ویژگی اشاره شده در مرحله قبل، خوشه‌بندی شده‌است. به این دلیل که معمولاً سفرهای افراد بین محل خانه و محل کار یا تحصیل انجام می‌گیرد، بنابراین می‌توان تراكش‌های اکثر افراد را در دو دسته قرار داد و به همین دلیل تعداد خوشه‌ها برای تمامی افراد 2 در نظر گرفته شده‌است.

پس از انجام مراحل فوق، از طریق مرکز خوشه‌هایی که به دست آمده‌است می‌توان فهمید که تراكش‌های هر کارت بیشتر در چه مکان‌ها و زمان‌هایی متمرکز است. مرکز هر خوشه به صورت رابطه (3-5) قابل نمایش است:

$$c_i = (v_{i1}, v_{i2}) \quad (3-5)$$

که در این رابطه  $v_{i1}$  زمان تراكش‌های خوشه  $i$ ام و  $v_{i2}$  ناحیه پیاده‌شدن تراكش‌های خوشه  $i$ ام را نشان می‌دهد. از آنجایی که مختصات مرکز هر خوشه بر اساس مقادیر استاندارد شده به دست آمده‌است،

برای اینکه ساعت و محل تراکنش‌های هر خوشه تعیین شود باید مختصات مرکز خوشه‌ها را به مقادیر غیر استاندارد تبدیل نمود. برای تبدیل مقدار  $v_{i1}$  به ساعت از رابطه (3-6) استفاده شده است:

$$h_i = (\max(v_1) - \min(v_1)) * v_{i1} + \min(v_1) \quad (3-6)$$

که در این رابطه  $v_1$  ماتریس ساعت تراکنش‌های هر کارت و  $h_i$  ساعت تراکنش‌های خوشه  $i$ ام هر کارت است.

برای اینکه مشخص شود مقدار  $v_{i2}$  نشان دهنده‌ی چه ناحیه‌ای است به ترتیب مراحل زیر عمل شده است:

- ابتدا با استفاده از رابطه‌ی (3-7) مقدار فاصله مکانی مرکز خوشه  $i$  از ناحیه مبنا ( $d_i$ ) محاسبه شده است:

$$d_i = (\max(v_2) - \min(v_2)) * v_{i2} + \min(v_2) \quad (3-7)$$

که در این رابطه  $v_2$  ماتریس فاصله ناحیه پیاده شدن تراکنش‌های هر کارت از ناحیه مبنا است.

(2) سپس ماتریس یکتا از نواحی پیاده شدن تراکنش‌های هر کارت تشکیل شده است.

(3) با مقایسه‌ی مقدار  $d_i$  با مقدار فاصله نواحی ماتریس مرحله 2، ناحیه‌ای که نزدیکترین مقدار را به  $d_i$  دارد به عنوان ناحیه مرکزی خوشه  $i$  در نظر گرفته شده است.

### ۴-۴-۳ ناحیه سوار شدن

پس از آنکه برای تمامی کارت‌ها خوشه‌بندی انجام شد، با استفاده از روش زنجیره‌ی سفر و نتایج خوشه‌بندی، ناحیه‌ی سوار شدن هر تراکنش به ترتیبی که در ادامه گفته شده تخمین زده شده است.

- ابتدا تراکنش‌های هر کارت بر اساس زمان پیاده شدن مرتب شده است.
- در هر روز اختلاف زمانی هر تراکنش با تراکنش بعدی محاسبه شده است.
- تعداد تراکنش‌های هر روز که مقدار محاسبه شده در مرحله 2 برای آنها بیشتر از زمان مجاز تغییر خط بوده است به دست آمده است.
- اگر تعداد محاسبه شده در مرحله 3 بیشتر از 1 باشد، مرحله 5 انجام شده است در غیر این صورت مرحله 6 انجام گرفته است.
- مبدأ تراکنش اول همان مقصد تراکنش آخر است. برای تراکنش‌های دوم به بعد نیز به این صورت است که مبدأ هر تراکنش مقصد تراکنش قبلی است و این روال تا زمانی ادامه یافته است که مبدأ تمامی تراکنش‌های روز مشخص شود.
- اختلاف زمانی تراکنش با مراکز خوشه‌ها محاسبه شده است. عدد به دست آمده برای هر خوشه کمتر باشد، ناحیه خوشه دیگر به عنوان مبدأ تراکنش در نظر گرفته شده است.

## ۵-۳ خوشه‌بندی نظم سفر

نظم سفر به معنای تکرار سفرهای مشابه برای هر مسافر است. شناسایی نظم انجام سفر به شرکت‌های حمل و نقلی کمک می‌کند تا تاثیر ارائه خدمات و همچنین تغییرات احتمالی در شبکه را ارزیابی کنند و بر اساس آن، استراتژی‌های بازاریابی خود را بهبود ببخشند تا مسافران وفادار در سیستم باقی بمانند و افراد بیشتری جذب سیستم شوند. با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی می‌توان مسافران با الگوهای سفر مشابه را دسته‌بندی نمود و آنها را بر اساس ویژگی‌های زمانی و مکانی سفرهایشان در دسته‌های مختلف نظم سفر قرار داد. در این مطالعه برای خوشه‌بندی نظم سفر از تراکنش‌های ثبت شده در ماه آخر داده‌های موجود استفاده شده است. به این دلیل که در ماه آخر هم تعداد کارت‌هایی که در سیستم ثبت شده و هم تعداد تراکنش‌ها، بیشتر از ماه‌های دیگر است. ویژگی‌هایی از داده‌ها که برای خوشه‌بندی انتخاب شده در ادامه بیان شده است:

- (1) **تعداد روزهای سفر:** هر چه تعداد روزهای سفر هر فرد بیشتر باشد احتمال اینکه او یک مسافر منظم باشد بیشتر است.
- (2) **تعداد زمان‌های پیاده شدن مشابه اولین سفر روز:** زمان پیاده شدن ویژگی زمانی سفرهای هر فرد را نشان می‌دهد. اگر یک فرد در هر روز هفته اولین سفر خود را در یک زمان مشخص انجام داده باشد به احتمال زیاد آن فرد یک مسافر منظم است.
- (3) **تعداد نواحی پیاده شدن مشابه اولین سفر روز:** اگر یک فرد در هر روز هفته در اولین سفر خود در یک ناحیه‌ی مشخص پیاده شده باشد به احتمال زیاد آن فرد یک مسافر منظم است. برای خوشه‌بندی نظم سفر از روش خوشه‌بندی میانگین K استفاده شده است. بدین منظور ابتدا تراکنش‌های 30 روز آخر مجموعه داده‌ها به تفکیک شماره کارت جدا گردیده است. سپس سه ویژگی ذکر شده در فوق، برای هر کارت محاسبه شده است. از آنجایی که هر سه ویژگی از نوع تعداد بوده و مقدار بیشینه و کمینه آنها با یکدیگر برابر است بنابراین نیازی به استانداردسازی این ویژگی‌ها نیست. در نهایت ماتریسی به دست می‌آید که تعداد ردیف‌هایش به تعداد کارت‌های موجود بوده و تعداد ستون‌هایش به تعداد ویژگی‌های ذکر شده است. یعنی هر ردیف از این ماتریس ویژگی‌های سفرهای انجام شده توسط هر کارت را نشان می‌دهد. برای محاسبه فاصله داده‌های این ماتریس از فاصله اقلیدسی که در بخش 3-2-1 به آن اشاره شد استفاده شده است. تعداد خوشه‌ها نیز برابر 5 در نظر گرفته شده است که هر خوشه یک سطح از نظم سفر را نشان می‌دهد. مرکز هر خوشه به صورت رابطه (3-8) قابل نمایش است:

$$C_i = (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}) \quad (3-8)$$

در این رابطه  $C_i$  مرکز خوشه  $i$ ام و  $v_{ij}$  ویژگی  $j$ ام خوشه  $i$ ام است.

سپس فاصله اقلیدسی بین مرکز خوشه و نقطه صفر مطابق رابطه‌ی (3-9) محاسبه شده است. این فاصله تحت عنوان فاصله مرکز خوشه ( $D_i$ ) تعریف شده است:

$$D_i = \sqrt{(v_{i1} - 0)^2 + (v_{i2} - 0)^2 + (v_{i3} - 0)^2} \quad (3-9)$$

بعد از آن مقادیر  $D_i$  به صورت نزولی مرتب می‌شوند. بر این اساس هر سطح نظم انجام سفر به یک خوشه اختصاص می‌یابد. سطوح مختلف نظم انجام سفر مطابق زیر در نظر گرفته شده‌است:

سطح 1: مسافران با نظم سفر خیلی کم

سطح 2: مسافران با نظم سفر کم

سطح 3: مسافران با نظم سفر معمولی

سطح 4: مسافران با نظم سفر زیاد

سطح 5: مسافران با نظم سفر خیلی زیاد

سرانجام، با محاسبه و مقایسه حداقل فاصله تا مرکز هر خوشه، می‌توان سطح نظم مربوط به هر کاربر را تعیین نمود. همچنین با استفاده از نتایج خوشه‌بندی نظم انجام سفر می‌توان متوسط تعداد سفرهای روزانه مسافران در هر سطح را محاسبه کرد.

### ۳-۶ سفرهای گروهی

#### ۳-۶-۱ پیشینه نظری

برای شناسایی سفرهای گروهی از مفاهیم نظریه‌ی همجواری<sup>۱</sup> استفاده شده‌است. همجواری مطالعه استفاده‌ی انسان از فضا و تأثیرات تراکم جمعیت بر رفتار، ارتباطات و تعامل اجتماعی او است (66). در مکان‌های عمومی معمولاً افراد ترجیح می‌دهند نزدیک آشنایان خود قرار گیرند و از نزدیک شدن به افراد غریبه خودداری می‌کنند. نظریه‌ی همجواری نشان می‌دهد افرادی که در گروه‌ها سفر می‌کنند، تمایل دارند در طول سفر خود فاصله کم بین یکدیگر را حفظ کنند. بر اساس این نظریه، فاصله‌ی گروهی به عنوان فاصله‌ی مرسوم میان اعضای یک گروه که با یکدیگر ارتباط دارند تعریف شده‌است. تعاریف مشابهی از فاصله‌ی گروهی در مطالعات پیشین یافت می‌شود. به عنوان مثال ماننتی و همکاران (69) در مطالعه‌ای فاصله‌ی گروهی میان عابران پیاده را مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که وقتی فاصله میان اعضای یک گروه عابر پیاده بیشتر از مقدار مشخصی شود آن‌ها به یکدیگر نزدیک شده و فاصله بین خود را کاهش می‌دهند. بنابراین می‌توان با استفاده از مقادیر مشخص فواصل میان افراد، گروه‌ها را تفکیک نمود. روشی

<sup>1</sup> Proxemics Theory

که در این مطالعه برای شناسایی سفرهای گروهی حمل و نقل همگانی شهر اراک به کار گرفته شده در ادامه توضیح داده شده است.

### ۳-۶-۲ روش شناسایی سفرهای گروهی

در برابر پیشینه‌ی نظری ارائه شده در بخش قبل، در ادامه روشی ساده برای شناسایی سفرهای گروهی با استفاده از داده‌های کارت هوشمند حمل و نقل همگانی معرفی شده است. مطابق با نظریه همجواری مسافران گروهی تمایل دارند که با فاصله کمی از یکدیگر (چه در هنگام سوار شدن به وسیله نقلیه و چه در هنگام پیاده شدن از وسیله نقلیه) کارت‌های خود را بزنند در حالی که غریبه‌ها معمولاً سعی می‌کنند از کارت زدن بین اعضای یک گروه خودداری کنند. بر همین اساس، در این مطالعه زمان بین کارت زدن دو فرد در هنگام پیاده شدن از اتوبوس به عنوان شاخص فاصله‌ی بین افراد در نظر گرفته شده است و این بازه‌ی زمانی به عنوان "فاصله زمانی بین فردی"<sup>۱</sup> تعریف شده است. فاصله زمانی بین فردی کوتاه نشان می‌دهد که دو نفر به احتمال زیاد پیوند نزدیکی دارند و از این رو با هم سفر می‌کنند. اختلاف زمانی زیاد نشان می‌دهد که افراد ارتباطی با یکدیگر ندارند و به همین دلیل به تنهایی سفر می‌کنند. در سیستم حمل و نقل همگانی مورد بررسی در این مطالعه سفرهای گروهی به دو طریق گفته شده در زیر می‌تواند انجام گیرد:

- سفرهای گروهی که با استفاده از یک کارت انجام می‌گیرد، یعنی فرد دارنده‌ی کارت برای فرد یا افراد همراه خود نیز کارت می‌زند.
- سفرهای گروهی که با استفاده از کارت‌های مختلف انجام می‌گیرد، یعنی هر عضو گروه کارت مختص خودش را دارد.

حال اگر دو فرد با فاصله کمی از یکدیگر کارت بزنند و از یک اتوبوس پیاده شوند و همچنین ناحیه پیاده شدن و سوار شدن آنها یکی باشد، آن‌ها به احتمال زیاد مسافران گروهی هستند و با استفاده از روش ارائه شده در این مطالعه، سفرهایشان به عنوان سفر گروهی شناخته می‌شود. همچنین اگر فاصله‌ی زمانی بین تراکنش‌های ثبت شده از یک کارت کمتر از مقدار تعریف شده برای فاصله زمانی بین فردی باشد و اعتبار کارت نیز در هر تراکنش تغییر کرده باشد، این تراکنش‌ها نیز به عنوان سفرهای گروهی در نظر گرفته می‌شود. مشخص است که بر اساس داده‌های کارت هوشمند نمی‌توان فهمید که آیا افراد واقعاً با هم سفر می‌کنند یا اینکه فقط به صورت تصادفی کارت‌های هوشمند خود را با فاصله زمانی کمی از یکدیگر زده‌اند. با این حال، اختلاف زمانی بین فردی نسبتاً کوچک نشان می‌دهد که افراد به احتمال زیاد با هم در ارتباط هستند. برای درک بهتر این بخش مراحل فرآیند شناسایی سفرهای گروهی در ادامه به صورت جزئی بیان گردیده است:

1) تراکنش‌های هر اتوبوس بر اساس زمان انجام تراکنش مرتب شود.

<sup>1</sup> Interpersonal time distance

- (2) تراکنش‌های هر اتوبوس بر اساس ناحیه سوار شدن به اتوبوس، تفکیک شده و تراکنش‌های هر ناحیه در ماتریسی جدا قرار گیرد.
- (3) در ماتریس تراکنش‌های هر ناحیه، اختلاف زمانی هر تراکنش ( $i$ ) با تراکنش بعدی ( $i+1$ ) محاسبه شود.
- (4) اگر اختلاف زمانی تراکنش ( $i$ ) با تراکنش ( $i+1$ ) کمتر از مقدار تعریف شده برای فاصله گروهی باشد مرحله 5 انجام شود در غیر اینصورت تراکنش ( $i$ ) و ( $i+1$ ) سفر گروهی نیستند.
- (5) اگر ناحیه پیاده شدن تراکنش ( $i$ ) و ( $i+1$ ) یکسان باشد یعنی اینکه دو تراکنش سفر گروهی هستند و بر روی این دو تراکنش برچسب سفر گروهی زده شود.
- (6) مراحل 4 و 5 برای تمامی تراکنش‌های ماتریس به دست آمده در مرحله 3 انجام شود.

لازم به ذکر است که در مرحله 4، با توجه نوع داده‌ها و میزان توقفی که اتوبوس در هر ایستگاه دارد مقدار فاصله گروهی برابر 10 ثانیه در نظر گرفته شده‌است.

### ۷-۳ مقایسه رفتار سفر

در بخش قبل روش تفکیک سفرهای فردی از سفرهای گروهی توضیح داده‌شد. برای اینکه بتوان مقایسه‌ای میان این سفرها برقرار کرد باید ویژگی‌های آنها را با یکدیگر مقایسه نمود. همان‌طور که پیشتر اشاره شد، رفتار سفر فرآیند تصمیم‌گیری مسافران در طول سفرهایشان است که می‌تواند انتخاب مسیر، انتخاب زمان انجام سفر، انتخاب مقصد سفر و عوامل دیگر باشد. در این مطالعه زمان انجام سفر (زمان پیاده شدن از اتوبوس)، تاریخ سفر (روز هفته)، مقصد سفر (ناحیه پیاده شدن از وسیله نقلیه)، مسافت سفر و تکرار سفر به عنوان ویژگی‌های اصلی رفتاری سفر در نظر گرفته شده‌است. بنابراین با استفاده از این ویژگی‌ها می‌توان الگوی زمانی و الگوی مکانی سفرهای فردی را با سفرهای گروهی مقایسه نمود که در ادامه توضیحات مربوط به هر کدام بیان شده‌است.

### ۱-۷-۳ الگوی زمانی سفر

برای مقایسه الگوی زمانی سفرهای فردی و گروهی ابتدا تراکنش‌های روزهای هفته جدا شده‌است. سپس در هر روز هفته، درصد سفرهای انجام شده در هر ساعت محاسبه شده‌است. در نهایت توزیع ساعتی درصد سفرهای فردی و گروهی در هر روز هفته ترسیم شده‌است. به عنوان مثال مشخص می‌شود در شنبه‌ها، چند درصد سفرهای بین ساعت 7 تا 8، چند درصد بین 8 تا 9 و... انجام گرفته است. بر این اساس می‌توان

سفرهای فردی و گروهی بر اساس زمان انجام سفر در ساعات مختلف روز مقایسه کرد. همچنین می‌توان تغییرات الگوی زمانی سفرهای فردی و گروهی را طی روزهای مختلف هفته مقایسه نمود.

### ۳-۷-۲ الگوی مکانی سفر

برای مقایسه الگوی مکانی سفرهای فردی و گروهی، از پارامتر میزان فاصله مقصد سفر از ناحیه مرکزی شهر استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا فاصله‌ی ناحیه پیاده شدن هر تراکنش از ناحیه مرکزی شهر بر حسب کیلومتر محاسبه شده است. سپس برای دسته‌بندی کردن سفرها بر اساس ناحیه مقصد سفر، شش سطح فاصله به صورت زیر تعریف شده است:

- (1) سطح 1: نواحی که فاصله آن‌ها تا مرکز شهر کمتر از 1 کیلومتر است.
- (2) سطح 2: نواحی که فاصله آن‌ها تا مرکز شهر بیشتر از 1 کیلومتر و کمتر از 2 کیلومتر است.
- (3) سطح 3: نواحی که فاصله آن‌ها تا مرکز شهر بیشتر از 2 کیلومتر و کمتر از 3 کیلومتر است.
- (4) سطح 4: نواحی که فاصله آن‌ها تا مرکز شهر بیشتر از 3 کیلومتر و کمتر از 4 کیلومتر است.
- (5) سطح 5: نواحی که فاصله آن‌ها تا مرکز شهر بیشتر از 4 کیلومتر و کمتر از 5 کیلومتر است.
- (6) سطح 6: نواحی که فاصله آن‌ها تا مرکز شهر بیشتر از 5 کیلومتر است.

حال برای هر کدام از تراکنش‌ها عدد مربوط به سطح فاصله ناحیه پیاده شدن آن تراکنش تا مرکز شهر، در مقابل آن ثبت می‌شود. یعنی اگر فاصله ناحیه پیاده شدن تراکنشی تا مرکز شهر 2.7 کیلومتر باشد به این معناست که در سطح 3 قرار می‌گیرد و عدد 3 برای این تراکنش ثبت می‌شود. پس از اینکه برای تمامی تراکنش‌ها این کار انجام شد، درصد تعداد تراکنش‌های قرار گرفته در هر کدام از سطوح محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر هم برای سفرهای فردی و هم برای سفرهای گروهی مشخص می‌گردد که در هر سطح چه درصدی از کل سفرها انجام گرفته است.

