

## نگاهی به الگوی جابه‌جایی تاکسی‌ها در شهر اصفهان

میثم اکبرزاده، سید سینا مهری

دانشکده مهندسی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

پست الکترونیکی: makbarzadeh@cc.iut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۳؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۵/۴/۶)

### چکیده

مطالعات گوناگون، رفتارهای آماری متفاوتی برای الگوی جابه‌جایی انسان‌ها در شهرهای جهان ارائه کرده‌اند. مقاله حاضر به تحلیل آماری مسافت سفر تاکسی‌ها در شهر اصفهان می‌پردازد. داده‌های این پژوهش از سامانه خودکار ثبت مکان تاکسی‌ها به دست آمده است و در مجموع اطلاعات زمان-مکانی حدود پنجاه و سه هزار سفر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که تابع لوگ‌نرمال بهتر از توابع نمایی و توانی، توزیع آماری مسافت سفرها را برازش می‌دهد. همچنین وجود طبقات مختلف معابر شهری (بزرگراه، خیابان‌های دو و چندخطه) نتوانسته است به تنهایی الگوی سرعت سفرها را توجیه کند. میانگین مسافت سفرها برای اصفهان در روزهای کاری حدود پنج کیلومتر و در روزهای تعطیل حدود هفت کیلومتر می‌باشد. همچنین توزیع مسافت سفرها در روزهای تعطیل، چولگی و کشیدگی بیشتری نسبت به روزهای عادی نشان می‌دهد. در نتیجه مسافت سفرهای تاکسی روزهای تعطیل ناهمسانی بیشتری نسبت به روزهای عادی دارند. مقایسه رفتار سفرها در پرتددترین ساعت روزهای کاری (ساعات اوج) با کل نشان می‌دهد که میانگین مسافت سفر در ساعات اوج دارای میانگین، انحراف معیار، چولگی، و کشیدگی کمتری نسبت به کل روز است. متوسط سرعت تاکسی‌های شهر اصفهان در روزهای کاری برابر ۳۰ کیلومتر بر ساعت و در روزهای تعطیل برابر ۵۰ کیلومتر بر ساعت بوده است.

واژه‌های کلیدی: الگوی جابه‌جایی، شبکه معابر شهری، سفر، طبقه‌بندی معابر، برازش

### ۱. مقدمه

را امکان‌پذیر نموده است. تحلیل الگوی جابه‌جایی در زمینه‌های گوناگونی از جمله برنامه‌ریزی شهری [۱]، حمل‌ونقل [۲]، مدیریت سلامت عمومی (انتشار بیماری‌های واگیردار) [۳] و پیش‌بینی‌های اقتصادی [۴] کاربرد یافته است. پژوهش‌های گوناگون، توزیع‌های آماری توانی [۵ و ۶] و توانی بریده<sup>۳</sup>، نمایی [۷ و ۸] و لوگ‌نرمال [۹] را برای توصیف الگوی

مطالعه الگوی جابه‌جایی شهری<sup>۱</sup> بمعنی بررسی ویژگی‌های آماری مسافت، مدت‌زمان سفر و همچنین مبادی و مقاصد عمده شهروندان است. سامانه مکان‌یابی جهانی<sup>۲</sup> با تسهیل ردیابی و ثبت مکان خودروها و افراد، مطالعات الگوی جابه‌جایی شهری

۱. Urban mobility pattern

۲. Global positioning system

۳. Truncated Power Law

جابه‌جایی انسان‌ها در شهرهای مختلف جهان پیشنهاد نموده‌اند. در مطالعات پیشین، دو رویکرد عمده برای توضیح چرایی این الگوها مورد توجه قرار گرفته است. رویکرد اول بر فرآیند آماری تولید مسافت سفر تکیه می‌کند و این فرآیند را از جنس قدم‌زدن تصادفی<sup>۱</sup> می‌داند. رویکرد دوم با بیان ناکافی بودن رویکرد اول برای توصیف کامل الگو، به وجود انواع مختلف خیابان (طبقه‌بندی معابر شهری) نیز توجه می‌کند. مبنای این رویکرد آن است که سفرهای با مسافت بالا امکان بیشتری برای استفاده از بزرگراه‌های شهری را دارند و این امر باعث افزایش متوسط سرعت این سفرها می‌شود.

