مدل تحلیل عاملی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس‌های بین‌شهری

شهریار افندی‌زاده*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
امیرمسعود رحیمی، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
E-mail: zargari@iust.ac.ir
دریافت: ۱۳۸٦/۰٤/۳۱- پذیرش: ۱۳۸۸/۰۵/۰۲

چکیده

در مدلسازی تقاضای سفرهای مسافری بین شهری به ویژه در مدلهای ایجاد سفر یا در مدلهای مستقیم تقاضا، معمولاً ۳ تا ٤ پارامتر مستقل مؤثر بر تقاضا به صورت کلاسیک انتخاب شده، سپس مدلهای ریاضی ساخته و کالیبره می‌شوند. فرآیند انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر، یکی از مهم ترین اجزای مدلسازی است که کمتر توسط پژوهشگران به آن پرداخته شده است. مدل‌های مستقیم تقاضا معمولاً شامل متغیرهای جمعیتی، خصوصیات اقتصادی - اجتماعی و شاخص‌های بین ناحیه‌ای برای مُدهای مختلف (هزینه‌ها، زمان‌های سفر، تواتر سرویس) هستند. در این مقاله پارامترهای مؤثر بر ایجاد تقاضای سفر با اتوبوس جمعیت، تعداد دانشجویان دانشگاه‌های آزاد و دولتی، میزان اشتغال، درآمد سرانه ماهانه خانوارهای شهری، ارزش افزوده فعالیت کارگاه‌های صنعتی، تعداد مشترکین تلفن همراه، و تعداد تختهای مجتمع های اقامتی در نظر گرفته شده است. همچنین زمان سفر و کرایه حمل به عنوان پارامترهای مؤثر بر انتخاب مُد سفر با اتوبوس بین شهری در نظر گرفته شده است. در این مقاله، شیوه انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری، بر اساس ناحیه‌بندی استانی در شبکه کشور با تدوین یک مدل تحلیل عاملی گام به گام ارایه و سپس اعتبارسنجی آن بیان شده است. ارزیابی نتایج حاصل از مدل تحلیل عاملی پیشنهادی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری نشان می‌دهد که می‌توان ۳ عامل را از بین ۹ متغیر مورد بررسی واقع شده استخراج کرد. عواملی که از مدل تحلیل عاملی پیشنهادی در این مقاله تعیین می‌شوند با اطمینان حدود ۹۰ درصد، در تبیین پارامتر وابسته معنادار بوده‌اند.

به این ترتیب با بکارگیری عوامل اصلی به دست آمده از مدل تحلیل عاملی پیشنهادی می‌توان فرآیند مدلسازی تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری را از طریق کاربرد کوچک ترین مفاهیم تبیین کننده به منظور تبیین بیشترین مقدار واریانس مشترک در ماتریس همبستگی به انجام رساند.

واژه‌های کلیدی : حمل و نقل جاده‌ای، تقاضای حمل و نقل، عوامل مؤثر بر تقاضای سفر اتوبوس بین‌شهری

۱. مقدمه

تراکم ترافیک در کریدورهای بین شهری به گونه‌ای یکنواخت و دائمی در حال افزایش است و پیامَد این افزایش را می‌توان تأثیر منفی بر توسعه اقتصادی، بهره‌وری ملی و کیفیت محیط زیست دانست[Bhat, 1995]. با در نظر گرفتن امکان ارایه خدمات گسترده حمل و نقل جاده‌ای در اکثر مناطق کشور (به دلیل انعطاف پذیری در انتخاب مسیر، ایمنی نسبی و ارزانی)، سیستم اتوبوسرانی بین شهری می‌تواند در جابجایی مسافران بین شهری در شبکه حمل و نقل کشور، نقش بسزایی داشته باشد. بنابراین برنامه‌ریزی‌های بلندمدت برای این سیستم به منظور افزایش بهره‌وری و حفظ سهم قابل توجه آن در جابجایی مسافر، در بین شیوه‌های مختلف حمل و نقل کشور ضروری است. در این میان پیش‌بینی تقاضای مسافر برای استفاده از مُد جاده‌ای از اساسی‌ترین اقدامات برای پشتیبانی تصمیم‌گیری صحیح مدیران و اداره‌کنندگان سیستم خواهد بود. یکی از مهم‌ترین اجزای

*نویسنده مسئول

مدلسازی تقاضای سفرها، فرآیند انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر است، زیرا اگر از ابتدا تعداد متغیرهای بیشتری بررسی و مورد ارزیابی قرار گیرند، ممکن است نتایج بهتری به دست آید. همچنین ممکن است برخی از متغیرها دارای اثرات مشابه بوده، ولی در مدل به‌طور همزمان گنجانده شوند که نهایتاً باعث کاهش ضریب تبیین مدلها شده و از اعتبار مدلها کاسته می شود.

به منظور ارزیابی روابط بین متغیرها، روشهای گوناگون آماری وجود دارد. تکنیک تحلیل عاملی[1] یکی از روشهای آماری است که در تحلیل جداول یا ماتریس‌های ضرایب همبستگی بکار گرفته می‌شود. روش‌های گوناگون تکنیک تحلیل عاملی بسیار کلی هستند، به طوری که می‌توان از آنها در همبستگی‌های بین متغیرهای از هر نوع (مثلاً متغیرهای اقتصادی، فیزیکی، اجتماعی و ...) استفاده کرد. بررسی و ارزیابی مستقیم ماتریس‌های مربوط به ضرایب همبستگی نشان‌دهنده آن است که تفسیر شهودی ساده‌ای از الگوی روابط بین متغیرها امکان‌پذیر نیست. در این شرایط، پژوهشگر به تکنیکی برای تحلیل متغیرها نیاز دارد که به وی در تفسیر معنادار متغیرهایی که با یکدیگر مرتبطاند، کمک کند. تکنیک تحلیل عاملی، روش ایده‌آلی برای دستیابی به چنین اهداف و منظورهایی است[دلاور و نقشبندی،١٣٨٦] که در این مقاله نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در حقیقت تحلیل عاملی، تکنیکی است که برای شناسایی عواملی که به طور آماری اختلاف مشترک میان اندازه‌گیری‌ها را توضیح می‌دهند، بکار می‌رود[Wunesch, 2006]. در تکنیک تحلیل عاملی ابتدا مجموعه متغیرهای اصلی، به تعداد کمتری از متغیرها که عامل[2] نامیده می‌شوند، کاهش می‌یابد. سپس باید معنای عامل به علت ویژگی‌های ساختاری که ممکن است در این مجموعه روابط پنهان باشند، روشن شود. فرآیند کاهش تعداد متغیرها و همچنین توصیف و تفسیر مفاهیم ساختاری در شناخت تکنیک تحلیل عاملی از اهمیت بسزایی برخوردار است[دلاور و نقشبندی،١٣٨٦].

