

کاربرد مدل آمیخته رشد پنهان در تحلیل نرخ مرگ و میر حوادث ترافیکی سراسر جهان، ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳

مسعود صالحی: استادیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

محمد رضا مهماندار: دکترای اپیدمیولوژی، دانشگاه علوم پلیس، پلیس ترافیک ناجا، تهران، ایران.

*توفیق مبادری: دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران (*نویسنده مسئول). tofigh.state@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: سوانح و حوادث ترافیکی به عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات بهداشتی در جهان مطرح هستند. الگوی رخداد تصادفات ترافیکی در کشورهای مختلف جهان متفاوت است و نیازمند رویکردها و استراتژی‌های خاص می‌باشد. هدف از این مطالعه به کارگیری مدل آمیخته رشد پنهان جهت بررسی الگوی تغییرات مرگ و میر تصادفات جاده‌ای در سراسر جهان بود.

روش کار: در این مطالعه طولی، داده‌های مرگ و میر تصادفات جاده‌ای سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ مربوط به ۱۹۳ کشور از سراسر جهان از گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی استخراج گردید. جهت بررسی روند تغییرات از مدل‌های منحنی رشد پنهان خطی و غیر خطی استفاده و با هم مقایسه شد. در نهایت جهت گروه‌بندی کشورها براساس روندها، مدل آمیخته رشد پنهان برازش داده شد. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Mplus 6.12 استفاده شد.

یافته‌ها: مدل منحنی رشد پنهان غیر خطی برازش بهتری نسبت به مدل خطی داشت، با توجه به مدل غیر خطی روند تغییرات مرگ و میر ابتدا کاهش (تا سال ۲۰۱۰) و سپس افزایش داشت. با استفاده از مدل آمیخته رشد پنهان ۷ کلاس (۱ کلاس خطی و ۶ کلاس غیر خطی) با روند مرگ و میر متفاوت استخراج شد.

نتیجه‌گیری: از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۳ مرگ و میر تصادفات جاده‌ای جهان ابتدا کاهش و سپس افزایش یافته است. با توجه به روند مرگ و میر، کشورهای جهان به ۷ زیرگروه با الگوی متفاوت دسته‌بندی شدند. بنابراین جهت کاهش مرگ و میر تصادفات جاده در جهان، بهتر است برای هر یک از ۷ زیرگروه سیاست‌های جداگانه‌ای اعمال شود.

کلیدواژه‌ها: مدل منحنی رشد پنهان، مدل آمیخته رشد پنهان، تصادفات جاده‌ای، ناهمگنی، مطالعه طولی

مقدمه

سوانح و حوادث ترافیکی به عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات بهداشتی در جهان مطرح هستند. سوانح ترافیکی سالانه نیمی از آسیب‌های رخ داده در سراسر جهان را شامل می‌شوند و به طور مداوم در میان ده علت اصلی بار بیماری‌ها قرار دارند (۱). تصادفات جاده‌ای سالانه جان بیش از ۱/۲۷ میلیون نفر را گرفته و باعث مصدومیت و معلولیت ۵۰ میلیون نفر دیگر می‌شوند (۲، ۳). پنج علت از پانزده علت مرگ و میر در بزرگسالان ۱۵-۲۹ سال ناشی از حوادث می‌باشد. برآوردهای طولانی مدت ابتدا که با سال‌های از دست رفته عمر با ناتوانی DALY (Disability-Adjusted) DALY

(Life Year) نشان داده می‌شود، قابل توجه است و بالاتر از عوارض ناشی از بیماری‌های قلبی عروقی و سرطان می‌باشد (۴). طبق پیش‌بینی سازمان جهان بهداشت اگر در جهت کاهش حوادث ترافیکی اقدام جدی صورت نگیرد مرگ و میر ناشی از آن تا ۶۷٪ افزایش خواهد یافت (۳). مطالعات حاکی از آن است که ۸۵٪ از مرگ و میرها و بیش از ۹۰٪ از معلولیت‌های سالانه ناشی از تصادفات جاده‌ای در کشورهای با درآمد پایین و متوسط رخ می‌دهد در حالی که این کشورها تنها ۴۸٪ از خودروهای دنیا را دارا هستند (۵). در این کشورها اکثر مرگ و میرهای حوادث ترافیکی در بین استفاده‌کنندگان آسیب‌پذیر جاده‌ای مانند

زیرگروه‌های پنهان از مدل رشد آمیخته پنهان که توسعه یافته‌ی مدل منحنی رشد پنهان است استفاده می‌شود (۸). در این مطالعه - ابتدا جهت ارزیابی روند تغییرات مرگ و میر تصادفات جاده‌ای در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ در کشورهای سراسر جهان از مدل منحنی رشد پنهان و سپس جهت کشف زیر گروه‌های ناهمگن از مدل آمیخته رشد پنهان استفاده شد.