اهداف پژوهش حاضر عبارتند از بررسی الگوی جابه‌جایی سفرهای تاکسی در شهر اصفهان برای انواع روز (کاری و تعطیل) و انواع سفر (تحصیلی- کاری، غیر آن) و نیز بررسی کارایی فرضیه تأثیر طبقه‌بندی معابر بر الگوی سفرها.

در ادبیات ترافیک، ساعت اوج به ساعتی از شبانه‌روز اطلاق می‌شود که بیشترین حجم تردد معابر در خلال آن صورت می‌گیرد. معمولاً ساعت اوج در ابتدای صبح واقع است و سفرهای انجام شونده در آن، سفرهای کاری و تحصیلی هستند. این سفرها از نوع سفرهای اجباری به شمار می‌روند؛ به این معنی که سفرکننده در تعیین زمان و مقصد سفر نقش چندانی ندارد (لازم است فرد در زمان مشخصی در محل مشخص کار یا تحصیل خود حاضر باشد). هدف سفرهای خارج از ساعت اوج عمدتاً خرید، تفریح، و درمان می‌باشد. این سفرها از نوع غیراجباری به شمار می‌روند به این معنی که سفرکننده می‌تواند زمان انجام سفر یا مقصد آن را خود انتخاب کند. سهولت دسترسی به مکان عرضه خدمات و کیفیت خدمات عرضه شده از عوامل مؤثر بر انتخاب مقصد این سفرهاست. همچنین معمولاً سفرکننده می‌تواند سفر خود را در ساعتی که شبکه خلوت‌تر باشد، انجام دهد.

از منظر برنامه‌ریزی شهری، هر چه میانگین مسافت سفرهای ساعت اوج کمتر و چولگی آن (چولگی به راست) بیشتر باشد، توزیع نواحی مسکونی و کاری در شهر به

صورت متناسب‌تری شکل گرفته است. زیرا معنی این نوع توزیع آن است که بسیاری از افراد در نزدیکی محل تحصیل یا اشتغال خود ساکن هستند. این رخداد باعث کاهش زمان تلف شده در ازدحام ترافیکی، کاهش مصرف سوخت و نیز کاهش تولید آلاینده در عرصه شهری می‌گردد. بر این اساس، بررسی الگوی سفرهای ساعت اوج روزهای کاری و مقایسه آن با الگوی سفرهای کلی شبانه‌روز می‌تواند مفید واقع شود.

