

ارزیابی اثر ویژگی‌های موسیقی بر عملکرد رانندگی و برانگیختگی فیزیولوژیک در محیط شبیه‌ساز

علیرضا صادقی، دانش آموخته کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل‌ونقل دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
سعید شرافتی پور (مسئول مکاتبات)، استادیار گروه برنامه ریزی حمل‌ونقل دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: sherafatipour@modares.ac.ir

حجت اله فراهانی، دانشیار گروه روانشناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷

دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

چکیده

این پژوهش اثر مؤلفه‌های ساختاری موسیقی را بر عملکرد رانندگی و برانگیختگی فیزیولوژیک در یک طرح درون‌سوژه‌ای با ۵۰ راننده بررسی می‌کند. پانزده سناریوی موسیقایی، بر اساس یک طرح فاکتوریل کسری شامل سه متغیر احساس القاشده، سرعت ضرب‌آهنگ و شدت صدا، در شبیه‌ساز BeamNG-Drive اجرا شد. شاخص فیزیولوژیک از مقاومت پوست ثبت و پس از تبدیل لگاریتمی و استانداردسازی، به شاخص یکپارچه Arousal Index نگاشت شد. سنجه‌های عملکردی شامل تعداد خطا، الگوی سرعت، انحراف جانبی مسیر و زمان واکنش استخراج گردید. تحلیل نگرش موسیقایی با PCA کفایت داده‌ها را تأیید کرد و خوشه‌بندی *k-means* پنج تیپ نگرشی متمایز را شناسایی نمود. خوشه‌بندی داده‌های عملکردی-فیزیولوژیکی نیز چهار الگوی پاسخ پایدار (از «خطای کم/برانگیختگی کم» تا «خطای زیاد/برانگیختگی بالا») را آشکار ساخت. آزمون‌های درون‌سوژه‌ای نشان دادند که نوع موسیقی تفاوت‌های آماری معناداری در میزان خطا و سطح برانگیختگی ایجاد می‌کند؛ موسیقی اضطراب‌برانگیز بیشترین برانگیختگی و خطا و موسیقی شاد کمترین آن‌ها را ایجاد کرد، در حالی که موسیقی غمگین در بینابین قرار داشت. این نتایج نشان می‌دهد که موسیقی از طریق تعدیل برانگیختگی فیزیولوژیک می‌تواند بر ایمنی رفتاری اثرگذار باشد و تفاوت‌های فردی نقش کلیدی در این فرآیند دارند. یافته‌ها کاربرد مستقیمی در طراحی سامانه‌های هوشمند انتخاب و تنظیم موسیقی در خودرو، توسعه سیستم‌های پایش فیزیولوژیک راننده برای هشداردهی به افزایش برانگیختگی، و تدوین دستورالعمل‌های ایمنی برای مدیریت محتوای شنیداری به‌ویژه در شرایط بحرانی رانندگی دارند.

واژه‌های کلیدی: ایمنی ترافیک؛ موسیقی درون‌خودرویی؛ فعالیت الکتودرمال (EDA)؛ خوشه‌بندی؛ شبیه‌ساز رانندگی

۱. مقدمه

ایمنی حمل و نقل جاده‌ای یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های جوامع امروزی به شمار می‌رود. بر اساس گزارش‌های بین‌المللی، سالانه میلیون‌ها نفر در سراسر جهان به دلیل سوانح رانندگی جان خود را از دست می‌دهند و خسارات مالی و اجتماعی گسترده‌ای به بار می‌آید. بخش عمده‌ای از این تصادفات ناشی از خطاهای انسانی است و در میان انواع خطاها، عواملی که بر تمرکز و توجه رانندگان اثر می‌گذارد، اهمیت ویژه‌ای دارند. در این میان، محرک‌های شنیداری به‌ویژه موسیقی از جمله متغیرهایی هستند که می‌توانند بر رفتار و عملکرد راننده تأثیر مستقیم و غیرمستقیم داشته باشند.

موسیقی به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از فرهنگ و زندگی روزمره، در محیط رانندگی نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که ویژگی‌های موسیقی همچون شدت صدا (ولوم)، سرعت ضرب‌آهنگ (تمپو)، و محتوای هیجانی قادرند بر وضعیت شناختی و روانی رانندگان تأثیرگذار باشند. این رابطه در پژوهش‌های کنترل‌شده نیز مشاهده شده است و نشان می‌دهد محرک‌های شنیداری قادرند بار شناختی و سطوح برانگیختگی را به‌طور مستقیم تعدیل کنند (Ünal et al., 2019; Navarro et al., 2013). برای مثال، موسیقی با سرعت ضرب‌آهنگ بالا ممکن است سطح برانگیختگی را افزایش داده و باعث کاهش تمرکز یا افزایش رفتارهای پرخطر شود، در حالی‌که موسیقی آرام و کم‌صدا می‌تواند آرامش و تمرکز بیشتری برای راننده فراهم کند. همچنین شدت صدا در سطوح بالا به‌عنوان یکی از منابع حواس‌پرتی شناخته می‌شود و مطالعاتی آن را با افزایش سطح استرس و کاهش دقت در رانندگی مرتبط دانسته‌اند. این یافته‌ها با نتایج فراتحلیل‌های اخیر نیز همخوان است که شدت صدا و سرعت ضرب‌آهنگ را از عوامل تعیین‌کننده رفتار سرعت و خطاهای توجهی رانندگان معرفی کرده‌اند (Ghojzadeh et al., 2023).

با وجود توجه گسترده به اثرات موسیقی بر عملکرد رانندگان، بخش عمده‌ای از پژوهش‌ها تمرکز خود را بر بررسی اثرات کلی و مستقیم موسیقی نهاده‌اند و کمتر به تفاوت‌های فردی رانندگان در نگرش نسبت به موسیقی پرداخته‌اند. این در حالی است که نگرش‌ها و برداشت‌های فردی نسبت به موسیقی می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در نحوه اثرگذاری آن بر رفتار رانندگی ایفا کنند. برای نمونه، گروهی از رانندگان ممکن است موسیقی شاد را عاملی برای افزایش انرژی و کاهش خستگی بدانند، در حالی‌که گروهی دیگر همان نوع موسیقی را عامل برانگیختگی بیش از حد و افزایش خطاهای رانندگی تلقی کنند. نادیده‌گرفتن این تفاوت‌های نگرشی، موجب می‌شود نتایج مطالعات قبلی تعمیم‌پذیری محدودی داشته باشند و نتوانند مبنای مناسبی برای سیاست‌گذاری‌های ایمنی فراهم کنند.

از این رو، نیاز به پژوهش‌هایی احساس می‌شود که با رویکردی داده‌محور به شناسایی تیپ‌های نگرشی رانندگان نسبت به موسیقی بپردازند و بر اساس این تیپ‌ها راهکارهای ارتقای ایمنی را ارائه دهند. در ادبیات پژوهش، استفاده از روش‌های خوشه‌بندی برای کشف الگوهای پنهان در داده‌های نگرشی و رفتاری جایگاه ویژه‌ای دارد. این روش‌ها امکان دسته‌بندی افراد را بر اساس شباهت در پاسخ‌ها فراهم می‌سازند و به پژوهشگران اجازه می‌دهند گروه‌های همگن‌تری از رانندگان را شناسایی کنند.

