

مدل سازی ساختاری عوامل مؤثر بر حواس پرتی شنیداری ناشی از پیام های ناوبری صوتی در رانندگی

مقاله علمی - پژوهشی

امیر محمد سرلک، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*سیدابراهیم عبدالمنافی (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: abdolmanafi@srbiau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۳۰ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۵

صفحه ۹۰-۸۱

چکیده

افزایش استفاده از سامانه ها و اپلیکیشن های ناوبری صوتی در رانندگی شهری، پیام های راهنمای صوتی را به یکی از منابع بالقوه حواس پرتی رانندگان تبدیل کرده است. هدف این پژوهش، شناسایی و مدل سازی ساختاری عوامل مؤثر بر حواس پرتی شنیداری ناشی از پیام های ناوبری صوتی در رانندگی است. جامعه آماری شامل رانندگان شهر تهران با تجربه استفاده از مسیر یاب های صوتی در حین رانندگی بود. پژوهش در دو مرحله انجام شد. در مرحله نخست، با استفاده از چک لیست رفتاری، الگوهای استفاده رانندگان از مسیر یاب صوتی بررسی شد. نتایج نشان داد ۹۳ درصد از پاسخ دهندگان تجربه استفاده از تلفن همراه در هنگام رانندگی را داشته اند، ۸۹ درصد از رانندگان سابقه استفاده از مسیر یاب صوتی دارند و ۵۳ درصد از آنان اغلب یا همیشه از آن استفاده می کنند. همچنین ۶۴ درصد از رانندگان در مواجهه با حواس پرتی شنیداری با کاهش سرعت و افزایش فاصله ایمنی واکنش نشان می دهند. در مرحله دوم، به منظور تحلیل روابط میان عوامل مؤثر، از مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) استفاده شد. نتایج مدل ساختاری تفسیری، وجود یک ساختار سلسله مراتبی چهار سطحی میان عوامل را نشان داد؛ به گونه ای که شدت صدا، کیفیت صدا و زمان ارائه دستورالعمل در سطح نخست، شناخت صدای خروجی در سطح دوم، تعداد دستورالعمل ها در سطح سوم و سرعت صحبت، محیط نویزی، تنوع صدا، تنوع محتوا و محتوای راهنمایی در سطح چهارم قرار گرفتند. نتایج تحلیل میک مک (MICMAC) نیز نشان داد که "محتوای راهنمایی" به عنوان متغیر مستقل و اثر گذار، نقش کلیدی در ساختار روابط میان عوامل دارد. بر این اساس، بهینه سازی محتوای پیام های صوتی، تنظیم مناسب زمان ارائه دستورالعمل ها و بهبود ویژگی های صوتی پیام ها می تواند به کاهش حواس پرتی رانندگان و ارتقای ایمنی ترافیک شهری کمک کند.

واژه های کلیدی: تحلیل میک مک، حواس پرتی شنیداری، مدل سازی ساختاری تفسیری، مسیر یاب صوتی

۱- مقدمه

اجتماعی، ناوبری مبتنی بر GPS، مشاهده رسانه های شخصی و اجرای بازی های آنلاین و آفلاین را فراهم کرده اند (Basacik, 2011). گزارش های بین المللی نیز نشان می دهد که میزان استفاده از این فناوری ها در سال های اخیر رشد قابل توجهی داشته است (Ericsson, 2016). این توسعه سریع، در کنار مزایای ارتباطی و اطلاعاتی، پیامدهایی را نیز در حوزه رفتارهای رانندگی و ایمنی

در سال های اخیر، با گسترش استفاده از تلفن های هوشمند و سامانه های ناوبری، پیام های ناوبری صوتی به یکی از ابزارهای رایج هدایت مسیر در رانندگی شهری تبدیل شده اند. تلفن های هوشمند امروزه بطور گسترده در زندگی روزمره افراد حضور دارند و علاوه بر کارکردهای سنتی ارتباطی، امکان انجام فعالیت های متنوعی مانند مرور وب، استفاده از پست الکترونیکی، شبکه های

ترافیکی به همراه داشته است.

حواس‌پرتی رانندگی یکی از مهم‌ترین عوامل انسانی مؤثر در بروز تصادفات به شمار می‌رود و کاهش تمرکز راننده به‌ویژه در محیط‌های پرتردد و پیچیده ترافیکی، می‌تواند تهدیدی جدی برای ایمنی ترافیکی و افزایش خسارات جانی و مالی در معابر شهری و جاده‌ها ایجاد کند. در این میان، پیام‌های ناوبری صوتی با هدف کاهش وابستگی راننده به نمایشگر و محدود کردن تعاملات دیداری طراحی شده‌اند. با این حال، دریافت و پردازش هم‌زمان اطلاعات و نیاز به تصمیم‌گیری سریع و انطباق با شرایط پویای ترافیکی می‌تواند موجب افزایش درگیری شناختی شده و تمرکز راننده را تحت تأثیر قرار دهد (Olson et al., 2009; Young et al., 2008; Lee et al., 2003; et al.). اگرچه این سامانه‌ها می‌توانند به بهبود هدایت راننده و کاهش خطاهای مسیریابی کمک کنند، اما در برخی شرایط خود به عاملی برای کاهش تمرکز و اختلال در پردازش اطلاعات راننده تبدیل می‌شوند (Maciej & Vollrath, 2009).

با گسترش فناوری‌های نوین در سامانه‌های ناوبری صوتی هوشمند، موضوع کاهش حواس‌پرتی شنیداری راننده بیش از پیش مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. مطالعات نشان داده‌اند که بهینه‌سازی زمان‌بندی ارائه دستورهای ناوبری می‌تواند به‌طور قابل توجهی بار شناختی راننده را کاهش داده و عملکرد رانندگی را بهبود بخشد (Kim, 2021). همچنین نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از صداهای طبیعی در سامانه‌های ناوبری، در مقایسه با صداهای مصنوعی، می‌تواند توجه راننده را افزایش داده و درک پیام‌های ناوبری را تسهیل کند (Garcia, 2022).