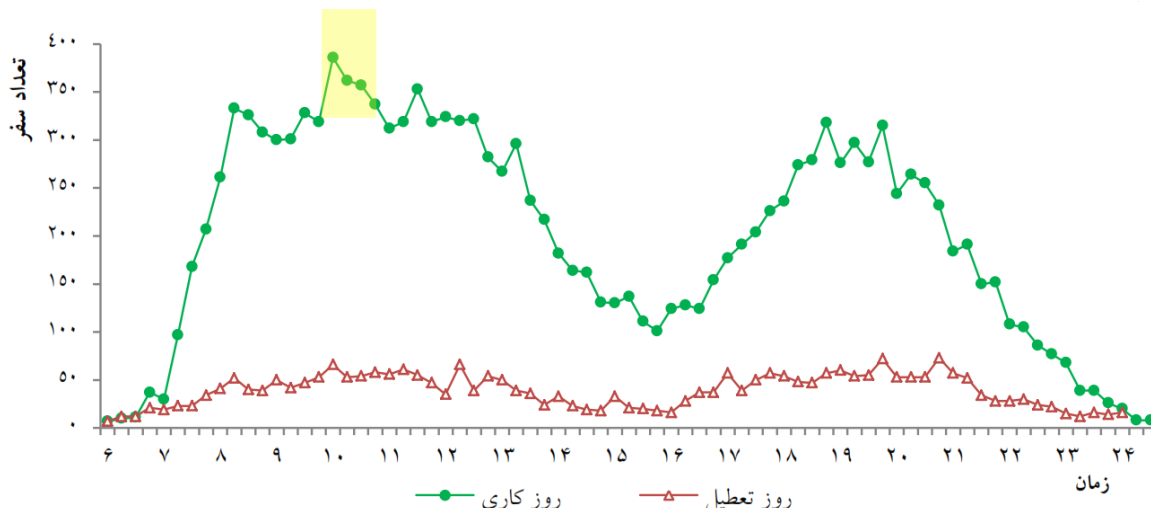
## ۲. داده‌های پژوهش

به منظور شناسایی توزیع جابه‌جایی در شهر اصفهان، اطلاعات سفر کلیه تاکسی‌های مجهز به سامانه مکان‌یاب این شهر از تاریخ پنجم تا نهم خرداد ماه هزار و سیصد و نود و سه استخراج گردید. بانک اطلاعاتی مورد استفاده شامل مختصات مکانی شروع و پایان سفر، مدت زمان سفر و مسافت واقعی طی شده در سفر بود. تاریخ‌های ششم و نهم خرداد ماه روز تعطیل و روزهای پنجم و هفتم خرداد ماه روز کاری بوده‌اند. بانک اطلاعاتی شامل بیش از پنجاه و سه هزار جابه‌جایی در تاریخ‌های ذکر شده بود. منظور از جابه‌جایی، سفر یک مسافر است که زمان و مکان شروع و خاتمه آن با استفاده از زمان و مکان تماس کارت الکترونیک پرداخت کرایه به دستگاه ثبت می‌شود.

هدف و ماهیت سفرهای روزهای کاری هفته با سفرهای روزهای تعطیل متفاوت است. به همین منظور، در این پژوهش الگوی سفرهای روزهای تعطیل با روزهای کاری مقایسه شده است و الگوی سفرهای نام برده با استفاده از توزیع‌های آماری بررسی شده است. شکل ۱ تعداد سفرهای انجام شده در طول شبانه‌روز در روزهای کاری و تعطیل را نشان می‌دهد.

به این منظور، تعداد سفرهای شبانه‌روزی در بازه مورد تحلیل به تفکیک ۱۵ دقیقه ترسیم شده (شکل ۱) و ساعت اوج سفرهای تاکسی در روزهای کاری بین ۹:۱۵ تا ۱۰:۱۵ تعیین شد. از منظر ترافیکی، ساعت اوج در روزهای تعطیل واجد اهمیت خاصی نیست. از شکل ۱ نیز مشخص است که سفرها در ساعات مختلف روزهای تعطیل پراکنده هستند.

۱. Random walk



شکل ۱. (رنگی در نسخه الکترونیکی) تقاضای سفر در زمان‌های مختلف روزهای کاری و تعطیل.

### ۳. روش پژوهش

به منظور تعیین توزیع احتمالاتی سفرها، با استفاده از سایر مطالعات علمی، توابع توانی، نمایی، لوگ‌نرمال و گاما مورد ارزیابی قرار گرفتند. تخمین پارامترهای توابع با استفاده از روش بیشینه درست‌نمایی انجام شد و میزان برازندگی توزیع‌ها با استفاده از معیار اطلاعات آکائیکی<sup>۱</sup> (AIC) سنجیده شد. در روش AIC ابتدا پارامتر مدل به روش بیشینه درست‌نمایی براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۸]

$$AIC_i = -2 \log L_i + 2k_i, \quad (1)$$

در این رابطه،  $AIC_i$ ،  $L_i$  و  $k_i$  به ترتیب مقدار شاخص، لگاریتم درست‌نمایی و تعداد پارامترهای تخمین زده شده در مدل  $i$  را نشان می‌دهند. پس از محاسبه پارامتر مدل بر اساس روابط (۲) تا (۴) امتیاز توزیع  $i$  ( $\Delta_i$ ) و وزن توزیع  $i$  ( $W_i$ ) محاسبه می‌شود.

$$AIC_{\min} = \min_{i \in \{1,2,3,4\}} AIC_i, \quad (2)$$

$$\Delta_i = AIC_i - AIC_{\min}, \quad (3)$$

$$W_i = \frac{e^{-\frac{\Delta_i}{2}}}{\sum_{j=1}^4 e^{-\frac{\Delta_j}{2}}}. \quad (4)$$