نخستین کاربرد تکنیک تحلیل عاملی توسط چارلز اسپیرمن[3] در سال ١٩٠٤ میلادی صورت گرفت. بسیاری ازپژوهش‌های اولیه به روش تکنیک تحلیل عاملی در طول سالهای دهه ١٩٠٠ تا ١٩٣٠ میلادی، به کاربرد مدل اسپیرمن در بسیاری از مسایل علمی و بررسی شرایط مناسب برای استفاده از مدل او اختصاص یافته‌اند. در طول این دوره، علاوه بر اسپیرمن، پژوهشگران دیگری چون سیریل برت،[4] کارل هولزینگر،[5] ترومن کلی،[6] کارل پیرسون،[7] گادفری تامسون،[8] ل.ل.ترستون،[9] ه.هوتلینگ،[10] ج.پ.گیلفورد[11] و آر.ب.کاتل[12] کمک‌های قابل توجهی به توسعه مفاهیم تکنیک تحلیل عاملی کرده‌اند. در اوایل سال ١٩٣٠ میلادی، مشخص شد که مدل عمومی اسپیرمن برای توصیف روابط بین متغیرهای یک مجموعه همیشه کافی نیست[٤].

٢. مفاهیم تکنیک تحلیل عاملی و کاربرد آن

مفروض بنیادی در تکنیک تحلیل عاملی این است که عاملهای زیربنایی متغیرها را می‌توان برای تبیین پدیده‌های پیچیده بکار برد و همبستگی‌های مشاهده شده بین متغیرها حاصل اشتراک آنها در این عاملهاست. عامل، متغیر جدیدی است که از طریق ترکیب خطی نمره‌های اصلی متغیرهای مشاهد شده بر اساس رابطه ١ محاسبه می‌شود [حیدرعلی، ١٣٨٠] :

$$F_j = W_{J1}.X_1 + W_{J2}.X_2 + \ldots + W_{JP}.X_P = \sum_{1}^{P} W_{Ji}.X_i \qquad (١)$$

که در آن:

Wها بیانگر ضرایب نمره عوامل، و P معرف تعداد متغیرهاست. در تکنیک تحلیل عاملی، امید بر آن است که تعداد کمی از عاملها (یعنی ترکیب‌های خطی نمره‌های اصلی متغیرهای مشاهده شده) بتوانند تقریباً همه اطلاعاتی را که توسط مجموعه بزرگ‌تری از متغیرها به دست می‌آیند دربرگرفته و نتیجتاً توصیف ویژگیهای مورد انتظار پارامتر وابسته را ساده سازند.

تحلیل عاملی را می‌توان بر اساس دو نوع کاملاً متفاوت از تحلیل یعنی تحلیل مؤلفه‌ای و تحلیل عامل مشترک انجام داد. مبانی ریاضی دو نوع تحلیل مذکور، بر حسب مقدار و نوع واریانس هر متغیر J (X_J) که توسط عامل‌های موجود در مدل توجیه می‌شود، متفاوت است.

ه.عبدی[13] در سال ٢٠٠٣ میلادی می‌گوید : تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی[14] قدیمی‌ترین و فراگیرترین روش در تحلیل چند متغیری است. هدف از انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تجزیه یک مجموعه داده‌ها با مقادیر همبسته به یک مجموعه جدید از متغیرهای ناهمبسته است[Abdi, 2003]. تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی براساس نظر جولیفای، یک تکنیک کلاسیک برای کاهش ابعاد یک مجموعه از داده‌ها به وسیله انتقال به یک مجموعه جدید از متغیرها (مؤلفه‌های اصلی) به منظور خلاصه سازی ساختار آنهاست[Yeung and Ruzzo, 2001].در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی مقدار متغیر استاندارد (z_j) از رابطه ٢ به دست می‌آید :

$$z_j = a_{j1}.F_1 + a_{j2}.F_2 + \ldots + a_{jp}.F_p \qquad (٢)$$

که در آن : a_{jp} معرف وزن F_p و هر یک از n متغیر مشاهده شده به گونه خطی بر حسب n مؤلفه جدید $F_1, F_2, ..., F_n$ (که فرض می‌شود به یکدیگر نابسته هستند) توصیف می‌شود. بر اساس این مدل :

$z_{ji} = \left(\frac{X_{ji} - \overline{X_j}}{\sqrt{V_j}} \right)$ نمره معیار مورد i در متغیر j (به شکل استاندارد) ترکیب خطی n مؤلفه یا عامل نابسته است که بر اساس مقادیر F با ضرایب a وزن داده شده است. همچنین V_j به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود :

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^{p} \left(X_{ji} - \overline{X_j} \right)^2}{n} \qquad (۳)$$

توجه داشته باشید که در این مدل، تعداد عوامل یعنی m برابر با تعداد متغیرها یعنی n است. به منظور درک بهتر مفهوم عامل در تحلیل عاملی، مناسب است که واریانس متغیر z_j بر حسب عناصر این مدل نمایش داده شود. به این منظور، بر اساس تعریف واریانس، رابطه ٤ را داریم :

$$V(z_j) = \frac{\sum_{i=1}^{n} z^2{}_{ji}}{n} = 1 \qquad (٤)$$

یعنی واریانس متغیر استاندارد z_j برابر با یک است. با ایجاد تغییراتی در رابطه ٤ برای تحلیل عامل مشترک می‌توان رابطه ٥ را نشان داد که :

$$\sum a_j^2 + u_j^2 = 1 \qquad (٥)$$

پس کل واریانس z_j را می‌توان به عنوان مجموع m مؤلفه یعنی a_j^2 ها و یک عامل یگانه u_j^2 بیان کرد. یعنی a_j^2 ها و u_j^2 ها را می‌توان به عنوان واریانس در نظر گرفت (u_j معرف یک عامل یگانه است که سهم یگانه متغیر X_j را در z_j توجیه می‌کند). به همین ترتیب برای تحلیل مؤلفه اصلی چون $u_j = 0$ است، خواهیم داشت : $\sum a_j^2 = 1$