### ۳-۸ جمع‌بندی

در این فصل ابتدا ساختار کلی مطالعه معرفی گردید. سپس فرآیند تخمین مقصد تراکنش‌ها توضیح داده شد. در ادامه نحوه استفاده از روش خوشه‌بندی و روش زنجیره سفر برای تخمین مبدا و مقصد سفرها شرح داده شد. سپس چگونگی استفاده از روش خوشه‌بندی برای شناسایی مسافران منظم و غیر منظم سیستم مورد بررسی قرار گرفت. در انتهای فصل نیز به توضیح روش شناسایی سفرهای گروهی و نحوه‌ی مقایسه رفتار سفر فردی و گروهی پرداخته شد.

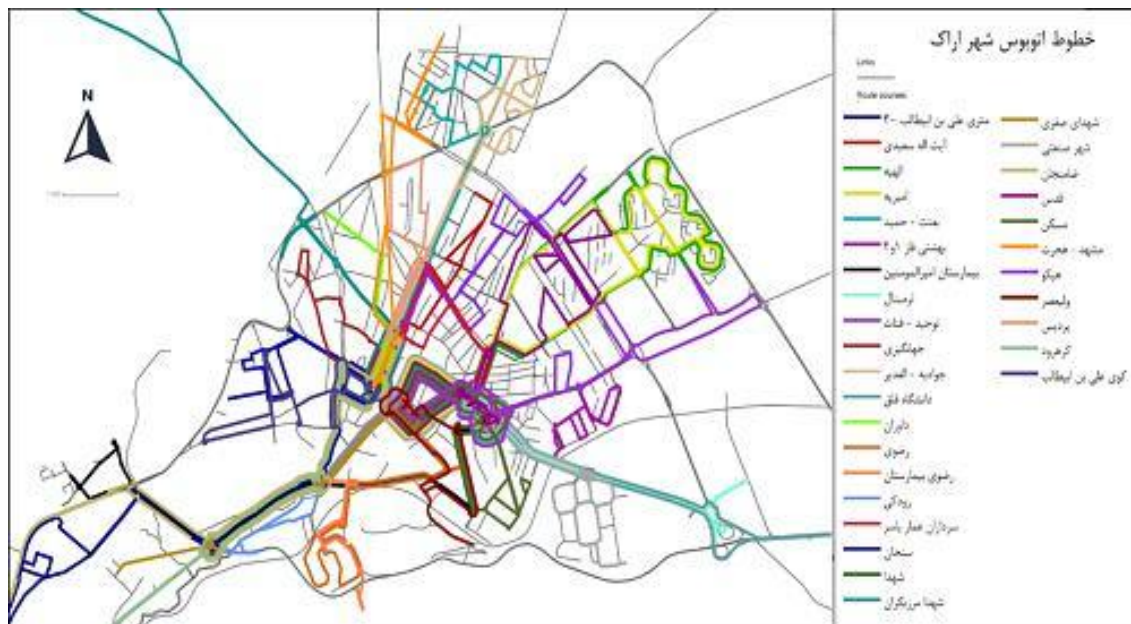
## ۴ فصل چهارم مطالعه موردی و تحلیل نتایج

## مقدمه

در این فصل به ارائه‌ی نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌های کارت هوشمند با استفاده از روش بیان شده در فصل سوم پرداخته شده‌است. ابتدا مطالعه موردی معرفی شده و سپس مراحل آماده سازی داده‌ها شرح داده شده‌است. در بخش بعدی آمار توصیفی داده‌ها و پس از آن نتایج تخمین مبدا-مقصد سفرها ارائه شده‌است. سپس نتایج خوشه‌بندی نظم انجام سفر مورد بررسی قرار گرفته‌است. در ادامه به مقایسه‌ی الگوهای سفر فردی و گروهی پرداخته شده و تفاوت‌های رفتار سفر فردی و گروهی مشخص گردیده‌است. در انتهای فصل نیز جمع‌بندی موارد مطرح شده گزارش شده‌است.

## ۱-۴ مطالعه موردی

مورد مطالعه داده‌های کارت‌های هوشمند اتوبوس‌رانی شهر اراک است. شهر اراک با حدود پانصد و بیست هزار نفر جمعیت، مرکز و پرجمعیت‌ترین شهر استان مرکزی است. سیستم اتوبوس‌رانی شهر اراک دارای 30 خط اتوبوس، با طولی در حدود 407.7 کیلومتر (به صورت رفت و برگشت) می‌باشد. در مجموع 766 ایستگاه در شبکه وجود دارد که برخی از آن‌ها توسط چندین خط مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل 4-1 شبکه اتوبوس‌رانی شهر اراک را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشخص است، خطوط در بخش مرکزی شهر تراکم زیادی داشته و در کل شبکه نیز خطوط اتوبوس‌رانی در بخش‌های بزرگی از طول خود با سایر خطوط همپوشانی دارند.



شکل 4-1: شبکه اتوبوس‌رانی شهر اراک

## ۴-۱-۱ داده های کارت هوشمند

سیستم خودکار جمع آوری کرایه شهر اراک از شهریور سال 1394 در این شهر راه اندازی شده است و از نوع کرایه های یکنواخت می باشد، که در آن مسافران بخش حمل و نقل تنها با یکبار زدن کارت های هوشمند خود بر روی دستگاه کارتخوان و در هنگام پیاده شدن، نرخ ثابتی را بعنوان کرایه پرداخت می کنند. در این سیستم در هر بار کارت زدن، یک تراکنش در پایگاه داده مرکزی ثبت می شود که شامل اطلاعات زیر است:

- شناسه کاربری
- زمان و تاریخ تراکنش
- شناسه پایانه (متصل اتوبوس)
- مبلغ کرایه
- مانده حساب

لازم به ذکر است شناسه پایانه همان کد دستگاه کارتخوانی است که بر روی هر اتوبوس قرار گرفته است. نمونه ای از داده های ثبت شده در پایگاه داده کارت هوشمند در جدول 4-1 ارائه شده است.

جدول 4-1: نمونه ای از داده های کارت های

هوشمند اتوبوس رانی شهر اراک

| شناسه کارت          | زمان تراکنش | تاریخ تراکنش | شناسه پایانه | مانده حساب (ریال) | کرایه (ریال) |
|---------------------|-------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
| IDD00049A48EAAB4380 | ۵:۵۲:۵۹     | ۵/۲۱/۲۰۱۶    | ۵۷۰۰۲۲۶۳     | ۵۰۰۰              | ۲۵۰۰         |
| IDD00048E4BBAAF4380 | ۵:۵۸:۴۲     | ۵/۲۱/۲۰۱۶    | ۵۷۰۰۱۹۳۸     | ۱۵۰۰۰             | ۲۵۰۰         |
| IDD00042810F2AB4380 | ۶:۰۱:۴۲     | ۵/۲۱/۲۰۱۶    | ۵۷۰۰۱۹۴۸     | ۲۲۱۰۰۰            | ۲۵۰۰         |
| IDD00040A5F7A8C3180 | ۶:۰۳:۴۳     | ۵/۲۱/۲۰۱۶    | ۵۷۰۰۱۹۶۱     | ۴۱۵۰۰             | ۲۵۰۰         |
| IDD00048144EAAB4380 | ۶:۰۳:۴۸     | ۵/۲۱/۲۰۱۶    | ۵۷۰۰۲۳۲۹     | ۳۰۰۰۰             | ۲۵۰۰         |
| IDD00047384B2224480 | ۶:۰۴:۳۸     | ۵/۲۱/۲۰۱۶    | ۵۷۰۰۲۸۸۱     | ۷۶۵۰۰             | ۳۰۰۰         |

مجموعه داده های اصلی و اولیه این مطالعه، کل تراکنش های ثبت شده در پایگاه داده کارت هوشمند شهر اراک از شهریور سال 1394 (شروع استفاده از سیستم کارت هوشمند) تا آبان 1395 بوده است که در این دوره زمانی 67,565 کارت تعداد 6,141,485 تراکنش را ثبت نموده اند.

لازم به ذکر است که بر اساس مدل برنامه‌ریزی حمل و نقل شهر اراک (70)، در یک روز عادی سال 1395 در پاییز می‌بایست بیش از 150 هزار جابجایی (پاره سفر-معادل تعداد تراکنش‌های مورد انتظار در پایگاه داده) در سیستم حمل و نقل همگانی شهر اراک انجام شود. اما بر اساس پایگاه داده در ماه آبان (که ماه بیشینه سفرها با اتوبوس بوده است) به طور روزانه اعدادی در حدود 37 هزار تراکنش ثبت شده است. نکته بسیار مهم این است که در دوره زمانی مورد مطالعه، همه مسافران حمل و نقل همگانی دارای کارت هوشمند نبوده و بخش قابل توجهی به صورت نقدی کرایه خود را پرداخت کرده‌اند. لذا پایگاه داده موجود کمتر از 25 درصد کل سفرهای حمل و نقل همگانی را در بر گرفته است و در واقع تحلیل‌های ارائه شده در این مطالعه بر اساس یک نمونه‌گیری از کل سفرها انجام شده است.

#### ۲-۱-۴ داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه

در سامانه موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه اتوبوسرانی اراک، زمان رسیدن اتوبوس به هر ایستگاه ثبت می‌شود. یعنی هرگاه اتوبوسی در نزدیکی ایستگاهی توقف کند یک سطر از اطلاعات در پایگاه داده ثبت می‌شود که شامل تاریخ و زمان رسیدن اتوبوس به ایستگاه، نام ایستگاه و شماره پلاک اتوبوس است. در جدول 2-4 نمونه‌ای از داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه اتوبوسرانی اراک ارائه شده است.

جدول ۲-۴: نمونه‌ای از داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه

| شماره پلاک | نام ایستگاه      | زمان رسیدن             |
|------------|------------------|------------------------|
| ۱۳۵۹۲      | شروع سرداران 107 | ۲۰۱۷-۰۵-۰۹ ۰۶:۰۲:۳۰.۷۸ |
| ۱۳۵۹۲      | مصلی 1870        | ۲۰۱۷-۰۵-۰۹ ۰۶:۱۰:۱۸.۸۶ |
| ۱۳۵۹۲      | بهزیستی 125 1    | ۲۰۱۷-۰۵-۰۹ ۰۶:۱۰:۴۸.۸۷ |
| ۱۳۵۹۲      | ابتدای غفاری 126 | ۲۰۱۷-۰۵-۰۹ ۰۶:۱۱:۳۳.۸۸ |
| ۱۳۵۹۲      | حاج کاظمی 201    | ۲۰۱۷-۰۵-۰۹ ۰۶:۱۴:۰۴.۹۱ |
| ۱۳۵۹۲      | آتشنشانی 202     | ۲۰۱۷-۰۵-۰۹ ۰۶:۱۵:۳۴.۹۳ |

لازم به ذکر است که داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه فقط برای یک روز موجود بوده است. بنابراین فرض شده است که در طی بازه زمانی مورد مطالعه، تغییر خاصی در برنامه زمان‌بندی اتوبوس‌ها ایجاد نشده است. در نهایت با انطباق شناسه پایانه با پلاک اتوبوس و تعیین خط هر پایانه می‌توان اطلاعات مربوط به هر خط اتوبوسرانی شامل زمان تور و زمان استراحت اتوبوس در ایستگاه پایانه را محاسبه نمود.

## ۲-۴ آماده سازی پایگاه داده

پاک سازی داده ها اولین مرحله از آماده سازی داده ها برای تحلیل است که شامل تشخیص داده های گمشده و جایگزینی آن ها با مقادیر مناسب و شناسایی و تصحیح داده های پرت یا معیوب در اطلاعات اولیه است. در ابتدا برای سهولت انجام کار، شناسه کارتها به ترتیب اعداد صحیح از 1 تا 67,739 (تعداد کارتها) شماره گذاری شده است. همچنین زمان تراکنش ها به صورت تعداد روز از تاریخ یکم ژانویه سال یکم میلادی تغییر داده شده است. در مرحله بعد داده های معیوب و تکراری مطابق آنچه که در ادامه گفته شده است از مجموعه داده ها حذف گردیده است. لازم به ذکر است که با بررسی داده های موجود مشخص شد که تمامی پارامترهای هر ردیف از داده های ثبت شده دارای مقدار است و داده ی گمشده ای وجود ندارد.

### ۱-۲-۴ زمان تراکنش

زمان سرویس دهی اتوبوسرانی شهر اراک از ساعت 6 الی 22 است. در صورتی که زمان ثبت شده ی بعضی از تراکنش ها خارج از این بازه زمانی است. تعداد کل تراکنش های خارج از زمان سرویس دهی برابر 7478 تراکنش به دست آمده است. با توجه به درصد پایین این تعداد نسب به کل تراکنش های موجود (کمتر از 0.1 درصد)، این تراکنش ها حذف شده است.

### ۴-۲-۲ تاریخ تراکنش

با توجه به اینکه تعداد بسیار کمی تراکنش در دو ماهه اول راه اندازی سیستم کارت هوشمند (شهریور و مهر سال 1394) ثبت شده است، این تراکنشها (328 تراکنش) حذف گردیده است.

### ۴-۲-۳ تراکنش های هم زمان کارت

در ابتدا تراکنش های هر کارت بر اساس زمان مرتب شده است. سپس اختلاف زمانی هر تراکنش با تراکنش بعد از خود بر حسب ثانیه محاسبه شده است. حال اگر این اختلاف صفر باشد و مانده حساب کارت نیز تغییری نکرده باشد یعنی تراکنش بعدی تکراری است و باید حذف شود. تعداد 140000 تراکنش هم زمان برای کل کارت ها به دست آمده است که از مجموعه داده ها حذف گردیده است.

## ۴-۲-۴ کارت‌های غیر فعال

از آنجایی که تحلیل رفتار سفر هر فرد بر اساس تاریخچه سفرهایش انجام می‌گیرد بنابراین کارت‌هایی که در دوره زمانی مطالعه فقط یک تراکنش ثبت شده دارند قابل استفاده نیستند چرا که تاریخچه‌ی سفر برای این کارت‌ها وجود ندارد پس تراکنش‌های مربوط به این کارت‌ها از مجموعه داده‌ها حذف می‌شود.

## ۴-۲-۵ شناسه پایانه

با بررسی داده‌های کارت هوشمند مشاهده شده‌است که در تراکنش‌های ثبت شده از تاریخ بیست‌ونهم بهمن 1394 تا اول تیر 1395 مقادیر صحیحی برای شناسه پایانه اتوبوس در پایگاه داده کارت هوشمند ثبت نشده است. به عبارت دیگر شناسه‌های ثبت شده در تراکنش‌های پایگاه داده با هیچ یک از شناسه‌های ثبت شده در داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه همخوانی نداشته‌است. بنابراین در این دوره زمانی مشخص نمی‌شود که هر تراکنش متعلق به کدام خط اتوبوس‌رانی بوده است و در نتیجه امکان تخمین مبدا و مقصد این تراکنش‌ها وجود نداشته است. در نهایت پس از حذف این تراکنش‌ها تعداد کل تراکنش‌های پایگاه داده برابر 4,342,611 عدد شده‌است که شامل تراکنش‌های ثبت شده در ماه‌های آبان، آذر، دی و بهمن سال 1394 و ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان سال 1395 است. در جدول 3-4 نمونه‌ای از داده‌های تمیز شده در پایگاه داده نهایی شده است.

جدول 3-4: داده تمیز شده در پایگاه داده نهایی

| شناسه کارت | زمان تراکنش      | مانده حساب (ریال) | کرایه (ریال) | شناسه پایانه |
|------------|------------------|-------------------|--------------|--------------|
| 17290      | 736364.527951389 | 53720             | 2500         | 57002327     |
| 51129      | 736364.527986111 | 51680             | 2500         | 57001971     |
| 17290      | 736364.527986111 | 40580             | 3000         | 57002327     |
| 20443      | 736364.527986111 | 37460             | 3000         | 57002383     |
| 22779      | 736364.527997685 | 49350             | 3000         | 57002001     |

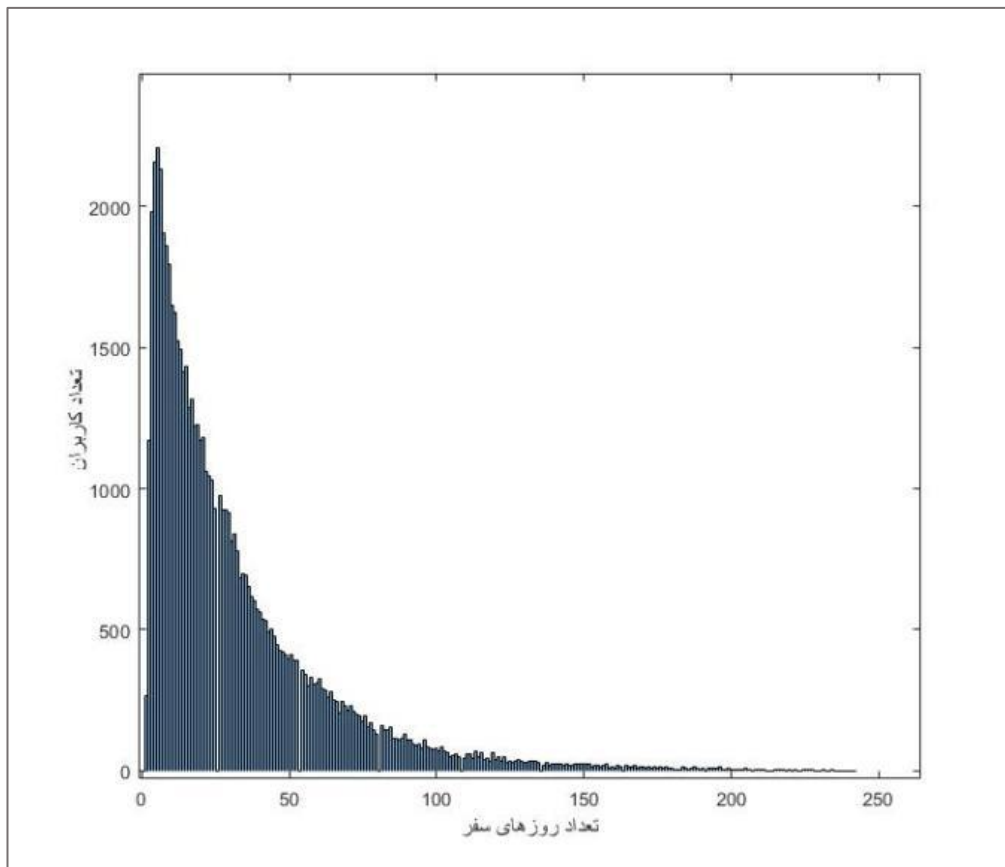
## ۳-۴ آمار توصیفی

در این بخش با ارائه جداول و نمودارهایی وضعیت پایگاه داده بر اساس ویژگی‌های تراکنش‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌است. در ابتدا آمار مربوط به تعداد روزهای سفر کاربران در سیستم ارائه شده‌است. سپس تعداد

تراکنش‌ها به صورت ماهانه بررسی شده است و در انتها الگوی زمانی تراکنش‌ها به تفکیک ساعت و روزهای هفته ارائه شده است.

#### ۱-۳-۴ تعداد روزهای سفر

تعداد روزهایی که هر کارت در سیستم فعال بوده است نشان‌دهنده تعداد روزهای سفر فرد دارنده کارت است. بنابراین برای اینکه توزیع تعداد روزهای سفر کاربران به دست آید لازم است که تعداد روزهای فعال هر کارت مشخص شود. شکل 2-4 نشان‌دهنده توزیع تعداد روزهای سفر کاربران است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که تعداد روزهای سفر بیشتر کاربران کمتر از تعداد روزهای فعال سامانه حمل‌ونقل همگانی در بازه زمانی مورد مطالعه (269 روز) بوده است. اطلاعات مربوط به تعداد روزهای سفر کاربران در جدول 4-4 ارائه شده است.