هدف اصلی تحقیق حاضر شناسایی خوشه‌های نگرشی رانندگان نسبت به موسیقی و بررسی نقش آن‌ها در تبیین خطاهای رانندگی است. بدین منظور، پرسشنامه‌ای شامل مجموعه‌ای از آیتم‌های مرتبط با ابعاد مختلف موسیقی (شدت صدا، تمپو و اثرات هیجانی) طراحی و داده‌های گردآوری‌شده از رانندگان مورد تحلیل قرار گرفت. برای کاهش ابعاد داده‌ها و اطمینان از کفایت سازه‌ها، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد و سپس به‌منظور کشف تیپ‌های نگرشی، روش خوشه‌بندی-K-means به کار گرفته شد.

نوآوری اصلی این پژوهش در ترکیب ابزار پرسشنامه‌ای با روش‌های آماری چندمتغیره و داده‌کاوی است که امکان شناسایی دقیق‌تر تفاوت‌های نگرشی رانندگان را فراهم می‌آورد. یافته‌های حاصل می‌تواند ضمن پر کردن خلأ موجود در ادبیات، مبنایی برای تدوین برنامه‌های آموزشی و مداخلات رفتاری در حوزه ایمنی ترافیک باشد. به طور خاص، شناخت تیپ‌های نگرشی مختلف می‌تواند به طراحی پیام‌های آموزشی متناسب با ویژگی‌های روانی و شناختی رانندگان کمک کند و در نهایت منجر به کاهش خطاهای انسانی و ارتقای ایمنی حمل‌ونقل جاده‌ای شود.

۲. ادبیات پژوهش

پژوهش‌های بین‌المللی درباره‌ی تأثیر موسیقی بر رانندگی نتایجی گاه متناقض ارائه کرده‌اند. برای مثال، آنال و همکاران (۲۰۱۲) در آزمایش شبیه‌سازی‌شده‌ای نشان دادند که گوش‌دادن به موسیقی، صرف‌نظر از پیچیدگی ترافیک، بار ذهنی راننده را بالا می‌برد، اما عملکرد رانندگی را بدتر نمی‌کند؛ افزایش تلاش ذهنی به‌عنوان راهبردی جبرانی برای حفظ ایمنی تفسیر شد. در مقابل، فراتحلیل نظام‌مند قجادزاده و همکاران (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که موسیقی با شدت بالا یا متوسط سرعت متوسط رانندگی را افزایش می‌دهد، درحالی‌که موسیقی کم‌صدا موجب کاهش سرعت شده و واکنش‌های رانندگان را سریع‌تر می‌کند، اما سطح برانگیختگی و بار شناختی آن‌ها را بالا می‌برد. این مطالعه همچنین نشان داد که موسیقی با ولوم بالا منجر به کاهش ضربان قلب می‌شود، درحالی‌که موسیقی با حجم متوسط یا کم، ضربان را افزایش می‌دهد. بنابراین، شدت صوتی موسیقی نقشی دوگانه میان تحریک و حواس‌پرتی ایفا می‌کند.

تحقیقات درباره‌ی ویژگی‌های ریتمیک موسیقی نیز اختلاف‌نظر دارند. برودسکی (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای کنترل‌شده گزارش کرده است که افزایش تمپوی موسیقی موجب افزایش سرعت رانندگی، تخمین نادرست از سرعت واقعی و بروز بیشتر تخلفات رانندگی نظیر عبور از چراغ قرمز یا تغییر ناگهانی خط حرکتی

می‌شود. مطالعه‌ای میدانی روی رانندگی طولانی‌مدت نیز نشان داده که موسیقی با تمپوی متوسط، بهترین گزینه برای کاهش خستگی و حفظ تمرکز است؛ موسیقی کند در ابتدا توجه را افزایش می‌دهد ولی در ادامه باعث کاهش عملکرد می‌شود، و موسیقی تند، اگرچه در کوتاه‌مدت خستگی را کاهش می‌دهد، اما در بلندمدت موجب حواس‌پرتی و اختلال در تمرکز می‌گردد. همین مطالعه تأکید کرده که تمپوی سریع منجر به افزایش سرعت تخمین‌زده‌شده توسط راننده و بروز رفتارهای پرخطر می‌شود، در حالی‌که موسیقی با تمپوی کمتر از ۸۰ ضرب در دقیقه، با افزایش ایمنی همراه است.

برخی پژوهش‌ها نیز به جنبه‌های مثبت موسیقی توجه کرده‌اند. یافته‌های مبتنی بر EEG نشان می‌دهد که موسیقی ملایم می‌تواند سطح استرس را در موقعیت‌های رانندگی سبک و سنگین به میزان ۴۱/۶۷ تا ۴۵ درصد کاهش دهد، و موسیقی شاد، در شرایط استرس متوسط، بیشترین تأثیر کاهش‌دهنده را دارد. همچنین، موسیقی آشنا قادر است سرگردانی ذهنی را کاهش دهد و بهبود عملکرد شناختی و زمان واکنش را در پی داشته باشد (Bidelman et al., 2025). این یافته‌ها با نظریاتی که موسیقی را عامل ارتقاء توجه، کاهش اضطراب و کمک به حفظ بیداری تلقی می‌کنند، هم‌راستا است.

با این حال، بسیاری از مطالعات تنها یکی از ویژگی‌های ساختاری موسیقی همچون تمپو یا ولوم را بررسی کرده‌اند و از عناصر مهمی مانند حالت مازور یا مینور، محتوای احساسی و هماهنگی بین این عناصر غافل بوده‌اند (Juslin & Västfjäll, 2008). افزون بر این، اغلب پژوهش‌ها فقط بر شاخص‌های رفتاری مانند سرعت و خطا تمرکز داشته‌اند و داده‌های فیزیولوژیکی مانند پاسخ گالوانیکی پوست (GSR) را نادیده گرفته‌اند، درحالی‌که این داده‌ها می‌توانند اطلاعات ارزشمندی درباره‌ی برانگیختگی احساسی و سطح استرس راننده ارائه دهند. از سوی دیگر، تفاوت‌های فردی در نگرش نسبت به موسیقی نیز در اغلب موارد نادیده گرفته شده‌اند، درحالی‌که شواهد نشان می‌دهد برداشت

ذهنی افراد از موسیقی می‌تواند تأثیرات کاملاً متفاوتی در پی داشته باشد.

در مجموع، ادبیات موجود نشان‌دهنده‌ی نیاز به پژوهش‌هایی است که با رویکردی چندبعدی، هم‌زمان به ویژگی‌های صوتی موسیقی، شاخص‌های فیزیولوژیک و تفاوت‌های نگرشی رانندگان توجه کنند. چنین مطالعاتی می‌توانند به شناسایی تیپ‌های متفاوت واکنشی و تدوین راهبردهای مؤثر برای انتخاب موسیقی درون‌خودرویی با هدف ارتقاء ایمنی کمک کنند.

۳. روش پژوهش

این پژوهش به‌صورت آزمایشی و در محیط شبیه‌ساز رانندگی انجام شده است. جامعه آماری شامل رانندگان دارای گواهی‌نامه پایه سوم در شهر تهران بود که از نظر سلامت جسمی و روانی، عدم سابقه اختلال بینایی و شنوایی، عدم مصرف داروهای مؤثر بر سیستم عصبی، و دارا بودن حداقل یک سال سابقه رانندگی مورد غربالگری قرار گرفتند. در نهایت، ۵۰ نفر (۳۵ مرد و ۱۵ زن) واجد شرایط به‌صورت هدفمند انتخاب شده و در آزمایش شرکت کردند.