مقدار a_j^2 افزون بر ارایه اطلاعاتی درباره نسبت واریانس توجیه شده توسط عامل F_p، به توصیف این مطلب کمک می کند که عوامل چه چیز را اندازه می‌گیرند. یک عامل در حقیقت یک متغیر است، در همان معنی که X ها متغیر هستند، بنابراین همانند Xها، اندازه‌ای از یک صفت یا ویژگی است. اما اندازه‌گیری عاملها نه به گونه مستقیم، بلکه به طور غیر مستقیم بر حسب Xها انجام می‌شود. یکی از نکات مهم در تکنیک تحلیل عاملی، مشخص کردن این موضوع است که یک عامل معین در حقیقت چه چیز را اندازه می‌گیرد، و در انجام این کار، مقادیر a_j^2 ها مفید خواهد بود. مقادیر a_j^2 نشان می‌دهد که در یک عامل معین، چه متغیرهایی کمترین و بیشترین سهم را دارند. بنابراین هر عامل غالباً به عنوان شاخص ویژگی یا ویژگی‌هایی در نظر گرفته می‌شود که توسط X های همراه با بزرگ ترین مقدار a_j^2 اندازه‌گیری می‌شود [حیدرعلی، ۱۳۸۰].

۳. مراحل اجرای تکنیک تحلیل عاملی

اجرای تکنیک تحلیل عاملی در این مقاله شامل دو مرحله استخراج و چرخش عامل است. هدف اصلی از مرحله اول، اتخاذ تصمیم درباره تعداد عوامل اصلی در یک مجموعه از متغیرهای اندازه‌گیری شده است. هدف مرحله دوم، دستکاری نتایج آماری (چرخش عاملها) به منظور قابل تفسیر کردن عوامل و همچنین تصمیم گیری درباره عوامل اصلی از مجموعه متغیرهای اندازه‌گیری شده است.

در مرحله اول، استخراج عوامل از ماتریس همبستگی، با استفاده از یکی از شیوه‌های اجرایی نظیر روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی صورت می‌پذیرد [Wunesch, 2005]. روشهای استخراج عوامل را بر اساس مفروضه‌هایی که از لحاظ نمونه‌برداری آزمودنیها و متغیرها ایجاد می کند، و همچنین این نکته که تحلیل عاملی از نوع اکتشافی است یا تأییدی، می‌توان طبقه بندی کرد. هنگامی که شواهد کافی قبلی و پیش تجربی برای تشکیل فرضیه درباره تعداد عاملهای زیربنایی داده‌ها در دسترس نباشد و در واقع این تمایل وجود داشته باشد که درباره تعیین تعداد و ماهیت عواملی که همپراشی[۱۵] بین متغیرها را توجیه می‌کند، داده‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند باید از تحلیل اکتشافی استفاده شود. به گفته استیونس در سال ۱۹۹٦ میلادی، تحلیل اکتشافی به عنوان یک روش تدوین و تولید تئوری بوده و یک روش آزمون تئوری نیست. تحلیل عاملی تأییدی در واقع یک مدل آزمون تئوری است. در این شیوه تحلیل با یک فرضیه قبلی شروع می‌شود. این مدل که مبتنی بر یک پایه تجربی و تئوری قوی است، مشخص می‌کند که کدام متغیرها با کدام عوامل و همچنین کدام عوامل با کدامیک از عوامل دیگر همبسته می‌شوند. همچنان که قبلاً نیز اشاره شد، روشهای مختلف تحلیل عاملی ابتدا به استخراج یک مجموعه از عوامل از مجموعه متغیرها کمک می کنند. این عوامل تقریباً همیشه به صورت یک ماتریس راست گوشه بوده و بر اساس سهمی از واریانس داده‌های اصلی که برای توصیف آنها به وجود

آمده‌اند، منظم شده‌اند. به منظور تفسیر عواملی که مرتبط هستند، گام دوم به چرخش عوامل اختصاص خواهد یافت. ه.عبدی[16]، در سال ۲۰۰۳ میلادی بیان می‌کند که: اصلی‌ترین دلیل اساسی و منطقی برای چرخش عوامل در پژوهش های ترستون در سال ۱۹٤۷ میلادی و کاتل در سال ۱۹۷۸ میلادی ملاحظه می‌شودکه هر دو، از چرخش عوامل در کارهای خود دفاع کرده‌اند، زیرا این روش باعث ساده شدن ساختار عوامل شده و در نتیجه تفسیر آنها را ساده‌تر و منطقی‌تر می‌کند[Abdi, Herve, 2003, Multivariate...]. به منظور دستیابی به ساختار ساده در روش متعامد، سه شیوه برای چرخش عوامل وجود دارد : شیوه کوارتیماکس[17]، شیوه واریماکس،[18]و شیوه اکوماکس[19] [حیدرعلی، ۱۳۸۰].

اگر چه ماتریس چرخش نیافته عوامل برای نمایش اصول کلی نتایج کفایت می‌کند، ولی معمولاً تفسیر نتایج تکنیک تحلیل عاملی بر اساس ماتریس ساختار عاملی چرخش یافته انجام می‌شود. آخرین نکته در زمینه تحلیل عاملی به انتخاب روش چرخش بستگی دارد. کاربرد هر یک از روشهای چرخش به هدف پژوهشگر بستگی دارد. بنابراین پژوهشگر باید ابتدا تصمیم بگیرد که عوامل باید همبسته یا ناهمبسته باشند. به‌طورکلی، اگر پژوهشگر بخواهد نتایج حاصل از تحلیل او دارای بهترین برازش با داده‌ها باشد، باید از روش چرخش متمایل استفاده کند. اما اگر پژوهشگر علاقه بیشتری به تعمیم پذیری نتایج داشته باشد، باید روش چرخش متعامد را بکار گیرد. مزیت اصلی روش چرخش متمایل در این است که نتایج حاصل از آن بهترین برازش را با داده‌ها دارد، زیرا به شدت تحت تأثیر اندازه‌گیری‌های خاص گروه نمونه است. در روش چرخش متمایل، درجه همبستگی بین عوامل از یک مطالعه به مطالعه دیگر تغییر می‌کند و در نتیجه نتایج حاصل از چرخش متمایل (به سبب خطای نمونه برداری) کمتر احتمال دارد که در مطالعات آینده دوباره به دست آیند. مزیت اصلی روش چرخش متعامد در این است که نتایج حاصل از آن بهترین برازش را با داده‌های گذشته و آینده دارد. بنابراین نتایج چرخش متعامد به احتمال زیاد در مطالعات آینده تجدید و تکرار می‌شود و همچنان که توسط پژوهشگران قبلی نیز به دست آمده است. آخرین فعالیت در اجرای تکنیک تحلیل عاملی، توصیف و تفسیر واقعی نتایج است که نیازمند خلاقیت، ابتکار، نبوغ، تجربه و شناخت بسیار، از داده‌های مورد تحلیل است. در واقع می‌توان توصیف و تفسیر نتایج حاصل از اجرای تکنیک تحلیل عاملی را مهم ترین فعالیت در این تکنیک دانست که شیوه مدونی برای آن وجود ندارد.