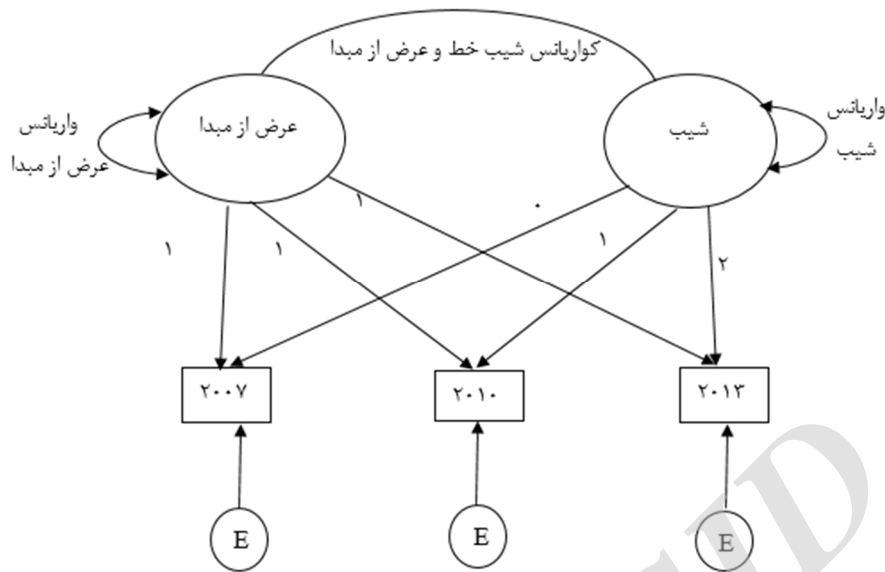
روش کار

داده‌ها: در این مطالعه طولی، داده‌ها با استفاده از گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی که با عنوان "GLOBAL STATUS REPORT ON ROAD SAFETY" در طی سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ به چاپ رسیده است، استخراج شدند (۲، ۵، ۱۳). هر کدام از نسخه‌های این گزارش حاوی اطلاعات ترافیکی کشورهای مختلف جهان از جمله میزان مرگ و میر به ازای ۱۰۰۰۰۰ نفر است که این اطلاعات مربوط به سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ می‌باشد. این گزارش‌ها در قالب فایل PDF (Portable Document Format) به چاپ رسیده لذا برای استخراج داده‌ها ابتدا آن را به قالب ورد تبدیل کرده و سپس در یک بانک اطلاعاتی بزرگ برای تمامی کشورها در قالب یک بانک اطلاعاتی اکسل جمع آوری گردید. جامعه مورد مطالعه شامل کل کشورهای جهان و نمونه مورد مطالعه شامل کشورهایی است که اطلاعات مرگ و میر آن‌ها در دسترس و معیار ورود به مطالعه را داشته باشند. معیار ورود به مطالعه این بود که اطلاعات مرگ و میر تصادفات جاده‌ای هر کشور حداقل در دو نقطه زمانی گزارش شده باشد. اطلاعات مرگ و میر مربوط به ۱۹۳ کشور جهان در دسترس بود ولی تعداد ۱۲ کشور به دلیل نداشتن معیار ورود به مطالعه حذف شده‌اند. بنابراین نمونه مورد مطالعه شامل ۱۸۱ کشور از سراسر جهان که اطلاعات مرگ و میر تصادفات جاده‌ای آن‌ها حداقل در دو نقطه زمانی گزارش شده بود.

روش‌های آماری: در ابتدا مدل رشد پنهان به دو صورت خطی و غیر خطی بر روی کل کشورهای جهان برازش داده شد تا روند کلی

عابرین پیاده، موتورسواران و دوچرخه‌سواران رخ می‌دهد. در حالی که در کشورهای با درآمد بالا بیشترین مرگ و میر در بین رانندگان اتومبیل می‌باشد (۲، ۳). پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ تصادفات جاده‌ای دومین علت مرگ در کشورهای با درآمد پایین و متوسط، و سومین علت مرگ در کشورهای با درآمد بالا خواهد شد (۶).

در بسیاری از مطالعات جهت ارزیابی روند تغییرات متغیر پاسخ از مطالعات طولی استفاده می‌شود. مطالعات طولی شامل اندازه‌گیری‌هایی است که از هر فرد در طول زمان به طور مکرر انجام می‌گیرد و این ویژگی ما را قادر می‌سازد که تغییرات درون فردی را در طول زمان بررسی کنیم (۷). روش‌های آماری مختلفی برای تحلیل داده‌های طولی معرفی شده‌اند که نسبت به رویکردهای سنتی نظیر تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر محدودیت کمتر و توان بیشتر دارند، از بین این روش‌ها می‌توان به مدل‌های چند سطحی، مدل‌های GEE (Generalized Estimating Equation) و مدل منحنی رشد پنهان اشاره کرد (۸). در سال‌های اخیر مدل منحنی رشد پنهان محبوبیت بیشتری پیدا کرده است. مدل منحنی رشد پنهان یکی از روش‌های تحلیل داده‌های طولی است که با استفاده از عامل‌های پنهان، الگوی تغییرات متغیر پاسخ را مشخص می‌کند. یک محدودیت مهم مدل رشد پنهان این است که فرض می‌کند تمام افراد از یک جامعه همگن واحد آمده‌اند (۸) و این در حالی است که الگوی رخداد تصادفات ترافیکی در کشورهای مختلف جهان متفاوت است و نیازمند رویکردها و استراتژی‌های خاص می‌باشد (۹-۱۱). به عبارتی دیگر روند مرگ و میر تصادفات جاده‌ای کشورهای مختلف جهان در طول زمان تحت تاثیر شرایط جغرافیایی، فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی متفاوت است و ممکن است برای برخی کشورها افزایش یا کاهش یابد و یا در طول زمان ثابت بماند (۱۲). در صورت وجود ناهمگنی در جامعه مورد مطالعه استفاده از مدل رشد پنهان نتایج گمراه کننده و نامعتبری خواهد داشت. به همین دلیل جهت کشف این



شکل ۱- دیاگرام مفهومی مدل منحنی رشد پنهان خطی

تغییرات میزان مرگ و میر تصادفات جاده‌ای در جهان در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ برآورد شود. در مدل رشد پنهان خطی فرض بر این است که روند رشد همه نمونه‌ها خطی و مشابه به یکدیگر است. این مدل توانایی استفاده از عامل‌های پنهان تغییرات درون فردی را در طول زمان ایجاد می‌کند. دیاگرام مفهومی مدل منحنی رشد خطی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل عامل‌های پنهان عرض از مبدا و شیب خط به ترتیب میزان مرگ و میر تصادفات جاده‌ای در شروع مطالعه و روند تغییرات آن را در طول مطالعه نشان می‌دهند، میزان مرگ و میر تصادفات جاده‌ای مشاهده شده سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ به صورت مستطیل شکل و بارهای عاملی شیب خط به ترتیب ۰، ۱ و ۲ بر روی فلش‌ها قرار گرفتند. معادله مدل منحنی رشد پنهان خطی در معادله ۱ نشان داده شده است.

به ترتیب عامل‌های پنهان عرض از مبدا و شیب η_{1i} به ترتیب عامل‌های پنهان عرض مبدا و شیب خط، λ_t ها بارهای عاملی هستند که روند‌ها را در طول زمان بر روی متغیر پاسخ توصیف می‌کنند. همچنین ε بیانگر جمله خطای تصادفی، η_0 و η_1 به ترتیب میانگین عرض از مبدا (میانگین متغیر پاسخ در شروع مطالعه) و میانگین شیب خط (میانگین تغییرات متغیر پاسخ در طول زمان) را نشان می‌دهند.