بنابراین توزیعی که دارای بیشترین وزن باشد، به عنوان توزیع

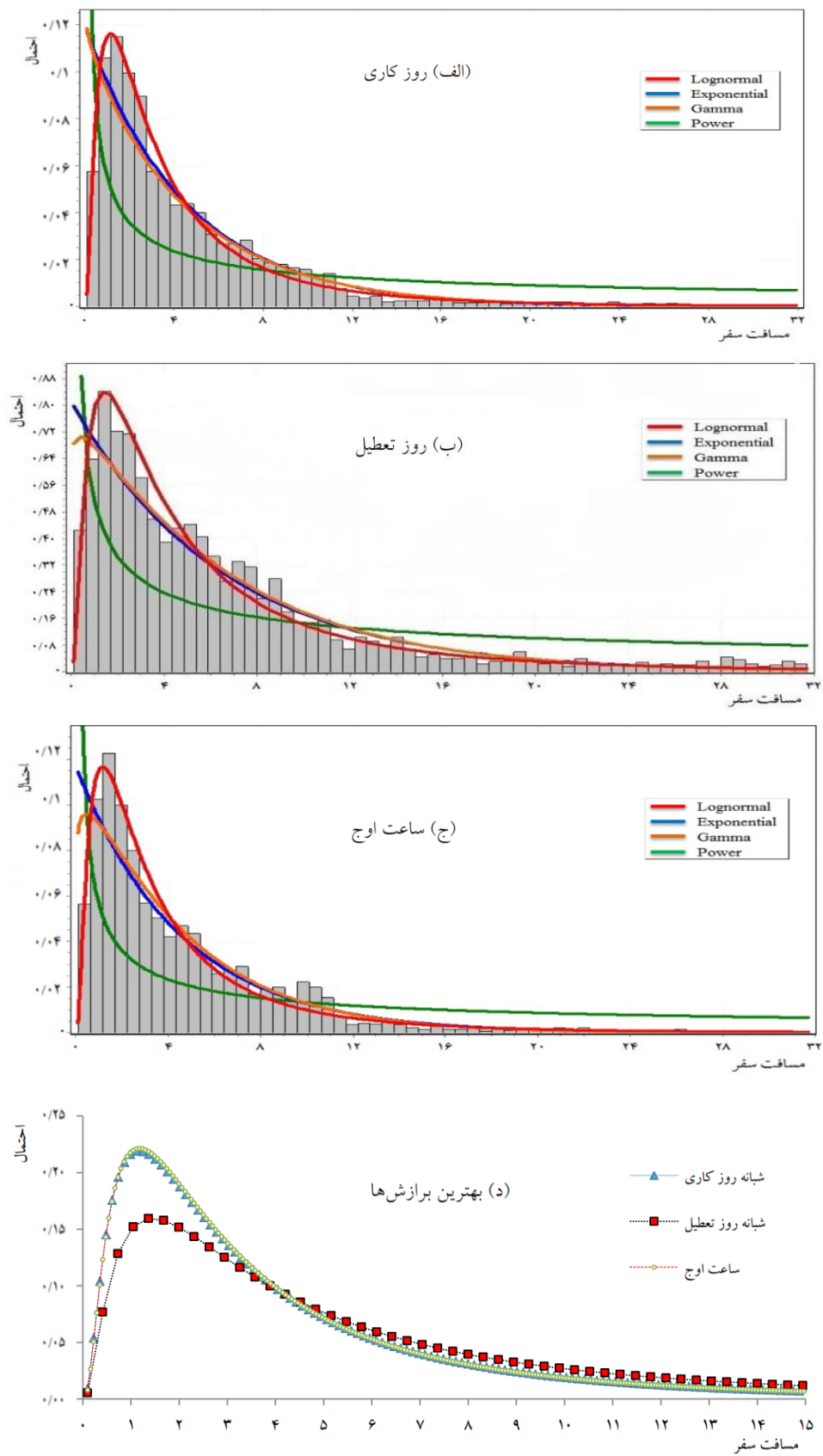
برتر انتخاب می‌گردد.

### ۴. نتایج

به منظور شناسایی الگوی سفرهای ساعت اوج، روزهای تعطیل و کاری تابع چگالی احتمال هر یک از این اطلاعات محاسبه شده و توزیع‌های آماری محتمل بر آن برازش داده شده است. شکل‌های ۲ (الف) و ۲ (ب) برازش توزیع‌های مختلف آماری را بر اطلاعات روزهای کاری و تعطیل نشان می‌دهند. همچنین شکل ۲ (ج) تابع چگالی احتمال در ساعت اوج روزهای کاری و توزیع‌های برازش داده شده بر آن را نشان می‌دهد. منحنی سبز، آبی، نارنجی و قرمز به ترتیب مربوط به برازش توابع توانی، نمایی، گاما و لوگ‌نرمال هستند. بهترین برازش‌ها در شکل ۲ (د) نشان داده شده‌اند. نمودار مربوط به ساعت اوج و کل روزهای کاری، در مقیاس شکل، از یکدیگر قابل تفکیک نیستند.