٤. تدوین مدل تحلیل عاملی انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین‌شهری

همانند آنچه در روش کلاسیک تحلیل تقاضای سفرهای شهری وجود دارد، تحلیل رفتار سفرهای بین شهری نیز تصمیم‌گیری در مورد سفرها را در ٤ زیر تصمیم مورد بررسی قرار می‌دهد : ایجاد سفر[20]، توزیع سفر[21]، تفکیک سفر[22]، (انتخاب مُد) و تخصیص ترافیک[23] [Ortuzar and Willumsen, 2001]. با توجه به این که در این پژوهش ارزیابی سفر با اتوبوس بین شهری مَد نظر است، بنابراین مبدأ و مقصد سفرها در داخل شبکه تعیین شده است و از این روی مراحل توزیع سفر و تخصیص ترافیک حائز اهمیت نبوده و تنها بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد سفر و انتخاب مُد ضروری است.

مهم‌ترین و متداول‌ترین پارامترهای کلاسیک مؤثر بر ایجاد سفرهای بین شهری مسافری را می‌توان عواملی چون جمعیت، وضعیت اشتغال، میزان درآمد سرانه، رشد ناخالص داخلی یا ملی دانست. نظر به این که تعیین رشد ناخالص داخلی برای دو استان کشور به سادگی امکان پذیر نبوده و داده‌های مورد نیاز آن قابل دسترسی نیست، بنابراین می‌توان بجای آن از ارزش افزوده فعالیت‌های صنعتی استان‌ها استفاده کرد.

همچنین مهم‌ترین پارامترهای کلاسیک مؤثر بر انتخاب مُد در سفرهای بین شهری مسافری را می‌توان شامل زمان سفر، هزینه سفر و کیفیت سرویس دانست. با در نظر گرفتن این نکته که کیفیت سرویس، یک پارامتر کیفی است و ارزیابی آن به شیوه کمی بسیار دشوار است، معمولاً در مدل سازی سفرها به منظور تعیین کیفیت سرویس از اجزای زمان سفر برای کمی کردن آن استفاده می‌شود، بنابراین می‌توان با ارزیابی دقیق پارامتر زمان سفر، از عامل کیفیت سفر چشم پوشی کرد. بررسی‌های شهودی به عمل آمده در مورد سفرهای مسافری اتوبوس بین شهری در شبکه کشور، نشان داد که بخش قابل توجهی از سفرهای بین شهری، به جابجائی دانشجویان دانشگاههای مختلف اختصاص دارد. بنابراین، این پارامتر نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر ایجاد سفرهای اتوبوس بین شهری در سیستم حمل و نقل جاده‌ای کشور در نظر گرفته شده است. همچنین ملاحظه شد که ایجاد سفرهای تفریحی - سیاحتی- زیارتی مسافری بین شهری

در شبکه کشور را می‌توان بـا تعـداد مجتمـع‌هـای اقـامتی (هتـل، سوئیت، مُتل و ...) در ارتباط دانست. بنابراین پارامتر تعداد تخـت مجتمع های اقامتی در استانهای مختلف کشور نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر ایجاد سفرهای اتوبوس بین شهری در سیستم حمل و نقل جاده‌ای کشور در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که تلفن همراه تا سالهای اخیر (۱۳۸۳)، به عنوان یک کالای لـوکس و مدرن (با قیمت زیاد و زمان انتظار قابـل توجـه بـرای دریافـت سرویس آن) در کشور مطرح بوده است. با در نظر گرفتن اهمیت این وسیله ارتباطی امروزی، به نظر می‌رسد که ضریب نفـوذ تلفـن همراه در هر استان می‌تواند به عنوان عاملی مؤثر از رونق وضعیت اقتصادی آن استان و نشانگرغیر مستقیم وضعیت رفاهی خانوارهـا باشد. بنابراین در این پژوهش، پارامتر تعداد مشترکین تلفن همـراه در استانهای مختلف کشور نیز به عنوان یکـی از عوامـل مـؤثر بـر ایجاد سفرهای اتوبوس بین شهری در سیستم حمل و نقل جاده‌ای کشور در نظر گرفته شده است.

به طورخلاصه، می‌توان عوامل مؤثر بر ایجاد تقاضای سفر اتوبوس در سیستم حمـل و نقـل جـاده‌ای کشـور را جمعیـت اسـتان‌هـای مختلف کشور (Popu)، تعـداد دانشـجویان دانشـگاه‌هـای آزاد و دولتی شاغل بـه تحصـیل در اسـتانهای ۲۸ گانـه کشـور (Stu)، میـزان اشـتغال در هـر اسـتان (Emp)، درآمـد سـرانه ماهانـه خانوارهای شـهری هـر اسـتان (Incm)، ارزش افـزوده فعالیـت کارگاه‌های صنعتی هـر اسـتان (Vadd)، تعـداد مشـترکین تلفـن همراه هر استان (Mob)، و تعداد تخت مجتمع هـای اقـامتی هـر استان (Bed) دانست.