زمانی که تغییرات متغیر پاسخ خطی نباشد، باید از مدل رشد پنهان غیر خطی استفاده شود. مدل‌های غیر خطی مختلفی معرفی شدند که در این مطالعه از روش امتیاز زمان آزاد استفاده شد. در مدل منحنی رشد پنهان غیر خطی به روش امتیاز زمان آزاد، مقادیر بارهای عاملی نقطه اول و دوم به دست محقق تعیین می‌گردد و سپس شیب میان دو نقطه محاسبه می‌گردد، آنگاه با توجه به مقدار شیب محاسبه شده بارهای عاملی نقاط دیگر محاسبه می‌شود. بنابراین در مدل غیر خطی بر خلاف مدل خطی فاصله میان بارهای عاملی یکسان نیست (۸). دیاگرام مفهومی مدل منحنی رشد غیر خطی در شکل ۲ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود بارهای عاملی شیب خط نقاط زمانی اول و دوم به ترتیب ۰ و ۱ تعیین

$$y_{ti} = \eta_{0i} + \eta_{1i}\lambda_t + \varepsilon_{ti}$$

$$\eta_{0i} = \eta_0 + \varepsilon_{0i} \quad \text{معادله ۱}$$

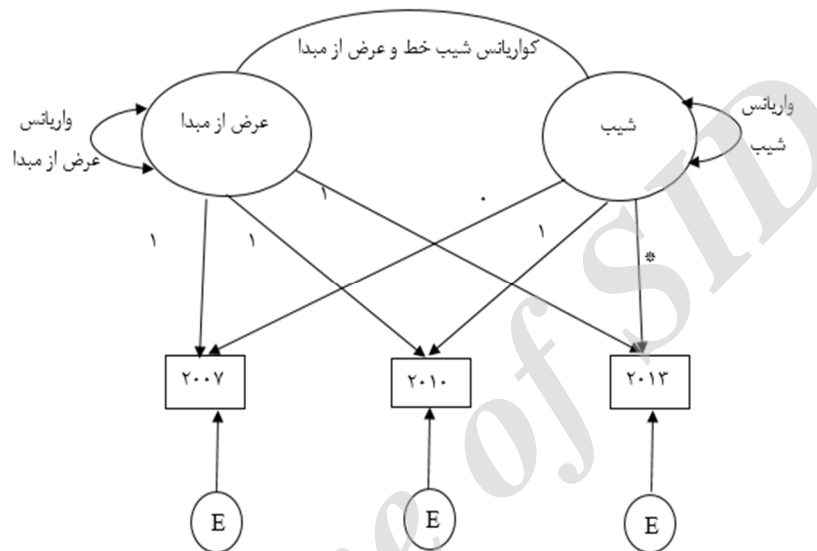
$$\eta_{1i} = \eta_1 + \varepsilon_{1i}$$

در این معادله y_{ti} مقدار متغیر پاسخ مشاهده شده مربوط به نمونه i ام در زمان t (میزان مرگ و میر کشور i ام در سال t)، دو متغیر تصادفی η_{0i} و

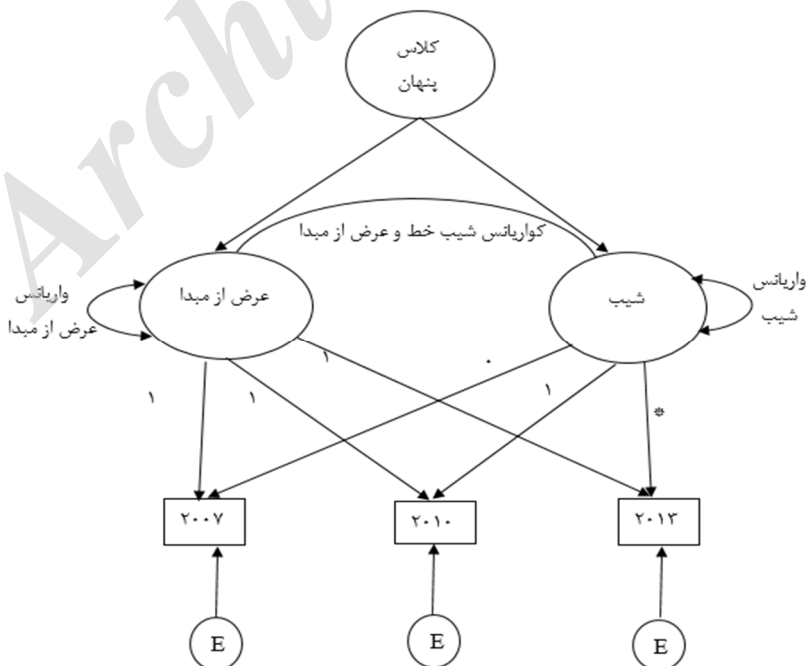
شد، مقادیر مطلوب شاخص‌های نیکویی برازش $RMSEA < 0.08$ ، $CFI > 0.90$ و $TLI > 0.90$ نشان دهنده‌ی برازش مناسب مدل بر روی داده‌ها است (۱۴، ۱۵). همچنین برای مقایسه مدل‌ها و برای آنکه مشخص شود کدام یک از مدل‌های خطی و غیر خطی کاراتر است، از معیارهای AIC (Akaike Information Criterion) و BIC (Bayesian information criterion) استفاده شد،

شده و بار عاملی نقطه زمانی سوم هنوز نامشخص است که باید با توجه به شیب خط بین نقاط زمانی اول و دوم بار عاملی نقطه زمانی سوم محاسبه شود.

جهت تعیین نیکویی برازش مدل‌ها از شاخص‌ها (Root Mean Square Error of Approximation) RMSEA، (Comparative Fit Index) CFI، (Tucker-Lewis Index) TLI و (Index



شکل ۲- دیاگرام مفهومی مدل منحنی رشد پنهان غیر خطی



شکل ۳- دیاگرام مفهومی مدل آمیخته رشد پنهان خطی

شکل معنی‌داری بهتر از مدل با $k=1$ کلاس نیست (۲۰). در نهایت از بین مدل‌های که آزمون BLRT برای آنها معنی‌دار شد، مدل با کمترین مقادیر شاخص‌های AIC و BIC به عنوان مدل بهینه انتخاب شد. جهت بررسی کیفیت کلاس بندی از آماره آنتروپی استفاده شد، مقدار آماره آنتروپی بین صفر تا یک است و مقدار $0/8$ به بالا نشان دهنده خوب بودن کیفیت کلاس بندی است. برای انجام کلیه تحلیل‌ها از نرم‌افزار Mplus 6.12 استفاده شد.