از میان توزیع‌های استفاده شده و با توجه به نمودارهای شکل ۲، توزیع توانی به خوبی نتوانسته است رفتار جابه‌جایی سفرها در شهر اصفهان را نشان دهد. بنابراین جهت ارزیابی توزیع‌های برازش داده شده بر اساس معیار AIC از توزیع توانی صرف نظر شد. جدول ۱ وزن‌های حاصل از معیار AIC بر توزیع‌های برازش داده شده در روزهای کاری و تعطیل هفته را نشان می‌دهد.

۱. Akaike Information Criterion



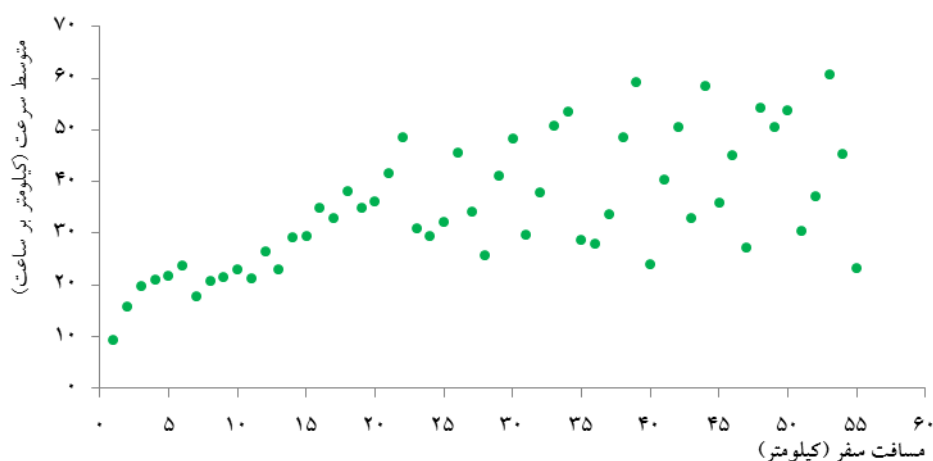
شکل ۲. (رنگی در نسخه الکترونیکی) توزیع‌های برآزش داده شده بر جابه‌جایی سفرها.

جدول ۱. نتایج آزمون AIC بر الگوی سفر ساعت اوج، روزهای کاری و تعطیل.

نام توزیع	شبانه‌روز کاری		شبانه‌روز تعطیل		ساعت اوج	
	لگاریتم راست نمایی	وزن	لگاریتم راست نمایی	وزن	لگاریتم راست نمایی	وزن
لوگ نرمال	-۳۷۶۱۲	۱	-۷۳۸۴	۱	-۶۷۱۶	۱
نمایی	-۳۸۳۵۰	۰	-۷۴۲۴	۰	-۶۸۱۶	۰
گاما	-۳۸۰۹۵	۰	-۷۴۰۴	۰	-۶۷۵۸	۰

جدول ۲. پارامترهای توزیع آماری انواع سفرها.

نوع سفر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
ساعت اوج	۴٫۸	۰٫۹۷	۵٫۷۳	۹۱٫۷
روز کاری	۴٫۹	۰٫۹۸	۵٫۸۳	۹۵٫۵
روز تعطیل	۷٫۴	۱٫۰۵	۷٫۰۳	۱۵۳٫۶