این یافته‌ها نشان می‌دهد که نحوه طراحی و ارائه پیام‌های صوتی نقش مهمی در کاهش یا افزایش میزان حواس‌پرتی راننده دارد. حواس‌پرتی شنیداری ناشی از پیام‌های ناوبری صوتی ماهیتی چندعاملی دارد. در این پدیده، عواملی مانند ویژگی‌های فنی پیام صوتی، شرایط محیطی، زمان ارائه دستورالعمل و ویژگی‌های ادراکی راننده به‌صورت هم‌زمان و در تعامل با یکدیگر عمل می‌کنند. این تعاملات می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر تمرکز و عملکرد راننده اثر بگذارند. با وجود مطالعات متعدد در زمینه حواس‌پرتی رانندگی، تمرکز اختصاصی بر حواس‌پرتی شنیداری ناشی از پیام‌های ناوبری صوتی و تحلیل ساختاری روابط میان عوامل مؤثر بر آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این‌رو، شناسایی نظام‌مند عوامل مؤثر و بررسی نحوه تأثیرگذاری متقابل

آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به ماهیت پیچیده و چندبعدی این پدیده، تحلیل آن صرفاً از طریق رویکردهای توصیفی یا بررسی جداگانه هر عامل نمی‌تواند ساختار واقعی روابط میان متغیرها را آشکار سازد. از این رو، در پژوهش حاضر از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) استفاده شده است؛ روشی که برای تحلیل مسائل پیچیده و چندمتغیره طراحی شده و امکان استخراج روابط سلسله‌مراتبی میان عوامل را فراهم می‌کند (Warfield, 1974). این روش با اتکا به قضاوت آگاهانه افراد دارای تجربه مرتبط، ساختار درونی یک سیستم را آشکار ساخته و عوامل را بر اساس میزان اثرگذاری و اثرپذیری سطح‌بندی می‌کند (Singh & Kant, 2008; Attri et al., 2013).

در این پژوهش، با توجه به ماهیت رفتاری-ادراکی موضوع و تمرکز بر تجربه واقعی استفاده از سامانه‌های ناوبری صوتی در حین رانندگی، رانندگانی که سابقه استفاده از این فناوری را داشته‌اند، به‌عنوان خبرگان تجربی در نظر گرفته شدند. ارزیابی روابط میان عواملی نظیر شدت صدا، کیفیت بیان، زمان ارائه دستورالعمل و شرایط نویزی محیط نیازمند تجربه عملی مواجهه با این شرایط در محیط واقعی رانندگی است؛ از این رو، قضاوت این افراد می‌تواند تصویری معتبر از روابط میان مؤلفه‌ها ارائه دهد (Hair, 2019; Guest, 2006).

هدف این پژوهش شناسایی و تحلیل ساختاری عوامل مؤثر بر حواس‌پرتی شنیداری ناشی از پیام‌های ناوبری صوتی در رانندگی درون‌شهری است. در این راستا، روابط میان عوامل با استفاده از مدل‌سازی ساختاری تفسیری تحلیل شده و میزان نفوذ و وابستگی آن‌ها از طریق تحلیل میک‌مک (MICMAC) بررسی شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند به درک بهتر سازوکارهای مؤثر بر حواس‌پرتی رانندگان و بهبود طراحی سامانه‌های ناوبری صوتی کمک کند.

۲- پیشینه تحقیق

حواس‌پرتی رانندگی به هرگونه انحراف توجه راننده از وظیفه اصلی رانندگی به یک محرک یا فعالیت ثانویه اطلاق می‌شود که می‌تواند عملکرد رانندگی را مختل کرده و احتمال بروز خطا و تصادف را افزایش دهد (Young et al., 2003). در ادبیات پژوهش، حواس‌پرتی رانندگی معمولاً در چهار دسته اصلی شامل دیداری، دستی، شناختی و شنیداری طبقه‌بندی می‌شود (Regan, 2008; Olson et al., 2009; Kern & Schmidt, 2009).

داد، بلکه این پیامدها حاصل تعامل میان ویژگی‌های پیام، شرایط رانندگی و خصوصیات فردی راننده هستند.

مطالعات جدیدتر نیز بر پیچیدگی این تعاملات تأکید دارند. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تعامل با دستیارهای صوتی هوشمند می‌تواند زمان واکنش راننده به خطرات را افزایش دهد (Yang et al., 2022). همچنین در یک مطالعه میدانی گزارش شد که استفاده از ناوبری صوتی در شرایط ترافیک سنگین ممکن است توانایی راننده در نگهداری خودرو در خط حرکت را کاهش دهد (Chen & Liu, 2023).

علاوه بر این، نوع صدای مورد استفاده در سامانه ناوبری، از جمله طبیعی یا مصنوعی بودن آن، می‌تواند بر درک پیام و سطح توجه راننده تأثیرگذار باشد (Garcia et al., 2022). در سال‌های اخیر، پژوهشگران به توسعه سامانه‌های ناوبری هوشمند که قادر به تطبیق نحوه ارائه پیام‌های صوتی با وضعیت روانی و سطح استرس راننده هستند نیز توجه نشان داده‌اند (Smith & Zhang, 2024). همچنین استفاده از روش‌های یادگیری عمیق برای تحلیل الگوهای رفتاری رانندگان در هنگام تعامل با سامانه‌های ناوبری صوتی امکان بررسی دقیق‌تر این تعاملات را فراهم کرده است (Li et al., 2023). این مطالعات افزون بر پیشرفت‌های قبلی، نشان‌دهنده افزایش توجه و پذیرش کلی سیستم‌های ناوبری هوشمند در رانندگان هستند.