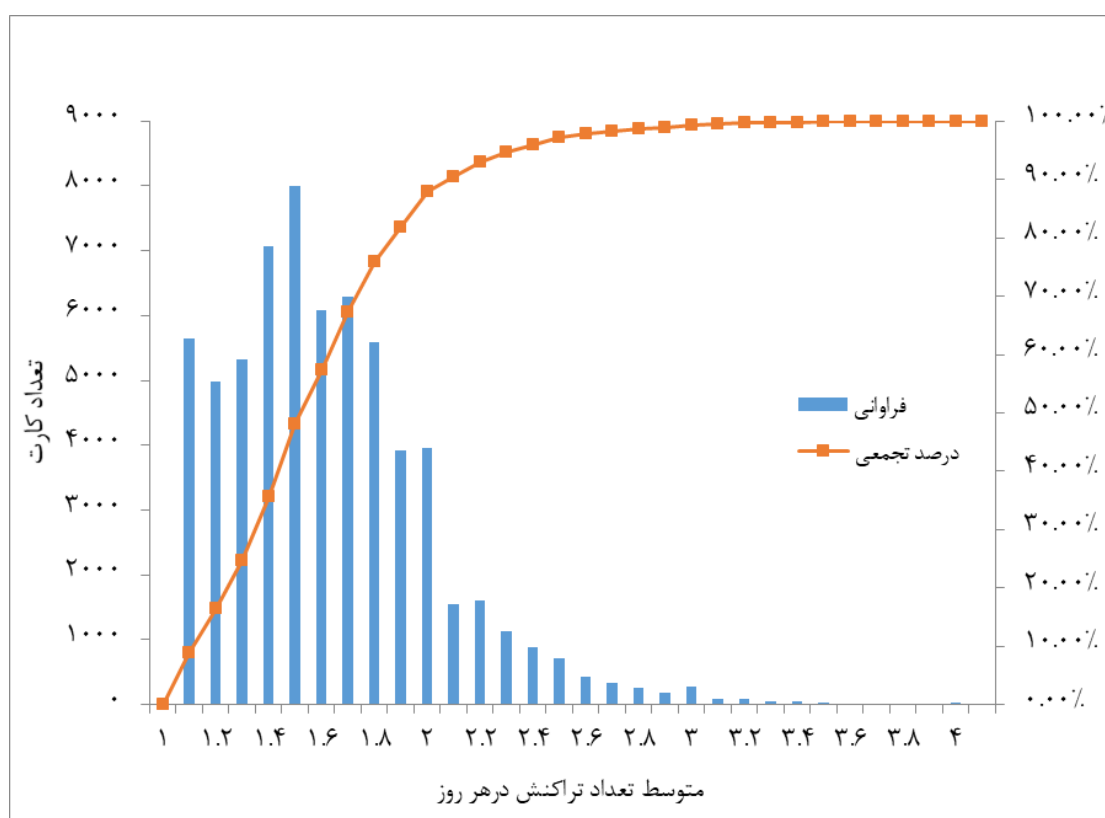
شکل 2-4: توزیع تعداد روزهای سفر کاربران

جدول 4-4: آمار مربوط به تعداد روزهای سفر

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| تعداد روزهای فعال سامانه | 269 روز |
| بیشینه تعداد روزهای سفر  | 242 روز |

|            |                                                      |
|------------|------------------------------------------------------|
| 1 روز      | کمینه تعداد روزهای سفر                               |
| 32 روز     | متوسط تعداد روزهای سفر کل کاربران                    |
| 23,225 نفر | تعداد کاربران با تعداد روزهای سفر بیش از مقدار متوسط |

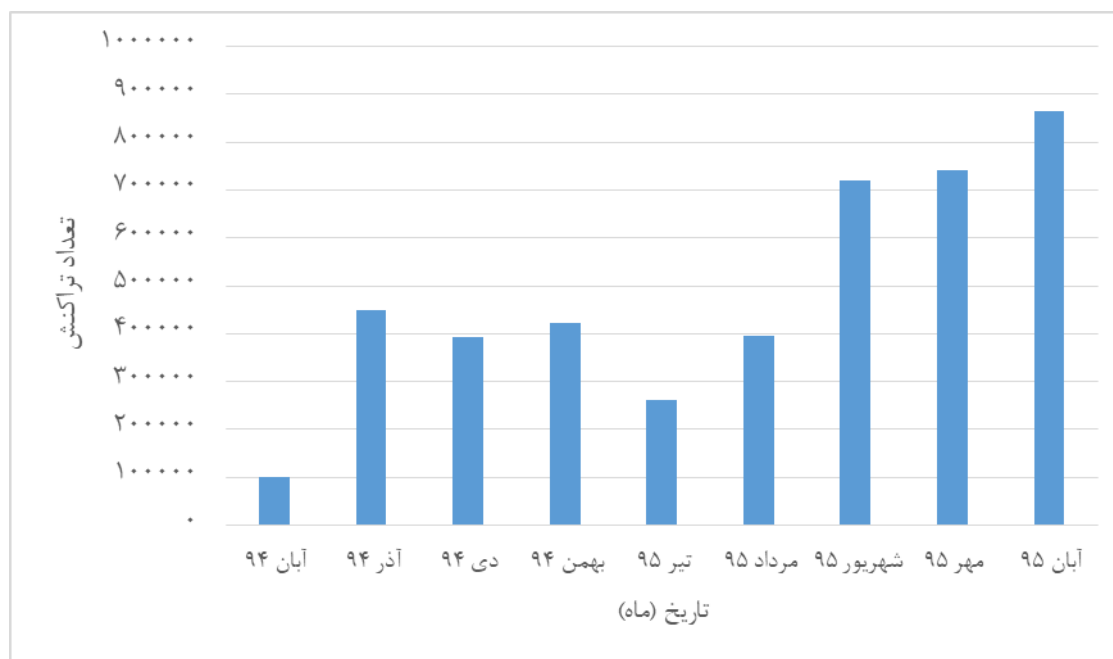
در شکل 3-4 توزیع تعداد کارت‌ها بر اساس متوسط تعداد تراکنش در هر روز ارائه شده است. مشاهده می‌شود که اکثر کارت‌ها به طور متوسط بیش از یک تراکنش ثبت شده در روز داشته‌اند. همچنین تعداد تراکنش روزانه 99 درصد کارت‌ها کمتر از 3 تراکنش بوده است.



شکل 3-4: توزیع کارت‌ها بر اساس متوسط تعداد تراکنش در روز

#### ۲-۳-۴ توزیع زمانی سفرها

همان‌طور که گفته شد پایگاه داده نهایی شامل تراکنش‌های ماه‌های آبان تا بهمن سال 1394 و همچنین ماه‌های تیر تا آبان 1395 است. در شکل 4-4 تعداد تراکنش‌های ثبت‌شده در هر ماه ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در ماه آبان 1394 به دلیل فراگیر نبودن استفاده از کارت هوشمند در بین مسافران، تعداد تراکنش‌های ثبت شده نسبت به ماه‌های دیگر بسیار کمتر بوده است. همچنین به دلیل پایان فعالیت عادی مدارس و دانشگاه‌ها در ماه خرداد، تعداد تراکنش‌های کمتری در تیرماه 1395 ثبت شده است.



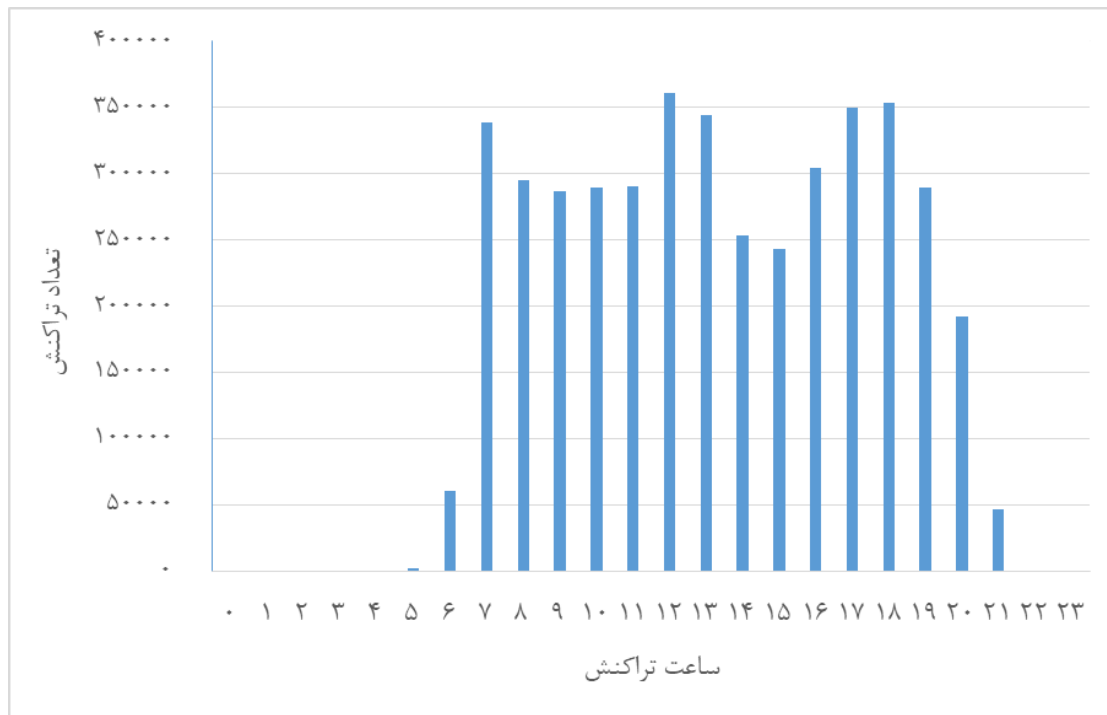
شکل 4-4: تعداد تراکنش‌های ثبت شده در سیستم به تفکیک ماه‌های مختلف

در جدول 4-5 میزان استفاده از کارت هوشمند در روزهای مختلف هفته نمایش داده شده است. ملاحظه می‌شود که اوج سفرها در روز یکشنبه اتفاق افتاده است. همچنین در روزهای پایانی هفته مخصوصاً روز جمعه تعداد تراکنش‌ها افت قابل ملاحظه‌ای یافته است که می‌تواند به دلیل تعطیلی ادارات و مدارس و کمتر شدن سفرهای کاری و تحصیلی باشد.

جدول 4-5: تعداد تراکنش ثبت شده در روزهای مختلف هفته

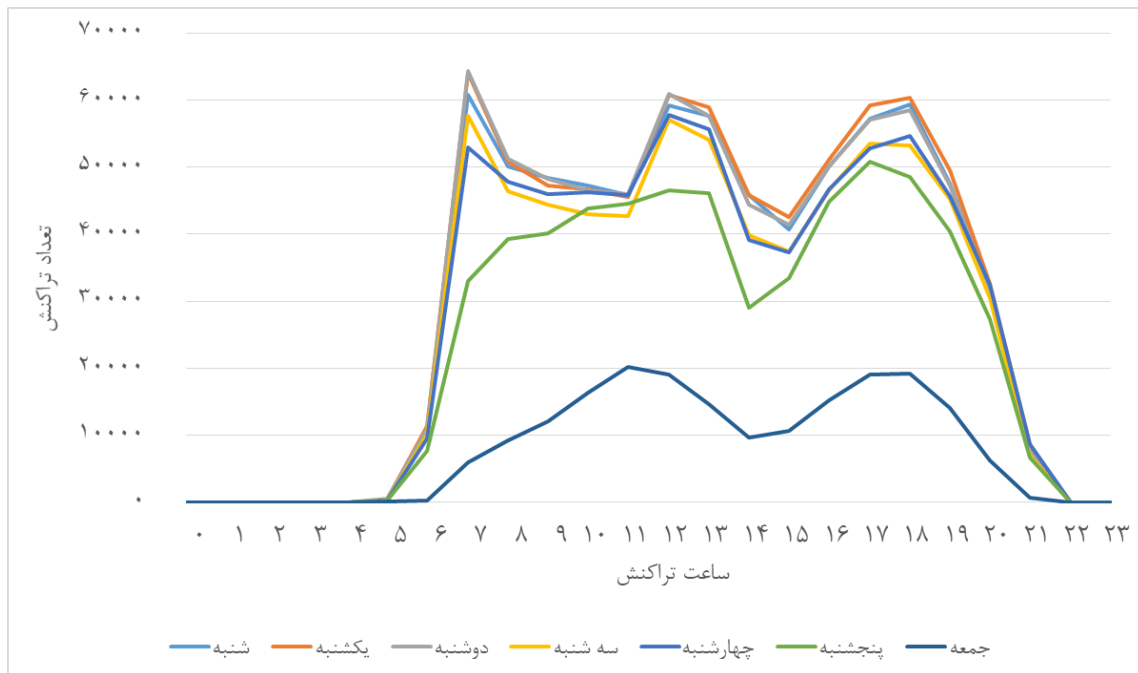
| ردیف | روز هفته | تعداد تراکنش | درصد  |
|------|----------|--------------|-------|
| 1    | شنبه     | 72۶,951      | 16.74 |
| 2    | یک شنبه  | 742,131      | 17.09 |
| 3    | دوشنبه   | 730,869      | 16.8۳ |
| 4    | سه شنبه  | 674,745      | 15.5۴ |
| 5    | چهارشنبه | 685,549      | 15.79 |
| 6    | پنجشنبه  | 587,990      | 13.54 |
| 7    | جمعه     | 194,376      | 4.48  |
|      | مجموع    | 4,3۴۲,۶۱۱    | 100   |

در شکل 4-5 تعداد تراکنش‌های ثبت شده در ساعات مختلف روز نشان داده شده است. با توجه به این شکل، اوج صبح از ساعت 7 الی 8 است و بعد از آن تعداد تراکنش‌ها کاهش می‌یابد. اوج ظهر در دو ساعت پیوسته‌ی 12 الی 14 اتفاق می‌افتد که بیشترین تراکنش مربوط به ساعت 12 است. اوج عصر نیز از ساعت 17 الی 19 است که در ساعت 18 بیشترین تعداد تراکنش ثبت شده است. ملاحظه می‌شود که استفاده عمومی از حمل و نقل همگانی شهر اراک از ساعت 6 الی 21 است.



شکل 4-5: تعداد تراکنش در ساعات روز

در شکل 4-6 توزیع تراکنش‌های ساعات مختلف به تفکیک روزهای هفته نمایش داده شده است. ساعت 7 الی 8 صبح روز دو و شنبه بیشترین مقدار تراکنش ثبت شده در یک ساعت را به خود اختصاص داده است. مشاهده می‌شود که الگوی ساعتی روزهای کاری هفته (شنبه الی چهارشنبه) متفاوت با روزهای غیرکاری هفته (پنجشنبه و جمعه) است. در روزهای کاری سه زمان اوج صبح، ظهر و عصر وجود دارد در صورتی که در روزهای غیرکاری فقط دو زمان اوج ظهر و عصر وجود دارد.



شکل 4-6: توزیع ساعته تراکنش‌های ثبت شده به تفکیک روزهای هفته

#### ۴-۴ تحلیل نتایج

در این بخش به ارائه و تحلیل نتایج مطالعه پرداخته شده است. ابتدا نتایج خوشه‌بندی تراکنش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است سپس نتایج تخمین مبدا و مقصد تراکنش‌ها ارائه شده است. در ادامه نتایج خوشه‌بندی نظم سفر مسافران ارائه گردیده است و در نهایت الگوهای سفر فردی و گروهی با یکدیگر مقایسه شده است.

##### ۴-۴-۱ نتایج خوشه‌بندی تراکنش‌های هر کارت

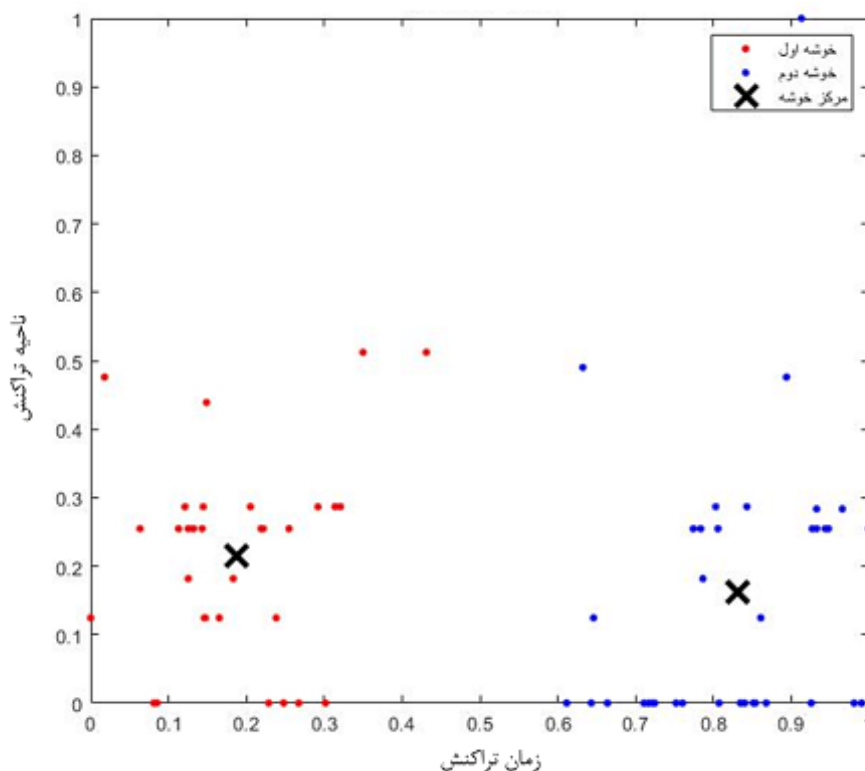
در مجموع تراکنش‌های سی روز آخر 64,710 کارت که برابر با 2,628,473 تراکنش بوده با استفاده از روش خوشه‌بندی میانگین K خوشه‌بندی شده‌است. تراکنش‌های هر کارت در دو خوشه قرار گرفته‌است که با استفاده از مختصات مرکز هر خوشه مشخص شده‌است که تراکنش‌های آن خوشه در چه ساعتی و در چه ناحیه‌ای انجام گرفته است. در شکل 4-7 خوشه‌بندی تراکنش‌های یک کارت به عنوان نمونه ارائه شده‌است. همان‌طور که در این شکل مشخص است تراکنش‌های این کارت در دو خوشه‌ی قرمز رنگ (تراکنش‌های صبح تا ظهر) و خوشه‌ی آبی رنگ (تراکنش‌های عصر تا شب) قرار گرفته‌اند. در هر خوشه نقطه‌ای به عنوان مرکز خوشه مشخص شده‌است که نماینده‌ی تراکنش‌های آن خوشه است. مختصات مرکز خوشه‌های این کارت به صورت رابطه‌ی (4-1) به دست آمده‌است:

$$C_1 = (0.19, 0.22) \quad C_2 = (4-1) \\ (0.82, 0.17)$$

پس از استفاده از رابطه‌ی (3-6) و (3-7)، مقادیر غیراستاندارد مرتبط با مختصات مرکز خوشه‌ها به صورت رابطه‌ی (4-2) به دست آمده‌است:

$$C_1 = (10.1, 6.03) \quad C_2 = (18.2, 5.74) \quad (4-2)$$

مولفه اول مرکز خوشه نشان دهنده ساعت تراکنش و مولفه دوم نشان دهنده فاصله ناحیه پیاده شدن تراکنش از ناحیه مبنا است. فاصله نواحی پیاده شدن تراکنش‌های کارت از ناحیه مبنا در جدول 4-6 ارائه شده است. ناحیه‌ای که نزدیکترین مقدار را به مقدار مولفه دوم مرکز خوشه داشته‌است به عنوان ناحیه مرکز خوشه در نظر گرفته شده‌است. در این مثال ناحیه 35 برای خوشه اول و ناحیه 139 برای خوشه دوم انتخاب شده‌است.