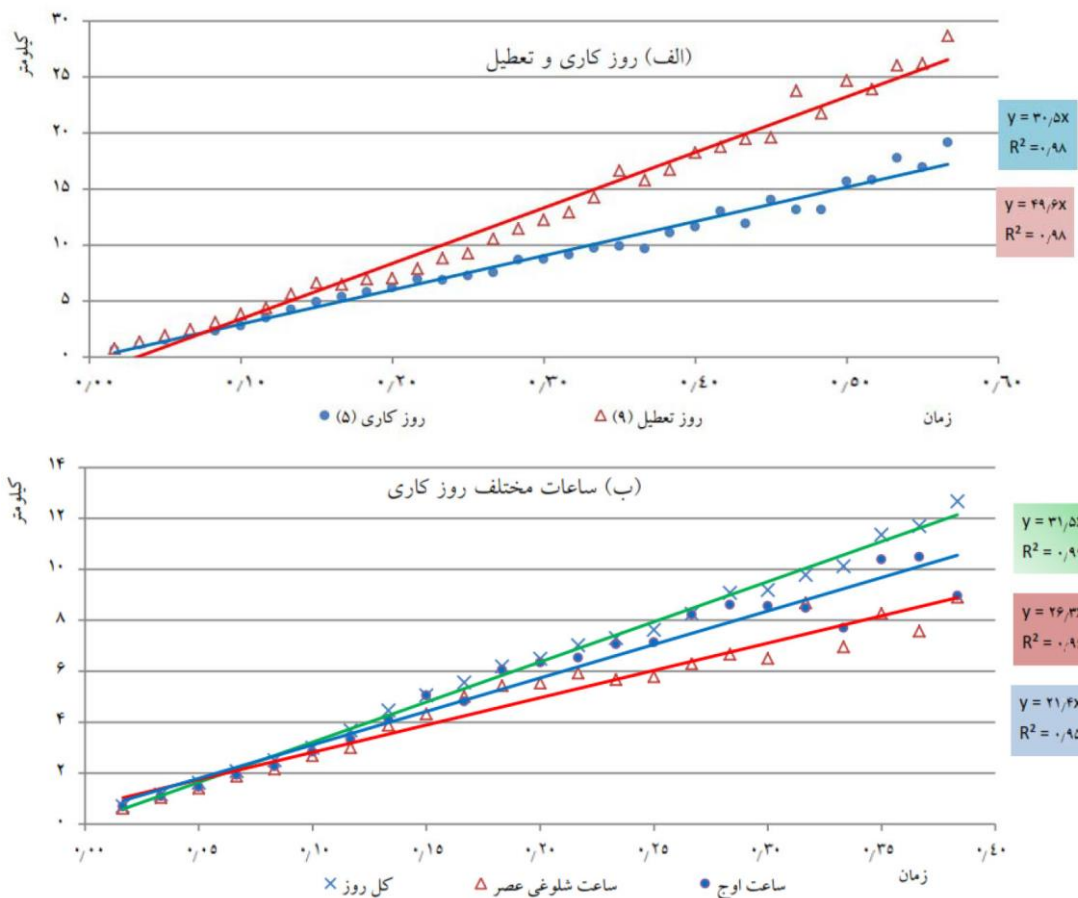


شکل ۳. (رنگی در نسخه الکترونیکی) رفتار متوسط سرعت تاکسی‌ها در مسافت‌های مختلف.

مطالعات دیگر [۱۰] است. علت‌های محتمل برای این پدیده عبارتند از عدم استفاده از بزرگراه در بسیاری از سفرهای طولانی، افزایش دفعات توقف به دلیل عبور از تقاطع‌ها و یا سوار/ پیاده شدن مسافران در سفرهای طولانی. در نتیجه وجود انواع مختلف معابر در شبکه شهری، نتوانسته است توضیح مناسبی برای رفتار آماری سفرهای تاکسی اصفهان ارائه کند (شکل ۳).

به منظور بررسی رابطه زمان سفر با مسافت سفر پیموده شده توسط تاکسی‌های شهر اصفهان در روزهای کاری و غیرکاری و همچنین ساعات مختلف روزهای کاری، زمان سفر

با توجه به نتایج جدول ۱ الگوی سفرهای ساعت اوج، روزهای کاری و تعطیل از توزیع لوگ‌نرمال پیروی می‌کند. تابع توزیع نهایی و پارامترهای آن در جدول ۲ ارائه شده است. به منظور بررسی کارآمدی نظریه تأثیر طبقه‌بندی معابر بر الگوی سفرها، سرعت متوسط سفرها مورد مطالعه قرار گرفت. منظور از طبقه‌بندی معابر، وجود معابر شهری با کارکرد و ویژگی‌های مختلف مانند معابر بزرگراهی، پرعرض با دسترسی محدود، معابر کم‌عرض با دسترسی بالا، و معابر محلی (مانند کوچه‌ها) است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مسافت سفر، سرعت متوسط الزاماً افزایش نمی‌یابد. این روند برخلاف برخی