آزمایش در محیط شبیه‌ساز رانندگی BeamNG-Drive انجام شد. شبیه‌ساز BeamNG-Drive یک محیط رانندگی مبتنی بر فیزیک واقع‌گرایانه است که از مدل‌سازی پویا مبتنی بر دینامیک سخت-نرم برخوردار است و امکان بازتولید تعاملات پیچیده بین وسیله نقلیه، جاده و ورودی‌های راننده را فراهم می‌کند. این شبیه‌ساز به‌دلیل توانایی بالای آن در کنترل دقیق متغیرهای محیطی، تکرارپذیری کامل سناریوها و قابلیت ثبت داده‌های رفتاری با دقت بسیار بالا، در پژوهش‌های روان‌شناختی و فیزیولوژیکی مرتبط با رانندگی کاربرد گسترده‌ای دارد. افزون بر این، BeamNG با پشتیبانی از اسکریپت‌نویسی رویدادمحور، امکان استانداردسازی محرک‌ها، کنترل دقیق زمان‌بندی اتفاقات و حذف عوامل کنترل نشده بیرونی را فراهم می‌سازد؛ ویژگی‌ای که آن را به یکی از قابل‌اتکاترین ابزارها برای تحلیل اثر محرک‌های شنیداری بر عملکرد و وضعیت فیزیولوژیک راننده

تبدیل می‌کند. شرکت‌کنندگان هر یک سه سناریوی شنیداری را تجربه کردند که در آن‌ها موسیقی‌هایی با فضای هیجانی متفاوت شامل «شاد» (با گام A ماژور)، «غمگین» (با گام C مینور)، و «اضطراب‌آور» (با گام bE مینور) به‌کار گرفته شد. استفاده از دستگاه شبیه‌ساز رانندگی به منظور اثرسنجی موسیقی انتخابی بر رفتار راننده در پژوهش‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. به این منظور که شبیه‌سازها امکان تکرارپذیری کامل سناریوها را برای آزمودنی‌های مختلف فراهم می‌کنند، به‌طوری‌که پژوهشگر می‌تواند متغیرهایی مانند نوع و شدت موسیقی، شرایط جاده، ترافیک، نور، حتی زمان‌بندی رویدادها را کاملاً کنترل کند. برای مثال، در پژوهش‌های Navarro و همکاران (۲۰۱۹، ۲۰۲۳) شرکت‌کنندگان باید در شبیه‌ساز، یک خودرو را دنبال می‌کردند و هم‌زمان موسیقی منتخب خودشان را گوش می‌دادند. در این شرایط هم رفتار رانندگی (مانند فاصله و واکنش به تغییر سرعت) و هم حالت فیزیولوژیک (مانند ضربان قلب و سطح برانگیختگی) به طور دقیق ثبت می‌شد. در هر سناریو، ویژگی‌های ساختاری موسیقی نظیر تمپو (سرعت ضرب‌آهنگ) و شدت صدا (ولوم) نیز به‌صورت نظام‌مند تغییر داده می‌شدند (شوبرت ، ۲۰۰۴). در این مطالعه برای سنجش اثر ساختار موسیقی بر رانندگی، سه عامل تمپو، ولوم و گام در قالب یک طرح فاکتوریلی کسری $\frac{1}{2}$ به ۱۵ سناریوی موسیقایی تبدیل شد و به‌صورت درون‌گروهی به همه شرکت‌کنندگان ارائه گردید. محرک‌ها در FL Studio 21 با کنترل کامل احساسات منتقل شده لز موسیقی، ضرب آهنگ موسیقی (تمپو) و شدت صوت موسیقی (ولوم) ساخته شدند؛ ولوم‌ها در نرم‌افزار روی سطوح از پیش تعیین‌شده تنظیم و بلندی فایل‌ها برای یکنواختی ادراک‌شده نرمال شد (فرمت WAV، ۴۴,۱ kHz/16-bit). ترتیب اجرای سناریوها برای هر شرکت‌کننده تصادفی بدون جایگزینی بود و بین سه مسیر رانندگی به الگوی ۵-۶-۴ متوازن شد؛ همچنین با قید تعادل ساده، سطوح عوامل در موقعیت‌های آغاز/میان/پایان پخش تقریباً به‌طور برابر ظاهر شدند. برای جلوگیری از خستگی

اینگونه تفسیر انجام می‌شود. برای جلوگیری از ابهام جهت، یک شاخص یکنواخت تعریف شد:

$$\text{Arousal Index} = -z(\log(\text{SR}))$$

که در آن $\log$ برای کاهش چولگی و z برای نرمال‌سازی بین‌فردی به‌کار رفته است؛ بنابراین مقادیر بزرگ‌تر Arousal Index نشان‌دهنده برانگیختگی بیشتر هستند. پردازش سیگنال شامل حذف آرتیفکت، هموارسازی، اصلاح خط پایه بر اساس دوره استراحت هر بلوک، و نرمال‌سازی بین‌فردی بود. مقادیر SR خام صرفاً برای توصیف گزارش شد و تحلیل‌های تفسیری بر مبنای Arousal Index صورت گرفت.

پردازش سیگنال مقاومت پوست (SR). سیگنال SR با نرخ حدود ۴ هرتز ذخیره شد. برای تمیزتر شدن داده‌ها، بخش‌های خیلی نویزی یا قطع تماس حذف شد، سیگنال کمی هموار شد و برای هر بلوک، از یک دوره استراحت کوتاه به‌عنوان خط‌پایه استفاده کردیم. سپس برای یک‌دست‌سازی بین افراد، مقدار SR را لگ گرفتیم و به نمره z تبدیل کردیم. شاخص نهایی برانگیختگی را به‌صورت $\text{Arousal Index} = -z(\log(\text{SR}))$ تعریف کردیم تا عدد بزرگ‌تر به معنی برانگیختگی بیشتر باشد. در تحلیل‌ها، برای هر قطعه موسیقی، میانگین Arousal Index را بررسی کردیم و برای توصیف کلی، $\text{SR} (k\Omega)$ به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شد.

در بخش سوم، داده‌های عملکردی رانندگی شامل تعداد خطاها (نظیر خروج از مسیر، برخورد با مانع، و عبور از سرعت مجاز)، میانگین سرعت، انحراف از خط حرکت و زمان واکنش، مستقیماً از داده‌های ثبت‌شده توسط شبیه‌ساز استخراج شد و تحلیل داده‌ها در چند مرحله انجام گرفت.

۱-۳ روش‌های آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی

PCA و خوشه‌بندی K-means

برای تحلیل نگرش موسیقایی و الگوهای عملکردی-فیزیولوژیک، از ترکیبی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و الگوریتم خوشه‌بندی K-means استفاده شد. در گام نخست،

و کاهش اثر ترتیب، وقفه ۵ دقیقه‌ای میان سناریوها در نظر گرفته شد. برای کاهش سوگیری آشنایی، قطعات فاقد ملودی شناخته‌شده و با استفاده از ادبیات مطالعه شوبرت و همکاران در سال ۲۰۰۴ ساخته شدند و ادراک هیجانی هر قطعه با یک مقیاس کوتاه پس‌آزمون ارزیابی شد. هم‌زمان با پخش، داده‌های عملکرد رانندگی، شاخص فیزیولوژیک SR/Arousal Index و پاسخ‌های رفتاری به‌طور خودکار ثبت گردید.