شکل 4-7: مثال خوشه بندی تراکنش‌های یک کارت

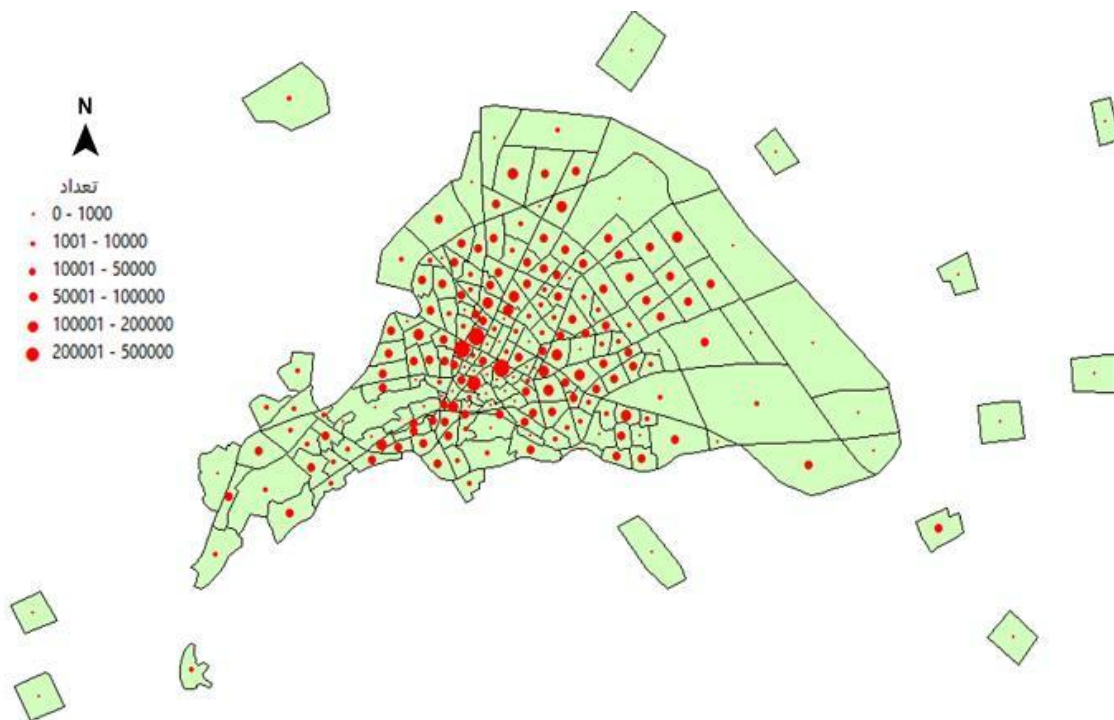
جدول 4-6: فواصل نواحی تراکنش‌های کارت از ناحیه مبنا

| شماره ناحیه | ۱۷۹ | ۱۳۹ | ۱۲۷ | ۱۲۲ | ۸۶ | ۶۴ | ۳۵ | ۱۴۱ | ۱۲۵ | ۶۲ |
|-------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|----|
|             |     |     |     |     |    |    |    |     |     |    |

|            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| فاصله از   | ۱۰.۹۸ | ۵.۷۲ | ۸.۸۸ | ۷.۷۸ | ۴.۷۲ | ۵.۳۹ | ۶.۰۶ | ۵.۴۴ | ۹.۶۵ | ۶.۹۷ |
| ناحیه مبدا |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

#### ۲-۴-۴ نتایج تخمین مبدا-مقصد سفرها

در این مطالعه مبدا تراکنش، ناحیه سوار شدن به اتوبوس و مقصد تراکنش، ناحیه پیاده شدن از اتوبوس تعریف شده است. پس از اعمال روش تخمین مقصد تراکنش بر روی کل تراکنش‌های پایگاه داده کارت هوشمند (4,342,611 تراکنش)، ناحیه پیاده شدن 99 درصد تراکنش‌ها برابر با 4,313,925 تراکنش تخمین زده شده است. سپس از بین این تعداد تراکنش، ناحیه سوار شدن 99.6 درصد آنها تخمین زده شده است. مبدا 3,451,140 تراکنش (80 درصد تراکنش‌ها) با استفاده از روش زنجیره سفر و 862,795 تراکنش (20 درصد تراکنش‌ها) با استفاده از روش خوشه‌بندی تخمین زده شده است. در نهایت تعداد تراکنش‌هایی که هم مبدا و هم مقصد آنها مشخص گردید برابر 4,299,849 تراکنش به دست آمده است. تخمین مبدا تراکنش‌های کارت‌هایی که فقط یک روز در سیستم فعال بوده‌اند و در آن روز فقط یک سفر داشته‌اند، امکان‌پذیر نبوده است، به همین دلیل مبدا 0.4 درصد از تراکنش‌ها تخمین زده نشده است. در شکل 4-8 توزیع مقصد تراکنش‌ها در نواحی حمل و نقل شهر اراک نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که تجمع مقصد تراکنش‌ها در نواحی مرکزی شهر بیشتر است. به دلیل اینکه در نواحی مرکزی کاربری های اداری، تجاری و آموزشی بیشتر از سایر نواحی است، تعداد زیادی از مسافران به طور روزانه برای انجام کار یا تحصیل به این نواحی سفر می‌کنند که منجر به تعداد بیشتر سفرهای جذب شده به این نواحی شده است.



شکل 4-8: مقصد تراکنش‌ها به تفکیک نواحی حمل و نقل شهر اراک

در شکل 4-9 توزیع مبدا تراکنش‌ها در نواحی حمل‌ونقل شهر اراک نمایش شده است. ملاحظه می‌شود که تجمع مبدا تراکنش‌ها در نواحی مرکزی شهر بیشتر است. همان‌طور که تعداد سفرهای جذب شده به نواحی مرکزی شهر بیشتر است، تعداد سفرهای تولید شده از این نواحی نیز بیشتر از سایر نواحی است. زیرا مسافرانی که از محل زندگی خود برای انجام فعالیت (کار، تحصیل و...) به این نواحی سفر کرده‌اند در ادامه روز قصد بازگشت به محل زندگی خود را دارند که باعث شده است مبدا بسیاری از سفرها نواحی مرکزی شهر باشد.



شکل 4-9: مبدا تراکنش‌ها به تفکیک نواحی حمل و نقل شهر اراک

در شکل 4-10 تعداد سفرهای هر خط اتوبوس بر روی نقشه خطوط اتوبوس‌رانی شهر اراک ترسیم شده است. ملاحظه می‌شود که خطوط اتوبوس نواحی شمال و شمال شرقی شهر تعداد سفرهای بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. به دلیل تجمع شهرک‌های مسکونی در این قسمت از شهر، جمعیت بیشتری در این نواحی ساکن هستند و هرچه جمعیت بیشتر باشد تقاضای سفر بیشتر است، بنابراین سفرهای بیشتری به وسیله خطوطی که مسیر حرکت آنها از این نواحی می‌گذرد انجام شده است.



شکل 4-10: تعداد سفرها به تفکیک خطوط اتوبوسرانی شهر اراک

پس از اینکه مبدا و مقصد کل تراکنش‌ها مشخص گردید با در نظر گرفتن زمان مجاز تغییر خط، تعداد 215,517 تراکنش به عنوان سفرهای تغییر خط شناسایی شده است و بقیه تراکنش‌ها به عنوان سفرهای مبدا-مقصد در نظر گرفته شده‌است. در جدول 4-7 خلاصه‌ای از نتایج تخمین مبدا-مقصد سفرها ارائه شده‌است.

جدول 4-7: خلاصه نتایج تخمین مبدا مقصد سفرها

| تعداد     |                                       |
|-----------|---------------------------------------|
| 4,342,611 | کل تراکنش‌های پایگاه داده             |
| 4,313,925 | تراکنش‌هایی که مقصد آنها تخمین زده شد |
| 4,299,849 | تراکنش‌هایی که مبدا آنها تخمین زده شد |
| 215,517   | سفرهای تعویض خط                       |
| 4,084,332 | کل سفرهای مبدا-مقصد                   |

#### ۴-۴-۳ ارزیابی نتایج تخمین مبدا-مقصد سفرها

همان‌طور که در فصل قبل توضیح داده شد، محل پیاده‌شدن تراکنش‌ها بر اساس زمان تور اتوبوس و ایستگاه پایانه تخمین زده شده‌است. به عبارت دیگر بدون داشتن کل تراکنش‌های یک تور اتوبوس و مشخص نبودن ایستگاه‌های پایانه در هر تور، تخمین محل پیاده‌شدن تراکنش‌ها امکان‌پذیر نبوده‌است. از طرف دیگر داده‌ای که محل دقیق پیاده‌شدن و سوار شدن کل تراکنش‌های یک تور اتوبوس را ثبت کرده باشد در دسترس نبوده‌است. بنابراین امکان ارزیابی روش تخمینی محل پیاده‌شدن تراکنش‌ها وجود نداشته‌است. اما در مرحله بعدی که ناحیه سوار شدن هر تراکنش بر اساس ناحیه پیاده‌شدن آن تخمین زده شده‌است، از روش زنجیره سفر برای تخمین محل سوار شدن 80 درصد تراکنش‌ها استفاده شده‌است. برای ارزیابی نتایج این مرحله از اطلاعات آمارگیری مبدا-مقصد خانوارهای شهر اراک در سال 1386 استفاده شده‌است. در این آمارگیری اطلاعات دقیق سفرهای افراد مثل وسیله انجام سفر، زمان شروع و پایان سفر و ناحیه مبدا و مقصد سفر ثبت شده‌است. نحوه اعتبارسنجی روش زنجیره سفر استفاده شده در این مطالعه به صورت مراحل زیر انجام شده‌است:

- ابتدا افرادی که در روز آمارگیری بیش از یک سفر با اتوبوس داشته‌اند برای اعتبارسنجی انتخاب شده‌اند.
  - با استفاده از روش زنجیره سفر، ناحیه مبدا سفرهای این افراد بر اساس مقصدهایشان تخمین زده شده‌است.
  - ناحیه مبدا تخمین زده شده با ناحیه واقعی مبدا سفر که در آمارگیری ثبت شده مقایسه گردیده‌است.
  - درصد سفرهایی که مبدا تخمینی و مبدا واقعی آنها یکی شده به دست آمده‌است.
- نتایج نشان داد که مبدا 89 درصد سفرها با استفاده از روش زنجیره سفر به درستی تخمین زده شده‌است.

#### ۴-۴-۴ نتایج خوشه‌بندی نظم سفر

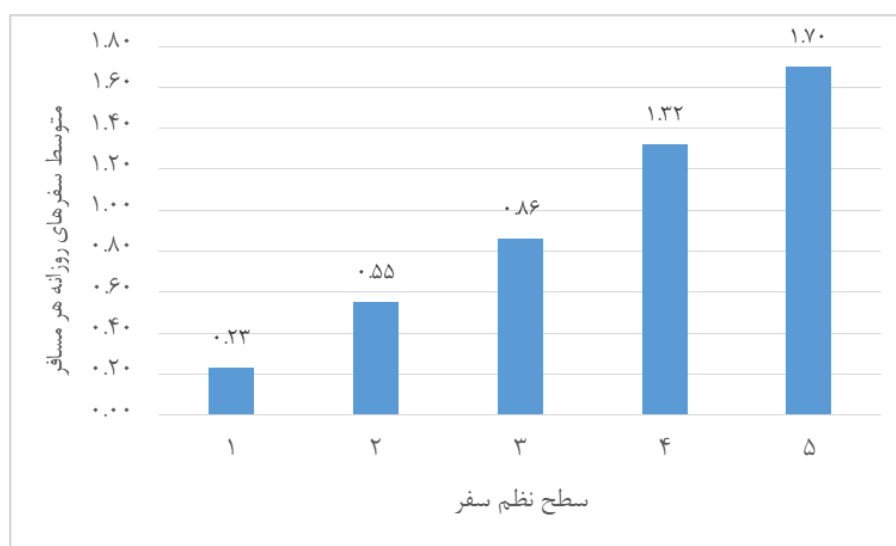
همان‌طور که در بخش 3-4 توضیح داده شد برای خوشه‌بندی نظم انجام سفر تراکنش‌های ثبت شده در ماه آخر از پایگاه داده‌های کارت هوشمند انتخاب شده‌است. پنج خوشه برای نظم انجام سفر در نظر گرفته شده‌است که هر کارت بر اساس سه ویژگی تعداد روزهای سفر، ساعت اولین سفر روز و مقصد اولین سفر روز، در یکی از خوشه‌ها قرار گرفته‌است. نتایج خوشه‌بندی در جدول 4-8 به صورت خلاصه ارائه شده‌است.

جدول 4-8: نتایج خوشه‌بندی نظم سفر

| مرکز خوشه | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|-----------|----|----|----|----|----|
|-----------|----|----|----|----|----|

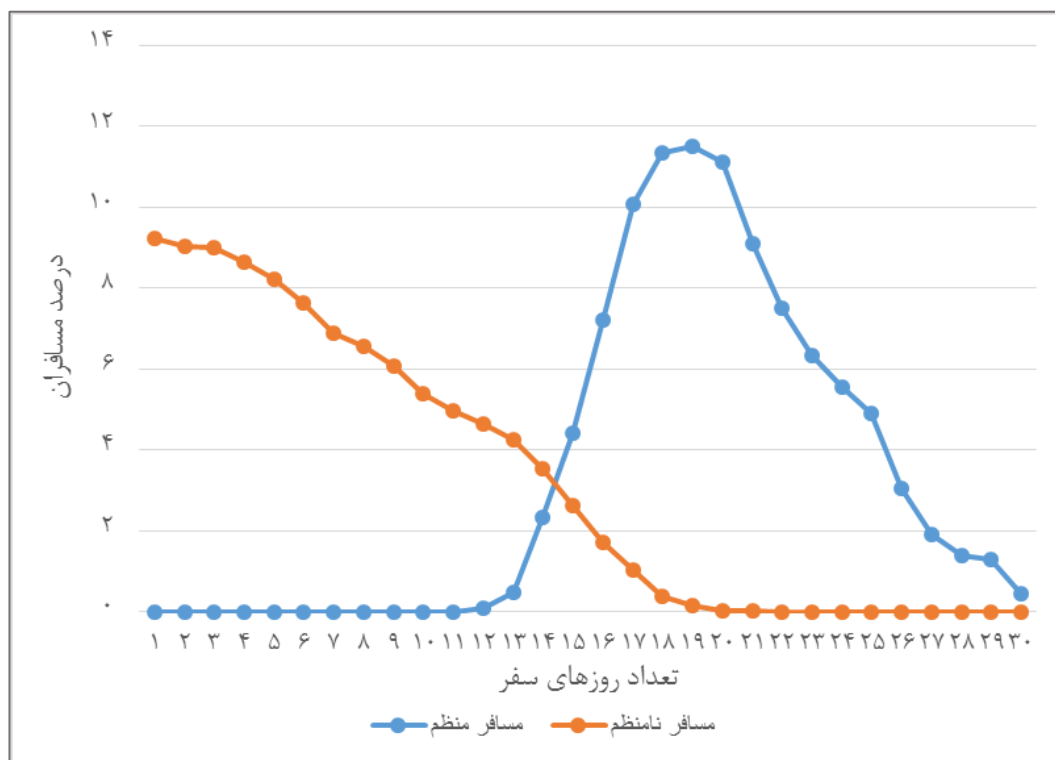
| خیلی زیاد | زیاد  | متوسط | کم     | خیلی کم | سطح نظم سفر           |
|-----------|-------|-------|--------|---------|-----------------------|
| ۲۳.۵      | ۱۸.۵  | ۱۳    | ۷.۶    | ۲.۸     | تعداد روزهای سفر      |
| ۱۹.۱      | ۱۱.۶  | ۷.۱   | ۴.۱    | ۱.۷     | تعداد ساعت مشابه      |
| ۱۰.۲      | ۶.۶۴  | ۴.۴   | ۲.۷۴   | ۱.۳۶    | تعداد نواحی مشابه     |
| ۲,۶۹۸     | ۵,۶۷۰ | ۸,۷۱۸ | ۱۲,۱۲۳ | ۱۴,۶۹۴  | تعداد کارت‌های هوشمند |
| ۶         | ۱۳    | ۲۰    | ۲۸     | ۳۳      | درصد از کل کارت‌ها    |

ملاحظه می‌شود که اکثریت مسافران (61 درصد) دارای سطح نظم سفر کمتر از متوسط هستند یعنی بیشتر مسافران به طور روزانه و به صورت منظم از حمل و نقل همگانی استفاده نکرده‌اند. همچنین سطح نظم سفر 19 درصد مسافران بیشتر از متوسط بوده‌است و این افراد حداقل در 18 روز از ماه سفر کرده‌اند. اگر سطح نظم سفر زیاد و خیلی زیاد به عنوان سطوح نشان دهنده مسافران منظم و سطح نظم سفر متوسط، کم و خیلی کم به عنوان سطوح نشان دهنده مسافران غیر منظم در نظر گرفته شود، 19 درصد کارت‌ها متعلق به مسافران منظم و 81 درصد متعلق به مسافران غیر منظم می‌باشد. در شکل 4-11 متوسط تعداد سفرهای روزانه در ماه بر اساس سطح نظم سفر نمایش داده شده‌است. هرچه سطح نظم سفر بیشتر شود متوسط تعداد سفرهای روزانه مسافر افزایش می‌یابد. مسافران منظم به طور متوسط روزانه بیش از یک سفر انجام داده‌اند.

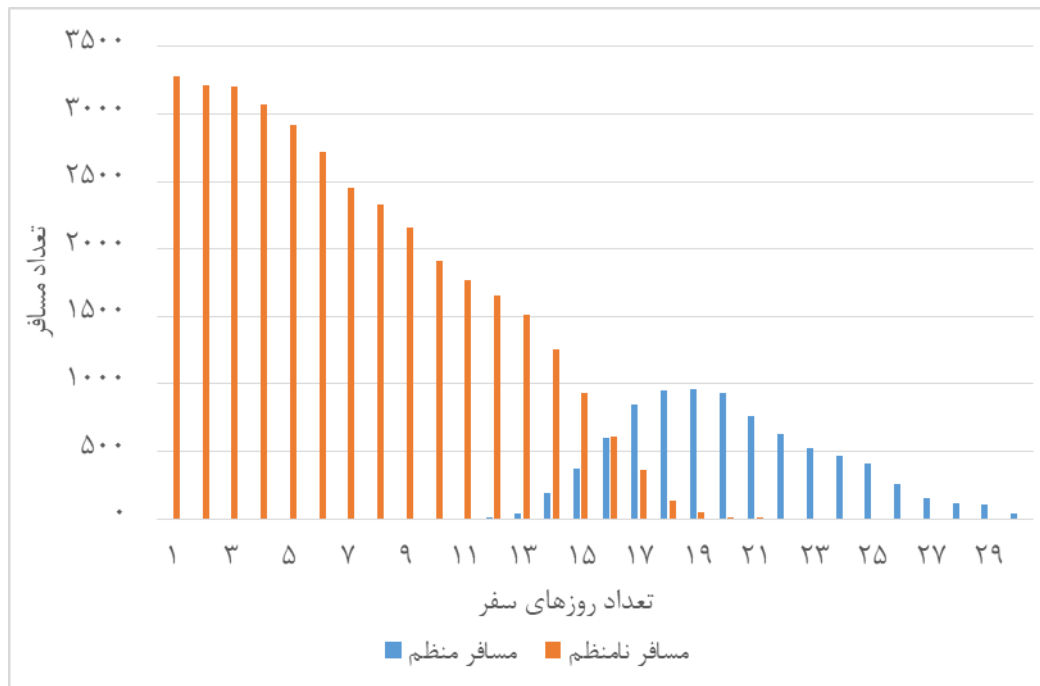


شکل 4-11: تعداد متوسط سفرهای روزانه هر مسافر در هر خوشه

در شکل 4-12 درصد مسافران منظم و غیر منظم بر اساس تعداد روزهای سفر در ماه مشخص شده است. پرتکرارترین تعداد روزهای سفر برای مسافران منظم 18 تا 20 روز بوده است که تقریباً برابر با تعداد روزهای کاری در ماه است. بیش از 85 درصد مسافران منظم بیشتر از 17 روز در ماه سفر کرده‌اند در صورتی که 90 درصد مسافران غیر منظم کمتر از 13 روز سفر در ماه داشته‌اند. شکل 4-13 تعداد مسافران منظم و غیر منظم را به تفکیک تعداد روزهای سفر نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که هرچه تعداد روزهای سفر بیشتر شده از تعداد مسافران نامنظم کاسته شده است. همچنین تعداد مسافران منظم ابتدا با افزایش تعداد روزهای سفر افزایش یافته است اما پس از روز 19، تعداد این مسافران نیز رو به کاهش رفته است.