با وجود گسترش مطالعات در زمینه حواس‌پرتی رانندگی، بیشتر پژوهش‌ها عوامل مؤثر بر این پدیده را به صورت منفرد یا در قالب روابط محدود بررسی کرده‌اند و کمتر به تحلیل ساختار روابط متقابل میان این عوامل پرداخته‌اند. در نتیجه، هنوز درک جامعی از نحوه تعامل و سلسله‌مراتب اثرگذاری این عوامل در شکل‌گیری حواس‌پرتی شنیداری ناشی از پیام‌های ناوبری صوتی وجود ندارد. این خلأ پژوهشی نیاز به بررسی ساختاری روابط میان این عوامل را ایجاد می‌کند. در چنین شرایطی، استفاده از رویکردهایی که قادر به شناسایی روابط جهت‌دار و سلسله‌مراتبی میان عوامل باشند می‌تواند به درک بهتر این مسئله کمک کند. مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) یکی از روش‌های شناخته‌شده برای تحلیل مسائل پیچیده و چندمتغیره است که امکان استخراج ساختار روابط میان عوامل و تعیین سطوح اثرگذاری آن‌ها را فراهم می‌کند (Warfield, 1974; Singh & Kant, 2008; Attri et al., 2013). بر این اساس، در پژوهش حاضر از مدل‌سازی ساختاری تفسیری برای تحلیل روابط میان عوامل مؤثر بر حواس‌پرتی

Wickens & Hollands, 2000; Gopher & Donchin, 1985). حواس‌پرتی دیداری به انحراف نگاه راننده از مسیر، حواس‌پرتی دستی به برداشتن دست از فرمان یا کنترل‌های خودرو، حواس‌پرتی شناختی به درگیری ذهنی راننده با فعالیتی غیر از رانندگی و حواس‌پرتی شنیداری به تأثیر صداها یا پیام‌های صوتی بر تمرکز راننده اشاره دارد (Lee, 2001). در میان منابع مختلف حواس‌پرتی، استفاده از تلفن همراه در حین رانندگی - به‌ویژه در قالب مکالمه یا تعامل با برنامه‌های کاربردی - به‌عنوان یکی از رایج‌ترین و اثرگذارترین عوامل شناخته شده است (Young et al., 2003).

با گسترش سامانه‌های ارتباطی و ناوبری مبتنی بر تلفن همراه، توجه پژوهشگران به نقش محرک‌های شنیداری در ایجاد حواس‌پرتی راننده افزایش یافته است. سامانه‌های ناوبری صوتی به‌منظور کاهش نیاز راننده به نگاه کردن به نمایشگر طراحی شده‌اند، با این حال شواهد پژوهشی نشان می‌دهد که این سامانه‌ها لزوماً فاقد اثرات شناختی نیستند. دریافت و پردازش پیام‌های صوتی می‌تواند بخشی از ظرفیت شناختی راننده را درگیر کرده و در شرایط پیچیده ترافیکی موجب کاهش تمرکز و افزایش زمان واکنش شود (Strayer & Johnston, 2001; Caird et al., 2008; Drews et al., 2009). در همین راستا، برخی مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از مسیریابی مبتنی بر تلفن‌های هوشمند، اگرچه فرآیند یافتن مسیر را تسهیل می‌کند، اما به دلیل نیاز به پردازش هم‌زمان اطلاعات شنیداری و تصمیم‌گیری سریع، می‌تواند بار شناختی راننده را افزایش دهد (Reed & Robbins, 2008; Horrey & Wickens, 2006).

پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که اثر پیام‌های ناوبری صوتی بر عملکرد رانندگی تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل فنی، ادراکی و زمینه‌ای قرار دارد. از یک سو، ویژگی‌های خود پیام صوتی - از جمله شدت صدا، طول پیام، وضوح بیان، کیفیت صوت، زمان ارائه دستورالعمل، پیچیدگی محتوا و میزان هماهنگی پیام با شرایط ترافیکی - می‌تواند نحوه پردازش اطلاعات توسط راننده را تحت تأثیر قرار دهد (Green, 2000; Dingus et al., 2006; McGehee et al., 2007; Regan, 2008; Strayer et al., 2013). از سوی دیگر، ویژگی‌های فردی راننده نیز نقش مهمی در این فرآیند ایفا می‌کند؛ به‌گونه‌ای که تجربه رانندگی، سطح مهارت و میزان آشنایی با مسیر می‌تواند شدت اثر حواس‌پرتی شنیداری را تغییر دهد (Klauser et al., 2006). بنابراین، پیامدهای ناوبری صوتی را نمی‌توان صرفاً به طراحی سامانه نسبت

شنیداری ناشی از پیام‌های ناوبری صوتی استفاده شده است تا ساختار تأثیرگذاری متقابل این عوامل به صورت نظام‌مند شناسایی شود.

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی است و با هدف تحلیل ساختاری عوامل مؤثر بر حواس‌پرتی شنیداری ناشی از پیام‌های ناوبری صوتی در رانندگی انجام شده است. با توجه به ماهیت چندبعدی این پدیده و وجود تعاملات متقابل میان عوامل فنی، ادراکی، محیطی و فردی، از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری برای تحلیل روابط میان عوامل استفاده شد. این روش امکان شناسایی روابط جهت‌دار میان متغیرها، تعیین سطوح سلسله‌مراتبی و تفکیک عوامل محرک از عوامل وابسته را فراهم می‌کند (Warfield, 1974; Singh & Kant, 2008; Attri et al., 2013).