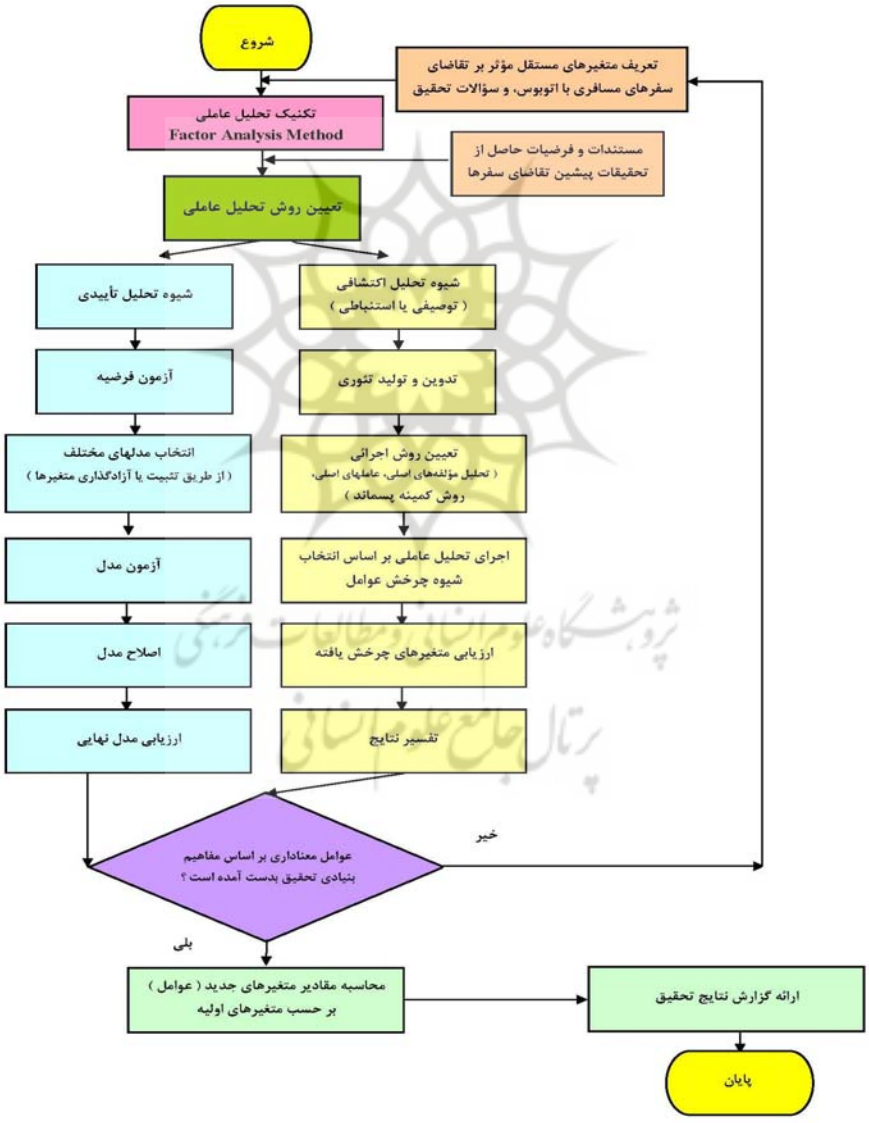
همچنین زمـان سـفر (زمـان سـفر ورودی (Tbtt) و زمـان سـفر خروجی (Tbft)) و هزینـه سـفر (کرایـه حمـل Cb) بـه عنـوان پارامترهـای مـؤثر بـر انتخـاب مُـد سـفرهای مسـافری اتوبـوس بـین شـهری در سیسـتم حمـل و نقـل جـاده‌ای کشـور در نظـر گرفته‌شده است. لازم به یادآوری است کـه مقـادیر زمـان سـفر از مجموع زمان دسترسی به پایانه مبدأ، زمان انتظار در سـالن پایانـه، زمان کنترل بلیت و تحویل کالای همراه مسافر، زمان سـفر داخـل اتوبوس، و زمان دسترسی از پایانـه مقصـد بـه مقصـد نهـایی، بـر اساس اطلاعات موجود برای سیستم حمل و نقل جاده‌ای محاسـبه شده است. زمان سفر داخل اتوبوس نیز بر اساس فاصله طی شـده توسط اتوبوس و میانگین سرعت سیر برآورد شده است.

به منظور ارزیابی ۹ پارامتر اصلی (با توجه به تفاوت مقـادیر آنهـا برای سفرهای رفت و برگشت با ۱۷ پارامتر مختلف در دو جهـت مواجه خواهیم بود[۲۴]) تعیین شده در این پژوهش وضعیت مقـادیر و تغییرات هر یـک از ایـن پارامترهـا بـرای سـال ۱۳۸۳ از منـابع اطلاعاتی مربوط استخراج و در پایگـاه اطلاعـاتی ایـن پـژوهش[۲۵] ثبت شده است[سالنامه آماری کشور،۱۳۸۳ و سالنامه آماری حمل و نقل،۱۳۸۳]. شایان ذکر است با توجه به این که اطلاعات مربوط به اکثر عوامل در نظر گرفته شده بـه عنـوان پارامترهـای مـؤثر بـر مدلسازی تقاضای سفر جاده‌ای تنها بر حسـب اسـتانهای کشـور و به طور کلان قابل دستیابی هسـتند، بنـابراین مبنـای انتخـاب زوج شهرها برای این پژوهش، مراکز استان‌هـا بـوده اسـت. در مرحلـه بعدی با استفاده از تکنیک تحلیـل عـاملی بـه ارزیـابی متغیرهـا و کاهش داده‌ها از ۹ متغیر به ۲ تا ۳ متغیر جدید (عامـل) پرداختـه خواهد شد. فلوچارت گام به گام مـدل تحلیـل عـاملی پیشـنهادی شیوه انتخاب عوامل اصـلی مـؤثر بـر تقاضـای سـفر بـا اتوبـوس بین‌شهری، در شکل ۱ ارایه شده است.