یافته‌ها

در ابتدا مدل منحنی رشد خطی و غیر خطی بر روی داده‌های مرگ و میر تصادفات جاده‌ای ۱۸۱ کشور برازش داده شد. نتایج برازش این مدل‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، میانگین عرض از مبدا و شیب خط مدل خطی به ترتیب $17/26$ و $0/73-$ محاسبه شد که هر دو از نظر آماری معنی‌دار بودند ($p < 0/05$). بنابراین به طور متوسط میزان مرگ و میر تصادفات جاده‌ای در جهان در شروع مطالعه $17/26$ نفر در 100000 نفر بود که در هر دوره به اندازه $0/73$ نفر در 100000 نفر کاهش یافته است. به دلیل خطی بودن مدل، بارهای عاملی به فاصله مساوی از یک دیگر برای نقاط زمانی 2007 ، 2010 و 2013 به ترتیب 0 ، 1 و 2 تعیین شد. شاخص‌های نیکویی برازش برابر با $RMSEA=0.42$ ، $CFI=0.72$ و $TLI=0.16$ برآورد شدند و نشان دادند که مدل برازش خوبی ندارد برای مدل غیر خطی جدول ۱ نیز میانگین عرض از مبدا برابر با $19/56$ ($p < 0/001$) و میانگین شیب خط برابر با $3/61-$ ($p < 0/001$) برآورد شد. مقادیر بارهای عاملی نقاط اول و دوم به ترتیب 0 و 1 تعیین گردید و مقدار بار عاملی نقطه سوم با توجه به دو نقطه‌ی اول $0/74$ محاسبه شد. بنابراین براساس مدل غیر خطی، متوسط میزان مرگ و میر در شروع مطالعه $19/56$ نفر در 100000 نفر که در دوره‌ی اول مطالعه (از 2007 تا 2010) به اندازه $3/61$ نفر در 100000 نفر کاهش داشت و در دوره‌ی دوم (از 2010 تا

هر چه مقادیر این معیارها کمتر باشد مدل مورد نظر برازش بهتری دارد (۱۶، ۱۷).

محدودیت مهم مدل منحنی رشد پنهان این است که فرض می‌شود کل افراد متعلق به یک جامعه آماری همگن بوده و روند تغییرات برای همه نمونه‌ها یکسان است و در صورت ناهمگن بودن روند تغییرات متغیر پاسخ و وجود زیر جامعه‌های پنهان قادر به شناسایی آنها نخواهد بود (۱۸). مدل آمیخته رشد پنهان، تعمیم یافته مدل رشد پنهان، از جمله روش‌های مهم در کشف زیرگروه‌هایی است که در آنها روند رشد نمونه‌ها در هر یک از این زیرگروه‌ها مشابه و با رشد نمونه‌ها در دیگر گروه‌ها متفاوت است (۱۹). دی‌گرام مفهومی مدل آمیخته رشد غیر شرطی در شکل ۳ نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود متغیر گسسته کلاس پنهان مانند یک متغیر مستقل بر شیب خط و عرض از مبدا اثر می‌گذارد.

معادله مدل آمیخته رشد در معادله ۲ نشان داده شده است.

$$y_{it}^k = \eta_{i0}^k + \eta_{i1}^k \lambda_t^k + \varepsilon_{it}^k$$

$$\eta_{i0}^k = \eta_{00}^k + \varepsilon_{i0}^k \quad \text{معادله ۲:}$$

$$\eta_{i1}^k = \eta_{10}^k + \varepsilon_{i1}^k$$

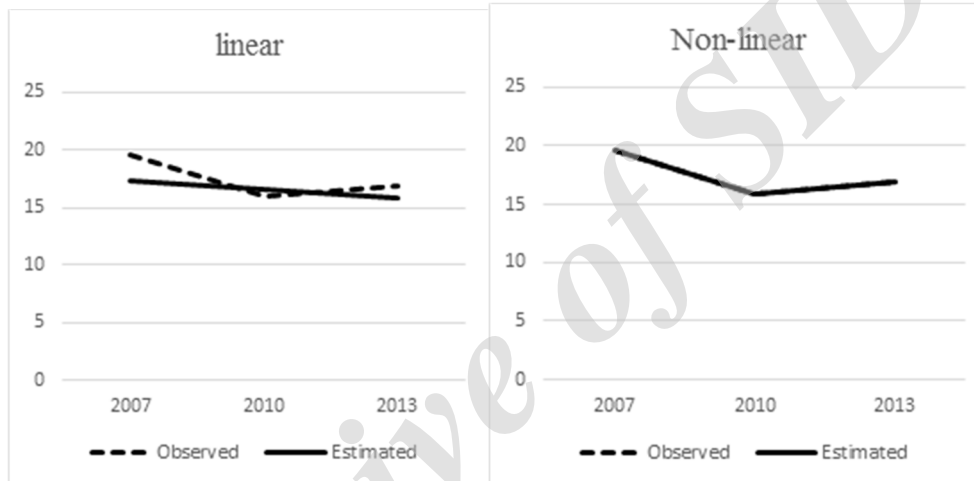
این معادله تعمیم یافته معادله رشد پنهان است که در اینجا به ازاء هر زیر گروه (k) یک معادله رشد پنهان وجود دارد، لذا در این صورت y_{it}^k مقدار متغیر پاسخ مربوط به نمونه i ام در زمان t و در کلاس k را نشان می‌دهد (۸).

برای تصمیم‌گیری جهت تعیین تعداد کلاس‌ها پنهان ابتدا مدل آمیخته رشد پنهان را با دو کلاس برازش داده و با مدل منحنی رشد (مدل با یک کلاس) مقایسه شد، سپس در مرحله بعد مدل با ۳ کلاس برازش داده شده و به همین صورت مرحله به مرحله بر تعداد کلاس‌ها افزوده شد تا اینکه نتیجه آزمون (BLRT Bootstrap Likelihood) (Ratio Test) در سطح $0/05$ معنی‌دار نشد، عدم معنی‌داری آزمون BLRT برای یک مدل با k کلاس نشان می‌دهد که برازش مدل با k کلاس به

جدول ۱- نتیجه برازش مدل منحنی رشد پنهان خطی و غیر خطی

مدل غیر خطی	مدل خطی	
۱۹/۵۶ (۰/۷۷)*	۱۷/۲۶ (۰/۷۹)*	میانگین عرض از مبدا (خطای معیار)
-۳/۶۱ (۰/۵۹)*	-۰/۷۳ (۰/۲۷)*	میانگین شیب خط (خطای معیار)
<۰/۰۰۱	۰/۴۲	RMSEA
۱	۰/۷۲	CFI
۱	۰/۱۶	TLI
۳۵۱۸/۵۳	۳۵۴۳/۸۵	AIC
۳۵۴۷/۳۱	۳۵۶۹/۴۴	BIC
.	.	بار عاملی نقطه اول (λ_{12})
۱	۱	بار عاملی نقطه دوم (λ_{22})
۰/۷۴	۲	بار عاملی نقطه سوم (λ_{32})

* در سطح ۰/۰۵ معنی دار است.