۳-۳- ابزار پژوهش

در این پژوهش از دو ابزار اصلی استفاده شد. ابزار نخست، چک‌لیست رفتاری بود که با هدف ارزیابی تجربه رانندگان در استفاده از سامانه‌های ناوبری صوتی و شناسایی الگوهای رفتاری مرتبط طراحی شد. ابزار دوم، پرسشنامه مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) بود که برای تعیین روابط زوجی میان عوامل مورد استفاده قرار گرفت. در این پرسشنامه، مشارکت‌کنندگان رابطه اثرگذاری میان هر زوج عامل را مشخص کردند تا مبنای تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری فراهم شود.

۳-۴- مدل ساختاری تفسیری

تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) و تحلیل میک‌مک (MICMAC) انجام شد. در مرحله نخست، روابط میان عوامل بر اساس قضاوت مشارکت‌کنندگان تعیین و ماتریس خودتعاملی ساختاری (SSIM) تشکیل شد. به منظور افزایش قابلیت اتکا و کاهش سوگیری ناشی از قضاوت‌های فردی، از رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) گروهی استفاده شد و رابطه میان هر زوج عامل بر اساس نظر غالب مشارکت‌کنندگان تعیین گردید. سپس ماتریس دستیابی اولیه و نهایی استخراج شد، عوامل بر اساس میزان نفوذ و وابستگی سطح‌بندی شدند و مدل نهایی ISM ترسیم شد.

۳-۱- شناسایی عوامل پژوهش

گردآوری داده‌ها در دو مرحله انجام شد. در مرحله نخست، با مرور نظام‌مند منابع و مطالعات پیشین مرتبط با حواس‌پرتی رانندگی و سامانه‌های ناوبری صوتی، عوامل مؤثر بر حواس‌پرتی شنیداری استخراج شد. به منظور اطمینان از ارتباط عوامل با مسئله پژوهش، فهرست اولیه عوامل پس از استخراج از ادبیات پژوهش توسط چند تن از متخصصان حوزه حمل‌ونقل و ایمنی ترافیک بررسی و اصلاح شد (Singh & Kant, 2008; Attri et al., 2013). در نهایت، ۱۰ عامل اصلی شامل شدت صدا، سرعت گفتار، کیفیت صدا، تنوع صوتی، قابلیت تشخیص صدای سامانه، کیفیت محتوای راهنمایی، محیط نویزی، زمان ارائه دستورالعمل، تعداد دستورالعمل‌ها و تنوع محتوای پیام به عنوان ورودی تحلیل ISM انتخاب شدند.

۳-۲- جامعه پژوهش و خبرگان تجربی

جامعه پژوهش شامل رانندگان شهر تهران بود که تجربه استفاده از سامانه‌های ناوبری صوتی در حین رانندگی را داشتند. نمونه‌گیری بصورت در دسترس انجام شد و مشارکت در پژوهش منوط به داشتن تجربه عملی استفاده از مسیرپای صوتی بود. در این پژوهش، ۷۰ راننده در مرحله تکمیل چک‌لیست رفتاری و ۵۳ راننده در تکمیل پرسشنامه مدل ساختاری تفسیری (ISM)

راندگان اثر گذاشته و آن‌ها را به تعدیل رفتار رانندگی برای حفظ ایمنی وادار کنند. در مجموع، نتایج توصیفی بیانگر آن است که استفاده گسترده از مسیرپای‌های صوتی در کنار احتمال بروز حواس‌پرتی شنیداری، می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر رفتار رانندگی محسوب شود.

۴-۲- نتایج مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM)

به‌منظور تحلیل روابط میان عوامل مؤثر بر حواس‌پرتی شنیداری ناشی از پیام‌های ناوبری صوتی، از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) استفاده شد. در این چارچوب، ابتدا روابط میان عوامل شناسایی‌شده در قالب ماتریس خودتعاملی ساختاری تعیین و سپس با تبدیل آن به ماتریس دستیابی، ساختار سلسله‌مراتبی عوامل استخراج شد.

ماتریس دستیابی نهایی در جدول (۱) ارائه شده است.

بر اساس نتایج سطح‌بندی، عوامل پژوهش در چند سطح سلسله‌مراتبی قرار گرفتند که نشان‌دهنده ساختار چندلایه عوامل مؤثر بر حواس‌پرتی شنیداری در رانندگی است. عوامل قرارگرفته در سطوح پایین‌تر مدل به‌عنوان عوامل زیربنایی شناخته می‌شوند و نقش تعیین‌کننده‌تری در شکل‌گیری سایر متغیرها دارند، در حالیکه عوامل سطوح بالاتر بیشتر به‌عنوان پیامد تعامل میان سایر عوامل عمل می‌کنند.

ساختار سلسله‌مراتبی استخراج‌شده از تحلیل ISM در قالب مدل نهایی در شکل (۱) نمایش داده شده است.

مدل ساختاری نشان می‌دهد که عوامل مرتبط با ویژگی‌های فنی پیام صوتی در سطوح پایه مدل قرار گرفته و از طریق اثرگذاری بر سایر متغیرها می‌توانند بر میزان حواس‌پرتی شنیداری رانندگان تأثیر بگذارند. در مقابل، برخی عوامل مرتبط با شرایط محیطی یا ادراک راننده در سطوح بالاتر قرار گرفته‌اند و بیشتر تحت تأثیر سایر عوامل سیستم شکل می‌گیرند. این الگوی سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد که طراحی ویژگی‌های پیام‌های ناوبری صوتی می‌تواند نقش مهمی در کنترل یا تشدید حواس‌پرتی شنیداری ایفا کند.