۵. اعتبارسنجی مدل پیشـنهادی انتخـاب عوامـل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری

با توجه به پیچیدگی‌های محاسبات تکنیک تحلیل عـاملی، در ایـن پژوهش از نرم افزار SPSS 13 با شیوه اجرایی تحلیل مؤلفـه‌هـای اصلی و روش چرخش واریماکس استفاده شده اسـت. در تحلیـل مؤلفه‌های اصلی، عامل‌ها همهٔ واریانس هر متغیر از جمله واریانس مشترک با سایر متغیرهای مجموعه (کوواریانس)، و نیز واریـانس اختصاصی متغیر J را توجیه می‌کند. در نتیجه در تحلیل مؤلفـه‌ای، تعداد عامل‌ها (مؤلفه‌ها) از دیدگاه نظری باید بـا تعـداد متغیرهـا برابر باشد، زیرا همه واریانس هر متغیر باید توسط عوامـل توجیـه شود. شـیوه واریمـاکس کـه توسـط کیسـر توسـعه داده شـده، در حقیقت "عوامل را تمیز می‌کند"، یعنی عواملی تولید می‌کند که بـا مجموعـه کوچـک‌تـری از متغیرهـا دارای همبسـتگی قـوی و بـا مجموعه دیگری از متغیرها دارای همبسـتگی ضـعیف باشـد. ایـن روش به ساده‌سازی ستون‌های ماتریس عاملی مـی‌پـردازد و در آن فرآیند ساده‌سازی معادل با بیشینه کردن واریانس مجـذور بارهـای عاملی هر ستون است. پایگاه اطلاعاتی داده هـای ایـن پـژوهش در محیط نرم‌افزار صفحه گسترده Excel XP ایجاد شده و سپس در محیط Data Editor نرم افـزار SPSS 13 فراخـوانی و آنـالیز شده است. با توجه بـه تفـاوت مقـادیر پـارامتر وابسـته و مقـادیر پارامترهای مسـتقل در مسـیرهای رفـت و برگشـت، تحلیـل آنهـا به‌طور جداگانه انجام گرفته است.

تحلیل واریانس اولیه و مقادیر بسط داده شده آن برای ۹ متغیر مؤثر بر تقاضای مسافر اتوبوس مسیرهای منتهی به تهران از کلیه مراکز استانها (ورودی)، بیانگر وجود ۳ عامل اصلی از بین ۹ متغیر بررسی شده با مجموع تأثیر ۸۲/۱۰ درصد است. همچنین تحلیل واریانس اولیه و مقادیر بسط داده شده آن برای مسیرهای منتهی به کلیه مراکز استانها از تهران (خروجی) بیانگر وجود ۳ عامل اصلی از بین ۹ متغیر بررسی شده با مجموع تأثیر ۸۰/۹۹ درصد است. جدول ۱ نتایج مجموع واریانس تبیین شده برای متغیرها را در دو جهت سفرهای ورودی به تهران و خروجی از تهران ارایه می‌دهد. شایان ذکر است که سطرهای جدول ۱ به بیان مقادیر مربوط به مقادیر اختصاص یافته به هر عامل و ستونهای جدول به ارایه مقدار کل، درصد واریانس تبیین شده و درصد تراکمی آن به ترتیب برای ارزش‌های ویژه آغازین، مجموع مجذور بارهای استخراجی و مجموع مجذور بارهای چرخش یافته می‌پردازد. اگر چه ماتریس چرخش نیافته عوامل برای نمایش اصول کلی نتایج کفایت می‌کند، ولی معمولاً تفسیر نتایج تکنیک تحلیل عاملی بر اساس ماتریس ساختار عاملی چرخش یافته انجام می‌شود. مهم‌ترین ویژگی ماتریس عاملی، بارهای عاملی است. بار عاملی معرف همبستگی متغیر با عامل است و نتیجتاً همانند هر گونه همبستگی دیگر تفسیر می‌شود.



شکل ۱ . فلوچارت مدل تحلیل عاملی پیشنهادی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری

جدول ۱ . نتایج تحلیل مجموع واریانس تبیین شده عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین‌شهری

الف : در مسیرهای ورودی به تهران

عامل	ارزش‌های ویژه آغازین			مجموع مجذور بارهای استخراجی			مجموع مجذور بارهای چرخش یافته		
	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی
۱	٤/۲۱۰	٤٦/۷۸۲	٤٦/۷۸۲	٤/۲۱۰	٤٦/۷۸۲	٤٦/۷۸۲	٤٦/۱۳٦	٤٦/۱۳٦	٤٦/۱۳٦
۲	۲/۱۳۹	۲۳/۷٦۳	۷۰/٥٤٥	۲/۱۳۹	۲۳/۷٦۳	۷۰/٥٤٥	۲/۱۹۱	۲٤/۳٤۳	۷۰/٤۷۹
۳	۱/۰٤۰	۱۱/٥٥۸	۸۲/۱۰۳	۱/۰٤۰	۱۱/٥٥۳	۸۲/۱۰۳	۱/۰٤٦	۱۱/٦۲۳	۸۲/۱۰۳
٤	۰/۸۳۷	۹/۳۰۳	۹۱/٤۰٦						
٥	۰/٤۹٥	٥/٤۹٦	۹٦/۹۰۲						
٦	۰/۱۱۲	۱/۲٤٥	۹۸/۱٤۷						
۷	۰/۷۰٤	۰/۸۱۸	۹۸/۹٦٥						
۸	۰/۰٥٥	۰/٦۰۷	۹۹/۷٥۲						
۹	۰/۰۳۹	۰/٤۲۸	۱۰۰/۰۰۰						

ب : در مسیرهای خروجی از تهران

عامل	ارزش‌های ویژه آغازین			مجموع مجذور بارهای استخراجی			مجموع مجذور بارهای چرخش‌یافته		
	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی	مقدار کل	درصد واریانس	درصد تراکمی
۱	۳/۳۱۹	٤۱/٤۸۷	٤۱/٤۸۷	۳/۳۱۹	٤۱/٤۸۷	٤۱/٤۸۷	۳/۲٤۳	٤۰/٥۳۳	٤۰/٥۳۳
۲	۲/۱۲۰	۲٦/٥۰۲	٦۷/۹۸۹	۲/۱۲۰	۲٦/٥۰۲	٦۷/۹۸۹	۲/۱۹۱	۲۷/۳۸۷	٦۷/۹۲۰
۳	۱/۰٤۰	۱۳/۰۰۰	۸۰/۹۸۸	۱/۰٤۰	۱۳/۰۰۰	۸۰/۹۸۸	۱/۰٤٥	۱۳/۰٦۸	۸۰/۹۸۸
٤	۰/۸۲٦	۱۰/۳۲۱	۹۱/۳۰۹						
٥	۰/٤۹٤	٦/۱۷۷	۹۷/٤۸٦						
٦	۰/۱۰٦	۱/۳۳۱	۹۸/۸۱٦						
۷	۰/٥۰٦	۰/٦۹۷	۹۹/٥۱۳						
۸	۰/۰۳۰	۰/٤۷۸	۹۹/۹۹۱						
۹	۰/۰۱۳	۰/۰۰۹	۱۰۰/۰۰۰						