شکل ۴- روند تغییرات میزان مرگ و میر مشاهده شده و برآورده شده توسط مدل منحنی رشد پنهان خطی و غیر خطی

نسبت به مدل خطی ($AIC=3543.85$ ، $BIC=3569.44$) کمتر است و در نتیجه مدل غیر خطی برازش بهتری نسبت به مدل خطی داشت. روند تغییرات میزان مرگ و میر مشاهده شده و برآورد شده در شکل ۴ برای هر دو مدل خطی و غیر خطی نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۴ برای مدل خطی، میانگین روند تغییرات میزان مرگ و میر مشاهده شده (منحنی گسسته) به صورت غیر خطی ابتدا کاهش یافته و سپس افزایش یافته و این در حالی است که روند تغییرات برآورد شده (منحنی پیوسته) به صورت خطی و با شیب ملایم کاهش یافته است، به عبارتی دیگر دو منحنی مشاهده شده و برآورد شده اختلاف زیادی با هم دارند. بنابراین برازش مدل خطی چندان مناسب نیست. ولی برای مدل

(۲۰۱۳) با توجه به بار عاملی برآورد شده برای نقطه زمانی سوم داریم:

$$\begin{aligned} \eta_1(\lambda_{(t+c)} - \lambda_t) &= \\ \alpha_1(\lambda_{32} - \lambda_{22}) &= \\ -3.61(0.74-1) &= \\ 0.94 & \end{aligned} \quad \text{معادله ۳}$$

بنابراین به طور متوسط در فاصله زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ میزان مرگ و میر به اندازه ۰/۹۴ نفر در ۱۰۰۰۰۰ نفر افزایش یافته است. شاخص‌های نیکویی برازش مدل برابر با $RMSEA < 0.001$ ، $CFI = 1$ و $TLI = 1$ محاسبه شدند. با توجه به مقادیر شاخص‌ها نیکویی برازش به دست آمده، مدل بسیار عالی ارزیابی شد. همچنین برای این مدل غیر خطی مقادیر معیارهای AIC و BIC به ترتیب ۳۵۱۸/۵۳ و ۳۵۴۷/۳۱ محاسبه شد که

جدول ۲- شاخص‌های AIC، BIC و نتیجه آزمون BLRT مدل آمیخته رشد برآورد شده

مدل	AIC	BIC	BLRT test p-value
۱ کلاس	۳۵۱۸/۵۳	۳۵۴۷/۳۱	-----
۲ کلاس	۳۴۳۹/۳۹	۳۴۷۷/۷۷	< ۰/۰۰۱
۳ کلاس	۳۴۱۳/۵۵	۳۴۶۱/۵۳	< ۰/۰۰۱
۴ کلاس	۳۳۶۸/۸۳	۳۴۲۹/۶۰	< ۰/۰۰۱
۵ کلاس	۳۳۵۹/۳۱	۳۴۲۹/۶۸	۰/۰۳۰
۶ کلاس	۳۳۳۰/۰۷	۳۴۱۳/۲۳	۰/۰۳۶
۷ کلاس	۳۳۰۷/۸۱	۳۴۱۰/۱۷	۰/۰۰۱
۸ کلاس	۳۴۲۷/۴۸	۳۵۲۰/۲۴	۰/۴۰۴

جدول ۳- برآورد پارامترهای مدل آمیخته رشد پنهان

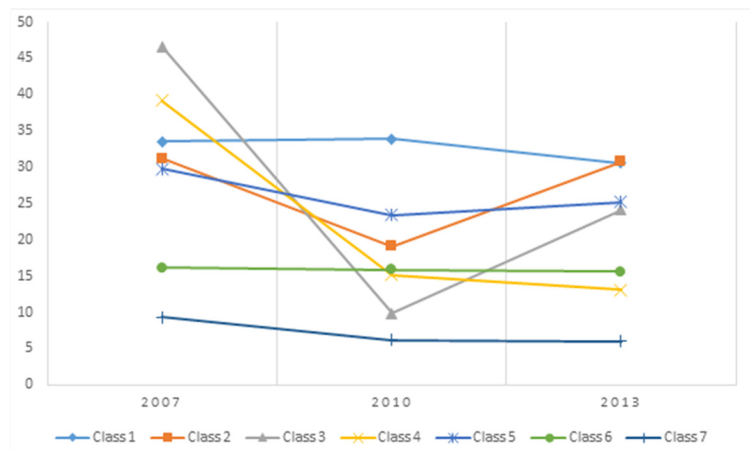
تعداد کلاس	میانگین عرض از مبدا (خطای معیار)	میانگین شیب (خطای معیار)	بارهای عاملی ۲۰۱۳، ۲۰۱۰، ۲۰۰۷	تعداد نمونه (درصد)
کلاس ۱ غیر خطی	۳۳/۵۴ (۱/۷۵)*	۰/۳۷ (۰/۸۱)	-۷/۹۷، ۱، ۰، ۰	۸ (۰/۴۴)
کلاس ۲ غیر خطی	۳۱/۲ (۱/۰۶)*	-۱۲/۱ (۱/۱۴)*	۰/۰۴، ۱، ۰، ۰	۱۶ (۰/۰۸۸)
کلاس ۳ غیر خطی	۴۶/۶۸ (۱/۲)*	-۳۶/۸۴ (۱/۲۷)*	۰/۶۱، ۱، ۰، ۰	۲ (۰/۰۱۱)
کلاس ۴ غیر خطی	۳۹/۲۳ (۱/۰۷)*	-۲۴/۱۲ (۲/۲)*	۱/۰۸، ۱، ۰، ۰	۳ (۰/۰۱۷)
کلاس ۵ غیر خطی	۲۹/۸ (۱/۱۵)*	-۶/۴۱ (۱/۴۶)*	۰/۷۲، ۱، ۰، ۰	۳۵ (۰/۱۹)
کلاس ۶ خطی	۱۶/۱۱ (۰/۵۰)*	-۰/۲۷ (۰/۳۷)	۲، ۱، ۰، ۰	۶۷ (۰/۳۷)
کلاس ۷ غیر خطی	۹/۳۳ (۰/۸۲)*	-۳/۱۰ (۰/۴۶)*	۱/۰۷، ۱، ۰، ۰	۵۰ (۰/۲۸)