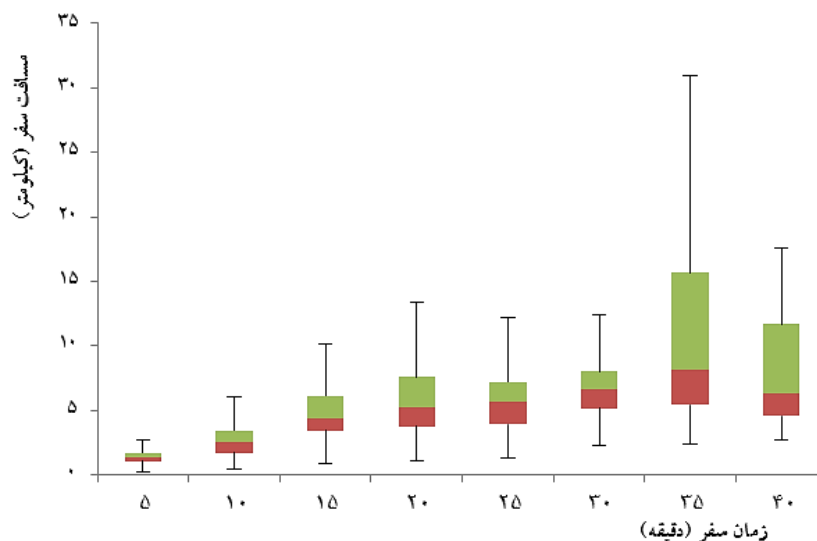
شکل ۴. (رنگی در نسخه الکترونیکی) مقایسه سرعت متوسط سفر تاکسی‌ها در روزهای کاری و تعطیلی و ساعات مختلف روزهای کاری.

بر اطلاعات زمان سفر- متوسط مسافت سفر تاکسی‌ها در ساعات مختلف روز کاری مطابق شکل ۴ (ب) نشان داد، با وجود شلوغ‌تر بودن شبکه معابر در ساعت اوج (صبح)، سرعت متوسط تاکسی‌ها در ساعت شلوغی عصر کمتر از ساعت اوج صبح می‌باشد. یافتن علت این مشاهده نیاز به بررسی دقیق‌تر تردد در معابر دارد.

شکل ۵ رفتار متقابل مسافت و زمان سفر و نیز اطلاعاتی درباره پراکندگی پارامترهای آماری در دسته سفرهای با مدت زمان متفاوت را نشان می‌دهد. در این نمودار، تیرک پایین هر پاره خط عمودی، کمینه مشاهدات و تیرک بالا، بیشینه مشاهدات مربوط به هر دسته را نشان می‌دهد. همچنین، لبه پایین مستطیل سبز نشان دهنده صدک بیست و پنجم و لبه بالای مستطیل سبز، صدک هفتاد و پنجم مشاهدات را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، برای سفرهای با زمان ۳۵ دقیقه، کمینه و

تاکسی‌ها در دسته‌هایی با طول یک دقیقه دسته‌بندی شده و متوسط مسافت سفر هر یک از دسته‌ها محاسبه شد. شکل ۴ (الف) رابطه زمان سفر و متوسط مسافت سفر تاکسی‌های شهر اصفهان را در روزهای تعطیل و کاری نشان می‌دهد. در این نمودار محور افقی کران بالای هر یک از دسته‌های زمان سفر را نشان داده و محور عمودی، متوسط مسافت سفر متناظر هر دسته را نشان می‌دهد.

با برازش نمودارهای مختلف بر اطلاعات زمان سفر و متوسط مسافت سفر تاکسی‌ها در روزهای کاری و تعطیل مشخص شد که زمان سفر تابعی خطی از مسافت سفر است. شیب هر یک از این خطوط، معرف متوسط سرعت حرکت تاکسی‌هاست. متوسط سرعت تاکسی‌های شهر اصفهان در روزهای کاری برابر ۳۰ کیلومتر بر ساعت و در روزهای تعطیل برابر ۵۰ کیلومتر بر ساعت بوده است. خطوط برازش داده شده



شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) پارامترهای آماری مسافت سفرها در بازه‌های مختلف زمان سفر.