در ادامه، برای تحلیل میزان نفوذ و وابستگی عوامل از تحلیل میک‌مک (MICMAC) استفاده شد. این تحلیل بر اساس ماتریس دستیابی نهایی انجام شده و عوامل را از نظر قدرت نفوذ و میزان وابستگی در چهار دسته مستقل، وابسته، پیوندی و خودمختار طبقه‌بندی می‌کند. ترکیب روش‌های ISM و MICMAC امکان تحلیل ساختار سلسله‌مراتبی عوامل و شناسایی متغیرهای کلیدی مؤثر بر حواس‌پرتی شنیداری ناشی از پیام‌های ناوبری صوتی را فراهم می‌سازد (Warfield, 1974; Singh & Kant, 2008; Attri et al., 2013). مطالعات اخیر نیز نشان داده‌اند که بکارگیری این رویکرد ترکیبی در تحلیل مسائل پیچیده ایمنی ترافیک می‌تواند در شناسایی روابط علی میان عوامل مؤثر بر رفتار رانندگان و اولویت‌بندی متغیرهای کلیدی نقش مؤثری ایفا کند (Smith & Zhang, 2024; Chen & Liu, 2023).

۴-۱- مدل‌سازی و تحلیل نتایج

یافته‌های پژوهش در دو بخش شامل یافته‌های توصیفی و نتایج حاصل از مدل‌سازی ساختاری تفسیری ارائه می‌شود.

۴-۱- یافته‌های توصیفی

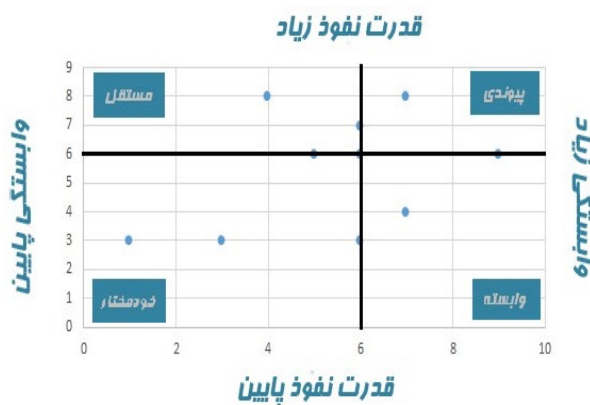
بررسی داده‌های حاصل از چک‌لیست رفتاری نشان داد که استفاده از ابزارهای ارتباطی و سامانه‌های ناوبری در میان رانندگان شیوع قابل توجهی دارد. نتایج نشان داد که ۹۳ درصد از پاسخ‌دهندگان تجربه استفاده از تلفن همراه در هنگام رانندگی را داشته‌اند.

این میزان بالا نشان می‌دهد که رانندگان در محیط واقعی رانندگی به طور گسترده با منابع اطلاعاتی و ارتباطی مختلف تعامل دارند که می‌تواند زمینه‌ساز انواع حواس‌پرتی‌های شناختی و ادراکی شود. همچنین ۸۹ درصد از رانندگان سابقه استفاده از مسیرپای صوتی را گزارش کرده‌اند. بررسی میزان استفاده نشان داد که ۵۳ درصد از رانندگان "اغلب" یا "همیشه" از مسیرپای صوتی استفاده می‌کنند. این یافته بیانگر آن است که سامانه‌های ناوبری صوتی به یکی از ابزارهای متداول هدایت مسیر تبدیل شده‌اند و نقش قابل توجهی در تصمیم‌گیری‌های لحظه‌ای رانندگان در شبکه راه‌های شهری و برون‌شهری ایفاء می‌کنند.

از سوی دیگر، ۶۴ درصد از رانندگان گزارش کرده‌اند که در مواجهه با حواس‌پرتی شنیداری رفتارهایی مانند کاهش سرعت یا افزایش فاصله ایمنی را اتخاذ می‌کنند. چنین واکنش‌هایی نشان می‌دهد که پیام‌های صوتی ناوبری می‌توانند بر فرآیند توجه

جدول ۲. میزان نفوذ- وابستگی مولفه‌ها

طبقه بندی قدرت نفوذ/وابستگی	مولفه های پژوهش	میزان وابستگی	قدرت نفوذ
خود مختار	تنوع صدا	۱	۳
	شدت صدا	۲	۳
مستقل	محتوای راهنمایی	۴	۸
پیوندی	محیط نویزی	۷	۸
وابسته	زمان مورد نیاز برای ارائه دستورالعمل	۷	۴

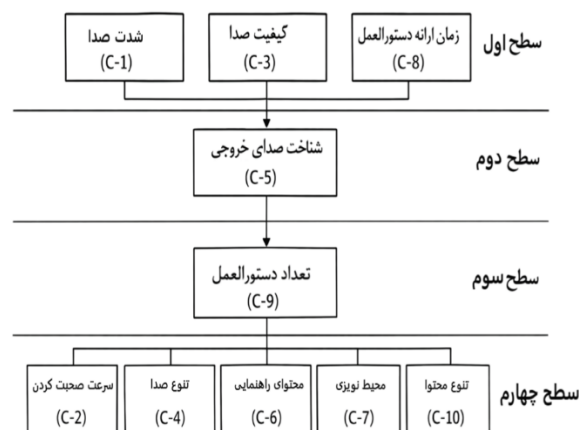


شکل ۲. نمودار پراکندگی تحلیل نفوذ- وابستگی عوامل

بر اساس نتایج تحلیل میک‌مک عوامل پژوهش در چهار دسته اصلی شامل متغیرهای مستقل، متغیرهای وابسته، متغیرهای پیوندی و متغیرهای خودمختار طبقه‌بندی شدند. متغیر مستقل دارای قدرت نفوذ بالا و وابستگی کم هستند و به‌عنوان عوامل پیشران در ساختار مدل شناخته می‌شوند. در مقابل، متغیرهای وابسته دارای وابستگی بالا و قدرت نفوذ کمتر بوده و بیشتر تحت تأثیر سایر متغیرهای سیستم قرار دارند. در مجموع، نتایج تحلیل میک‌مک (MICMAC) نشان می‌دهد که ساختار حواس‌پرتی شنیداری ناشی از پیام‌های ناوبری صوتی حاصل تعامل مجموعه‌ای از عوامل فنی، محیطی و ادراکی است. شناسایی متغیرهای پیشران در این ساختار می‌تواند در طراحی سامانه‌های ناوبری صوتی و همچنین در تدوین راهبردهای ایمنی ترافیک برای کاهش اثرات منفی حواس‌پرتی رانندگان مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱. ماتریس دستیابی نهایی ISM