آماره آنتروپی Entropy=۰/۹۲

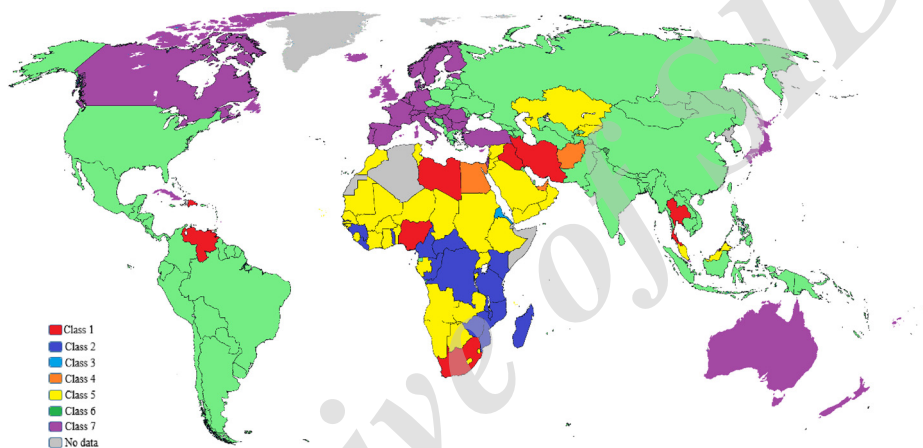
*در سطح ۰/۰۵ معنی دار است

در نتیجه مدل با ۷ کلاس به عنوان مدل بهینه انتخاب شد. نتیجه برازش مدل آمیخته رشد با ۷ کلاس در جدول ۳ گزارش و روند تغییرات برآورد شده کلاس‌ها در شکل ۵ ترسیم شد. مقدار آماره آنتروپی برای این مدل ۰/۹۲ محاسبه شد که از مقدار ۰/۸ بزرگ‌تر است، در نتیجه کیفیت کلاس‌بندی نمونه‌ها نیز خوب ارزیابی شد. با توجه به جدول ۳ و شکل ۵ میانگین عرض از مبدا برای کلاس یک ۳۳/۵۴ برآورد شد که از نظر آماری معنی‌دار است ($P < 0/05$) ولی میانگین شیب خط برای این کلاس معنی‌دار نشد، بنابراین روند مرگ و میر تصادفات جاده‌ای برای کشورهای کلاس یک در طول زمان تغییر معنی‌داری نداشته است. کلاس‌های دوم تا پنجم میانگین عرض از مبدا بزرگ و معنی‌داری داشتند، یعنی اینکه میزان مرگ و میر برای این کلاس‌ها در شروع مطالعه

منحنی رشد پنهان غیر خطی دو منحنی برآورد شده و مشاهده شده بر یکدیگر منطبق هستند، در نتیجه برازش مدل خوب بوده است. در مرحله بعد به منظور بررسی ناهمگنی موجود در جامعه و کشف زیرگروه‌های پنهان، از مدل آمیخته رشد پنهان استفاده شد. برای تعیین تعداد کلاس پنهان مدل با کلاس‌های مختلف برازش داده شد و شاخص‌های AIC، BIC و نتیجه آزمون BLRT مربوط به هر یک از مدل‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. همانگونه که در این جدول می‌توان مشاهده نمود آزمون BLRT برای مدل با ۸ کلاس معنی‌دار نشده است ($p > 0/05$)، بنابراین می‌توان گفت مدل با ۸ کلاس به طور معنی‌داری بهتر از مدل با ۷ کلاس نیست. از بین مدل‌هایی که آزمون BLRT برای آن‌ها معنی‌دار شد مدل با ۷ کلاس دارای کمترین مقادیر AIC و BIC است،



شکل ۵- روند تغییرات میزان مرگ و میر برآورد شده توسط مدل آمیخته رشد برای ۷ کلاس



شکل ۶- پراکندگی کشورها براساس شماره کلاس

کلاس ششم معنی‌دار نیست و در طول زمان ثابت مانده است. کلاس هفتم با میانگین عرض از مبدا $9/33$ ($p < 0/05$) و شیب خط $-3/10$ ($p < 0/05$) شامل کشورهایی است که کمترین میزان مرگ و میر را در شروع مطالعه داشتند و در دوره اول مطالعه به اندازه $3/10$ کاهش و در دوره دوم با توجه به بار عاملی نقطه‌ی زمانی سوم ($\lambda_{32} = 1.07$) به اندازه‌ی $0/22$ $-0/22$ ($-3/10$) \times ($1-$) $1/07$) نفر در 100000 نفر کاهش داشت. شکل ۶ پراکندگی کشورهای را براساس شماره‌ی کلاس نشان می‌دهد. همچنین جدول ضمیمه شده، کشورهای هر کلاس را مشخص کرده است.

زیاد است. همچنین با توجه به اینکه شیب خط این کلاس‌های غیر خطی منفی و معنی‌دار است، روند مرگ و میر در دوره‌ی اول کاهش و در دوره دوم با توجه به مقدار بار عاملی نقطه سوم می‌تواند کاهش یا افزایش باشد. برای مثال کلاس دوم در دوره اول (2007 تا 2010) به اندازه $12/1$ نفر در 100000 نفر کاهش ولی در دوره دوم (2010 تا 2013) با توجه به بار عاملی نقطه زمانی سوم ($\lambda_{32} = 0.04$) به اندازه‌ی $11/62$ ($12/1$) \times ($-0/1$) $-0/4$) \times ($1-$) 100000 نفر افزایش داشت. کلاس خطی ششم با میانگین عرض از مبدا $16/11$ ($P\text{-value} < 0/05$) معنی‌دار است ولی مقدار میانگین شیب خط $-0/27$ ($p > 0/05$) است که در سطح $0/05$ معنی‌دار نیست. بنابراین روند تغییرات مرگ و میر برای