شکل 4-12: توزیع تعداد روزهای سفر مسافران منظم و غیر منظم



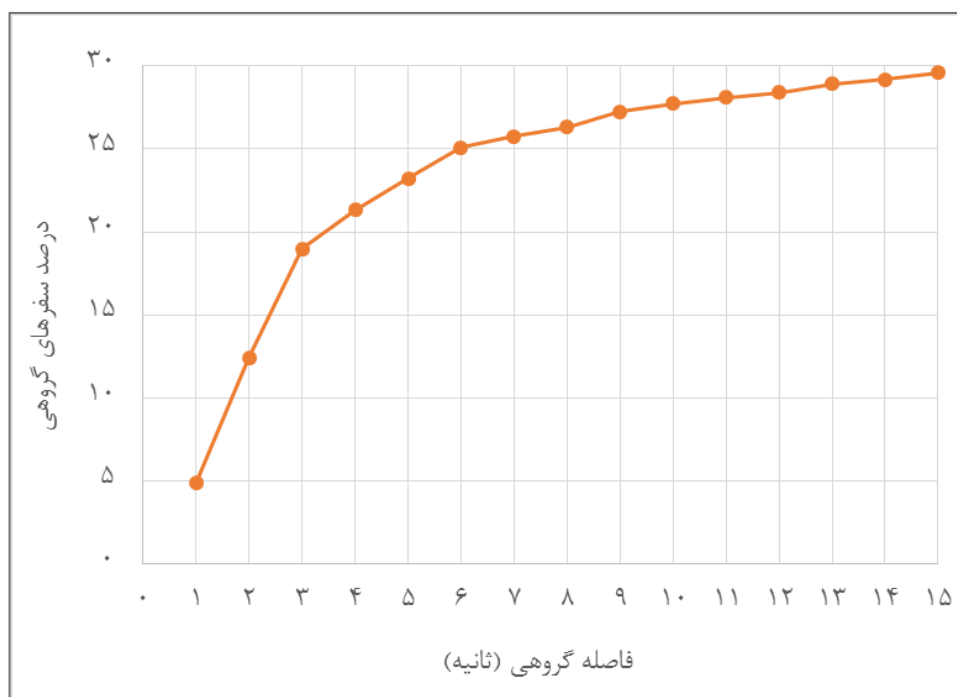
شکل 4-13: تعداد مسافران منظم و غیر منظم به تفکیک تعداد روزهای سفر

#### ۵-۴-۴ نتایج سفرهای فردی و گروهی

##### ۱-۵-۴-۴ تحلیل حساسیت

در تحلیل حساسیت، میزان اثرگذاری تغییرات یک متغیر ورودی (متغیر مستقل) بر روی یک متغیر خروجی (متغیر وابسته) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. همانطور که پیش‌تر توضیح داده شد، در این مطالعه درصد سفرهای گروهی از کل سفرهای انجام شده، بر اساس فاصله گروهی (یا همان فاصله زمانی بین کارت زدن اعضای یک گروه) تعیین شده‌است. بنابراین فاصله گروهی، متغیر ورودی و درصد سفرهای گروهی، متغیر خروجی مسئله مورد نظر می‌باشد. برای بررسی اثر تغییرات فاصله گروهی بر روی درصد سفرهای گروهی، از 15 بازه زمانی مختلف (از 1 تا 15 ثانیه) برای شناسایی سفرهای گروهی استفاده شده‌است. بدین منظور تراکنش‌های هفته پایانی از داده‌های کارت هوشمند انتخاب شده و تاثیر فواصل گروهی مختلف بر روی درصد سفرهای گروهی از کل سفرها مورد بررسی قرار گرفته‌است. نتایج تحلیل حساسیت در شکل 4-14 ارائه شده‌است. ملاحظه می‌شود که با تغییر فاصله گروهی از 1 تا 15 ثانیه، درصد سفرهای گروهی از 5 تا 30 درصد افزایش یافته‌است. با توجه به نمودار با افزایش فاصله گروهی از 1 تا 3 ثانیه درصد سفرهای گروهی به طرز قابل توجهی افزایش یافته‌است. همچنین در فواصل گروهی بیشتر از 6 ثانیه تغییری چندانی در درصد سفرهای گروهی ایجاد نشده‌است. در این مطالعه با توجه به سیستم اتوبوسرانی شهر اراک و میزان توقفی که اتوبوس‌ها در ایستگاه‌ها دارند فاصله گروهی، کمتر از 10 ثانیه لحاظ شده‌است. به عبارت دیگر

اگر فاصله زمانی بین کارت زدن دو فردی که از یک اتوبوس پیاده می‌شوند کمتر از 10 ثانیه باشد و ناحیه سوار شدن آن‌ها نیز یکی باشد، سفرهای آن‌ها به عنوان سفر گروهی در نظر گرفته می‌شود.



شکل 4-14: نتایج تحلیل حساسیت روش شناسایی سفرهای گروهی

#### ۲-۵-۴-۴ نتایج کلی شناسایی سفرهای فردی و گروهی

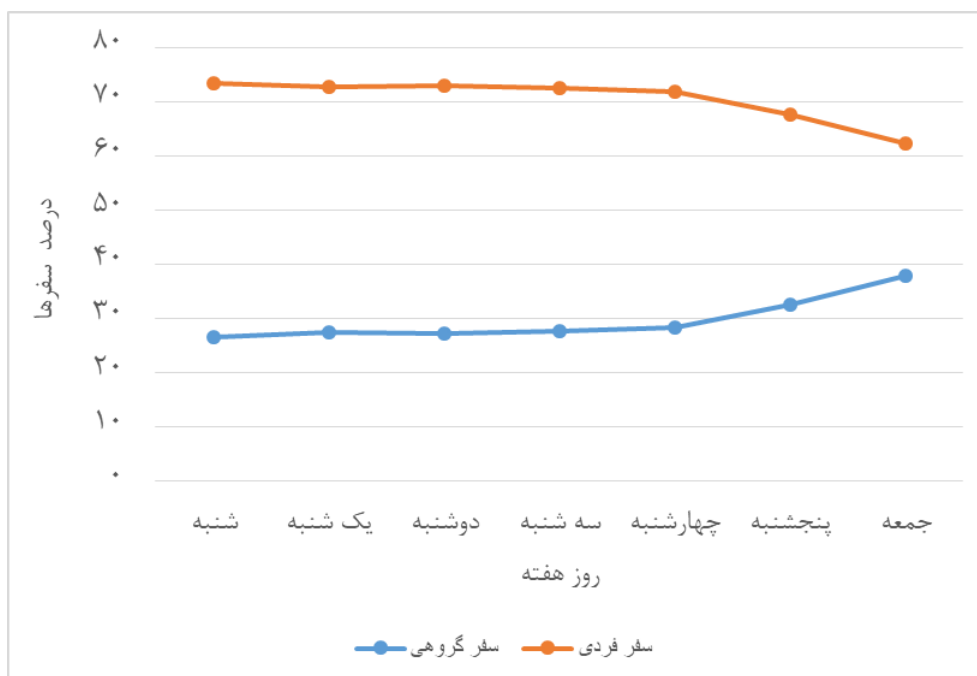
در مجموع 4,084,332 سفر انجام شده در سامانه حمل و نقل همگانی شهر اراک، 1,164,497 سفر (28 درصد کل سفرها) به عنوان سفر گروهی شناسایی شده‌است. همچنین از 64,710 کارت هوشمند موجود در پایگاه داده، 59,042 کارت حداقل یک سفر گروهی در دوره زمانی مطالعه داشته‌اند. در جدول 4-9 تعداد سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای هفته ارائه شده‌است. ملاحظه می‌شود بیشترین تعداد سفرهای فردی و گروهی متعلق به روز یکشنبه است.

جدول 4-9: تعداد سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای هفته

| روز هفته       | شنبه    | یکشنبه  | دوشنبه  | سه شنبه | چهارشنبه | پنجشنبه | جمعه    |
|----------------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| تعداد سفر فردی | 507,065 | 509,206 | 504,222 | 492,914 | 458,469  | 366,816 | 113,389 |

| تعداد     |         |         |         |         |         |         |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| سفر گروهی | 69,031  | 176,890 | 181,054 | 174,635 | 188,046 | 190,453 |
| مجموع     | 182,420 | 543,706 | 639,523 | 634,104 | 693,468 | 700,659 |

از آنجایی که در روزهای پایانی هفته تعداد کل سفرها کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد، تعداد سفرهای گروهی نیز کاهش پیدا می‌کند. بنابراین برای اینکه مقایسه‌ی بهتری میان روزهای هفته انجام گیرد از درصد سفرهای فردی و گروهی از کل سفرهای انجام شده در روز استفاده شده است. یعنی در هر روز هفته مشخص شده است که چند درصد از کل سفرها، سفر فردی و چند درصد سفر گروهی بوده است. در شکل 4-15 درصد سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای هفته ترسیم شده است. مشاهده می‌شود با نزدیک شدن به روزهای پایانی هفته درصد سفرهای فردی کمتر و درصد سفرهای گروهی بیشتر شده است. در روزهای کاری هفته (شنبه الی چهارشنبه) درصد سفرهای فردی و گروهی از کل سفرها تقریباً ثابت است در صورتی که در روزهای پنجشنبه و جمعه درصد سفرهای گروهی افزایش یافته است و در روز جمعه بیشترین مقدار را دارد. در روزهای پایانی هفته به دلیل تعطیلی مدارس و ادارات سفرهای کاری که معمولاً به صورت فردی انجام می‌شود کمتر شده و سفرهای تفریحی که بیشتر به صورت گروهی (به همراه اعضای خانواده و یا دوستان) انجام می‌گیرد افزایش می‌یابد که به همین دلیل درصد سفرهای گروهی در روزهای پنجشنبه و جمعه بیشتر از سایر روزهای هفته است.

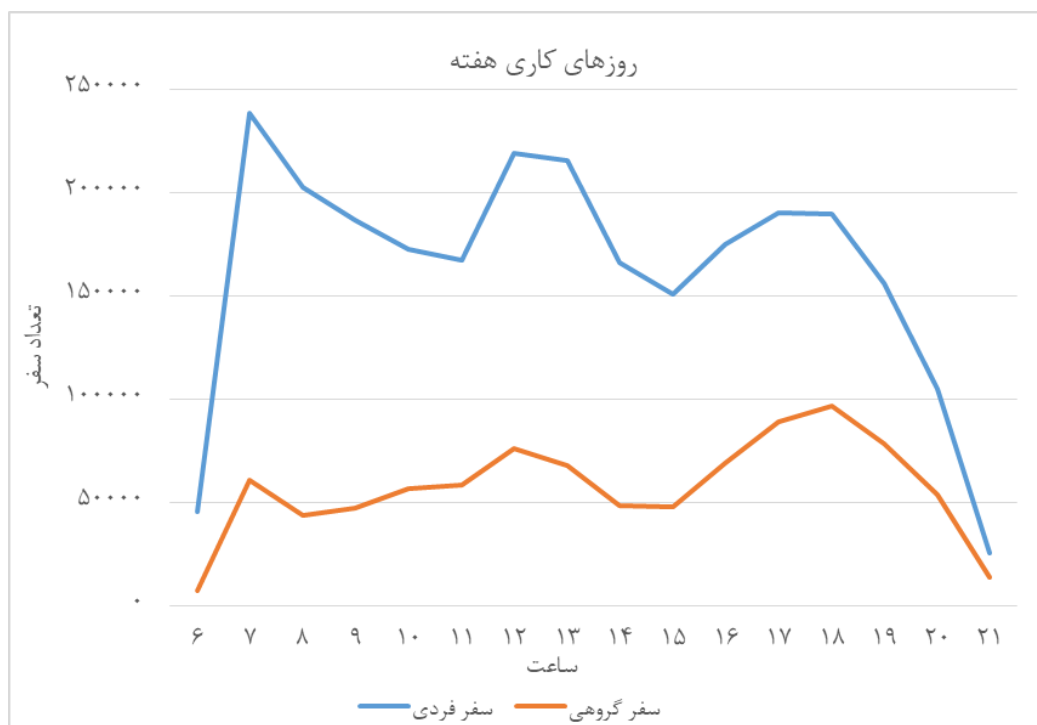


شکل 4-15: درصد سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای هفته

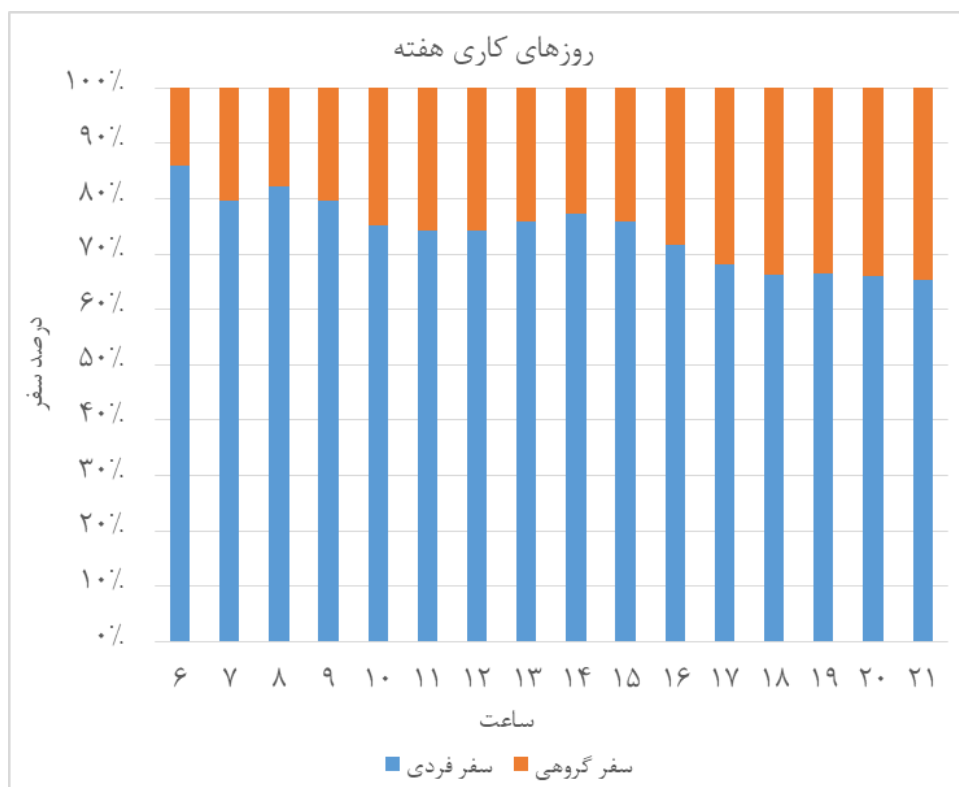
## ۶-۴-۴ مقایسه رفتار سفر فردی و گروهی

## ۱-۶-۴-۴ الگوی زمانی سفر

از آنجایی که روزهای کاری هفته از نظر درصد سفرهای فردی و گروهی مشابه یکدیگر هستند سفرهای این روزها جدا گردیده و الگوی ساعتی آن‌ها با سفرهای روزهای پایانی هفته مقایسه شده‌است. در شکل 4-16 تعداد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای کاری هفته ترسیم شده‌است. با توجه به این شکل در روزهای کاری برای هر دو نوع سفر فردی و گروهی سه زمان اوج صبح، ظهر و عصر ثبت شده‌است. به طوری که بیشترین تعداد سفرهای فردی در ساعت 7 الی 8 صبح انجام گرفته است که مطابق با ساعت بازگشایی ادارات و مدارس است. در این روزها بیشترین تعداد سفرهای گروهی در ساعت 18 الی 19 انجام شده‌است که در این ساعت سفرهای با هدف تفریح و خرید که معمولاً به صورت گروهی است بیشتر انجام می‌شود. در شکل 4-17 درصد سفرهای فردی و گروهی از سفرهای هر ساعت از روزهای کاری هفته نمایش داده شده‌است. ملاحظه می‌شود که در ساعات اولیه صبح (6 الی 9 صبح) درصد کمی از سفرها (تقریباً 20 درصد) به صورت گروهی بوده است. اما در ادامه‌ی روز، درصد سفرهای گروهی افزایش یافته‌است به طوری که در ساعات 18 الی 22، تقریباً 35 درصد سفرها به صورت گروهی انجام گرفته‌است