آزمون نمودار شیب‌دار[۲٦] طرحی از واریانس کل تبیین شده به وسیله هر متغیر را در ارتباط با سایر متغیرها بیان می‌کند. در این طرح معمولاً عامل‌های بزرگ در بالا و سایر عوامل با شیبی تدریجی در کنار هم مشاهده می‌شوند. این گونه طرح‌ها توسط کتل به آزمون Scree نامگذاری شد. این آزمون مبتنی بر این فرض است که وقتی یک ماتریس پسماند باشد، همه عامل‌های متوالی استخراج شده از آن ماتریس فقط منعکس کننده واریانس خطاست. تجربه نشان می‌دهد که اگر k عامل حقیقی وجود داشته باشد، نقطه عطف نمودار شیب‌دار از عامل k ام آغاز می‌شود. از بررسی نمودار آزمون Scree برای داده‌های این پژوهش، ملاحظه می‌شود که شیب نمودار، هم برای سفرهای ورودی به تهران و هم برای سفرهای خروجی از تهران، بعد از ۳ عامل اول به شدت نزول می‌کند و این موضوع نشان دهنده آن است که برای انتخاب عوامل اصلی، تنها ۳ عامل از ۹ متغیر مورد بررسی، اصلی بوده و دارای ارزش ویژه هستند. شکل ۲ نمودار آزمون Scree برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس در مسیرهای منتهی به تهران از مراکز استانها و نیز مسیرهای منتهی به کلیه مراکز استانها از تهران را نشان می‌دهد.

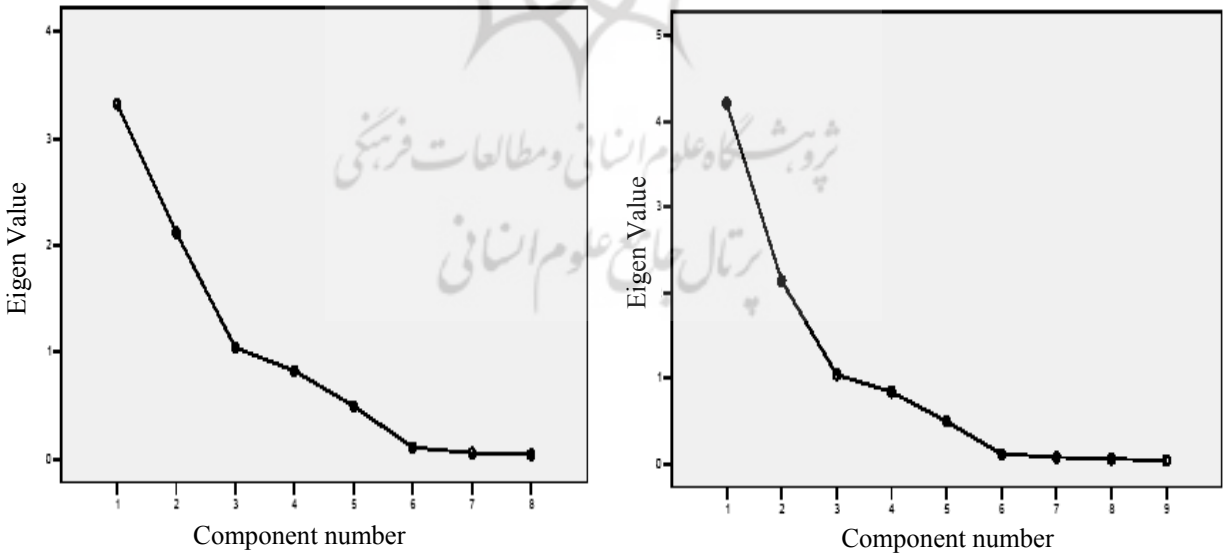
جدول ۲ نتایج ماتریس عوامل مورد بررسی در تحلیل عاملی در فضای چرخش یافته را برای مسیرهای ورودی به تهران از مراکز استانها و مسیرهای خروجی از تهران به کلیه مراکز استان‌ها را نشان می‌دهد. (معمولاً عوامل چرخش نیافته، چندان قابل تفسیر نیستند. برای بیشتر معنی‌دار کردن عامل‌ها، آنها را چرخش می‌دهند).

بررسی ماتریس عوامل چرخش یافته بر اساس جدول ۲، نشان دهنده آن است که می‌توان ۳ عامل را از بین ۹ متغیر مورد بررسی واقع شده استخراج کرد. تفسیر مفهومی این ۳ عامل را می‌توان به شکل عامل اول با عنوان «خصوصیات زیربنائی و جمعیتی» ، عامل دوم با عنوان «خصوصیات مُد حمل و نقل» و عامل سوم را با عنوان «خصوصیات درآمدی و اشتغال مسافران» بیان کرد. این تفسیر عوامل اصلی به دست آمده از مدل تحلیل عاملی با مفاهیم بنیادی پارامترهای تأثیرگذار بر تقاضای سفر در مباحث نظری مهندسی حمل و نقل نیز سازگاری دارد. بنابراین اجرای مدل تحلیل عاملی پیشنهادی برا انتخاب فرآیند پارامترهای مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری معتبر است.

٦. نتیجه گیری

مدل تحلیل عاملی پیشنهادی در این مقاله، می‌تواند برای انتخاب پارامترهای مؤثر در مدلسازی تقاضای سفر با اتوبوس استفاده شود. در این مقاله، ابتدا پارامترهای کلاسیک مؤثر بر ایجاد تقاضا برای سفر با اتوبوس به شرح زیر تعیین شدند: جمعیت، تعداد دانشجویان دانشگاه‌های آزاد و دولتی، میزان اشتغال، درآمد سرانه ماهانه خانوارهای شهری، ارزش افزوده فعالیت کارگاههای صنعتی، تعداد مشترکین تلفن همراه، و تعداد تخت مجتمع های اقامتی. همچنین زمان سفر و کرایه حمل به عنوان پارامترهای مؤثر بر انتخاب مُد سفر با اتوبوس بین شهری (در مجموع ۹ پارامتر) در نظر گرفته شده است. سپس شیوه انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری با تدوین یک مدل تحلیل عاملی گام به گام ارایه، و در گام بعدی اعتبارسنجی آن بیان شده است. ارزیابی نتایج حاصل از مدل تحلیل عاملی پیشنهادی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری نشان می‌دهد که می‌توان ۳ عامل را از بین ۹ متغیر مورد بررسی واقع شده استخراج کرد. عواملی که از مدل تحلیل عاملی پیشنهادی در این مقاله تعیین می‌شوند با اطمینان حدود ۹۰ درصد در تبیین پارامتر وابسته معنادار بوده‌اند.