میزان مرگ و میر در شروع مطالعه بالا و طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ با شیب تندی کاهش یافت ولی این روند کاهشی ادامه نیافته و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ روند افزایشی بود. براساس گزارش بانک توسعه آفریقا در این کشورها قرار بود طبق برنامه از پیش طراحی شده میزان مرگ و میر را کاهش دهند، اما در اغلب این کشورها به دلیل کمبود منابع مالی و انسانی این برنامه متوقف شد، علاوه بر آن افزایش وسایل نقلیه موتوری غیر ایمن نیز از دلایل افزایش میزان مرگ و میر در این کشورها است (۲۵). کلاس چهارم شامل کشورهای مصر، امارات متحده عربی و افغانستان می‌باشد. برای این کلاس میزان مرگ و میر در شروع مطالعه بالا بود ولی در طول دوره مطالعه با شیب تندی کاهش یافت. اغلب قربانیان حوادث رانندگی در این کشورها عابرین پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسواران هستند که با اعمال قوانین جدید راهنمایی و رانندگی از جمله بستن کمربند ایمنی، جدا سازی مسیر عابرین پیاده از مسیر خودروها و کنترل سرعت خودروها از میزان مرگ و میر کاسته شد (۲۶). کلاس پنجم شامل کشورهای آفریقای مرکزی و جنوب آفریقا (اغلب کشورهای آفریقایی در کلاس ۲ و ۵ قرار گرفتند)، عربستان، یمن، عمان، سوریه، لبنان، اردن، تونس، مراکش، موریتانی، قزاقستان، قرقیزستان و مالزی است. میزان مرگ و میر برای این کشورها در ابتدا بالا بود ولی طی دوره اول مطالعه با شیب ملایم کاهش یافته و سپس طی دوره دوم کمی افزایش یافته است. کاهش روند مرگ و میر در دوره اول به دلیل اعمال قوانین جدید راهنمایی و وسایل نقلیه موتوری ناامن در کشورهای کم درآمد روند مرگ و میر افزایش یافت (۲). برای کلاس خطی ششم با میزان مرگ و میر متوسط در شروع مطالعه، روند تغییرات در طول مطالعه بدون تغییر معنی‌داری ثابت ماند. این کلاس کشورهای شرق آسیا، شرق اروپا و کل قاره آمریکا به جز کانادا، کوبا، جمهوری دومینیکن، هائیتی و ونزوئلا را در بر گرفته است، در حقیقت ۶۷ کشور (۳۷ درصد) از ۱۸۱ کشور مورد مطالعه در این کلاس قرار

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که مدل منحنی رشد پنهان غیر خطی برازش بهتری نسبت به مدل خطی داشت، زیرا روند مرگ و میر تصادفات جاده‌ای برای ۱۸۱ کشور جهان از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ غیر خطی بود، بدین صورت که از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۰ کاهش و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ افزایش داشت. کاهش روند مرگ و میر در سال ۲۰۱۰ به دلیل افزایش پوشش قوانین جامع ایمنی جاده‌ای در مورد ۵ عامل کلیدی خطرناک یعنی رانندگی در حالت مستی، سرعت غیرمجاز، استفاده نکردن از کلاه ایمنی موتورسیکلت، نبستن کمربند ایمنی و رعایت نکردن نکات ایمنی برای کودکان در جهان است (۱۳). ولی از سال ۲۰۱۰ به دلیل افزایش تراکم جمعیت در کشورهای در حال توسعه و همچنین به دلیل افزایش تولید خودرو به بیش از ۶۵ میلیون خودرو در سال که در ۸۰ درصد از کشورها این خودروها فاقد ایمنی کافی هستند، مرگ و میر افزایش یافت (۲).

در مرحله بعدی جهت بررسی ناهمگنی و کشف زیرگروه‌های پنهان، مدل آمیخته رشد پنهان برازش داده شد. با استفاده از این رویکرد جامعه مورد مطالعه به ۷ زیرگروه (کلاس) با الگوی مرگ و میر متفاوت تقسیم شد که در ادامه به بررسی این زیر گروه‌ها پرداخته شد. کلاس یک شامل کشورهای است که به طور متوسط میزان مرگ و میر بالایی در شروع مطالعه داشتند و در طول دوره مطالعه روند مرگ و میر این کشورها کاهش معنی‌داری نداشت. با توجه به جدول ضمیمه شده ایران، جمهوری دومینیکن، عراق، لیبی، نیجریه، آفریقای جنوبی، تایلند و ونزوئلا در این کلاس قرار گرفتند. براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی این کشورها بالاترین میزان مرگ و میر تصادفات جاده‌ای را در بین کشورهای جهان دارند. جاده‌های غیر ایمن، خودروهای غیر استاندارد و محدودیت منابع مالی جهت بهبود زیر ساخت‌ها جاده‌ای و وسایل نقلیه از جمله عوامل اصلی بالا بودن میزان تلفات در این کشورها ذکر شده است (۲۴-۲۱). برای کلاس‌های غیر خطی دوم و سوم که شامل ۱۷ کشور آفریقایی و ۱ کشور از اقیانوسیه است،

4. Mathers C. The global burden of disease: 2004 update. Geneva: World Health Organization; 2008.p.40-9

5. Global status report on road safety: time for action. Geneva: World Health Organization; 2009.p.1-247

6. Seymour J. Trafficking in death [road accidents in developing countries]. New Sci. 1996;151 (2047)

7. Twisk JW. Applied longitudinal data analysis for epidemiology: a practical guide. New York Cambridge University Press; 2003.p.1-6

8. Wang J, Wang X. Structural equation modeling: Applications using Mplus: John Wiley & Sons; 2012. p.141-4

9. Afukaar FK, Antwi P, Ofosu-Amaah S. Pattern of road traffic injuries in Ghana: implications for control. J Inj Control Saf Promot. 2003;10(1-2):69-76.

10. DiGiuseppi C, Roberts I, Li L. Influence of changing travel patterns on child death rates from injury: trend analysis. J BMJ. 1997;314(7082):710.

11. Soori H, Royanian M, Zali A, Movahedinejad A. Road traffic injuries in Iran: the role of interventions implemented by traffic police. J Traffic Inj Prev. 2009;10(4):375-8.

12. Peng Y, Lord D. Applying the latent class growth model into a longitudinal analysis of traffic crashes. 2010.p. 3-5

13. Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action. Geneva: World Health Organization; 2013.p.1-251

14. Marsh HW, Muthén B, Asparouhov T, Lüdtke O, Robitzsch A, Morin AJ, et al. Exploratory structural equation modeling, integrating CFA and EFA: Application to students' evaluations of university teaching. J Struct Equ Modeling. 2009;16(3):439-76.