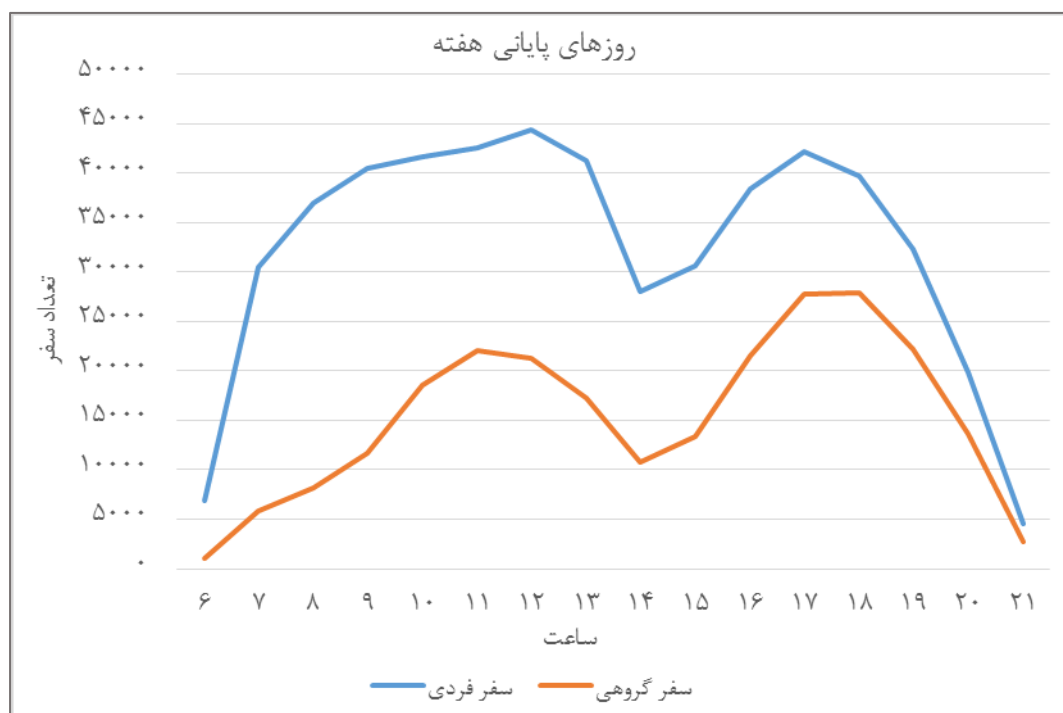


شکل 4-16: تعداد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای کاری هفته



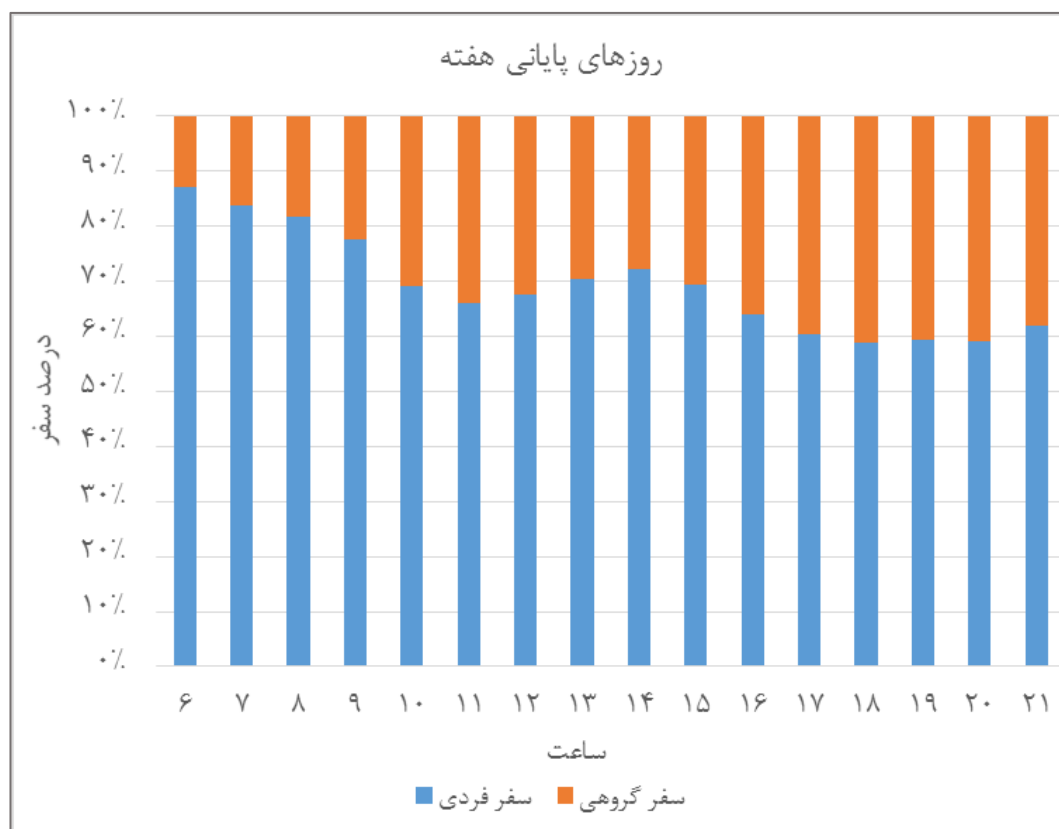
شکل 4-17: درصد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای کاری هفته

در شکل 4-18 تعداد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای پایانی هفته ترسیم شده است. ملاحظه می شود که در روزهای پایانی هفته بر خلاف روزهای کاری، ساعت اوج صبح برای سفرهای فردی و گروهی ثبت نشده است. در این روزها به دلیل تعطیلی ادارات و مراکز آموزشی تعداد سفرهای کمتری در ساعات اولیه صبح انجام گرفته است. برای هر دو نوع سفرهای فردی و گروهی دو زمان اوج ظهر و عصر ثبت شده است به طوری که بیشترین تعداد سفرهای فردی در ساعت 12 الی 13 و بیشترین تعداد سفرهای گروهی در ساعات 17 الی 19 انجام شده است.



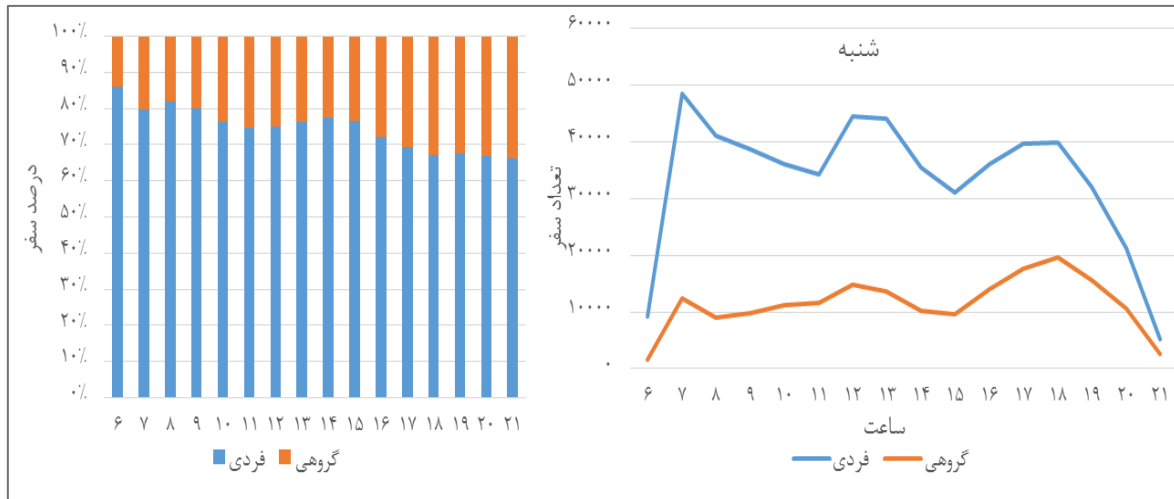
شکل 4-18: تعداد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای پایانی هفته

در شکل 4-19 درصد سفرهای فردی و گروهی از سفرهای هر ساعت از روزهای پایانی هفته ترسیم شده است. ملاحظه می شود که در ساعات اولیه صبح (6 الی 8 صبح) درصد کمی از سفرها (تقریباً 15 درصد) به صورت گروهی بوده است اما با نزدیک شدن به ساعات ظهر درصد سفرهای گروهی افزایش یافته است به طوری که 35 درصد از سفرهای ساعت 11 به صورت گروهی بوده است. بعد از ساعت 11، درصد سفرهای گروهی کاهش یافته است و مجدداً از ساعت 15 درصد سفرهای گروهی افزایش یافته است به گونه ای که در ساعات 18 الی 21، بیش از 40 درصد سفرها به صورت گروهی انجام گرفته است.



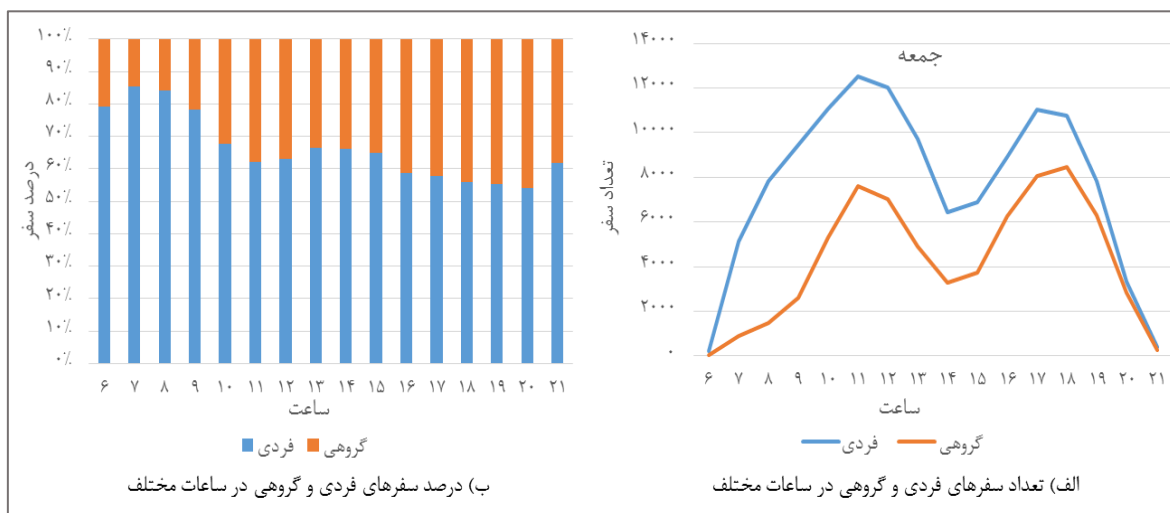
شکل 4-19: درصد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای پایانی هفته

در شکل 4-20 تعداد و درصد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای شنبه به عنوان نمونه از روزهای کاری هفته ارائه شده است. مشاهده می شود که اوج سفرهای فردی در روزهای شنبه در ساعت 7 الی 8 صبح اتفاق افتاده است که بیشتر سفرهای کاری در این ساعت انجام می شود. اما اوج سفرهای گروهی در ساعت 18 الی 19 می باشد که در این ساعت سفرهای با هدف تفریح و خرید، بیشتر انجام می شود. همچنین در ساعات اولیه روزهای شنبه درصد کمی از سفرها به صورت گروهی انجام شده است. اما در ادامه ی روز، درصد سفرهای گروهی افزایش یافته است به طوری که در ساعات 18 الی 22، تقریباً 35 درصد سفرها به صورت گروهی بوده است.



شکل 4-20: تعداد و درصد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای شنبه

در شکل 4-21 تعداد و درصد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای جمعه به عنوان نمونه از روزهای پایانی هفته ارائه شده است. در روزهای جمعه به دلیل تعطیلی تمامی ادارات و مدارس، تعداد سفرها کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است. در این روز تقریباً الگوی ساعتی سفرهای فردی و گروهی مشابه یکدیگر است به طوری که هر دو نوع سفر دارای اوج ظهر و عصر می باشند. بیشترین تعداد سفرهای فردی در ساعت 11 الی 12 انجام شده است در صورتی که بیشترین تعداد سفرهای گروهی در ساعت 18 الی 19 انجام گرفته است. با توجه به شکل 4-19 قسمت (ب) بیش از 45 درصد سفرهای انجام شده در ساعات 16 الی 20 روزهای جمعه به صورت گروهی انجام شده است.



شکل 4-21: تعداد و درصد سفرهای فردی و گروهی در ساعات مختلف روزهای جمعه

با توجه به شکل‌های 4-16 الی 4-21 نتیجه می‌شود که الگوی زمانی سفرهای فردی در روزهای کاری هفته (شنبه الی چهارشنبه) متفاوت با روزهای پایانی هفته است. به طوری که سفرهای فردی در روزهای کاری دارای سه زمان اوج صبح، ظهر و عصر بوده است اما در روزهای پایانی هفته دارای دو زمان اوج ظهر و عصر است. همچنین تفاوت میان الگوی زمانی سفرهای گروهی در روزهای کاری هفته در مقایسه با روزهای پایانی هفته قابل ملاحظه است. به گونه‌ای که در روزهای کاری برای سفرهای گروهی سه زمان اوج صبح، ظهر و عصر ثبت شده است در صورتی که در روزهای پایانی هفته سفرهای گروهی دارای دو زمان اوج ظهر و عصر بوده‌اند.

همچنین در روزهای کاری هفته تعداد سفرهای فردی معمولاً در ساعت 7 الی 8 صبح بیشترین مقدار را دارد که مطابق با شروع ساعت کاری ادارات و مدارس است اما در روزهای پایانی هفته به دلیل تعطیلی مشاغل و مراکز آموزشی، بیشترین تعداد سفرهای فردی در ساعات میانی روز اتفاق افتاده است. اما بیشترین تعداد سفرهای گروهی هم در روزهای کاری و هم در روزهای پایانی هفته در ساعات عصر (17 الی 19) اتفاق افتاده است. از آنجایی که بیشتر سفرهای با هدف تفریح و یا خرید در ساعات بعد از ظهر که شرایط آبهوایی مطلوب‌تر است انجام می‌گیرد و در این سفرها معمولاً افراد با همراه (یا همراهان) خود سفر می‌کنند بنابراین انتظار می‌رود که درصد بیشتری از سفرهای ساعات بعدازظهر به صورت گروهی انجام شود که نتایج به دست آمده نیز حاکی از این موضوع است.

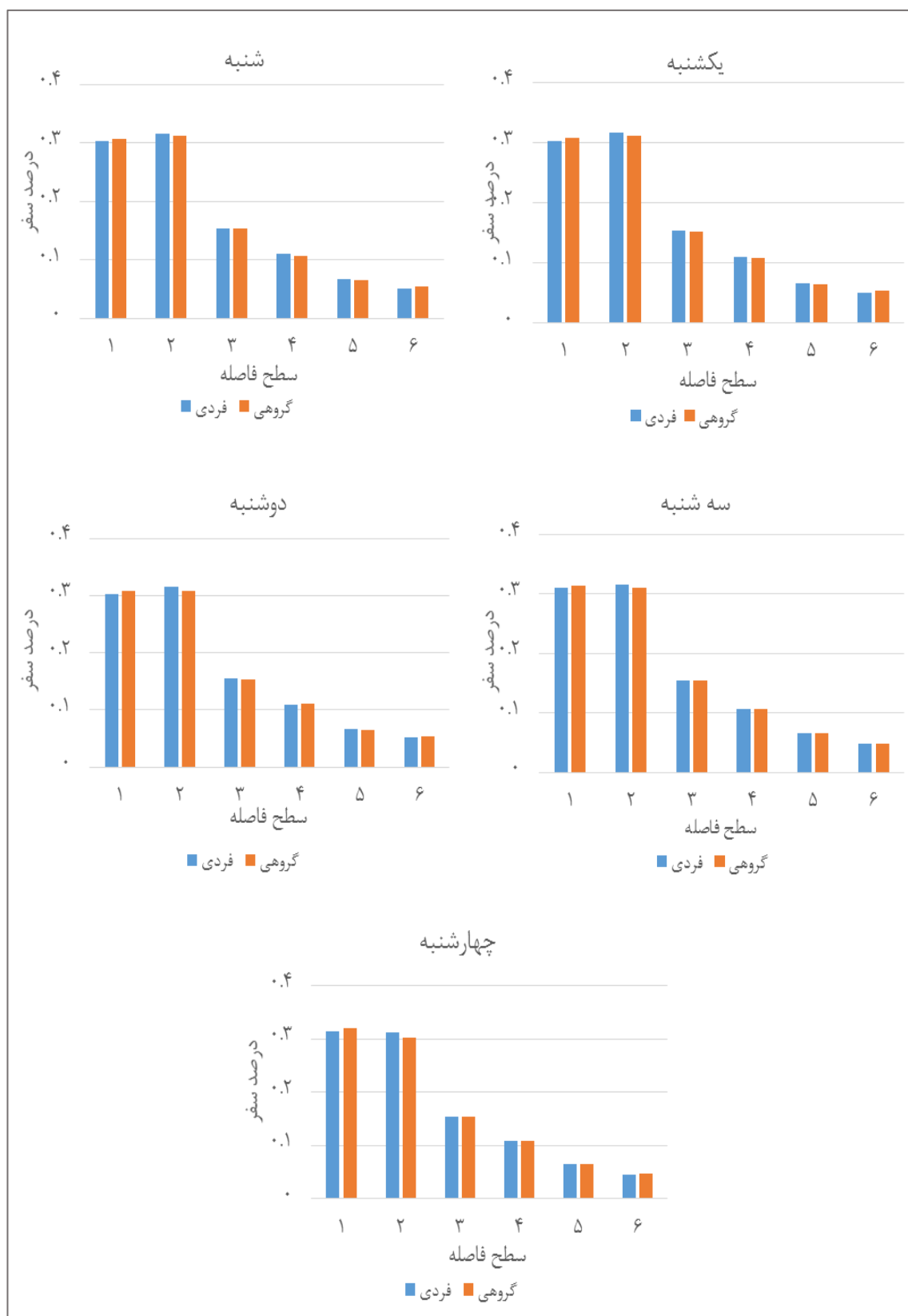
#### ۴-۶-۲ الگوی مکانی سفر

همانطور که در فصل سوم و در بخش 3-6-2 توضیح داده شد برای شناسایی الگوی مکانی سفرها از پارامتر میزان فاصله مقصد سفر از ناحیه مرکزی شهر استفاده شده است. بدین صورت که سفرهای فردی و گروهی بر اساس فاصله‌ای که مقصد آنها از ناحیه مرکزی شهر دارد در شش سطح مطابق جدول 4-10 دسته‌بندی شده‌اند.

جدول 4-10: نحوه دسته‌بندی مکانی سفرها

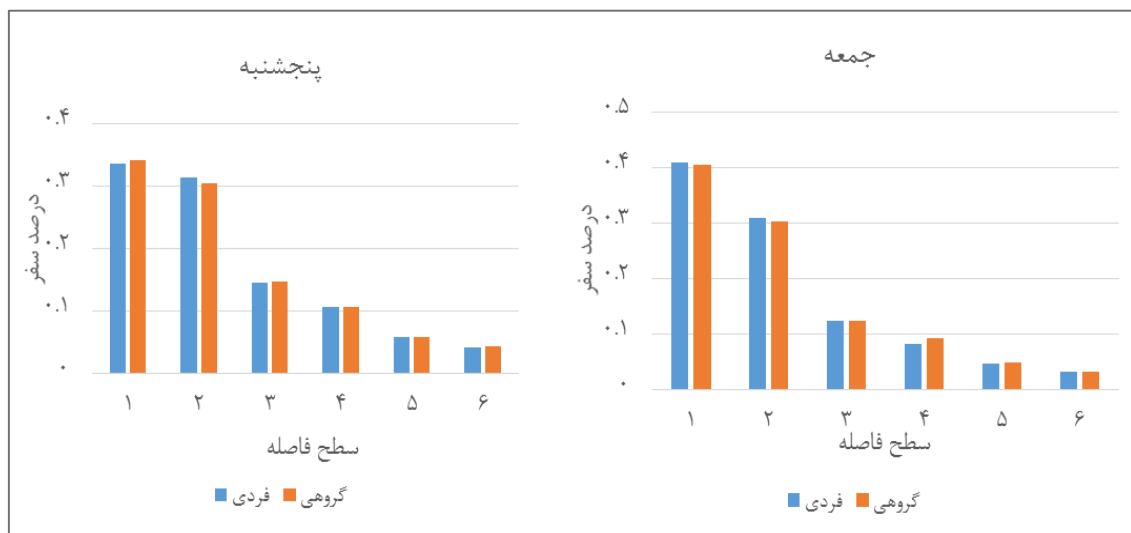
| سطح فاصله | فاصله مقصد سفر از ناحیه مرکزی شهر بر حسب کیلومتر |
|-----------|--------------------------------------------------|
| 1         | کمتر از 1                                        |
| 2         | بیشتر از 1 و کمتر از 2                           |
| 3         | بیشتر از 2 و کمتر از 3                           |
| 4         | بیشتر از 3 و کمتر از 4                           |
| 5         | بیشتر از 4 و کمتر از 5                           |
| 6         | بیشتر از 5                                       |

نتایج دسته‌بندی مکانی سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای کاری هفته در شکل 4-21 ارائه شده‌است. در نمودارهای این شکل درصد سفرهای فردی و گروهی هر سطح، از کل سفرهای انجام شده در هر روز قابل مشاهده است. ملاحظه می‌شود که در روزهای کاری هفته تقریباً 60 درصد سفرهای فردی و گروهی در سطح 1 و 2 قرار گرفته‌اند. یعنی مقصد بیشتر سفرهای انجام شده در این روزها نواحی‌ای بوده‌است که فاصله کمتر از دو کیلومتری از مرکز شهر داشته‌اند. با توجه به اینکه تمرکز ادارات و سازمان‌های شهر اراک در مرکز شهر است جذب سفرهای کاری نواحی مرکزی شهر بیشتر است که منجر به سهم بالای سفرهای فردی این نواحی از کل سفرها شده‌است. همچنین بازار سرپوشیده اراک که یکی از مراکز مهم جذب سفرهای با هدف تفریح یا خرید است در نقطه مرکزی شهر واقع شده که باعث شده‌است سهم سفرهای گروهی نواحی نزدیک به مرکز شهر نسبت به نواحی‌ای که فاصله بیشتری از مرکز شهر دارند بیشتر شود. با توجه به نمودارهای شکل 4-22 ملاحظه می‌شود که در هر سطح فاصله، درصد سفرهای فردی و گروهی مقادیر مشابه یکدیگر دارند. به عبارت دیگر در روزهای کاری هفته الگوی مکانی سفرهای فردی و گروهی تقریباً مشابه یکدیگر بوده‌است.