شدت صدا	سرعت صحبت کردن	کیفیت صدا	تنوع صدا	شناخت صدای خروجی	محتوای راهنمایی	محیط نویزی	دستورالعمل	زمان مورد نیاز ارائه	تعداد دستورالعمل	تنوع محتوا	قدرت نفوذ
۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۳
۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۶
۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۳
۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۳
۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۶
۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۸
۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۸
۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۴
۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۷
۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۶
۳	۵	۶	۱	۹	۴	۷	۷	۷	۶	۶	۶



شکل ۱. مدل نهایی ISM

۳-۴- نتایج تحلیل میک‌مک (MICMAC)

به‌منظور بررسی میزان قدرت نفوذ و وابستگی عوامل شناسایی شده، از تحلیل میک‌مک (MICMAC) استفاده شد. این تحلیل با استفاده از ماتریس دستیابی نهایی انجام شد و جایگاه هر یک از عوامل بر اساس میزان نفوذ و وابستگی آن‌ها تعیین گردید. نتایج تحلیل در جدول (۲) و نمودار پراکندگی در شکل (۲) ارائه شده است.

۵- نتیجه گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که حواس‌پرتی شنیداری ناشی از پیام‌های ناوبری صوتی تلفن همراه، پدیده‌ای چندبعدی و ساختاریافته است و نمی‌توان آن را صرفاً به یک عامل منفرد یا یک ویژگی سطحی از پیام‌های صوتی تقلیل داد. تحلیل تلفیقی نتایج مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) و تحلیل MICMAC نشان داد که این پدیده از تعامل سلسله‌مراتبی میان عوامل مرتبط با محتوای پیام، ویژگی‌های آکوستیکی صدا، شرایط محیطی و نحوه ارائه دستورالعمل‌ها شکل می‌گیرد. این یافته بیانگر آن است که درک حواس‌پرتی شنیداری در رانندگی مستلزم توجه هم‌زمان به عوامل طراحی پیام و زمینه ادراکی- عملیاتی دریافت آن است (Warfield, 1974).

نتایج ISM نشان داد که همه عوامل شناسایی‌شده از جایگاه یکسانی در ساختار حواس‌پرتی شنیداری برخوردار نیستند. بر اساس نتایج سطح‌بندی (جدول ۱)، عواملی نظیر محتوای راهنمایی، سرعت گفتار، محیط نویزی، تنوع صدا و تنوع محتوا در سطوح زیرین مدل قرار گرفتند و به‌عنوان عوامل زیربنایی ساختار شناخته شدند. قرار گرفتن این متغیرها در سطح پایه نشان می‌دهد که بخش مهمی از اختلال توجه راننده، نه صرفاً در لحظه دریافت پیام، بلکه در نحوه طراحی و کیفیت ساختاری پیام‌های صوتی ریشه دارد.

در سطح بعدی مدل، تعداد دستورالعمل‌ها قرار گرفت که بیانگر نقش تراکم اطلاعات شنیداری در انتقال اثر متغیرهای پایه به تجربه ادراکی راننده است. افزایش تعداد پیام‌ها یا کاهش فاصله زمانی میان آن‌ها می‌تواند بار شناختی راننده را افزایش داده و پردازش هم‌زمان اطلاعات محیط رانندگی را مختل کند. همچنین متغیر شناخت صدای خروجی در سطوح میانی مدل قرار گرفت و نقش واسطه‌ای مهمی در پردازش پیام ایفا کرد. این یافته نشان می‌دهد که آشنایی و قابلیت تشخیص صدای سامانه می‌تواند بخشی از فشار شناختی ناشی از پیام‌های ناوبری را کاهش دهد.

در سطوح بالاتر مدل، شدت صدا، کیفیت صدا و زمان ارائه دستورالعمل قرار گرفتند. جایگاه این متغیرها نشان می‌دهد که آن‌ها بیش از آنکه عوامل پایه و تعیین‌کننده باشند، بازتاب تعامل میان متغیرهای زیربنایی سیستم هستند. به بیان دیگر، ادراک راننده از مناسب بودن شدت یا زمان‌بندی پیام تا حد زیادی تحت تأثیر کیفیت محتوای پیام، شرایط نویزی محیط، تعداد پیام‌ها و قابلیت تشخیص صدای خروجی قرار دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که

اصلاح متغیرهای سطح بالا بدون توجه به عوامل زیربنایی، تأثیر محدودی بر کاهش حواس‌پرتی خواهد داشت (Singh & Kant, 2008; Attri et al., 2013).