15. van Zuiden M, Heijnen CJ, van de Schoot R, Amarouchi K, Maas M, Vermetten E, et al. Cytokine production by leukocytes of military personnel with depressive symptoms after deployment to a combat-zone: a prospective, longitudinal study. PLoS One. 2011;6(12):e29142.

16. Schwarz G. Estimating the dimension of a model. J Ann. Statist.1978; 6 (2), 461-464.

17. Akaike H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Selected Papers of Hirotugu Akaike. New York:Springer; 1998. p. 199-213.

18. Wang M, Bodner TE. Growth mixture modeling: Identifying and predicting unobserved subpopulations with longitudinal data. J ORM. 2007;10(4):635-56.

19. Nylund KL, Asparouhov T, Muthén BO. Deciding on the number of classes in latent class analysis and growth mixture modeling: A Monte Carlo simulation study. J Struct Equ Modeling. 2007;14(4):535-69.

گرفتند. کلاس غیر خطی هفتم نیز نسبت به کلاس‌های دیگر کمترین میزان مرگ و میر را داشت که در طول مطالعه روند مرگ و میر برای این کلاس کاهش ملایمی داشت، شدت کاهش در دوره‌ی اول بیشتر بود. بیشتر کشورها توسعه یافته از جمله کانادا، استرالیا، ژاپن و کشورهای غرب اروپا در این کلاس قرار گرفتند. در این کشورها به دلیل بالا بودن سطح ایمنی وسایل نقلیه و زیر ساخت‌ها مناسب جاده‌ای و همچنین فرهنگ سازی مناسب در زمینه آموزش رانندگی، میزان مرگ و میر کمتری نسبت به سایر کشورها داشتند (۲۷). در این مطالعه دسته‌بندی کشورهای جهان بر اساس روند مرگ و میر تصادفات جاده‌ای به گروه‌های همگن، ما را در یافتن علل مشترک افزایش یا کاهش مرگ و میر کشورهای هم‌گروه کمک می‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود جهت کاهش مرگ و میر تصادفات جاده‌ای در جهان، برای هر یک از ۷ زیرگروه سیاست‌های جداگانه‌ای اعمال شود. همچنین از دیگر نقاط قوت این مطالعه می‌توان به طولی بودن آن و استفاده از مدل آمیخته رشد در تحلیل داده‌ها اشاره کرد. عدم دسترسی به داده‌های مرگ و میر کل کشورهای جهان و محدود بودن تعداد دوره‌های زمانی مورد پیگیری (از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳) از محدودیت‌های این مطالعه بودن. همچنین وجود داده‌های گم شده برای برخی کشورها، دقت برآزش مدل را کاهش می‌دهد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی جهت افزایش دقت برآزش مدل آمیخته از روش‌های برآورد داده‌های گم شده مانند روش جهانی چندگانه (Multiple Imputation) استفاده شود.

منابع

1. Hazen A, Ehiri JE. Road traffic injuries: hidden epidemic in less developed countries. J Natl Med Assoc. 2006;98(1):73.

2. Global status report on road safety. Geneva: World Health Organization; 2015.p.1-271

3. Peden M, Scurfield R, Sleet D, Mohan D, Hyder AA, Jarawan E, et al. World report on road traffic injury prevention. Geneva: World Health Organization; 2004.p.3-5

20. Dziak JJ, Lanza ST, Tan X. Effect size, statistical power, and sample size requirements for the bootstrap likelihood ratio test in latent class analysis. *J Struct Equ Modeling*. 2014;21(4):534-52.
21. Hamzeh B, Najafi F, Karamimatin B, Ahmadijouybari T, Salari A, Moradinazar M. Epidemiology of traffic crash mortality in west of Iran in a 9 year period. *J Chin J Traumatol*. 2016;19(2):70-4.
22. Ali AA. Road traffic accidents the number one killer in Libya. *J Libyan J Med*. 2007;2(2):64.
23. Road Safety in the Americas. Washington DC: Pan American Health Organization; 2016.p.1-20
24. Onyemaechi N, Ofoma U. The public health threat of road traffic accidents in Nigeria: A call to action. *J Ann Med Health Sci Res*. 2016;6(4):199-204.
25. Bezabeh GB. Road Safety in Africa : Assessment of Progresses and Challenges in Road Safety Management System. Abidjan: Department of Transport and ICT;2013.p.3-42
26. Eastern Mediterranean status report on road safety: Call for action. Cairo: World Health Organization. Regional Office for the Eastern Mediterranean; 2010.p.9-39
27. Borowy I. Road Traffic Injuries: Social Change and Development. *J Med Hist*. 2013;57(1):108-38.

Application of growth mixture model to analysis of road traffic death rate in the world, 2007 -2013

Masoud Salehi, Associate Professor, Department of Biostatistics, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Mohammadreza Mehmandar, PHD of Epidemiology, Police Science University, NAJA Traffic Police, Tehran, Iran.

***Tofigh Mobaderi**, MSc student, Department of Biostatistics, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran (*Corresponding author). tofigh.state@gmail.com

Abstract

Background: Road Traffic Accidents (RTA) is a major public health problem in the world. The RTAs patterns are different in various countries which require taking specific approaches and strategies. The purpose of this study was to use Growth Mixture Model (GMM) to study the pattern of RTAs death rate worldwide.

Methods: In this longitudinal study, RTAs death rate data of 193 countries from 2007, 2010 and 2013 were extracted from the World Health Organization reports. In order to investigate the RTAs growth trajectory, linear and nonlinear Latent Growth Models (LGM) were used and compared to each other. Finally, the GMM was fitted to identify and classify countries based on RTAs death rate patterns. Statistical analyses were conducted by Mplus 6.12.

Results: The nonlinear LGM fitted better than the linear model. According to nonlinear model, the estimated RTAs rate trend was downward in the first three years and then the rate changed to upward. By using GMM, seven subgroups with different RTAs death rate patterns were determined.

Conclusion: From 2007 to 2013, the RTAs death rate in the world started to decline and then increased. Based on death rate growth trajectories, world countries classified into seven subgroups with various patterns. Therefore, in order to reduce RTAs death rate in the world different approaches need to be considered for each subgroup.

Keywords: Latent growth model, Growth mixture model, Road traffic accident, Heterogeneity, Longitudinal analysis