شکل 4-22: الگوی مکانی سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای کاری هفته

در شکل 4-23 نتایج دسته‌بندی مکانی سفرهای فردی و گروهی روزهای پایانی هفته ارائه شده‌است. ملاحظه می‌شود که در روزهای پنجشنبه سطح 1 و سطح 2 به ترتیب بیشترین درصد سفرهای فردی و گروهی را به خود اختصاص داده‌اند به طوری که نزدیک 65 درصد کل سفرهای این روز در این دو سطح قرار گرفته‌است. در روزهای جمعه نیز سهم سطوح 1 و 2 از سفرهای فردی و گروهی بیشتر از سطوح دیگر بوده‌است به گونه‌ای که تقریباً 70 درصد کل سفرهای این روز در این دو سطح قرار گرفته‌است. تفاوتی که الگوی مکانی سفرهای روزهای پایانی هفته با روزهای کاری هفته دارد بیشتر شدن درصد سفرهای سطح 1 است. همانطور که گفته شد افراد معمولاً در روزهای پایانی هفته بیشتر سفرهای تفریحی انجام می‌دهند و به دلیل وجود مراکز تفریحی و تجاری در مرکز شهر مثل بازار سرپوشیده اراک، مراکز خرید، سالن‌های سینما و تئاتر، پارک و ... تعداد سفرهای بیشتری جذب نواحی مرکزی شهر شده‌است که قابل پیش‌بینی است.



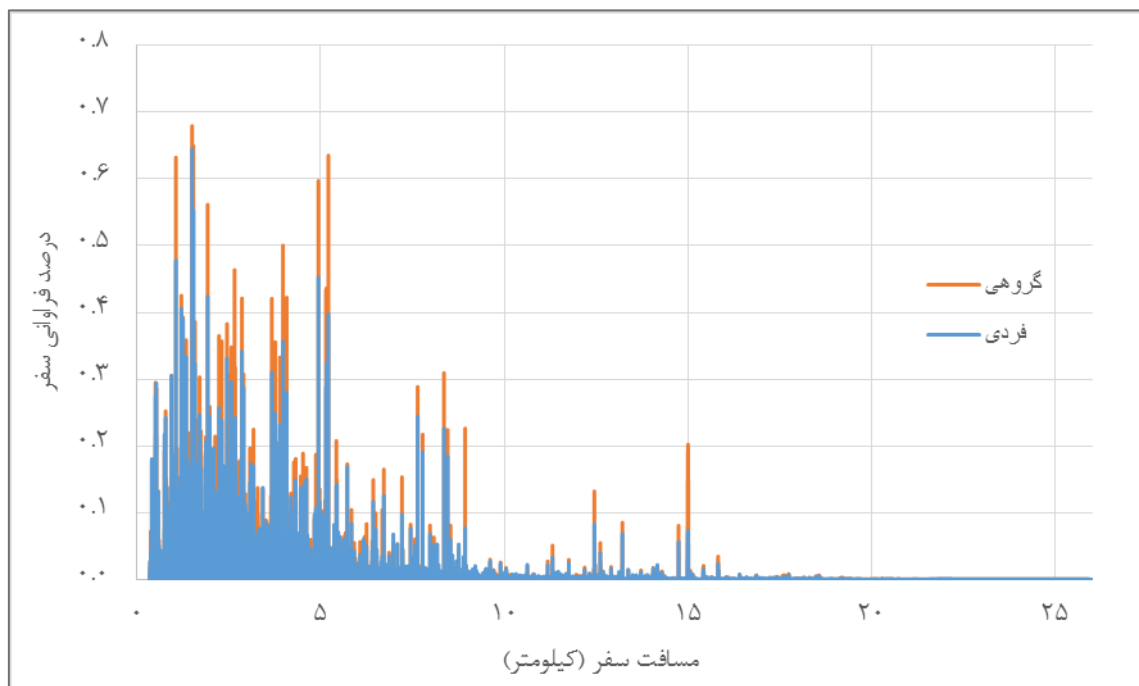
شکل 4-23: الگوی مکانی سفرهای فردی و گروهی به تفکیک روزهای پایانی هفته

با توجه به شکل‌های 4-21 و 4-22 می‌توان نتیجه گرفت که سفرهای فردی و گروهی در تمامی روزهای هفته الگوی مکانی مشابهی داشته‌اند. مقصد بیشتر سفرهای فردی و گروهی در هر روز، نواحی نزدیک به مرکز شهر (با فاصله‌ی کمتر از دو کیلومتر از مرکز) بوده‌است. نواحی مرکزی شهر به دلیل دارا بودن کاربری‌های متنوع از جمله کاربری‌های اداری، تجاری، تفریحی و مسکونی، مقصد بسیاری از سفرها بوده‌اند.

#### ۴-۴-۶-۳ مسافت سفر

در این بخش به مقایسه سفرهای فردی و گروهی از نظر تعداد سفرهای انجام شده بر حسب مسافت سفر پرداخته شده‌است. فاصله‌ی بین مبدا و مقصد هر سفر بر حسب کیلومتر در مدل شبکه حمل‌ونقل همگانی

به عنوان مسافت سفر در نظر گرفته شده است. از طرف دیگر تعداد سفرهای انجام شده بین هر دو ناحیه از ماتریس مبدا مقصد سفرهای فردی و گروهی نیز برداشت شده است. به این ترتیب درصد فراوانی سفرهای فردی و گروهی بر حسب مسافت سفر مطابق نمودار شکل 4-24 ترسیم شده است. همچنین مقادیر چولگی و کشیدگی نمودارها در جدول 4-11 ارائه گردیده است. ملاحظه می شود که هر دو نمودار دارای چولگی مثبت می باشد. تمرکز داده ها در سمت چپ نمودار بوده و با افزایش مسافت سفر، تعداد سفرهای فردی و گروهی کاهش می یابد؛ با این تفاوت که چولگی و کشیدگی توزیع سفرهای فردی مقادیر بیشتری نسبت به سفرهای گروهی دارند. با توجه به اینکه با افزایش چولگی و کشیدگی، میزان پراکندگی داده ها کاهش می یابد، بنابراین سفرهای فردی پراکندگی کمتری نسبت به سفرهای گروهی دارند و به دلیل چولگی به راست؛ تمرکز بیشتر سفرهای فردی در مسافت های کوتاه است. در حالی که در مسافت های طولانی تر درصد سفرهای گروهی بیشتری نسبت به سفرهای فردی مشاهده می شود.



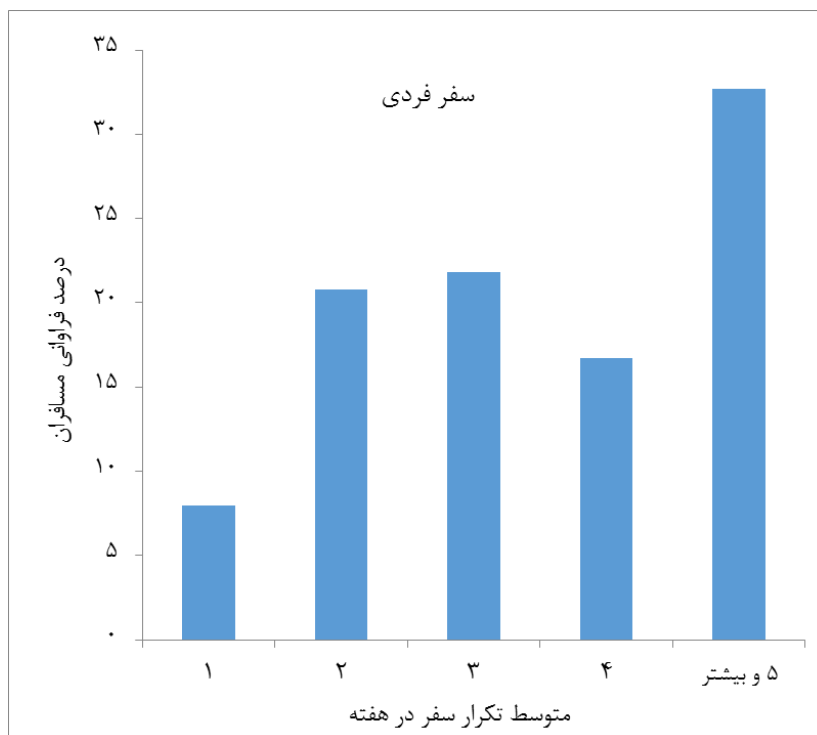
شکل 4-24: درصد فراوانی سفرهای فردی بر حسب مسافت سفر

جدول 4-11: مقادیر چولگی و کشیدگی توزیع فراوانی سفر بر حسب مسافت

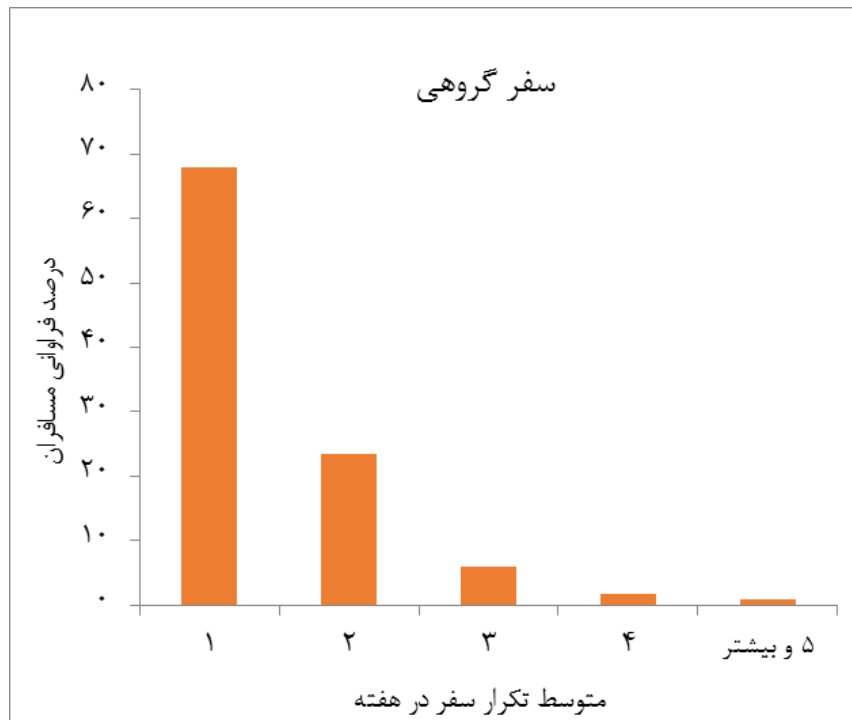
| چولگی | کشیدگی |           |
|-------|--------|-----------|
| ۱۳.۵۷ | ۲۷۱.۴۱ | سفر فردی  |
| ۱۲.۵۹ | ۲۱۸.۴۸ | سفر گروهی |

## ۴-۶-۴-۴ تکرار سفر

در این بخش سفرهای فردی و گروهی از نظر تکرار سفر با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در شکل 4-25 و شکل 4-26 درصد فراوانی مسافران بر حسب متوسط تکرار سفر فردی و گروهی در هفته در 5 دسته ترسیم شده‌است. ملاحظه می‌شود که در سفرهای فردی، تنها حدود 8 درصد از افرادی که سفر فردی داشته‌اند به طور متوسط یک بار در هفته سفر کرده‌اند، در حالی که این درصد برای افرادی که سفر گروهی داشته‌اند حدود 70 درصد می‌باشد. همچنین فراوانی سفرهای گروهی با افزایش تکرار سفر در هفته، روند کاهشی داشته‌است، در حالی که فراوانی سفرهای فردی با افزایش تکرار به دو بار و سه بار در هفته، بیشتر شده‌است. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که سفرهای فردی تکرارپذیری بیشتری نسبت به سفرهای گروهی دارند. با توجه به اینکه اغلب سفرهای فردی در طول روزهای کاری هفته و ساعات ابتدایی روز انجام می‌شود می‌توان برداشت نمود که این سفرها بیشتر با هدف کاری و تحصیلی هستند بنابراین تکرارپذیری آن‌ها در طول هفته قابل تایید می‌باشد. لازم به ذکر است که فراوانی سفرهای فردی از چهار تکرار در هفته به بالا نیز روند کاهشی پیدا می‌کند، اما به دلیل تجمعی بودن فراوانی سفرهای فردی با تکرارهای پنج بار و بیشتر، دسته‌ی آخر تکرار سفر فردی نسبت به دسته‌های قبل، درصد فراوانی بیشتری داشته‌است.



شکل 4-25: درصد فراوانی مسافران بر حسب متوسط تعداد سفر فردی در هفته



شکل 4-26: درصد فراوانی مسافران بر حسب متوسط تعداد سفر گروهی در هفته

#### ۵-۴ جمع‌بندی

در این فصل ابتدا مطالعه موردی معرفی گردید و پس از آن نحوه آماده‌سازی داده‌ها توضیح داده شد. سپس آمار توصیفی پایگاه داده‌های کارت هوشمند ارائه گردید. در بخش بعد نتایج مطالعه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در این بخش ابتدا نتایج تخمین مبدا و مقصد سفرها ارائه گردید و مشخص شد که نواحی مرکزی شهر درصد بالایی از سفرها را به خود اختصاص داده‌اند. در ادامه با استفاده از روش خوشه‌بندی میانگین K مسافران منظم و غیر منظم شناسایی شدند و مشخص گردید که درصد کمی از مسافران (حدود 19 درصد) به طور منظم از حمل و نقل همگانی استفاده می‌کنند. سپس نتایج تحلیل سفرهای گروهی ارائه شد و مشخص گردید که 28 درصد کل سفرها به صورت گروهی انجام شده‌است. در ادامه، سفرهای فردی و گروهی از نظر الگوی زمانی و مکانی سفر، مسافت سفر و همچنین تکرار سفر در هفته با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج به دست آمده از مقایسه الگوی زمانی حاکی از آن بود که در روزهای پایانی هفته نسبت به روزهای کاری هفته، درصد سفرهای فردی کاهش و درصد سفرهای گروهی افزایش می‌یابد. در هر روز با نزدیک شدن به ساعات پایانی روز درصد سفرهای گروهی نسبت به سایر ساعات افزایش یافته است. همچنین اغلب سفرهای فردی در ساعات اوج صبح انجام شده، در حالی که سفرهای گروهی غالباً در ساعات عصر انجام شده‌است.

از طرف دیگر الگوی مکانی سفرهای فردی و گروهی از نظر فاصله مقصد سفر تا ناحیه مرکزی شهر، با یکدیگر مقایسه شد و نتایج نشان داد که سفرهای فردی و گروهی الگوی مکانی مشابه یکدیگر داشته‌اند و اغلب در محدوده مرکزی شهر متمرکز بوده‌اند. همچنین با مقایسه‌ی مسافت سفرهای فردی و گروهی نتیجه شد که تمرکز بیشتر سفرهای فردی در مسافت‌های کوتاه است، در حالی که در مسافت‌های طولانی‌تر درصد سفرهای گروهی بیشتری نسبت به سفرهای فردی مشاهده شده‌است. در نهایت مشخص شد که سفرهای فردی تکرارپذیری بیشتری نسبت به سفرهای گروهی دارند.

## ۵ فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۵-۱ جمع‌بندی

در این مطالعه به مقایسه رفتار سفرهای فردی و گروهی مسافران حمل و نقل همگانی با استفاده از اطلاعات کارت‌های هوشمند اتوبوس‌رانی شهر اراک پرداخته شد. پس از مشخص شدن مسئله و ضرورت انجام آن، مفاهیم پایه مرتبط با رفتار سفر توضیح داده شد و اهمیت استفاده از داده‌های کارت هوشمند برای شناسایی الگوهای سفر مسافران حمل و نقل همگانی بیان گردید. سپس مطالعات پیشین انجام شده در زمینه تحلیل رفتار سفر با استفاده از اطلاعات کارت هوشمند مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه روش تحقیق توضیح داده شد و مشخص گردید که برای شناسایی سفرهای گروهی لازم است که مبدا و مقصد سفرها مشخص شود. از آنجایی که در داده‌های موجود نقاط سوار شدن و پیاده شدن مسافران ثبت نشده بود، ابتدا با استفاده از داده‌های سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه روشی برای تخمین ناحیه‌ی پیاده شدن تراکنش‌ها معرفی گردید. سپس برای تخمین مبدا و مقصد سفرها از ترکیب دو روش زنجیره سفر و روش خوشه‌بندی میانگین K استفاده شد. بدین صورت که برای کارت‌هایی که روزانه بیش از یک تراکنش ثبت شده داشته‌اند مبدا و مقصد سفرها با استفاده از روش زنجیره سفر و برای کارت‌هایی که روزانه یک تراکنش ثبت شده داشتند مبدا و مقصد سفرها با استفاده از روش خوشه‌بندی میانگین تخمین زده شد. در ادامه خوشه‌بندی نظم سفر مسافران با استفاده از روش خوشه‌بندی میانگین K انجام گرفت و مسافران بر اساس تعداد روزهای سفر، زمان اولین سفر روز و مقصد اولین سفر روز در یک دوره زمانی یک ماهه، در پنج خوشه مختلف قرار گرفتند و بر اساس آن مسافران منظم و غیر منظم در سیستم شناسایی شدند. در نهایت با استفاده از سه ویژگی زمان تراکنش، مبدا و مقصد سفرها، روشی برای شناسایی سفرهای گروهی بر مبنای نظریه‌ی همجواری ارائه گردید و پس از آن سفرهای فردی و گروهی از نظر زمان سفر، مقصد سفر، مسافت سفر و تکرار سفر با یکدیگر مقایسه شدند.

## ۵-۲ نتیجه‌گیری

از نتایج قابل توجه این مطالعه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- یکی از اهداف مطالعه تخمین مبدا و مقصد سفرها بود. در مطالعات پیشین معمولاً از روش زنجیره سفر برای تخمین مبدا و مقصد سفرها استفاده شده است که ایراد اصلی این روش وجود حداقل دو پاره‌سفر در روز برای هر مسافر است. در این مطالعه برای رفع این مشکل از ترکیب روش خوشه‌بندی و روش زنجیره استفاده شد که منجر به افزایش 20 درصدی در تعداد سفرهای تخمینی شده است. نتایج تخمین مبدا-مقصد سفرها حاکی از آن بود که تمرکز سفرهای نواحی مرکزی شهر بیشتر از نواحی دیگر است.