۴/۸ کیلومتر) کوتاه‌تر از متوسط کل روز است. با توجه به برآزش تابع لوگ‌نرمال، لگاریتم داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌نماید و در نتیجه می‌توان از آزمون  $z$  برای مقایسه مقادیر میانگین استفاده نمود. این آزمون آماری، فرضیه یکسان بودن میانگین مسافت سفر در ساعت اوج و کل روز را رد نمود. همچنین توزیع مسافت سفرها در روزهای تعطیل، چولگی و کشیدگی بیشتری نسبت به روزهای عادی نشان می‌دهد. در نتیجه مسافت سفرهای تاکسی روزهای تعطیل ناهمسانی بیشتری نسبت به روزهای کاری دارند. مقایسه رفتار سفرها در پرتددترین ساعت روزهای کاری (ساعات اوج) با کل نشان می‌دهد که میانگین مسافت سفر در ساعات اوج دارای میانگین، انحراف معیار، چولگی، و کشیدگی کمتری نسبت به کل روز است.

رفتار سرعت متوسط سفرهای مختلف نشان می‌دهد که علاوه بر فرآیند آماری و طبقه‌بندی معابر شهری، ویژگی‌های سفر و نوع استفاده از تاکسی بر الگوی جابه‌جایی مؤثر است. متوسط سرعت تاکسی‌های شهر اصفهان در روزهای کاری برابر ۳۰ کیلومتر بر ساعت و در روزهای تعطیل برابر ۵۰ کیلومتر بر ساعت بوده است.

بیشینه مشاهدات به ترتیب ۲ و ۳۲ کیلومتر بوده‌اند. صدک بیست و پنجم این دسته حدود ۶ کیلومتر و صدک هفتاد و پنجم حدود ۱۵ کیلومتر است.

روند کلی مشهود در این شکل حاکی از آن است که با افزایش مدت زمان سفر، پراکندگی مسافت نیز افزایش می‌یابد. این افزایش پراکندگی در سفرهای طولانی‌تر از ۳۰ دقیقه مشهودتر است. این دسته سفرها خود مشتمل بر دو گروه هستند. گروه اول سفرهایی با مسافت طولانی است که از طریق بزرگراه‌های شهری انجام گرفته است و گروه دوم سفرهایی با مسافت غیر طولانی هستند که تاکسی در مدت سفر در اختیار مسافر (کرایه درستی) بوده است.

##### ۵. نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از تحلیل‌های آماری نشان می‌دهند که توزیع لوگ‌نرمال نسبت به سایر توزیع‌های مشابه، عملکرد بهتری در تخمین رفتار آماری سفرها دارد. این نتیجه با نتیجه مرجع [۹] انطباق دارد. افزون بر این، مقایسه مقادیر میانگین نشان می‌دهد مسافت میانگین سفرها در روزهای تعطیل (۷/۳۸ کیلومتر) بیشتر از مسافت سفر در روزهای کاری (۴/۸۸ کیلومتر) است. همچنین مسافت میانگین سفرها در ساعات اوج

## مراجع

6. K Zhao, M Musolesi, P Hui, W Rao, and S Tarkoma, *Scientific Reports* **5** (2015) 9136.
7. X Liang, J Zhao, L Dong, and K Xu, Unraveling the origin of exponential law in intra-urban human mobility. *Scientific reports*, **3** (2013) 2983.
8. X Liang, X Zheng, W Lv, T Zhu, and K Xu, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **391**, 5 (2012) 2135.
9. R Gallotti, A Bazzani, and S Rambaldi, *EPJ Data Science* **4** (2015) 18.
1. H A Makse, S Halvin, and H E Stanley, *Nature* **377** (1995) 608.
2. G Krings, F Calabrese, C Ratti, and V D Blondel, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* (2009) L07003.
3. V Belik, T Geisel, and D Brockmann, *Phys. Rev. X* **1** (2011) 011001.
4. X Gabaix, P Gopikrishnan, V Plerou, and H E A Stanley, *Nature* **423** (2003) 267.
5. X P Han, Q Hao, B H Wang, and T Zhou, *Physical Review E* **83**, 3 (2011) 036117.