نتایج تحلیل MICMAC نیز این منطق ساختاری را تأیید کرد و تفاوت نقش عوامل را از منظر قدرت نفوذ و میزان وابستگی نشان داد (جدول ۲). بر اساس این تحلیل، محتوای راهنمایی به‌عنوان متغیر مستقل و پیشران اصلی سیستم شناسایی شد؛ عاملی که بیشترین ظرفیت اثرگذاری بر سایر متغیرها را دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که نحوه صورت‌بندی پیام‌های ناوبری، شامل میزان اختصار، وضوح و تناسب اطلاعات، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری یا کاهش حواس‌پرتی شنیداری دارد. در مقابل، زمان ارائه دستورالعمل در زمره متغیرهای وابسته قرار گرفت که نشان‌دهنده تأثیرپذیری بالای آن از سایر اجزای ساختار است. همچنین محیط نویزی در دسته متغیرهای پیوندی قرار گرفت؛ جایگاهی که بیانگر حساسیت بالای این عامل در ساختار سیستم است، زیرا تغییر در آن می‌تواند هم بر سایر متغیرها اثر بگذارد و هم خود از آن‌ها تأثیر بپذیرد. افزون بر این، شدت صدا و تنوع صدا در گروه متغیرهای خودمختار قرار گرفتند که نشان‌دهنده نقش ساختاری محدودتر آن‌ها در مقایسه با متغیرهای پیشران است. پنج عامل سرعت صحبت کردن، کیفیت صدا، شناخت صدای خروجی، تعداد دستورالعمل و تنوع محتوا در مجاورت خط مرزی قرار گرفتند و بسته به شرایط می‌توانند نقش‌های مختلفی پیدا کنند (Warfield, 1974; Singh & Kant, 2008).

در مجموع، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که حواس‌پرتی ناشی از سامانه‌های ناوبری صوتی بیش از آنکه صرفاً پیامد "وجود فناوری" باشد، تابع "نحوه طراحی و ارائه اطلاعات صوتی" است. این تمایز از منظر نظری و کاربردی اهمیت قابل توجهی دارد. از منظر نظری، نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که تحلیل حواس‌پرتی رانندگی باید از رویکردهای خطی و تک‌متغیره فاصله گرفته و به سمت مدل‌های ساختاری و تعاملی حرکت کند. از منظر کاربردی نیز، یافته‌ها نشان می‌دهد که کاهش حواس‌پرتی شنیداری مستلزم مداخله در سطح طراحی پیام‌های صوتی است، نه صرفاً ارائه توصیه‌های رفتاری به رانندگان.

یافته‌های پژوهش حاضر چند دلالت کاربردی مهم برای طراحی سامانه‌های ناوبری صوتی و سیاست‌گذاری ایمنی ترافیک به همراه دارد. نخست، با توجه به نقش پیشران محتوای راهنمایی، پیام‌های صوتی باید به‌صورت مختصر، شفاف، موقعیت‌محور و هدفمند

۶- مراجع

- Attri, R., Dev, N., and Sharma, V. (2013). Interpretive structural modelling (ISM) approach: An overview. *Research Journal of Management Sciences*, 2(2), 3–8.
- Basacik, D., Reed, N., and Robbins, R. (2011). Smartphone use while driving: A simulator study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(6), 461–471.
- Caird, J. K., Willness, C. R., Steel, P., and Scialfa, C. (2008). A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1282–1293.
- Chen, Y., and Liu, H. (2023). Effects of voice navigation systems on driving performance in congested traffic conditions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 94, 123–134.
- Dingus, T. A., Klauer, S. G., Neale, V. L., Petersen, A., Lee, S., Sudweeks, J., and Knippling, R. R. (2006). The 100 car naturalistic driving study: Phase II – Results of the 100 car field experiment. *National Highway Traffic Safety Administration*.
- Drews, F. A., Pasupathi, M., and Strayer, D. L. (2009). Passenger and cell phone conversations in simulated driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(4), 392–400.
- Ericsson. (2016). Ericsson mobility report. *Ericsson*.
- Garcia, A., Lopez, J., and Martinez, F. (2022). Effects of natural versus synthetic speech in vehicle navigation systems on driver attention. *Applied Ergonomics*, 98, 103583.
- Gopher, D., and Donchin, E. (1985). Workload: An examination of the concept. In K. R. Boff, L. Kaufman, and J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*. Wiley.
- Green, P. (2000). Crashes induced by driver information systems and what can be done to reduce them. *International Journal of Vehicle Design*, 27(1–4), 37–52.
- Guest, G., Bunce, A., and Johnson, L. (2006). How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability. *Field Methods*, 18(1), 59–82.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., and Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- طراحی شوند و از ارائه اطلاعات غیرضروری در شرایط حساس رانندگی اجتناب شود. دوم، نقش محیط نویری نشان می‌دهد که سامانه‌های ناوبری باید قابلیت انطباق با شرایط صوتی محیط را داشته باشند؛ به‌ویژه از طریق تنظیم هوشمند شدت و وضوح پیام‌ها متناسب با سطح نویز و شرایط ترافیکی.
- سوم، نتایج مربوط به تعداد دستورالعمل‌ها و زمان ارائه پیام بیانگر آن است که زمان‌بندی و تراکم پیام‌ها باید با شرایط رانندگی، پیچیدگی مسیر و سرعت وسیله نقلیه هماهنگ شود تا از تحمیل بار شناختی اضافی به راننده جلوگیری شود. چهارم، اهمیت شناخت صدای خروجی نشان می‌دهد که استفاده از صدای ثابت، آشنا و قابل تشخیص می‌تواند پردازش پیام را تسهیل کرده و احتمال درگیری ذهنی راننده را کاهش دهد. در سطح کلان، نتایج این پژوهش می‌تواند در تدوین دستورالعمل‌های طراحی رابط صوتی برای سامانه‌های ناوبری و همچنین استانداردهای ایمنی ترافیک مورد استفاده قرار گیرد.
- با وجود یافته‌های ارائه‌شده، این پژوهش با محدودیت‌هایی همراه بود. نخست، داده‌های پژوهش بر پایه ادراک و تجربه رانندگان از استفاده از سامانه‌های ناوبری صوتی گردآوری شده است؛ ازاین‌رو، بخشی از نتایج ممکن است تحت تأثیر سوگیری‌های ادراکی پاسخ‌دهندگان قرار گرفته باشد. دوم، نمونه پژوهش به رانندگان دارای تجربه استفاده از مسیرپای صوتی محدود بوده و این موضوع می‌تواند دامنه تعمیم‌پذیری یافته‌ها را محدود کند. سوم، پژوهش حاضر صرفاً بر حواس‌پرتی شنیداری تمرکز داشته و تعامل آن با سایر انواع حواس‌پرتی، به‌ویژه حواس‌پرتی دیداری، بصورت مستقیم بررسی نشده است.
- بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از مطالعات میدانی در شرایط واقعی رانندگی یا شبیه‌سازهای رانندگی برای اعتبارسنجی رفتاری یافته‌ها استفاده شود. همچنین بررسی تفاوت الگوهای حواس‌پرتی در میان گروه‌های مختلف رانندگان، از جمله رانندگان حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای، گروه‌های سنی متفاوت و سطوح مختلف تجربه رانندگی، می‌تواند درک دقیق‌تری از تفاوت‌های رفتاری ارائه دهد. افزون بر این، مطالعه سامانه‌های ناوبری چندحسی شامل ترکیب پیام‌های صوتی، تصویری و لمسی می‌تواند مسیر مناسبی برای توسعه پژوهش‌های آینده باشد.

- Reed, N., and Robbins, R. (2008). The effect of navigation systems on driver behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(6), 377–390.
- Regan, M. A., Lee, J. D., and Young, K. L. (2008). Driver distraction: Theory, effects, and mitigation. *CRC Press*.
- Singh, M. D., and Kant, R. (2008). Knowledge management barriers: An interpretive structural modeling approach. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 3(2), 141–150.
- Smith, T., and Zhang, Y. (2024). Adaptive voice navigation systems based on driver stress detection. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 16(1), 45–57.
- Strayer, D. L., Cooper, J. M., and Drews, F. A. (2013). What do drivers fail to see when conversing on a cell phone? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(7), 2437–2442.
- Strayer, D. L., and Johnston, W. A. (2001). Driven to distraction: Dual task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychological Science*, 12(6), 462–466.
- Warfield, J. N. (1974). Developing interconnected matrices in structural modeling. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 4(1), 81–87.
- Wickens, C. D., and Hollands, J. G. (2000). Engineering psychology and human performance (3rd ed.). *Prentice Hall*.
- Yan, K., Chen, L., and Zhao, X. (2022). Effects of in vehicle voice assistants on driver reaction time and hazard perception. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 88, 67–79.
- Young, K., Regan, M. and Hammer, M. (2003). Driver distraction: A review of the literature. *Monash University Accident Research Centre Report*.
- Horrey, W. J., and Wickens, C. D. (2006). Examining the impact of cell phone conversations on driving using meta analytic techniques. *Human Factors*, 48(1), 196–205.
- Kern, S., and Schmidt, G. (2009). Advanced driver assistance systems and driver distraction. *Springer*.
- Kim, H., Lee, S., and Park, J. (2021). Optimizing the timing of auditory navigation instructions to reduce driver cognitive load. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 79, 1–12.
- Klauer, S. G., Dingus, T. A., Neale, V. L., Sudweeks, J., and Ramsey, D. (2006). The impact of driver inattention on near crash/crash risk: An analysis using the 100 car naturalistic driving study data. *National Highway Traffic Safety Administration Report*.
- Lee, J. D., Caven, B., Haake, S., and Brown, T. L. (2001). Speech based interaction with in vehicle computers: The effect of speech based email on drivers' attention. *Human Factors*, 43(4), 631–640.
- Lee, J. D., Young, K. L., and Regan, M. A. (2008). Defining driver distraction. In M. A. Regan, J. D. Lee, and K. L. Young (Eds.), *Driver distraction: Theory, effects, and mitigation*. *CRC Press*.
- Li, Z., Wang, Y., and Chen, X. (2023). Deep learning analysis of driver behaviour during interaction with voice assistants in vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(5), 5123–5134.
- Maciej, J., and Vollrath, M. (2009). Comparison of manual vs. speech based interaction with in vehicle information systems. *Accident Analysis & Prevention*, 41(5), 924–930.
- McGehee, D. V., Lee, J. D., Rizzo, M., Dawson, J., and Bateman, K. (2007). Quantifying driver distraction in the automobile. *Journal of Safety Research*, 38(4), 391–399.
- Olson, R. L., Hanowski, R. J., Hickman, J. S., and Bocanegra, J. (2009). Driver distraction in commercial vehicle operations. *Virginia Tech Transportation Institute*.

Structural Modeling of Factors Influencing Auditory Distraction Induced by Voice Navigation Messages While Driving

Amir Mohammad Sarlak, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Seyed Ebrahim Abdolmanafi, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: abdolmanafi@srbiau.ac.ir

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

The increasing use of voice navigation systems and applications in urban driving has made auditory guidance messages one of the major sources of driver distraction. The aim of this study was to identify and structurally model the factors affecting auditory distraction caused by voice navigation messages. The statistical population consisted of Tehran drivers with experience in using voice navigation while driving. The study was conducted in two stages. In the first stage, drivers' usage patterns were examined using a behavioral checklist. The results showed that 89% of drivers had experience using voice navigation systems, and 64% responded to auditory distraction by reducing speed and increasing safety distance. In the second stage, the relationships among the influencing factors were analyzed using Interpretive Structural Modeling (ISM). The results revealed a four-level hierarchical structure, in which sound intensity, sound quality, and timing of instruction delivery were placed at the first level; recognition of the output voice at the second level; number of instructions at the third level; and factors such as speaking speed, noisy environment, and guidance content at the fourth level. MICMAC analysis also showed that "guidance content" is a key and influential variable. Accordingly, improving message content and appropriately timing the delivery of instructions can help reduce driver distraction and enhance urban traffic safety.

Keywords: MICMAC Analysis, Auditory Distraction, Interpretive Structural Modeling (ISM), Voice Navigation System