- هدف دیگری که در این مطالعه دنبال شد خوشه‌بندی نظم سفر مسافران بود. با بررسی تراکنش‌های ماه آخر از داده‌های موجود مشخص گردید که درصد کمی از مسافران (حدود 19 درصد) به صورت منظم و روزانه از حمل و نقل همگانی استفاده نموده‌اند و تقریباً 60 درصد مسافران سطح نظم سفر کمتر از مقدار متوسط را داشته‌اند. همچنین مشخص شد که تعداد روزهای سفر مسافران منظم به اندازه‌ی تعداد روزهای کاری در ماه بوده‌است، بنابراین احتمالاً شاغلین و محصلین درصد بالایی از مسافران منظم را تشکیل داده‌اند.
- هدف اصلی این مطالعه شناسایی سفرهای گروهی و مقایسه‌ی آن با سفرهای فردی بوده است. نتایج به دست‌آمده نشان داد که 28 درصد کل سفرها در دوره زمانی مطالعه به صورت گروهی انجام شده‌است. همچنین سفرهای گروهی بیشتر در روزهای پایانی هفته و در ساعات بعد از ظهر انجام گرفته‌است.
- بررسی الگوی زمانی سفرهای فردی و گروهی در روزهای کاری هفته نشان داد که ساعت اوج سفرهای فردی از 7 الی 8 بوده است که مطابق با شروع ساعت کاری ادارات و مدارس است در صورتی که اوج سفرهای گروهی در ساعت 18 الی 19 بوده است. همچنین در این روزها با نزدیک شدن به ساعات پایانی روز درصد سفرهای گروهی از سفرهای هر ساعت افزایش یافته است.
- در روزهای پایانی هفته سفرهای فردی و گروهی دارای الگوی زمانی مشابهی بوده‌اند به گونه‌ای که ساعت اوج ظهر و عصر در هر دو نوع سفر وجود داشته‌است. در این روزها اوج سفرهای فردی در ساعت 12 الی 13 و اوج سفرهای گروهی در ساعت 18 الی 19 ثبت شده‌است. در جمع‌ها نیز احتمالاً به دلیل تعطیلی مراکز کاری و آموزشی و همچنین انجام بیشتر سفرهای تفریحی درصد بیشتری از سفرهای هر ساعت به صورت گروهی انجام گرفته است.
- با مقایسه الگوی مکانی سفرهای فردی و گروهی مشخص گردید که مقصد بیشتر سفرهای فردی و گروهی مشابه و در نواحی نزدیک به مرکز شهر بوده‌است. به طوری که در روزهای کاری هفته، مقصد 60 درصد سفرهای فردی و گروهی در نواحی با فاصله کمتر از دو کیلومتر از مرکز شهر بوده‌است. این درصد در روزهای پنجشنبه و جمعه به ترتیب برابر 65 و 70 درصد به دست آمده‌است. به دلیل اینکه در نواحی مرکزی شهر اراک کاربری‌های متنوعی مثل مراکز خرید، مجتمع‌های تجاری، پارک، سینما و تئاتر وجود دارد، در روزهای پایانی هفته (مخصوصاً جمعه) سفرهای بیشتری جذب این نواحی شده‌است.
- با مقایسه‌ی سفرهای فردی و گروهی از نظر مسافت سفر نتیجه گرفته شد که سفرهای فردی پراکندگی کمتری نسبت به سفرهای گروهی دارند و تمرکز بیشتر سفرهای فردی در مسافت‌های

کوتاه است. در حالی که در مسافت‌های طولانی‌تر درصد سفرهای گروهی بیشتری نسبت به سفرهای فردی مشاهده شده‌است.

- پس از بررسی تکرار سفرهای فردی و گروهی در هفته مشخص گردید که سفرهای فردی تکرارپذیری بیشتری نسبت به سفرهای گروهی دارند. با توجه به اینکه اغلب سفرهای فردی در طول روزهای کاری هفته و ساعات ابتدایی روز انجام می‌شود می‌توان برداشت نمود که این سفرها بیشتر با هدف کاری و تحصیلی هستند بنابراین تکرارپذیری آن‌ها در طول هفته قابل تایید می‌باشد

### ۳-۵ پیشنهادات

در ادامه پیشنهاداتی جهت بهبود مطالعه‌ی پیش رو ارائه شده‌است:

- در دسترس بودن اطلاعات کاربری زمین و نوع کارت هوشمند (مثلا کارت دانش‌آموز، بزرگسال و ...) می‌تواند به بهبود روش تخمین مبدا-مقصد سفرها و همچنین شناسایی هدف سفر منجر شود.
- در این مطالعه برای تخمین ایستگاه پیاده شدن تراکنش‌ها از اطلاعات سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه که فقط برای یک روز موجود بوده‌است استفاده گردید. برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود که برای تخمین ایستگاه پیاده شدن تراکنش‌های هر روز از اطلاعات سیستم موقعیت‌یابی خودکار وسیله نقلیه در همان روز استفاده شود.
- در مرحله تخمین ناحیه سوارشدن تراکنش‌ها از روش خوشه‌بندی میانگین K استفاده شده‌است. می‌توان از روش‌های دیگر خوشه‌بندی استفاده نمود و نتایج به‌دست آمده از روش‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد.
- پیشنهاد می‌شود در مرحله خوشه‌بندی تراکنش‌های هر کارت، پرتکرارترین ناحیه هر خوشه به عنوان مرکز خوشه در نظر گرفته‌شود و نتایج با روش ارائه شده در این مطالعه مقایسه گردد.
- در روش زنجیره سفر استفاده شده در این مطالعه فقط زمان مجاز برای تغییر خط لحاظ شده است. پیشنهاد می‌شود که برای بهبود نتایج، پارامترهای دیگری مثل حداکثر مسافت پیاده‌روی نیز در نظر گرفته شود.
- آماربرداری از سفرهای مسافران در دوره‌های زمانی مختلف منجر به بهبود روش تخمین مبدا-مقصد سفرها می‌گردد.

- پیشنهاد می‌شود برای خوشه‌بندی نظم سفر مسافران از روش‌های دیگر خوشه‌بندی نیز استفاده گردد و با نتایج به دست آمده در این مطالعه مقایسه شود.
- در این مطالعه الگوی سفر فردی و گروهی در روزهای مختلف هفته با یکدیگر مقایسه گردید. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی الگوهای سفر فردی در گروهی در ماه‌های مختلف مقایسه شود و اثر تغییرات فصلی بر روی توزیع سفرها مشخص گردد.

## منابع و مراجع

1. Pelletier MP, Trépanier M, Morency C. Smart card data use in public transit: A literature review. *Transp Res Part C Emerg Technol* [Internet]. 2011;19(4):557–68.
2. Wen C-H, Koppelman FS. A conceptual and methdological framework for the generation of activity-travel patterns. *Transportation (Amst)*. 2000;27(1):5–23.
3. Madre J-L, Axhausen KW, Brög W. Immobility in travel diary surveys. *Transportation (Amst)*. 2007;34(1):107–28.
4. Axhausen KW. Concepts of travel behavior research. *Threat to Qual Urban Life from Car Traffic Probl Causes, Solut*. 2007;165–85.
5. Jones P. Developments in dynamic and activity-based approaches to travel analysis. *Oxford Stud Transp*. 1990;
6. Ma X, Wu Y-J, Wang Y, Chen F, Liu J. Mining smart card data for transit riders' travel patterns. *Transp Res Part C Emerg Technol*. 2013;36:1–12.
7. Do TMT, Gatica-Perez D. Contextual grouping: discovering real-life interaction types from longitudinal bluetooth data. In: 2011 IEEE 12th International Conference on Mobile Data Management. IEEE; 2011. p. 256–65.
8. Cao X, Mokhtarian PL, Handy SL. Do changes in neighborhood characteristics lead to changes in travel behavior? A structural equations modeling approach. *Transportation (Amst)*. 2007;34(5):535–56.
9. Yuan Y, Raubal M, Liu Y. Correlating mobile phone usage and travel behavior—A case study of Harbin, China. *Comput Environ Urban Syst*. 2012;36(2):118–30.
10. Maria Kockelman K. Travel behavior as function of accessibility, land use mixing, and land use balance: evidence from San Francisco Bay Area. *Transp Res Rec*. 1997;1607(1):116–25.
11. Zhang L, Chang G-L, Zhu S, Xiong C, Du L, Mollanejad M, et al. Integrating an agent-based travel behavior model with large-scale microscopic traffic simulation for corridor-level and subarea transportation operations and planning applications. *J Urban Plan Dev*. 2013;139(2):94–103.

12. McMillan TE. The relative influence of urban form on a child's travel mode to school. *Transp Res Part A Policy Pract.* 2007;41(1):69–79.
13. Wang D, Chai Y. The jobs–housing relationship and commuting in Beijing, China: the legacy of Danwei. *J Transp Geogr.* 2009;17(1):30–8.
14. Larsen J, El-Geneidy A. A travel behavior analysis of urban cycling facilities in Montréal, Canada. *Transp Res part D Transp Environ.* 2011;16(2):172–7.
15. Moussaïd M, Perozo N, Garnier S, Helbing D, Theraulaz G. The walking behaviour of pedestrian social groups and its impact on crowd dynamics. *PLoS One.* 2010;5(4):e10047.
16. Buliung RN, Kanaroglou PS. A GIS toolkit for exploring geographies of household activity/travel behavior. *J Transp Geogr.* 2006;14(1):35–51.
17. Kang H, Scott DM. An integrated spatio-temporal GIS toolkit for exploring intra-household interactions. *Transportation (Amst).* 2008;35(2):253–68.
18. Blythe PT. Improving public transport ticketing through smart cards. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer.* Thomas Telford Ltd; 2004. p. 47–54.
19. Shelfer KM, Procaccino JD. Smart card evolution. *Commun ACM.* 2002;45(7):83–8.
20. Attoh-Okine NO, Shen LD. Security issues of emerging smart cards fare collection application in mass transit. In: *Pacific Rim TransTech Conference 1995 Vehicle Navigation and Information Systems Conference Proceedings 6th International VNIS A Ride into the Future.* IEEE; 1995. p. 523–6.
21. Green J, Chickola L, Emanuel ES, Cruickshank A. Automated fare collection system. *Google Patents*; 2005.
22. Dempsey PS. Privacy issues with the use of smart cards. Available SSRN 3295908. 2007;
23. Trépanier M, Barj S, Dufour C, Poilpré R. Examen des potentialités d'analyse des données d'un système de paiement par carte à puce en transport urbain. *Congrès l'Association des Transp du Canada.* 2004;
24. McDonald N. Multipurpose smart cards in transportation: benefits and barriers to use. 2000;
25. White P, Bagchi M, Bataille H, East SM. The role of smartcard data in

- public transport. In: Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research, Lisbon, July. 2010.
26. Bagchi M, White PR. What role for smart-card data from bus systems? In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer. Thomas Telford Ltd; 2004. p. 39–46.
27. Alliance SC. Planning for New Fare Payment and Collection Systems: Cost Considerations and Procurement Guidelines. A Smart Card Alliance Transp Counc White Pap. 2010;
28. Robinson S, Narayanan B, Toh N, Pereira F. Methods for pre-processing smartcard data to improve data quality. Transp Res Part C Emerg Technol. 2014;49:43–58.
29. Alsger AAM. Estimation of transit origin destination matrices using smart card fare data. Ph D Univ Queensl. 2017;1–206.
30. Agard B, Morency C, Trépanier M. Mining public transport user behaviour from smart card data. IFAC Proc Vol. 2006;39(3):399–404.
31. Bagchi M, White PR. The potential of public transport smart card data. Transp Policy. 2005;12(5):464–74.
32. Trépanier M, Morency C. Assessing transit loyalty with smart card data. In: 12th World Conference on Transport Research, Lisbon, Portugal. 2010.
33. Chu KKA, Chapleau R. Enriching archived smart card transaction data for transit demand modeling. Transp Res Rec. 2008;2063(1):63–72.
34. Park JY, Kim DJ. The potential of using the smart card data to define the use of public transit in Seoul. Transp Res Rec J Transp Res Board. 2008;2063:3–9.
35. Kieu L-M, Bhaskar A, Chung E. A modified density-based scanning algorithm with noise for spatial travel pattern analysis from smart card AFC data. Transp Res Part C Emerg Technol. 2015;58:193–207.
36. Ma X, Liu C, Wen H, Wang Y, Wu Y-J. Understanding commuting patterns using transit smart card data. J Transp Geogr. 2017;58:135–45.
37. Zhao X, Wu Y, Ren G, Ji K, Qian W. Clustering analysis of ridership patterns at subway stations: A case in Nanjing, China. J Urban Plan Dev. 2019;145(2):4019005.
38. Utsunomiya M, Attanucci J, Wilson N. Potential uses of transit smart card registration and transaction data to improve transit planning. Transp

- Res Rec. 2006;1971(1):118–26.
39. Chapleau R, Chu KKA. Modeling transit travel patterns from location-stamped smart card data using a disaggregate approach. In: 11th World Conference on Transport ResearchWorld Conference on Transport Research Society. 2007.
  40. Seaborn C, Attanucci J, Wilson NHM. Using smart card fare payment data to analyze multi-modal public transport journeys in London. 2009;
  41. Wang W, Attanucci JP, Wilson NHM. Bus passenger origin-destination estimation and related analyses using automated data collection systems. 2011;
  42. Munizaga MA, Palma C. Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin–Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transp Res Part C Emerg Technol.* 2012;24:9–18.
  43. Gordon JB, Koutsopoulos HN, Wilson NHM, Attanucci JP. Automated inference of linked transit journeys in London using fare-transaction and vehicle location data. *Transp Res Rec.* 2013;2343(1):17–24.
  44. Nassir N, Hickman M, Ma Z-L. Activity detection and transfer identification for public transit fare card data. *Transportation (Amst).* 2015;42(4):683–705.
  45. Alsger A, Assemi B, Mesbah M, Ferreira L. Validating and improving public transport origin–destination estimation algorithm using smart card fare data. *Transp Res Part C Emerg Technol.* 2016;68:490–506.
  46. Yan F, Yang C, Ukkusuri S V. Alighting stop determination using two-step algorithms in bus transit systems. *Transp A Transp Sci.* 2019;15(2):1522–42.
  47. Trépanier M, Morency C, Agard B. Calculation of transit performance measures using smartcard data. *J Public Transp.* 2009;12(1):5.
  48. Deakin E, Kim S. *Transportation technologies: Implications for planning.* 2001;
  49. Ma X, Wang Y. Development of a data-driven platform for transit performance measures using smart card and GPS data. *J Transp Eng.* 2014;140(12):4014063.
  50. Zhou Y, Yao L, Chen Y, Gong Y, Lai J. Bus arrival time calculation model based on smart card data. *Transp Res Part C Emerg Technol.* 2017;74:81–96.

51. Webb A, Kumar P, Khani A. Estimation of passenger waiting time using automatically collected transit data. *Public Transp.* 2020;1–13.
52. Faroqi H, Mesbah M, Kim J. Applications of transit smart cards beyond a fare collection tool: a literature review. *Adv Transp Stud.* 2018;45.
53. Morency C, Trépanier M, Agard B. Analysing the variability of transit users behaviour with smart card data. In: 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. IEEE; 2006. p. 44–9.
54. c :29–40.
55. Kim J. Applications of transit smart cards beyond a fare collection tool : A literature review Applications of transit smart cards beyond a fare collection tool : a literature review. 2018;(July).
56. Hasan S, Zhan X, Ukkusuri S V. Understanding urban human activity and mobility patterns using large-scale location-based data from online social media. In: *Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD international workshop on urban computing.* 2013. p. 1–8.
57. El Mahrsi MK, Côme E, Baro J, Oukhellou L. Understanding passenger patterns in public transit through smart card and socioeconomic data: A case study in rennes, france. In: *ACM SIGKDD Workshop on Urban Computing.* 2014. p. 9p.
58. Gong Y, Liu Y, Lin Y, Yang J, Duan Z, Li G. Exploring spatiotemporal characteristics of intra-urban trips using metro smartcard records. In: 2012 20th International Conference on Geoinformatics. IEEE; 2012. p. 1–7.
59. Nishiuchi H, King J, Todoroki T. Spatial-temporal daily frequent trip pattern of public transport passengers using smart card data. *Int J Intell Transp Syst Res.* 2013;11(1):1–10.
60. Cats O, Wang Q, Zhao Y. The identification and classification of urban centres using public transport passenger flows data. *J Transp Geogr.* 2015;48:10–22.
61. Han G, Sohn K. Activity imputation for trip-chains elicited from smart-card data using a continuous hidden Markov model. *Transp Res Part B Methodol.* 2016;83:121–35.
62. Briand A-S, Côme E, Trépanier M, Oukhellou L. Analyzing year-to-year changes in public transport passenger behaviour using smart card data. *Transp Res Part C Emerg Technol.* 2017;79:274–89.

63. He L, Agard B, Trépanier M. A classification of public transit users with smart card data based on time series distance metrics and a hierarchical clustering method. *Transp A Transp Sci*. 2020;16(1):56–75.
64. Sun L, Axhausen KW, Lee D-H, Huang X. Understanding metropolitan patterns of daily encounters. *Proc Natl Acad Sci*. 2013;110(34):13774–9.
65. Du B, Yang Y, Lv W. Understand group travel behaviors in an urban area using mobility pattern mining. In: 2013 IEEE 10th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2013 IEEE 10th International Conference on Autonomic and Trusted Computing. IEEE; 2013. p. 127–33.
66. Zhang Y, Martens K, Long Y. Revealing group travel behavior patterns with public transit smart card data. *Travel Behav Soc* [Internet]. 2018;10(November 2017):42–52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tbs.2017.10.001>
67. Trépanier M, Tranchant N, Chapleau R. Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system. *J Intell Transp Syst*. 2007;11(1):1–14.
68. Tan P-N, Steinbach M, Kumar V. Introduction to data mining. Pearson Education India; 2016.
69. Vizzari G, Manenti L, Ohtsuka K, Shimura K. An agent-based pedestrian and group dynamics model applied to experimental and real-world scenarios. *J Intell Transp Syst*. 2015;19(1):32–45.
70. مهندسين مشاور طرح اندیشه و آوند. تحليل پایگاه داده فراكارت در خطوط اتوبوس شهر اراك. تهران; 1395.

**Abstract**

Adopting smart card payment system in Public Transportation (PT) can bring many advantages, one of which is collecting the transaction data. Transaction data can be used to model travel demand, identify travel patterns, or estimate the origin-destination matrix. Furthermore, by providing a big database of travels, transaction data has been continuously used to study the travel behavior of PT passengers. Obtaining a better understanding of the PT passengers travel behavior is of great importance to improve the service and attract more passengers towards the system. Previous studies of travel behavior are mostly focused on the individual travel pattern and less attention has been paid to the group travel pattern. Also, there is a lack of research on identifying the group travels in PT and comparing it with individual travels, in Iran. Therefore, this study utilizes the smart card data of bus system in Arak city to compare the individual and group travel behavior of PT passengers. To achieve this end, firstly a method has been proposed for estimating the origin-destination matrix of travels based on the trip-chain method. In addition, travel pattern regularity has been clustered using K-mean clustering method. Then, an approach is presented for identifying group travels based on the Proximics theory. Finally, the temporal and spatial patterns of individual and group travels are obtained and compared during the different days of the week.

This study is based on reviewing and analyzing the smart card data of Arak bus system in a period of 10 months. According to the results, using clustering method in estimating the origin-destination matrix of travels has led to a 20% increase in the number of estimated travels. Clustering of travel patterns indicated that only 19% of passengers used public transportation on a regular basis. The results also revealed that 28% of the travels were made in groups. Group traveling is more frequented on weekends, and also in the afternoons. It is also found that the travel destinations in most of the individual and group travels were located near the city center. In addition, it was shown that more focus is on individual trips over short distances, while at longer distances a higher percentage of group trips is observed than individual trips. Finally, it was found that individual trips have more repeatability than group trips.

**Keywords:**

Public Transport Smart Card, Origin-Destination Matrix, Clustering, Travel Regularity, Individual Travel Behavior, Group Travel Behavior



**Amirkabir University of Technology  
(Tehran Polytechnic)**

**Department of Civil and Environmental Engineering**

**MSc Thesis**

**The comparison of individual travel behavior and group travel  
behavior using bus smart card data**

**By  
Mostafa Abolfazli**

**Supervisor  
Dr. Mahmoud Mesbah**

**August 2020**