ابزارهای گردآوری داده در سه بخش اصلی تعریف شدند. در بخش نخست، پرسشنامه MPQ با ۱۷ گویه پنج‌درجه‌ای برای ارزیابی حساسیت به تمپو، حساسیت به ولوم و احساس برانگیختگی موسیقی (یعنی تأثیر احساسی موسیقی بر حال و هوای راننده) استفاده شد و علاوه بر آن در این پژوهش، از نسخه فارسی و هنجاریابی شده پرسشنامه MDSI (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۴۰۱؛ Taubman-Ben-Ari et al., 2004) استفاده شد. روایی و پایایی این ابزار برای جمعیت ایرانی قبلاً گزارش شده است و در این پژوهش نیز از همان نسخه استاندارد بهره‌گیری شد.

در بخش دوم، برای ثبت پاسخ‌های فیزیولوژیک، از سامانه GSR (هدایت الکتریکی پوست) با نرخ نمونه‌برداری در هر ۰/۲۵ ثانیه یک برداشت، استفاده شد. حسگرها بر روی انگشتان دست غیرغالب نصب شده و داده‌ها پس از حذف نویز حرکتی و نرمال‌سازی اولیه، برای تحلیل آماده گردید. این شاخص به‌عنوان نماینده‌ای از سطح برانگیختگی روان‌فیزیولوژیک در طول رانندگی عمل می‌کرد.

ثبت سیگنال و شاخص برانگیختگی (SR/EDA). خروجی حسگر GSR در این پژوهش مقاومت پوست (Skin Resistance; SR) است (واحد: $k\Omega$). از آنجا که SR با هدایت پوست (Electrodermal Activity; EDA) رابطه معکوس دارد، تفسیر برانگیختگی به‌صورت با بالا رفتن سطح برانگیختگی فرد عدد هدایت الکتریکی فرد کاهش پیدا می‌کند و

تیپ‌های عملکردی و فیزیولوژیکی در محیط شبیه‌ساز رانندگی، و بررسی تأثیر حس القاشده توسط موسیقی (شاد، غم، اضطراب) بر شاخص‌های عملکردی و فیزیولوژیکی. داده‌ها از طریق پرسشنامه‌ها، آزمون رانندگی شبیه‌سازی شده و سنسور فیزیولوژیکی GSR گردآوری شده و با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره و ناپارامتریک تحلیل گردیدند.

۴-۱ تحلیل نگرش شرکت‌کنندگان نسبت به موسیقی

برای تحلیل نگرش موسیقایی شرکت‌کنندگان، داده‌های حاصل از پرسشنامه MPQ با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بررسی شدند. آزمون کرویت بارتلت ($\chi^2 = 103.80$)، $p < 0.001$ ، $df = 55$ و شاخص $KMO = 0.604$ نتیجه کاهش بعد و انتخاب K کفایت داده‌ها را تأیید کردند. دو مؤلفه اصلی استخراج شدند: یکی بیانگر حساسیت به ویژگی‌های ساختاری موسیقی (تمپو و ولوم) و دیگری بیانگر احساس برانگیزی موسیقی بود.

با استفاده از نمره‌های مؤلفه‌ای حاصل از PCA، الگوریتم K-means با مقادیر مختلف K اجرا شد و ساختار بهینه برای $K=5$ تعیین شد. شاخص‌های زیر برای ارزیابی اعتبار خوشه‌بندی گزارش شد که همگی معیارها نشان داد ساختار خوشه‌ها پایدار و تکرارپذیر است.

• سیلوئت = ۰/۴۷۱

• کالینسکی-هاراباس = ۵۱/۶۵

• دیویس-بولدین = ۰/۶۳۵

• $ARI = ۰/۶۰۷$ (مقایسه با خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی)

جدول ۱. ویژگی‌های خوشه‌های نگرشی استخراج شده از داده‌های

پرسشنامه پس از تحلیل PCA و خوشه‌بندی k-means

خوشه	تعداد افراد	ویژگی غالب نگرشی
۱	۹ نفر	بسیار حساس به صدا و ریتم، درگیری احساسی پایین
۲	۱۲ نفر	حساسیت و درگیری متوسط
۳	۱۰ نفر	حساسیت پایین، احساس برانگیزی بالا

PCA با هدف کاهش ابعاد و استخراج مؤلفه‌های نهفته اجرا شد و کفایت داده‌ها با شاخص‌های KMO و آزمون کرویت بارتلت ارزیابی گردید (Jolliffe, 2002). سپس نمره‌های مؤلفه‌ای استخراج شده، ورودی الگوریتم K-means قرار گرفت تا تیپ‌های نگرشی شرکت‌کنندگان و همچنین الگوهای عملکردی-فیزیولوژیک رانندگان شناسایی شوند. تعداد خوشه‌ها بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای اعتبارسنجی شامل شاخص سیلوئت، Davies-Bouldin و Calinski-Harabasz تعیین شد (MacQueen, 1967; Rousseeuw, 1987) و پایداری ساختار خوشه‌ها با شاخص Adjusted Rand Index (ARI) مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور جلوگیری از بیش‌برازش در حضور حجم نمونه نسبتاً کوچک، داده‌های عملکردی-فیزیولوژیک نیز پس از استانداردسازی و کاهش ابعاد با PCA به چند مؤلفه کلیدی خلاصه شد و خوشه‌بندی K-means روی نمره‌های مؤلفه اجرا گردید. برای بررسی تفاوت بین خوشه‌ها از آزمون‌های ناپارامتریک شامل کروسکال-والیس و آزمون‌های زوجی Mann-Whitney با اصلاح هولم استفاده شد. در نهایت، ارتباط بین نوع موسیقی، سطح برانگیختگی فیزیولوژیک و بروز خطاهای رانندگی با استفاده از تحلیل‌های همبستگی و روش‌های توصیفی چندمتغیره ارزیابی گردید. خوشه‌بندی k-means بر نمره‌های مؤلفه‌ای حاصل از PCA انجام شد و تابع هدف کمینه‌سازی واریانس درون خوشه‌ای به صورت زیر تعریف گردید:

$$J = \sum_{k=1..K} \sum_{\{z_i \in C_k\}} \|z_i - \mu_k\|_2^2$$

$$\mu_k = \left(\frac{1}{|C_k|} \right) \sum_{\{z_i \in C_k\}} z_i$$

انتساب با $c(i) = \operatorname{argmin}_k \|z_i - \mu_k\|_2$ و تا کاهش ناچیز J تکرار شد.

۴. تحلیل داده‌ها

این بخش به ارائه یافته‌های آماری پژوهش در سه سطح ارائه می‌دهد: تحلیل نگرش شرکت‌کنندگان نسبت به موسیقی، تحلیل

ارزیابی اثر ویژگی‌های موسیقی بر عملکرد رانندگی و برانگیختگی فیزیولوژیک در محیط شبیه‌ساز

خوشه ۳: این خوشه با وجود واکنش پایین به ویژگی‌های ظاهری موسیقی، اثرات احساسی بالایی را گزارش کرده‌اند. یعنی موسیقی برای آن‌ها آرام‌بخش یا الهام‌بخش است بدون اینکه ساختارش مزاحم تلقی شود.

خوشه ۴: افرادی که حتی اگر صدا و ریتم موسیقی برایشان اهمیتی نداشته باشد، اما بیشترین بهره‌برداری هیجانی از موسیقی دارند (احساس برانگیزی بالا).

خوشه ۵: افراد بی تفاوت یا خنثی؛ نه موسیقی برایشان مزاحم است و نه انرژی‌بخش. اثر خالص چندانی دریافت نمی‌کنند.

خوشه	تعداد افراد	ویژگی غالب نگرشی
۴	۱۱ نفر	کم حساس، بالاترین درگیری احساسی
۵	۸ نفر	نگرش متعادل و خنثی

خوشه ۱: نماینده‌ی رانندگانی است که موسیقی با ویژگی‌های ساختاری قوی (مثل صدای بلند یا ریتم تند) را مزاحم می‌دانند. آن‌ها موسیقی را منبع تنش یا حواس‌پرتی تلقی کرده و کمتر درگیر اثرات احساسی آن می‌شوند.

خوشه ۲: در محدوده‌ی میانه قرار دارد؛ این افراد تا حدی به موسیقی واکنش دارند، اما نه به اندازه‌ای که تجربه‌ی رانندگی‌شان را به‌طور محسوسی تغییر دهد.

جدول ۲. مقایسه میانگین و انحراف معیار شاخص‌های نگرشی (حساسیت به ولوم، حساسیت به تمپو، احساس برانگیزی) در پنج خوشه نگرشی

شاخص / خوشه	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	خوشه ۴	خوشه ۵
حساسیت به ولوم	۳/۴±۰/۶	۳/۷±۰/۴	۳/۲±۰/۵	۲/۶±۰/۷	۳/۱±۰/۶
حساسیت به تمپو	۴/۱±۰/۵	۳/۸±۰/۶	۳/۵±۰/۵	۲/۸±۰/۶	۳/۳±۰/۵
احساس برانگیزی	۲/۵±۰/۸	۳/۱±۰/۵	۳/۹±۰/۶	۴/۴±۰/۴	۳/۵±۰/۵

گزارش کرده است. خوشه ۳ نیز با حساسیت کم ولی درگیری بالا نشان می‌دهد که برخی افراد فارغ از ساختار موسیقی، واکنش احساسی زیادی به آن دارند.

خوشه ۱ بالاترین حساسیت را نسبت به صدا و ریتم دارد، اما پایین‌ترین میزان درگیری احساسی را نشان می‌دهد. در مقابل، خوشه ۴ با کمترین حساسیت، بالاترین احساس برانگیزی را

جدول ۳. نتایج آزمون Kruskal-Wallis برای بررسی تفاوت خوشه‌های نگرشی در سه شاخص ساختاری موسیقی

شاخص	H آماره	df	p-value	η^2 اندازه اثر
حساسیت به ولوم	۱۴/۹۹	۴	۰/۰۰۴۷	(متوسط) ۰/۲۴
حساسیت به تمپو	۲۲/۹۹	۴	۰/۰۰۰۱۳	(قوی) ۰/۴۲
احساس برانگیزی	۲۰/۰۴	۴	۰/۰۰۰۳۷	(قوی) ۰/۳۷

واکنش به سرعت ریتم، مؤلفه‌ای تعیین‌کننده در نگرش افراد نسبت به موسیقی است.

تفاوت بین خوشه‌ها در هر سه شاخص معنادار است. بالاترین اندازه اثر مربوط به حساسیت به تمپو است، که نقش مهمی در تفکیک نگرش‌ها داشته است. این موضوع نشان می‌دهد که

جدول ۴. نتایج آزمون‌های زوجی Mann-Whitney با اصلاح Holm برای مقایسه خوشه‌های نگرشی

زوج مقایسه‌ای	شاخص‌ها	تعدیل شده p	نتیجه
خوشه ۱ و ۴	هر سه شاخص	< ۰/۰۱	معنادار قوی
خوشه ۱ و ۳	احساس برانگیزی	۰/۰۰۶	معنادار
خوشه ۲ و ۴	ولوم و تمپو	۰/۰۱۴	معنادار

زوج مقایسه‌ای	شاخص‌ها	تعدیل شده p	نتیجه
خوشه ۳ و ۵	احساس برانگیزی	۰/۰۴۱	معنادار
خوشه ۱ و ۲	تمپو	۰/۰۴۸	مرزی

آن است. در برخی مقایسه‌ها مانند تفاوت در حساسیت به تمپو میان خوشه‌های نسبتاً مشابه، نتایج مرزی ولی قابل توجه به دست آمد که می‌تواند در تحلیل‌های دقیق‌تر شخصیتی و رفتاری مورد توجه قرار گیرد. در مجموع، یافته‌ها حاکی از آن است که نگرش نسبت به موسیقی نه تنها از نظر درک ساختاری بلکه از نظر تجربه هیجانی، در میان رانندگان بسیار متنوع و قابل تقسیم به خوشه‌های مشخص است. این تفاوت‌ها می‌تواند پایه‌ای برای طراحی محیط شنیداری شخصی‌سازی شده در رانندگی فراهم سازد.

۲-۴ تحلیل تیپ‌های عملکردی-فیزیولوژیکی

(خطاها و GSR)

برای تحلیل رفتار رانندگی، داده‌های مربوط به تعداد خطاها و شاخص فیزیولوژیکی GSR با روش K-means خوشه‌بندی شدند. ساختار ۴ خوشه‌ای بهینه‌ترین ساختار بود (سیلوئت = ۰/۴۶۳).

نتایج آزمون‌های زوجی نشان داد که بین برخی از خوشه‌های نگرشی تفاوت‌های آماری معناداری در شاخص‌های حساسیت به ویژگی‌های صوتی (تمپو و ولوم) و میزان درگیری هیجانی با موسیقی وجود دارد. بیشترین و قوی‌ترین تفاوت مربوط به مقایسه بین دو خوشه با بیشترین تضاد نگرشی بود؛ یعنی افرادی که از یک‌سو نسبت به صدا و ریتم بسیار حساس‌اند اما واکنش احساسی کمتری به موسیقی دارند، و از سوی دیگر، افرادی که تقریباً نسبت به ساختار موسیقی بی‌تفاوت‌اند ولی از نظر هیجانی به شدت درگیر می‌شوند.

تفاوت در شاخص احساس برانگیزی در چندین مقایسه به‌طور معناداری ظاهر شد و این نشان می‌دهد که نگرش احساسی نسبت به موسیقی، فارغ از ساختار صوتی آن، نقش مهمی در تمایز تیپ‌های نگرشی ایفا می‌کند. همچنین تفاوت‌های معنادار در حساسیت به تمپو و شدت صدا میان برخی خوشه‌ها (به‌ویژه میان تیپ‌های حساس و تیپ‌های هیجانی) مؤید آن است که ادراک فنی موسیقی در برخی افراد پرنرگ‌تر از تجربه احساسی

جدول ۵. مشخصات چهار تیپ عملکردی-فیزیولوژیکی رانندگان بر اساس ترکیب خطاها و شاخص GSR

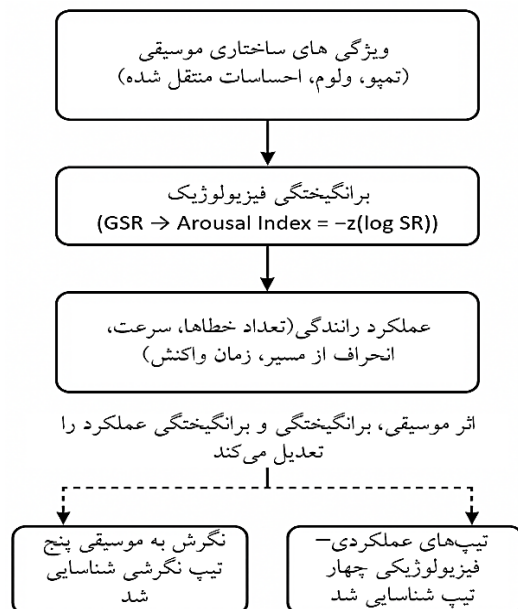
خوشه	افراد	ویژگی غالب	SR (kΩ)	SD ± میانگین
۱	۱۳	خطای کم، برانگیختگی کم	۲/۴۶ ± ۰/۳۱	۳/۱۵ ± ۰/۷۵
۲	۱۴	متوسط در هر دو شاخص	۱/۹۳ ± ۰/۲۸	۴/۶۲ ± ۱/۰۲
۳	۱۲	خطای زیاد، برانگیختگی بالا	۱/۴۳ ± ۰/۳۷	۶/۷۸ ± ۱/۴۵
۴	۱۱	خطای کم، برانگیختگی بالا	۱/۲۹ ± ۰/۳۳	۲/۸۸ ± ۰/۶۲

می‌دهد. خوشه ۴ علی‌رغم SR کمتر/برانگیختگی بیشتر عملکرد مطلوبی دارد که می‌تواند بیانگر «برانگیختگی مؤثر» یا تفاوت‌های فردی در مدیریت تنش باشد. خوشه ۲ در میانه قرار دارد و برای مقایسه‌ها به‌عنوان گروه مرجع استفاده می‌شود.

داده‌های جدول ۵ چهار الگوی متمایز «عملکرد-برانگیختگی» را نشان می‌دهند. خوشه ۳ دارای SR کمتر (یعنی Arousal Index بالاتر و برانگیختگی بیشتر) و بیشترین خطاست. خوشه ۱ الگوی SR بالاتر (برانگیختگی کمتر) با کمترین خطا را نشان

جدول ۶. نتایج آزمون Kruskal-Wallis برای تفاوت بین تیپ‌های عملکردی-فیزیولوژیکی در شاخص خطا و میانگین GSR

شاخص	H	df	p-value	ϵ^2
تعداد خطا	۲۱/۴۵	۳	۰/۰۰۰۰۹	۰/۳۹
میانگین GSR	۱۹/۸۲	۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۳۶



شکل ۱. چارچوب مفهومی پژوهش و مسیر اثر موسیقی بر

برانگیختگی فیزیولوژیک و عملکرد رانندگی

۳-۴ تأثیر حس القاشده توسط موسیقی بر عملکرد

رانندگی و شاخص فیزیولوژیکی GSR

در این بخش، اثر سه نوع حس القاشده توسط موسیقی بر عملکرد رانندگی و واکنش‌های فیزیولوژیکی بررسی شده است. این سه حس بر اساس ادبیات روان‌شناسی موسیقی انتخاب شده‌اند و به شرح زیر هستند:

- **حس شاد:** موسیقی با ساختار ملودیک شفاف، ریتم متعادل و بار هیجانی مثبت
- **حس غم:** موسیقی با ملودی کند، نُت‌های پایین و تنالیت‌های درون‌گرا
- **حس اضطراب:** موسیقی با ریتم ناپایدار، بافت تیره و ایجادکننده تنش روانی

نتایج آزمون Kruskal-Wallis نشان می‌دهد که اختلاف بین خوشه‌های شناسایی‌شده از نظر هر دو شاخص «تعداد خطا» و «GSR» از نظر آماری معنادار و از نظر اندازه اثر قوی است. مقدار H بالا در هر دو متغیر و p کمتر از ۰,۰۰۱ نشان‌دهنده‌ی ساختار خوشه‌ای معتبر و دقیق در تفکیک تیپ‌های عملکردی-فیزیولوژیکی است. اندازه اثر نسبتاً بالا (ϵ^2 حدود ۰,۳۶-۰,۳۹) نیز مؤید آن است که اختلاف بین خوشه‌ها نه تنها آماری بلکه روانی-رفتاری نیز معنادار است. این آزمون پایه‌ی معتبری برای انجام تحلیل‌های زوجی در ادامه فراهم کرده است.

جدول ۷. نتایج آزمون Mann-Whitney (اصلاح Holm)

برای مقایسه زوجی خوشه‌های عملکردی-فیزیولوژیکی رانندگان

زوج خوشه‌ها	شاخص‌ها	تعدیل شده p	نتیجه
خوشه ۱ و ۳	هر دو شاخص	$< ۰/۰۰۱$	قوی
خوشه ۲ و ۳	هر دو شاخص	۰/۰۰۲	معنادار
خوشه ۳ و ۴	فقط خطا	۰/۰۰۸	معنادار
خوشه ۱ و ۴	فقط GSR	۰/۰۴۳	مرزی

نتایج نشان داد SR در خوشه‌ها به‌طور معناداری متفاوت است و در جفت‌مقایسه‌ها، SR کمتر خوشه ۳ (یعنی Arousal Index بالاتر) آن را از خوشه‌های ۱ و ۲ متمایز می‌کند؛ تفاوت خوشه ۳ با ۴ عمدتاً در خطاها معنادار ماند (SR هر دو پایین‌تر است)، درحالی‌که خوشه ۱ و ۴ از نظر SR تفاوت مرزی نشان دادند. این الگو تأیید می‌کند که برانگیختگی بیشتر الزاماً به افت عملکرد نمی‌انجامد و تفاوت‌های فردی اهمیت دارند.

این دسته‌بندی با استفاده از مطالعات نظری (Juslin & Västfjäll, 2008; Schubert, 1999) و بررسی تجربی اولیه توسط متخصصان موسیقی انجام شده است. هر شرکت‌کننده در شرایط کنترل‌شده، هر سه نوع موسیقی را به‌صورت جداگانه شنید و هم‌زمان، داده‌های فیزیولوژیکی (GSR) و عملکردی (تعداد خطاها) ثبت گردیدند.

جدول ۸. میانگین خطا و شاخص SR در سه نوع حس القاشده توسط موسیقی (شاد، غمگین، اضطراب‌آور)

حس القاشده	SR (kΩ)	میانگین تعداد خطاها	تفسیر روان‌فیزیولوژیک
شاد	۱/۹۸±۰/۳۷	۳/۹۴±۱/۱۲	کمترین برانگیختگی، آرامش نسبی
غم	۱/۷۳±۰/۳۴	۴/۷۲±۱/۳۴	برانگیختگی متوسط، تمرکز احساسی
اضطراب‌آور	۱/۴۱±۰/۳۱	۵/۸۶±۱/۵۹	بالاترین برانگیختگی، اختلال در عملکرد

جدول ۹. نتایج آزمون Friedman برای تفاوت درون‌سوزهای

بین سه وضعیت موسیقایی از نظر خطا و GSR

شاخص	p-value	df	χ^2 آماره
تعداد خطاها	< ۰/۰۰۱	۲	۲۴/۳۳
GSR میانگین	< ۰/۰۰۱	۲	۲۲/۱۱

تفاوت‌ها در هر دو شاخص از نظر آماری بسیار معنادار هستند. نوع موسیقی توانسته است به‌صورت معناداری بر عملکرد رانندگان و سطح برانگیختگی روانی آن‌ها تأثیر بگذارد.

نتایج نشان می‌دهد موسیقی اضطراب‌آور با SR کمتر (یعنی Arousal Index بالاتر/برانگیختگی بیشتر) و بیشترین خطا همراه بود؛ موسیقی شاد با SR بیشتر (برانگیختگی کمتر) کمترین خطا را داشت؛ غمگین در میانه قرار گرفت. این الگو با آزمون‌های درون‌سوزهای تأیید شد. با توجه به وابستگی درون‌فردی داده‌ها، از آزمون Friedman برای تحلیل تفاوت‌ها در سطح درون‌گروهی استفاده شد.

جدول ۱۰. نتایج آزمون Wilcoxon با اصلاح Holm برای مقایسه زوجی شرایط شنیداری در شاخص‌های عملکردی و فیزیولوژیکی

مقایسه زوجی	شاخص	تعدیل شده p	نتیجه
مقایسه بین شرایط موسیقی شاد و غمگین	GSR	۰/۰۲۱	معنادار
مقایسه بین موسیقی شاد و اضطراب‌برانگیز	خطا و GSR	۰/۰۰۳	معنادار قوی
مقایسه بین موسیقی غمگین و اضطراب‌برانگیز	خطا و GSR	< ۰/۰۰۱	بسیار معنادار

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که نگرش رانندگان نسبت به موسیقی، بسیار متفاوت است و می‌تواند بر واکنش‌های رفتاری و فیزیولوژیکی آن‌ها در محیط رانندگی تأثیر بگذارد. تحلیل‌های خوشه‌ای نشان داد که می‌توان تیپ‌های نگرشی متمایزی را بر اساس ویژگی‌های ساختاری موسیقی (مانند تمپو و شدت صدا) و همچنین درگیری هیجانی با آن شناسایی کرد. این تفاوت‌های نگرشی، زمینه‌ساز واکنش‌های متفاوت رانندگان در مواجهه با موسیقی‌های متنوع است.

در بخش عملکردی-فیزیولوژیکی، نتایج نشان داد که سطح برانگیختگی روان‌فیزیولوژیک (بر اساس شاخص GSR) با دقت

اختلاف بین شرایط شنیداری در SR و خطا بسیار معنادار بود؛ در مقایسه‌های زوجی، «موسیقی شاد ↔ موسیقی اضطراب‌آور» و «موسیقی غمگین ↔ موسیقی اضطراب‌آور» تفاوت‌های بزرگ‌تری نشان دادند (برای SR، مقادیر کمتر در اضطراب‌آور به معنای Arousal Index بالاتر است). تفاوت موسیقی شاد ↔ موسیقی غمگین در SR معنادار بود، اما در خطاها مشاهده نشد.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

رانندگی رابطه‌ای معکوس دارد؛ به گونه‌ای که رانندگانی با GSR پایین‌تر (برانگیختگی بیشتر)، معمولاً خطاهای بیشتری مرتکب می‌شوند. این یافته با مطالعات پیشین هم‌راستا است که برانگیختگی بیش از حد را عاملی برای اختلال در تمرکز و کاهش عملکرد شناختی می‌دانند. با این حال، وجود یک خوشه با برانگیختگی بالا و عملکرد مطلوب، نشان داد که در برخی افراد، سطح معینی از برانگیختگی می‌تواند نقش انگیزشی ایفا کند.

مهم‌ترین بخش از نتایج، مربوط به بررسی اثر حس القاشده توسط موسیقی بود. مشخص شد که موسیقی القاکننده‌ی حس اضطراب بیشترین میزان برانگیختگی و خطا را ایجاد می‌کند و از این منظر خطرناک‌ترین نوع موسیقی در حین رانندگی محسوب می‌شود. در مقابل، موسیقی با حس شاد موجب افزایش GSR (کاهش برانگیختگی) و کاهش خطا شد. این نتایج بر اهمیت کنترل محتوای شنیداری در محیط رانندگی تأکید دارد و می‌تواند مبنایی برای توصیه‌های آموزشی، طراحی نرم‌افزارهای پخش موسیقی هوشمند، و سیستم‌های هشدار صوتی متناسب با تیپ روانی راننده باشد.

پژوهش حاضر با ترکیب داده‌های نگرشی، رفتاری و فیزیولوژیکی، چارچوبی چندلایه برای تحلیل اثر موسیقی بر رانندگی فراهم کرده است. برای افزایش اتکاپذیری با وجود n نسبتاً کوچک، ابتدا از PCA برای کاهش بُعد استفاده شد و خوشه‌بندی بر نمرات مؤلفه انجام گرفت؛ مقدار K با معیارهای ساده تعیین و پایداری به‌طور خلاصه بررسی شد. این همگرایی روش‌ها نشان می‌دهد الگوی خوشه‌ها قابل اتکاست، هرچند تأیید بیرونی با نمونه بزرگ‌تر توصیه می‌شود و محدودیت‌هایی مانند اندازه نمونه نسبتاً محدود، سناریوهای آزمایشگاهی کنترل‌شده، و عدم لحاظ شرایط محیطی واقعی، تعمیم‌پذیری نتایج را محدود می‌سازد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از نمونه‌های بزرگ‌تر، رانندگی واقعی در جاده، و حسگرهای چندوجهی (HRV، EEG و...) استفاده گردد تا نتایج دقیق‌تر و کاربردی‌تری ارائه شود.

۶. پیشنهادات کاربردی و مسیرهای آینده پژوهش

این بخش، بر مبنای یافته‌های مطالعه—ارتباط تفاوت‌های شناختی-هیجانی و الگوهای فیزیولوژیک (SR/Arousal Index) با عملکرد رانندگی—مجموعه‌ای از توصیه‌ها را در دو محور ارائه می‌کند: کاربردی (شخصی‌سازی محتوای شنیداری و پایش لحظه‌ای راننده برای کاهش برانگیختگی نامطلوب) و پژوهشی (گسترش نمونه، ارزیابی میدانی و به‌کارگیری سنجش‌های زیستی تکمیلی).

پیشنهادهای معیارهای قابلیت اجرا، مقیاس‌پذیری و ایمنی اولویت‌بندی شده‌اند و بر اعتبارسنجی بیرونی و اندازه‌گیری اثر در شرایط واقعی تأکید دارند. موارد ۱ تا ۵ در ادامه، این چارچوب را به گام‌های عملیاتی مشخص تبدیل می‌کنند.

۶-۱ طراحی سامانه‌های هوشمند تنظیم موسیقی

با توجه به شناسایی تفاوت‌های نگرشی و عملکردی رانندگان نسبت به موسیقی، توصیه می‌شود سیستم‌های پخش موسیقی خودروها به سامانه‌های هوشمند شخصی‌ساز متصل شوند. این سامانه‌ها می‌توانند بر اساس پروفایل شناختی-هیجانی راننده، نوع موسیقی مناسب را انتخاب یا هشدار حذف موسیقی‌های پرخطر را صادر کنند.

۶-۲ افزایش دقت در آموزش‌های ایمنی رانندگی

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که در آموزش‌های نظری و عملی رانندگی، باید به نقش موسیقی و محتوای شنیداری به‌عنوان یک عامل محیطی مهم توجه شود. می‌توان به رانندگان آموزش داد که برخی موسیقی‌ها، به‌ویژه در شرایط خاص (خستگی، شب، ترافیک سنگین) ریسک‌زاتر هستند.

۶-۳ استفاده از حسگرهای زیستی در مانیتورینگ

راننده

پیشنهاد می‌شود شرکت‌های خودروسازی از حسگرهای ساده‌ای مانند GSR یا ضربان قلب در غربالگری مداخلات موسیقایی

و اجرایی، نقش برجسته‌ای در پیشبرد و اجرای آزمایش‌های این پژوهش ایفا کردند.

۸. مراجع

– شیخ‌الاسلامی، س.، صفارزاده، م.، و ممدحی، ا. (۱۴۰۲). نقش عوامل هیجانی در سبک رانندگی، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده عمران و محیط زیست.

– Belin, M. A., Tillgren, P., & Vedung, E. (2012). Vision Zero—a road safety policy innovation. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 19(2), 171–179. <https://doi.org/10.1080/17457300.2011.635213>

– Brodsky, W. (2002). The effects of music tempo on simulated driving performance and vehicular control. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 4, 219–241.

– Ghojazadeh, M., Akbari, H., Kachooei, M., Samiei, F., & Mirnasab, M. (2023). The effect of music on driving performance: A systematic review and meta-analysis. *Health Promotion Perspectives*, 13(4), 267–279. <https://doi.org/10.34172/hpp.2023.32>

– Hayashi, Y., Friedel, J. E., Foreman, A. M., & Wirth, O. (2023). Hierarchical cluster analysis of texting while driving: A look at intention–behavior gap. *Journal of Safety Research*, 85, 398–404. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.04.007>

– North, A. C., & Hargreaves, D. J. (1999). The functions of music in everyday life: Redefining the social in music psychology. *Psychology of Music*, 27(1), 71–83.

– Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.

در خودرو بهره بگیرند. این داده‌ها می‌توانند به صورت لحظه‌ای تحلیل شوند تا سیستم خودرو در صورت برانگیختگی بیش‌ازحد، شرایط صوتی یا هشدارهای لازم را تعدیل کند.

۶-۴ گسترش به سایر محرک‌های شنیداری

در پژوهش‌های آینده، بررسی تأثیر سایر صداها محیطی (مثل پادکست، صدای ترافیک، هشدارهای صوتی مصنوعی) بر عملکرد رانندگی می‌تواند به بهبود درک ما از طراحی محیط صوتی کابین خودرو کمک کند.

۶-۵ تحلیل‌های جامع‌تر با نمونه‌های بزرگ‌تر و

رانندگی واقعی

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های بعدی با نمونه‌های آماری بزرگ‌تر، در مسیرهای رانندگی واقعی، با تنوع جنسیتی و سنی بیشتر اجرا شوند. همچنین استفاده از داده‌های EEG، ضربان قلب (HRV)، و الگوهای تنفسی می‌تواند دقت یافته‌ها را افزایش دهد.

۶-۶ تحلیل اثر موسیقی با کلام

با توجه به یافته‌ها، پیشنهاد می‌شود در مطالعات و مداخلات آینده اثر موسیقی با کلام نیز بررسی شود؛ زیرا وجود محتوای کلامی می‌تواند بار شناختی بیشتری تولید کرده و در شرایطی مانند رانندگی شبانه، خستگی یا ترافیک سنگین، پیامدهای متفاوتی بر ایمنی داشته باشد. گنجاندن موسیقی با کلام در دستورالعمل‌های انتخاب موسیقی درون‌خودرویی می‌تواند به توصیه‌های دقیق‌تر و مبتنی بر شواهد منجر شود.

۷. قدردانی

بدین وسیله مراتب قدردانی و سپاس خود را از تمامی عزیزانی که در مراحل مختلف این پژوهش یاری‌گر اینجانب بوده‌اند، صمیمانه اعلام می‌دارم. افزون بر این، شایسته می‌دانم از مرکز تحقیقات مهندسی راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس، به‌ویژه جناب آقای دکتر بروجردیان، صمیمانه تقدیر نمایم؛ چراکه با در اختیار گذاشتن دستگاه شبیه‌ساز رانندگی و ارائه حمایت‌های فنی

styles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(1), 19–29.

– Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge: Signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-13, 257–266.

<https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>

– Ünal, A. B., de Waard, D., Epstude, K., & Steg, L. (2013). Driving with music: Effects on arousal and performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 52–65.

<https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.09.004>

– Navarro, J., Osiurak, F., Gaujoux, V., Ouimet, M. C., & Reynaud, E. (2019). Driving under the influence: How music listening affects driving behaviors. *Journal of Visualized Experiments*, 145, e58342.

– Navarro, J., Gaujoux, V., Ouimet, M. C., Ferreri, L., Reynaud, E., & Osiurak, F. (2023). How does background music affect drivers' behaviours, emotions and mood behind the wheel? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 95, 271–285.

– Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455.

<https://doi.org/10.1518/001872008X288394>

– Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, 459–482.

– Schubert, E. (2004). Modeling perceived emotion with continuous musical features. *Music Perception*, 21(4), 561–585.

– Taubman-Ben-Ari, O., Mikulincer, M., & Gillath, O. (2005). From parents to children—similarity in parents and offspring driving

دکتر سعید شرافتی پور پژوهشگر و متخصص در حوزه برنامه ریزی حمل و نقل، با تمرکز بر برنامه ریزی و لجستیک است. او دارای مدرک دکترای مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل و تجربه پسادکتری در دانشگاه صنعتی دلفت هلند است. تخصص وی شامل شبیه سازی داده ها، برنامه ریزی راهبردی ایمنی، شاخص های عملکرد و بهینه سازی لجستیک و حمل کالا است. ایشان به عنوان عضو هیئت علمی در دانشگاه تربیت مدرس دوره های مختلفی در زمینه برنامه ریزی حمل و نقل تدریس نموده و همچنین به عنوان مشاور برای سازمان های مختلف از جمله سازمان بنادر و دریانوردی ایران فعالیت نموده است، همچنین در مجلات معتبر علمی مقالات متعددی منتشر نموده و در پروژه های بزرگی در زمینه ایمنی، حمل و نقل شهری و لجستیک دریایی مشارکت داشته است. حوزه های اصلی علاقه پژوهشی او شامل زمینه های میان رشته ای در بخش های حمل و نقل بار و کالا، روان شناسی و خصوصیات رفتاری در حمل و نقل، حمل و نقل دریایی و ایمنی در حمل و نقل بوده و در زمینه به کارگیری هوش مصنوعی در علوم حمل و نقل دارای پژوهش های متفاوتی است.

دکتر حجت اله فراهانی، متولد اول مهرماه ۱۳۵۷ است. او اکنون دانشیار گروه روان شناسی است. او دکترای خود را در دانشگاه اصفهان در رشته روان شناسی با تأکید بر روان سنجی دریافت کرد. سپس پسادکترای خود را در دانشگاه ویکتوریا (استرالیا) با پژوهش بر استنباط علی غیر قطعی- فازی در پژوهش های روان شناختی گذراند. جدیدترین کتاب او که به زبان انگلیسی توسط اسپرینگر در سال ۱۴۰۲ به چاپ رسیده است (Introduction to artificial Psychology using R) به کاربرد هوش مصنوعی، الگوریتم های یادگیری ماشین و نظریه مجموعه های فازی در علوم روان شناختی می پردازد. جهت گیری و علاقه پژوهشی او روان سنجی پیشرفته، آمار رفتاری، مدل سازی شناختی، روان شناسی فازی و الگوریتم های هوش مصنوعی در روان شناسی است احساس شرم، درد عصب روان شناختی، تروما و هیجان و خود تن آگین از علاقه های دیگر وی است.

علیرضا صادقی پژوهشگر برنامه ریزی حمل و نقل با زمینه پژوهشی در ایمنی ترافیک، رفتار رانندگی و عوامل انسانی است. وی کارشناسی ارشد مهندسی ترافیک و برنامه ریزی حمل و نقل را از دانشگاه تربیت مدرس دریافت کرده و پژوهش های او بر تحلیل تأثیر متغیرهای روان شناختی، هیجانی و فیزیولوژیک بر تصمیم گیری رانندگان و بهبود ایمنی و پایداری سیستم های حمل و نقل متمرکز است.