بنابراین، این شیوه امکان کنترل پارامترهای بیشتری را در اختیار مدل ساز قرار می‌دهد و نهایتاً بر قابلیت اطمینان نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل‌های منتج از این پارامترها می‌افزاید. همچنین می‌توان با بکارگیری مدل تحلیل عاملی پیشنهادی، پارامترهای بیشتری را بررسی کرده و نهایتاً با استخراج تعداد محدودی عامل اصلی (متغیر جدید از ترکیب خطی پارامترهای اولیه) از آنها به نتایج بهتری برای مدلسازی دست یافت. به این ترتیب می‌توان بکارگیری مدل تحلیل عاملی پیشنهادی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین شهری را (قبل از انجام مدلسازی تقاضای سفرها) به منظور ایجاد امکان توسعه مدلهای مناسب‌تر برای پیش بینی تقاضای سفرها بسیار مناسب دانست.



الف : در مسیرهای ورودی به تهران

ب : در مسیرهای خروجی از تهران

شکل ۲ . نتایج تحلیل آزمون نمودار Scree برای عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس بین‌شهری

جدول ۲ . نتایج ماتریس تحلیل عاملی در فضای چرخش یافته برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس در مسیرهای منتهی به تهران از مراکز استانها و بالعکس[۲۷]

الف : در مسیرهای ورودی به تهران

متغیر	عامل		
	۱	۲	۳
Cb	۰/۰۷۰	۰/۹۷۵	۰/۰۰۶
Tbtt	۰/۰۹۶	۰/۹۴۴	-۰/۰۱۵
Incm	- ۰/۱۰۲	۰/۳۷۹	۰/۶۷۹
Emp	۰/۱۵۲	- ۰/۳۴۰	۰/۷۴۷
Stu	۰/۹۴۷	- ۰/۰۴۳	- ۰/۰۳۳
Popu	۰/۹۳۵	۰/۱۵۶	۰/۰۴۳
Vadd	۰/۷۸۴	- ۰/۱۰۹	۰/۰۱۱
Mob	۰/۹۶۳	۰/۰۴۹	۰/۰۲۷
Bed	۰/۸۶۰	۰/۲۲۱	۰/۱۵۰

ب : در مسیرهای خروجی از تهران

متغیر	عامل		
	۱	۲	۳
Cb	۰/۰۷۱	۰/۹۷۵	۰/۰۰۹
Tbft	۰/۰۹۷	۰/۹۴۴	- ۰/۰۱۳
Incm	- ۰/۱۲۵	۰/۳۷۹	۰/۶۸۵
Emp	۰/۱۷۱	- ۰/۳۴۴	۰/۷۴۳
Stu	۰/۹۷۳	- ۰/۰۳۸	- ۰/۰۳۳
Popu	۰/۹۳۷	۰/۱۶۰	- ۰/۰۴۳
Vadd	۰/۷۷۴	- ۰/۱۰۵	۰/۰۱۳
Mob	۰/۹۶۳	۰/۰۴۹	۰/۰۲۷
Bed	۰/۸۷۲	۰/۲۲۴	۰/۱۴۹

۷. پانویس ها

1 . Factor analysis
2 . Factor
3 . Charles Spearman
4 . Cyril Burt
5 . Karl Holzinger
6 . Truman Kelly
7 . Karl Pearson
8 . Godfry H.Thomson
9 . L. L. Thurstone
10. H.Hotelling
11. J. P. Guilford
12. R. B. Cattel
13. Hervé Abdi
14. Principal Component Analysis
15. Covariation
16. Hervé Abdi
17. Quartimax
18. Variamax
19. Equamax
20. Trip Generation
21. Trip Distribution
22. Modal Split
23. Traffic Assignment

۲۴. تنها کرایه بلیط اتوبوس برای هر دو مسیر رفت و برگشت (تقریباً) ثابت است و به مبدأ یا مقصد سفر بستگی ندارد.

۲۵. در زمان جمع‌آوری داده‌های این مقاله، هنوز کلیه آمار و اطلاعات مربوط به سال ۱۳۸٤ منتشر نشده بود، لذا از داده‌های مربوط به سال ۱۳۸۳ استفاده شده است.

26. Cattell's Scree Test
27. Extraction Method : Principal Component Analysis (Rotation Method : Varimax with Kaiser Normalization & Rotation Converged : in 3 Iteration)

۸ . مراجع

- Abdi, Hervé (2003) "Factor rotations in factor analysis", Encyclopedia of social sciences research methods , In : Lewis-Beck M. , Bryman, A. , Futing T. (Eds.), Thousand Oaks (CA) : Sage.

- Abdi, Hervé (2003) "Multivariate analysis", Encyclopedia of social sciences research methods , Thousand Oaks (CA) : Sage.

- Bhat, C.R. (1995) ″A heterroscedstic extreme value model of intercity travel mode choice", Transportation Research Board, Vol. 29, No. 6.

- Ortuzar, Juan de Dios and Willumsen, Luis G. (2001) ‘‘ Modelling Transport ’’, John Wiley and Sons Ltd., England.

-Wunesch, Karl L. (2006) "Factor analysis", East Carolina University, Departmant of Psychology.

- Wunesch, Karl L. (2005) "Principal components analysis – SPSS", East Carolina University, Departmant of Psychology.

- Yeung, K.Y. and Ruzzo, W.L. (2001) ″ Principal component analysis for clustering gene expression data" , Bioinformatics , Vol. 17 , No. 9 , Oxford University Press.

– دلاور، علی و نقشبندی، سیامک (۱۳۸٦) " تحلیل آماری در روان‌شناسی و علوم تربیتی" ، نشر ارسباران، تهران.

– سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور(۱۳۸۳)" سالنامه آماری حمل و نقل جاده‌ای کشور" ، تهران: سازمان حمل و نقل جاده‌ای

– سالنامه آماری کشور (۱۳۸۳) ، مرکز آمار ایران.

– هومن، حیدرعلی (۱۳۸۰) " تحلیل داده‌های چند متغیری در پژوهش رفتاری"، تهران: نشر پارسا.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی