ارزیابی بارکار فکری راهبران قطار مترو با استفاده از سیگنال‌های ECG

محمد جواد جعفری[۱]- نرمین حسن زاده رنگی[۲،*]- یحیی خسروی[۳]- سهیلا خدا کریم[۴]
narminhassanzadeh@sbmu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰

چکیده

مقدمه: راهبری قطار به دلیل نیاز مداوم به پایش محیط پیرامون، مشاهده، تشخیص و تفکیک علایم موجود در اتاقک قطار، یکی از پرمطالبه‌ترین مشاغل فکری به شمار می‌رود. هدف این مطالعه ارزیابی بارکار فکری راهبران قطار با استفاده از شاخص‌های ضربان قلب و تغییرات ضربان قلب است.

روش کار: در این مطالعه تجربی، بارکار فکری ۱۲ نفر از راهبران آموزش‌دیده متروی تهران در دو تراز مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از سناریوهای گوناگون کاری راهبران قطار در شبیه‌ساز مترو، دو سطح مختلف مطالبه فکری ایجاد شد. شاخصهای ضربان قلب و تغییرات ضربان قلب با استفاده از دستگاه ECG ثبت و تحلیل شد.

یافته‌ها: برخی از شاخص‌های تغییرات ضربان قلب شامل SDNNIX (p-value=۰/۰۱)، RMSSD (p-value=۰/۰۰)، PNN50% (p-value=۰/۰۱)، SDNN (p-value=۰/۰۷) و LF/HF (p-value=۰/۰۴) در عملیات عادی نسبت عملیات غیرعادی کاهش معناداری داشته‌اند.

نتیجه‌گیری: شاخص‌های تغییرات ضربان قلب (PNN50% , RMSSD, SDNNIX, SDNN و LF/HF) به تغییرات بارکار فکری در راهبری قطار مترو حساس بودند. بنابراین، تغییرات ضربان قلب به‌عنوان شاخص بارکار فکری راهبران قطار مترو پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: *بارکار فکری، ضربان قلب، راهبری، مترو*

۱- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات کنترل خطرات بهداشت محیط و حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، کمیته پژوهشی دانشجویان، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
۴- استادیار، گروه اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

مقدمه

سیستم حمل‌ونقل شهری یا مترو در ایران جزو سامانه‌های جدید حمل‌ونقل به شمار می‌رود. شغل راهبری قطار درون‌شهری یا مترو در طبقه مشاغل نوظهور دسته‌بندی می‌شود. درزمینه عوامل انسانی مربوط به شغل راهبری قطار، مطالعات کمی وجود دارد (۱-۳).

مطالعات گذشته وظایف شغل راهبری را بیش تر از آن چیزی توصیف کردند که به چشم می‌آید. راهبر نه‌تنها قطار را در ریل هدایت می‌کند و درب‌ها را در ایستگاه کنترل می‌کند، در وظایف متعدد دیگری که اغلب پنهان هستند نقش ایفا می‌کند. به عبارتی، راهبر قطار مدام در حال پیش‌بینی، مشاهده، تفسیر و واکنش به وقایع پیرامون است. علاوه بر این، به‌طور چشم گیری نقش میانجی بین سایر عمل گرهای سیستم مترو بازی می‌کند (۴, ۵). جانسون و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل وظایف شغل راهبری پی بردند که راهبر قطار در بستری از مشاهدات محیط پیرامون، حفظ آگاهی وضعیتی، فرایند شناختی خودکار، بازشناسی و تصمیم‌گیری پویا کار می کند. علاوه بر این، یک راهبر قطار باید اطلاعات موردنیاز را از منابع مختلف نظیر سیگنال‌های جانبی ریل، سیستم کنترل خودکار قطار (Automatic Train Protection:ATP)، کتابچه مسیر، برنامه زمانی، کتابچه مقررات و محیط جانبی ریل با هم ادغام کند (۶).

علاوه بر این، فنون جدید نظیر سیستم هدایت قطار تأثیر زیادی بر سازمان کار و طراحی شغل ایجاد کرده اند. اما این جنبه ها اغلب در طراحی شغل نادیده گرفته می شوند. این چشم‌پوشی معمولاً درنهایت گریبان راهبر را می گیرد و بر عمل کرد و سلامت وی تأثیر می گذارد (۷). در مطالعه دیگر، یکی از مهم‌ترین جنبه های پیچیده تعامل راهبر در هدایت قطار در مطالعات انجام‌شده اشاره به وجود سیستم ATP بوده است. اثر سیستم حفاظت خودکار قطار بر عمل کرد راهبران قطار همیشه در مطالعات گذشته یک نگرانی جدی به‌حساب آمده است. آن‌ها اشاره داشته اند که مطالعه ای جدی در این زمینه وجود ندارد (۱).

به‌طورکلی در هدایت سنتی قطار مترو، دو سبک راهبری وجود دارد، یکی راهبری با سیستم ATP و دیگری راهبری بدون حفاظت خودکار قطار. در هدایت با حفاظت خودکار قطار، راهبر در یک حالت واکنشی قطار را هدایت می کند، درحالی‌که در حالت بدون حفاظت خودکار قطار، رویکردی فعال در پیش می گیرد (۶). هرکدام از این حالات مطالبات فکری خاصی به راهبر تحمیل می کنند. شاید اولین پرسشی که در ذهن شکل می گیرد این باشد که باگذشت چندین سال از راه‌اندازی این نوع هدایت قطار شهری، تا چه اندازه بین مطالبات فکری و توانایی فردی، سازگاری وجود دارد و میزان بارکار فکری این فنّاوری جدید چه قدر است. متأسفانه مطالعه ای منتشرشده یافت نشد که این پرسش را به‌طور دقیق پاسخ داده باشد. کمبود این‌گونه مطالعات آن‌قدر مشهود است که کارونن و همکاران (۲۰۱۱) به‌صراحت اعلام می کنند که به دلیل کمبود مطالعات انسان‌محور (دارای راهبر به‌عنوان جزء انسانی) پژوهش گران ناگزیرند به مطالعات انجام‌شده در قطارهای سنتی بین‌شهری نیم‌نگاهی داشته باشند (۴). بنابراین، بررسی بارکار فکری شغل راهبری مترو یک موضوع جدی است.

بارکار فکری به‌عنوان سازه‌ای چندبعدی،

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

توسط ویژگی‌های وظیفه (نظیر مطالبات، عمل کرد)، ویژگی‌های اپراتور و تا حدودی بستر محیطی که عمل کرد در آن اتفاق می‌افتد تعیین می‌شود. در راستای تجمیع هر یک از این ابعاد و ایجاد یک مفهوم کلی از بارکار فکری، یانگ و استنتون در سال ۲۰۰۵ پیشنهاد دادند که بارکار فکری "سطحی از منابع توجه موردنیاز است که معیارهای عمل کرد ذهنی و عینی را محقق می‌سازد و تحت تأثیر مطالبات وظیفه، حمایت بیرونی و تجربه پیشین است" (۸).

سنجه‌های مختلفی برای ارزیابی بارکار فکری وجود دارد که به‌طورکلی به سه دسته تقسیم می‌شوند: الف) سنجه‌های ذهنی که تخمین یا درک فرد از بارکاری هستند نظیر IWS (Integrated Workload Scale)، ب) سنجه‌های عمل کرد شامل سنجش وظیفه اولیه و ثانویه و ج) سنجه‌های سایکوفیزیولوژیکی که عینی هستند نظیر ضربان قلب، تغییرات ضربان قلب و فعالیت مغزی.

درحالی‌که سنجه‌های ذهنی روایی ظاهراً بالایی دارند، (۹) قابلیت تفسیر آن‌ها جهت پیش‌بینی عمل کرد نامشخص است و قادر به پایش بارکار فکری نیستند (۱۰). یکی از نقص‌های جدی سنجه‌های عمل کرد، عدم عمومیت آن هاست. اغلب برای وظایف خاص، سنجه‌های مختلف و متناسب لازم است. از طرفی این سنجه‌ها بیش تر عمل کرد مورد انتظار سیستم را نشان می‌دهند تا میزان منابعی که اپراتور در انجام وظیفه به کار می‌گیرد (۱۰, ۱۱). به طور کلی روایی و پایایی ابزارهای ذهنی باید بررسی شود (۱۲).

سنجه‌های فیزیولوژیکی نوع طبیعی شاخص بارکاری هستند زیرا هر کاری فعالیت فیزیولوژیکی خاصی را می‌طلبد. بارکار فکری و فیزیکی منجر به واکنش سیستم قلبی- عروقی می‌شود. بارکار فکری ضربان قلب را افزایش و تغییرات ضربان قلب را کاهش می‌دهد. ضربان قلب و تغییرات ضربان قلب سنجه‌های افتراقی شاخص بارکاری هستند (۱۳). استفاده از این سنجه‌ها در آزمایشگاه و در عرصه آسان است. مشکل آن‌ها اثرپذیری متقابل از تنفس، کار فیزیکی و واکنش به استرس است. تغییرات ضربان قلب بیش ترین سنجه فیزیولوژیکی استفاده‌شده در سنجش بارکاری است. سنجش قابل‌اعتماد ضربان قلب و تغییرات آن حداقل به ۳۰ ثانیه و حداکثر به ۵ دقیقه (برای حساسیت بهینه با اندازه‌گیری هم‌زمان و اصلاح اثرات تنفس) نیاز دارد. سنجه‌های ضربان قلب (به‌ویژه تغییرات ضربان قلب در گسترده ۰/۰۷ – ۰/۱۴ هرتز) حساس به پیچیدگی وظیفه و تلاش جبرانی ناشی از استرس‌آورها (خستگی، صدا و غیره) است. علی رغم مشکلات مربوط به سنجه‌های ضربان قلب، تغییرات ضربان قلب هم چنان در ارزیابی بارکار فکری کاربرد دارد (۱۱).

سایر سنجه‌های سایکوفیزیولوژیک شامل فعالیت مغزی و فعالیت ماهیچه‌های چین دهنده صورت (۱۰, ۱۱) و ثبت فعالیت مغزی و ماهیچه‌ای از طریق الکتروآنسفالوگرافی سنجه‌ای مصنوعی و درحال‌توسعه هستند. بنابراین اغلب در مطالعات میدانی استفاده نمی‌شوند (۱۰). اخیراً، با توسعه فنون تبادل اطلاعات جدید، تسهیلات پرتابل وجه مشترک رایانه - مغز و سامانه‌های سنجش فعالیت مغزی نظیر اسپکتروسکپی فرا سرخ نزدیک، پایش غیرتهاجمی عمل کرد مغز کاربر در وظایف مختلف فراهم‌شده است (۱۴, ۱۵). این روش‌ها به شرایط آزمایش گاهی محدود شده‌اند و تجهیزات بسیار گران‌قیمت هستند (۱۶).

در سامانه‌های پیچیده و بحرانی نظیر حمل‌ونقل یعنی جایی که معمولاً تحقیقات بارکار فکری در آن‌ها با تأکید بیش تری دنبال می‌شود، هم ازدیاد بار و

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

هم‌بار کم خیلی نگران‌کننده هستند زیرا پیش‌زمینه خطاها و حوادث به شمار می‌روند (۱۱). هم متخصصان ارگونومی و هم طراحان درصدد هستند که پیش‌بینی کنند چه زمانی توازن بین مطالبه فکری شغل و منابع توجه موردنیاز از تعادل خارج می‌شود که درنتیجه آن عمل کرد کاربر کاهش می‌یابد (۱۱). از طرفی، طراحی مطالعه در سامانه‌های پیچیده و بحرانی نظیر حمل‌ونقل می‌تواند خطرناک و دشوار بوده و خارج از کنترل باشد. در این محیط ها معمولاً از شرایط شبیه‌ساز استفاده می شود که شرایط مطالعه تحت کنترل بوده و کم‌خطر است. بااین‌حال، مطالعه در محیط شبیه‌ساز نسبت به شرایط واقعی از درک ریسک پایین‌تری برخوردار است. اما مطالعه در محیط‌های شبیه‌ساز نزدیک به واقعیت و استفاده از افراد تازه‌کار که عمل کرد صحیح برای تثبیت شغل آن‌ها ضروری است می‌تواند مطالعه را به شرایط واقعی با کم ترین هزینه و اختلال در کار نزدیک‌تر کند.

هدف از مطالعه حاضر، تعیین میزان بارکار فکری راهبران قطار با استفاده از پارامترهای قلبی در شرایط عادی و غیرعادی عملیات راهبری قطار متروی شهری در محیط شبیه‌ساز بود. سؤالی که تلاش شد به آن پاسخ داده شود این بود که آیا پارامترهای قلبی میزان ضربان قلب و تغییرات ضربان قلب و آماره‌های آن به سناریویی‌های مختلف راهبری قطار در دو سطح با مطالبات فکری شغلی کم‌وزیاد حساس هست یا خیر.

روش کار

این مطالعه از نظر روش‌شناسی از نوع تجربی با رویکرد توصیفی-تحلیلی و از نظر ماهیت از نوع کاربردی است.

شرکت‌کنندگان

در این مطالعه ۱۲ راهبر مرد متروی شهر تهران با میانگین سنی و انحراف معیار ۱/۴۴±۳۳ سال شرکت کردند. افراد به‌طور تصادفی از جامعه راهبران انتخاب شدند. همه شرکت‌کنندگان تحت آزمون‌های پزشکی اختصاصی راهبری (نظیر قلبی و عروقی، مغزی، داخلی، بینایی، شنوایی) قرارگرفته بودند و در زمان مطالعه در شرایط سلامت کامل جسمی و روانی قرار داشتند. آن‌ها کاملاً با سیستم شبیه‌ساز و نحوه کار با آن آشنا بودند. سیستم شبیه‌ساز دقیقاً شبیه به قطار نوع AC خطوط مختلف تهران بود. پیش از انجام آزمایش، اطلاعات دموگرافیک، شغلی و اطلاعات ۱۲ ساعت قبل شرکت‌کنندگان نظیر ساعت خواب شب قبل، نداشتن بیماری حاد و مزمن، مصرف دارو در فرم مشخصات فردی ثبت شد. یکی از شرکت‌کنندگان به دلیل سرماخوردگی و مصرف دارو از مطالعه کنار گذاشته شد. ملاحظات اخلاقی این مطالعه توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی مورد تصویب قرار گرفت.

ابزارهای مطالعه

سنجه های فیزیولوژیک

سنجه‌های فیزیولوژیک مورداستفاده در این مطالعه شامل میانگین ضربان قلب (HR) و شاخص‌های زمانی تغییرات ضربان قلب (HRV) بودند. شاخص‌های HRV شامل میانگین فواصل نرمال بین دو موج R (Mean RR)، انحراف معیار فواصل بین دو موج R (SDNN)، انحراف معیار فواصل بین دو موج R در طول زمان‌های ۵ دقیقه‌ای (SDNNIX)، ریشه دوم میانگین مربعات اختلافات فواصل بین ضربان قلب (RMSSD)، درصد تعداد فاصله ضربان قلب متوالی با

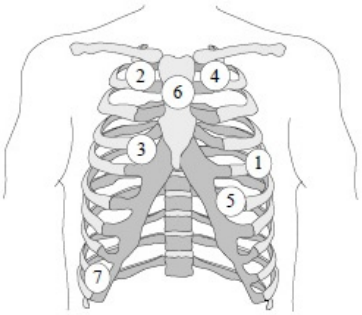
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

بیش از ۵۰ میلی‌ثانیه از ضربان ماقبل (PNN50%) و نسبت فرکانس پایین به فرکانس بالا (LF/HF) نیز مورداستفاده قرار گرفتند(۱۷). این شاخص‌ها توسط دستگاه Holter-ECG مدل Beneware CT-08مجهز به نرم‌افزار تحلیل پارامترهای قلبی (CardioTrack Holter System Version 1.4.1.5) ساخت کشور چین اندازه‌گیری و محاسبه شد. برای اندازه‌گیری، الکترودهای ECG مطابق توصیه انجمن قلب امریکا و اروپا (۱۸) به سینه راهبران وصل شد (شکل ۱).

سنجه‌های ذهنی

به‌منظور ارزیابی بارکار فکری از ابزار ۹ رتبه‌ای IWS (پیوست ۱) (۱۹) استفاده شد که به‌عنوان ابزار باارزش بارکار فکری صنعت ریلی معرفی‌شده است (۱۹, ۲۰). در این مطالعه از ابزار IWS که به‌صورت کدبندی رنگی تهیه‌شده بود و به‌صورت خود اظهاری پس از هر آزمون تکمیل می‌شد، استفاده گردید.

برای برآورد سطح خستگی درک شده راهبران از مقیاس خستگی ۷ قسمتی Samn-Perelli (پیوست ۱) (۲۱) استفاده شد. از این ابزار در مطالعات گذشته برای ارزیابی شواهد بارکار فکری استفاده‌شده است (۲۲). میزان خستگی راهبران در سه مرحله شامل پیش از آزمون اول، پس از آزمون اول و پس از آزمون دوم با تکمیل ابزار به‌صورت خود اظهاری محاسبه و برآورد شد.



شکل (۱)- موقعیت الکترودهای ECG

سنجه‌های عمل کرد اصلی

عمل کرد وظیفه اصلی راهبران شامل اقدام، پایش بصری و تبادل اطلاعات بود که از طریق شاخص‌های واکنش به‌موقع و درست ارزیابی شد. ارزیابی عمل کرد توسط مربیان آموزشی شبیه‌ساز (که خود راهبران قدیمی خط ۱ بودند) و از طریق چک‌لیست و خروجی نرم‌افزار شبیه‌ساز انجام گرفت. خطاها و انحرافات هر آزمودنی به تفکیک سناریوهای راهبری ثبت گردید و از مربیان خواسته شد با توجه به تعداد خطاها و انحرافات ثبت‌شده، به عمل کرد هر راهبر در هر سناریو از صفر تا ۱۰۰ امتیاز داده شود. این روش ارزیابی در مطالعات گذشته نیز استفاده‌شده است (۲۳).

شبیه‌ساز قطار مترو

در این مطالعه از دستگاه شبیه‌ساز قطار CORYS ساخت کشور فرانسه استفاده شد. این دستگاه شامل یک اتاقک واقعی قطار نوع AC500 با کلیه امکانات، تجهیزات، پانل‌ها و کلیدهای کنترلی است. این دستگاه قادر است کلیه عملیات حمل‌ونقل قطار شهری و سامانه‌های حرکتی، ترمزی، تصویری، صوتی و کنترلی (سیستم هوشمند ATP و Deadman) را شبیه‌سازی نماید. این سیستم قابلیت شبیه‌سازی راهبری قطار در شرایط عادی و غیرعادی را در خطوط ۱ و ۲ متروی تهران با تمام جزییات مسیر نظیر ایستگاه ها، قوس، شیب و فراز دارا است. شرایط عادی شامل مسیرهای مختلف خطوط، توقف صحیح در ایستگاه ها، کار با دوربین مداربسته، فعالیت‌های مخابراتی گوناگون برای راهبر و نظایر آن است. شرایط غیرعادی شامل نقص

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

فنی قطار، خرابی ریل، سیستم ATP، حضور افراد در حریم ریلی و سایر شرایط اضطراری است. روند راهبری از اتاق کنترل مجاور توسط مربی راهبری برنامه‌ریزی و پایش می‌شود. پردازش اطلاعات توسط رایانه‌های قوی و سریع صنعتی انجام می‌شود. این شبیه‌ساز در مرکز آموزش راهبری قطار شهری تهران جهت آموزش، آزمون مهارت و صلاحیت و بازآموزی راهبران استفاده می گردد (شکل ۲).

طراحی و رویه آزمون

برای شبیه‌سازی وظایف راهبران در حین راهبری قطار بخشی از مسیر خط ۱ مترو تهران به طول ۳۹ کیلومتر تعیین شد. راهبران این مسیر را در دو سناریو عادی و غیرعادی به شرح جدول (۱) راهبری کردند. این دو سناریو طبق کتابچه مقررات عملیات و نظر مربیان شبیه‌ساز به روش تجزیه‌وتحلیل وظایف طراحی شد. بر پایه مطالعات گذشته، به‌منظور جلوگیری از خطای یادگیری، در انجام آزمون‌ها از روش مربع لاتین استفاده شد (۲۴).

همه راهبران با وظایف آشنایی کامل داشتند به‌طوری‌که آن‌ها به هیچ مستند دیگری برای راهبری نیاز نداشتند. در این مطالعه روشنایی و دمای محیط در شرایط واقعی تنظیم شد و جهت اطمینان بیش تر سطح روشنایی (برحسب لوکس) و دمای محیط از طریق شاخص دمای تر گوی‌سان (سانتی‌گراد) و صدای محیطی (دسی‌بل آ) در حالت‌های مختلف شبیه‌ساز و محیط قطار واقعی اندازه‌گیری گردید. یک دوره استراحت ۱۵ دقیقه‌ای پیش از آزمون، برای تطابق افراد با شرایط محیط در نظر گرفته شد. در این فاصله از راهبر خواسته می‌شد که فرم مشخصات

جدول (۱)- برشی از وظایف و فعالیت‌های موردنیاز راهبری قطار در سناریوهای عادی و غیرعادی

وظیفه/شرایط	برخی از فعالیت‌های موردنیاز راهبری	سناریو	
		عادی	غیرعادی
آماده‌سازی قطار	تعیین جهت حرکت قطار، فعال کردن ATP، روشن کردن کلیدهای مربوطه، توجه به علایم خط و پایش محیطی	√	√
حرکت بین ایستگاه	اعمال نیروی کشش، رعایت سرعت مجاز و سایر فرمان‌ها و حدود آستانه ATP، پایش خط و ابنیه و علایم	√	√
مواجهه با شرایط غیرعادی تونل	تشخیص به‌موقع دودگرفتگی، توقف به‌موقع، اعلام وضعیت غیرعادی تونل به اتاق کنترل، حرکت مجدد با اجازه اتاق کنترل		√
ورود به ایستگاه و مسافر گیری	ورود به ایستگاه با سرعت کمتر از ۵۰ کیلومتر بر ساعت، پایش رفتار مسافرین و شرایط ایستگاه، توقف در نقطه موردنظر، باز و بستن درب‌ها	√	√
مواجهه با حضور مسافر/تکنسین در حریم ریلی	تشخیص به‌موقع فرد، اعمال ترمز اضطراری و توقف قطار در فاصله ایمن، اعلام وضعیت به اتاق کنترل، حرکت مجدد با اجازه اتاق کنترل		√
مواجهه با ازدحام مسافرین	تبادل اطلاعات متعدد با اتاق کنترل و مسافرین، پایش مداوم رفتار مسافرین و شرایط ایستگاه، توقف در نقطه موردنظر، باز و بستن درب‌ها بااحتیاط کامل		√
حرکت بین ایستگاه	اعمال نیروی کشش، رعایت سرعت مجاز و سایر فرمان‌ها و حدود آستانه ATP، پایش خط و ابنیه و علایم	√	√
مواجهه با نقص فنی ATP	اعلام وضعیت به اتاق کنترل، حرکت با ATP خاموش با اجازه اتاق کنترل، حرکت بااحتیاط کامل، پایش خط و ابنیه و علایم، سرعت کم تر از ۲۵ کیلومتر بر ساعت، حرکت با اعمال Dead man		√

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

فردی و خستگی کلی Samn-Perelli را تکمیل کند و الکترودهای دستگاه ECG به وی وصل می‌شد (شکل ۲). برای سازگار شدن آزمودنی با دستگاه ECG نیز یک دوره ۵ دقیقه‌ای در نظر گرفته شد. سپس از راهبر خواسته شد طبق سناریوی اول و درحالی‌که سنجه‌های فیزیولوژیک هم‌زمان ثبت می‌شد به مدت ۱۰ دقیقه راهبری کند. هر آزمون توسط یک دوره زمانی حدوداً ۱۰ دقیقه از هم دیگر جدا شدند. طی دوره زمانی استراحت، شبیه‌ساز برای مرحله بعدی آماده می‌شد و راهبر سنجه‌های خستگی کلی Samn-Perelli، IWS و معیارهای وضعیت راحتی درک شده را تکمیل می‌کرد. سپس درحالی‌که سنجه‌های فیزیولوژیک هم‌زمان ثبت می‌شد، از راهبر خواسته می‌شد به مدت ۱۰ دقیقه طبق سناریوی دوم راهبری کند. پس‌ازاین دوره، راهبر مجدداً سنجه‌های خستگی کلی Samn-Perelli، IWS و معیارهای وضعیت راحتی درک شده را تکمیل می‌کرد. به‌منظور افزایش احساس اصالت مأموریت راهبری، به افراد اجازه داده می‌شد که با روش و استراتژی‌های حل مساله و سبک راهبری مختص به خود راهبری کنند. در حین دو آزمون عمل کرد راهبر توسط مربی شبیه‌ساز که در اتاق کنترل قرار داشت پایش، ارزیابی و امتیازدهی می‌شد.

تحلیل و پالایش داده‌ها

در این مطالعه HR/HRV و بارکار فکری درک شده و امتیاز عمل کرد به‌عنوان متغیرهای وابسته و سطوح مطالبه شغلی در سناریوهای مختلف راهبری به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. تفسیر داده‌های فیزیولوژیک زیر نظر یک متخصص فیزیک پزشکی و با استفاده از دستورالعمل انجمن کاردیولوژی اروپا و الکتروفیزیولوژی امریکا انجام شد (۱۸). جهت اطمینان از قابلیت اعتماد داده‌های فیزیولوژیک ثبت‌شده با ECG، داده‌های ۵ دقیقه اول هر آزمون حذف شد. به دلیل این که داده‌های قلبی افراد مختلف به‌شدت تحت تأثیر اختلافات فردی است، واکنش‌های قلبی راهبران به درجات مختلف بارکار فکری شغلی با خود آن‌ها مقایسه شد و از مقایسه بین فردی خودداری گردید (۲۳). میانگین و انحراف معیار پارامترهای HR/HRV در دو سناریو مقایسه شد و به‌منظور آزمون فرضیه موردنظر از روش آماری ویلکاکسون استفاده گردید. به‌منظور

شکل (۲)- ثبت داده‌های فیزیولوژیک در حین راهبری

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

مقایسه پارامترهای محیطی در محیط شبیه‌ساز قطار و واقعی از آزمون من-ویتنی بهره گرفته شد. هم چنین، برای مقایسه سایر متغیرهای مربوط به بارکار کلی IWS، خستگی Samn-Perelli و عمل کرد در دو سناریو از میانگین و انحراف معیار درصد امتیاز نهایی نرمال شده و آزمون ویلکاکسون استفاده گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند و سطح معناداری ۰/۰۵ برای همه آزمون‌ها در نظر گرفته شد.

یافته ها

مقایسه پارامترهای محیطی در اتاقک شبیه‌ساز و اتاقک واقعی قطار شهری (جدول ۲) نشان داد که اتاقک شبیه‌ساز قطار متروی شهری در حین آزمایش‌ها ازلحاظ صدا، دما و روشنایی محیطی بسیار نزدیک به شرایط واقعی قطار متروی در حال عملیات بوده و اختلاف‌های به‌دست‌آمده معنادار نبود.

مقادیر میانگین و انحراف معیار شاخص‌های فیزیولوژیکی برای راهبری در شرایط عادی و شرایط غیرعادی در جدول (۳) ارایه‌شده است. نتایج نشان داد که متغیرهایMean HR و LF/HF در شرایط غیرعادی نسبت به شرایط عادی افزایش داشتند. در همین رابطه نتایج آزمون ویلکاکسون نشان داد که افزایش LF/HF معنادار (p-value=۰/۰۴) و افزایشMean HR غیر معنادار (p-value=۰/۲۹) بوده است. هم چنین، شاخص‌های زمانی مربوط به تغییرپذیری قلب شامل Mean RR، SDNN، SDNNIX، RMSSD و PNN50 در شرایط غیرعادی

جدول (۲)- مقایسه میانگین و انحراف معیار پارامترهای محیطی در اتاقک شبیه‌ساز و اتاقک واقعی قطار شهری

پارامتر	اتاقک شبیه‌ساز	اتاقک واقعی	P
صدا (dB)	۶۲/۷۰ ± ۲۳/۹۴	۶۹/۷۰ ± ۹/۴۲	۰/۵۲
دمای تر گوی‌سان (C)	۱۹/۵۰ ± ۲/۱۲	۲۰/۵۰ ± ۲/۱۲	۰/۶۶
روشنایی (Lux)	۲۵/۷۵ ± ۵/۶۷	۲۶/۰۰ ± ۶/۰۰	۰/۶۸

جدول(۳)- مقایسه میانگین و انحراف معیار متغیرهای مرتبط با بارکار فکری در دو شرایط عملیات عادی و غیرعادی

متغیر	واحد	سناریو		P-value
		عملیات عادی	عملیات غیرعادی	
Mean HR	1/min	۹۱/۸۲ ± ۱۶/۴۶	۹۲/۶۴ ± ۱۶/۵۶	۰/۲۹
Mean RR	ms	۶۷۱/۶۳ ± ۱۰۸/۲۷	۶۶۴/۷۲ ± ۱۱۰/۹۴	۰/۲۶
SDNN	ms	۶۵/۵۴ ± ۱۶/۴۷	۵۲/۴۵ ± ۲۰/۱۷	۰/۰۷
SDNNIX	ms	۶۴/۱۸ ±۱۷/۰۵	۴۹/۰۹ ± ۱۹/۴۲	۰/۰۱
RMSSD	ms	۳۳/۲۷ ± ۱۵/۷۶	۲۸/۰۱ ± ۱۵/۸۸	۰/۰۰
PNN50	درصد	۸/۴۵ ± ۷/۱۵	۶/۰۱ ± ۷/۲۰	۰/۰۱
LF/HF Ratio	نسبت	۳/۰۲ ± ۳/۰۱	۴/۴۶ ± ۲/۳۶	۰/۰۴
خستگی	درصد	۲۸/۸۳ ± ۱۰/۱۶	۳۶/۳۳ ± ۵/۳۳	۰/۱۰
بارکار کلی	درصد	۵۰/۰ ± ۱۱/۷۵	۶۰/۲۵ ± ۱۲/۳۷	۰/۱۲
عمل کرد وظیفه اصلی	درصد	۹۵/۴۵ ± ۴/۷۱	۶۹/۰۹ ± ۶/۶۴	۰/۰۰

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

نسبت به شرایط عادی کاهش یافته‌اند. نتایج آزمون ویلکاکسون نشان داد که از این میان کاهش شاخص‌های SDNNIX (p-value=۰/۰۱)، RMSSD (p-value=۰/۰۰) و PNN50% (p-value=۰/۰۱) معنادار بوده است و کاهش SDNN نیز نزدیک به معنادار (p-value=۰/۰۷) بوده است ولی کاهش Mean RR معنادار (p-value=۰/۲۶) نبوده است (جدول ۳).

هم چنین، جدول (۳) تغییرات خستگی، بارکار کلی و عمل کرد وظیفه اصلی را در دو شرایط مختلف نشان می‌دهد. میزان خستگی (p-value=۰/۱۰) و بارکار کلی درک شده (p-value=۰/۱۲) در شرایط غیرعادی نسبت به شرایط عادی افزایش داشته است اما میزان افزایش معنادار نبوده است. عمل کرد وظیفه اصلی راهبری در شرایط غیرعادی نسبت به شرایط عادی کاهش یافته است و میزان کاهش معنادار (p-value=۰/۰۰) بوده است.

بحث و نتیجه گیری

این مطالعه به بررسی تغییرات شاخص‌های قلبی - عروقی راهبران مترو در حین راهبری در دو شرایط عادی و غیرعادی پرداخته است. مطالعات گذشته تأکید داشته‌اند که جهت ارزیابی تلاش فکری کاربران در شرایط کاری چندوظیفه‌ای نیاز است از ترکیب سنجه‌های فیزیولوژیکی، ذهنی و عمل کردی استفاده شود (۱۱). بنابراین در این مطالعه از ترکیب سنجه‌های HR/HRV، IWS، معیار خستگی کلی Samn-Perelli و عمل کرد وظیفه اصلی برای ارزیابی بارکار فکری عملیات عادی و غیرعادی راهبری قطار استفاده شد. این عملیات شامل مجموعه‌ای از وظایف دیداری، حرکتی و تبادل اطلاعات و توام با تصمیم‌گیری دینامیک بود. اگرچه در مطالعات گذشته به حساسیت سنجه‌های HR/HRV، IWS، معیار خستگی کلی Samn-Perelli و عمل کرد وظیفه اصلی در ارزیابی بارکار فکری در وظایف فکری مصنوعی در شرایط آزمایش گاهی اشاره‌شده است اما قابلیت اعتماد ترکیب آن‌ها در مشاغل واقعی نوظهور نظیر راهبری قطار مترو نامعلوم می باشد. در این مطالعه مطالبات فکری عملیات واقعی راهبری مترو در محیط شبیه‌سازی که ازلحاظ صدا، دما و روشنایی محیطی بسیار نزدیک به شرایط واقعی قطار متروی در حال عملیات بود بررسی شد.

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که از میان سنجه‌های HR/HRV، متغیرهای تغییرپذیری ضربان قلب شامل شاخص‌های SDNNIX، RMSSD، PNN50 و SDNN با افزایش مطالبات فکری، کاهش معناداری داشته‌اند و شاخص LF/HF با افزایش مطالبات فکری، افزایش معناداری داشته است. نتایج نشان داد که RMSSD بیش ترین حساسیت را به افزایش مطالبات فکری داشته است. این یافته‌ها با یافته‌های مطالعات گذشته هم خوانی دارد که نشان داده‌اند با افزایش بارکار فکری متغیرهای RMSSD (۲۵-۲۷)، SDNN (۲۳, ۲۵, ۲۷)[Mazlomi, 2010 #271][Mazlomi, 2010 #271]، PNN50 (۲۳, ۲۵, ۲۶) کاهش معناداری داشته‌اند. هم چنین در مطالعه حاضر شاخص LF/HF Ratio به‌عنوان شاخص دیگر حساس به مطالبه فکری معرفی شد که با یافته‌های مطالعات گذشته هم خوانی دارد که نشان داده‌اند با افزایش مطالبه فکری شاخص LF/HF Ratio به‌طور معناداری افزایش می‌یابد (۲۶, ۲۷).

اگرچه این مطالعه نشان داد که با افزایش مطالبه فکری، Mean HR افزایش و Mean RR

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

کاهش می‌یابد، اما به دلیل غیر معنادار بودن اختلاف نمی توان آن‌ها را با قطعیت به‌عنوان شاخص های حساس به بارکار فکری معرفی کرد. افزایش شاخص Mean HR در برخی مطالعات گذشته نیز معنادار نبوده است (۲۵, ۲۶). این در حالی است که در برخی دیگر از مطالعات گذشته این شاخص به‌عنوان شاخص حساس و معنادار به مطالبات فکری معرفی‌شده است (۲۳, ۲۷). یافته‌های مطالعات گذشته در مورد کاهش Mean RR با افزایش مطالبات فکری نیز ضدونقیض است به‌طوری‌که در برخی مطالعات میزان کاهش این شاخص معنادار (۲۳, ۲۵) و در برخی دیگر معنادار نبوده است (۲۶).

هم چنین، مقایسه خستگی درک شده (بر اساس ابزار Samn-Perelli) و بارکار کلی درک شده (بر اساس ابزار IWS) در شرایط عملیات غیرعادی نسبت به شرایط عملیات عادی افزایش داشته است ولی معنادار نبوده است. در مطالعات دیگر، ابزارهای IWS (۱۹, ۲۰) و Samn-Perelli (۲۲, ۲۸) به‌عنوان ابزارهای پیمایش ذهنی بارکار فکری و قضاوت گذشته‌نگر درباره بارکار فکری در مشاغل مرتبط با وظایف کنترلی در صنعت ریلی به‌کاررفته است.

شاید دلیل عدم حساسیت ابزار Samn-Perelli و ابزار IWS به تغییرات مطالبات فکری در عملیات راهبری مترو به این دلیل بوده است که نوع پرسش گری این ابزارهای ذهنی به‌صورت کلی و گذشته‌نگر و بر مبنای قضاوت بر اساس مواجهه طولانی با یک شغل است. این ابزارهای ذهنی، بیش تر برای ارزیابی کلی بارکار فکری یک شغل و قضاوت جمعی افراد درباره شغل یا عملیات کاربرد دارند و در موارد پایش بارکار فکری عملیات و آزمون‌های مطالعاتی که لازم است تغییرات مطالبات بارکار فکری به‌صورت لحظه‌به‌لحظه ثبت و گزارش شوند مناسب نیست.

مطالعه حاضر نشان داد که عمل کرد وظیفه اصلی راهبری در شرایط عملیات غیرعادی نسبت به شرایط عادی کاهش‌یافته است و میزان کاهش معنادار بوده است. بنابراین، عمل کرد وظیفه اصلی که مبتنی بر شواهد عینی و نتایج بارکار فکری است به‌عنوان سنجه حساس به تغییرات مطالبه فکری معرفی شد. در این روش، ارزیابی عمل کرد وظیفه بر اساس قضاوت مربیان و بر مبنای آیتم‌های عینی زمان واکنش و صحت عملیات تعیین شد. مطالعات گذشته نیز نشان دادند که زمان واکنش و صحت عملیات، سنجه‌های حساس بارکار فکری در عملیات پیچیده هستند (۲۹).

نتایج این مطالعه نشان داد که ترکیب سنجه‌های زمان واکنش و صحت عمل کرد وظیفه اصلی، افزایش متغیر LF/HF ضربان قلب، کاهش متغیرهای تغییرپذیری ضربان قلب شامل SDNNIX، RMSSD، PNN50 و SDNN می‌توانند در پایش بارکار فکری عملیات سامانه‌های پیچیده تعامل انسان ماشین استفاده شوند. از طرفی سنجه‌های ذهنی نظیر IWS بیش تر در ارزیابی کلی بارکار فکری یک شغل و قضاوت جمعی افراد کاربرد دارند. این مطالعه نظیر اکثر مطالعات گذشته به دلیل کاستی‌های رایج مطالعاتی نظیر تعداد حجم نمونه در آزمون‌های تجربی، مقطعی بودن و سوگیری احتمالی در نمونه مشارکت‌کنندگان مطالعه و آزمون در یک عملیات خاص از قابلیت بسط و تعمیم‌یافته‌ها به سایر سامانه‌های پیچیده برخوردار نیست و مطالعات بیش تری در این زمینه نیاز است. پیشنهاد می‌شود شاخص‌های تغییرات ضربان قلب (SDNN, SDNNIX, RMSSD, PNN50% و LF/HF) در مطالعات با زمینه‌های عملیاتی مختلف به کار روند

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

و این شاخص‌ها در قالب مدل‌های اندازه‌گیری جهت سنجش قابل‌اعتماد بارکار فکری مورد استفاده قرار گیرند، به‌طوری‌که با تعیین وزن هر سنجه در تبیین واریانس بارکار فکری، مدل اندازه‌گیری قابل‌اعتماد و حساس با بیش ترین واریانس تبیین شده برای پایش بارکار فکری در عملیات سامانه‌های پیچیده با تعامل انسان ماشین به دست آید.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از یک مطالعه است که با هزینه مصوب دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و با همکاری مرکز آموزش شرکت متروی تهران انجام شد. هم چنین از کلیه راهبران، مربیان و کارشناسان شبیه‌ساز مرکز آموزش شرکت متروی تهران تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Kecklund L, Ingre M, Kecklund G, Söderström M, Åkerstedt T, Lindberg E, et al. The TRAIN–project: Railway safety and the train driver information environment and work situation-A summary of the main results. Signalling safety. 2001.
2. Zoer I, Sluiter JK, Frings-Dresen MH. Psychological work characteristics, psychological workload and associated psychological and cognitive requirements of train drivers. Ergonomics. 2014;57(10):1473-87.
3. Hassanzadeh-Rangi N, Khosravi Y, Farshad AA, Jalilian H. Assessment and analysis of physical workload in metro driving job and recommendation for improvement. Journal of Health and Safety at Work. 2017;7(1):33-44.
4. Karvonen H, Aaltonen I, Wahlström M, Salo L, Savioja P, Norros L. Hidden roles of the train driver: A challenge for metro automation. Interacting with Computers. 2011.
5. Jalilian H, Najafi K, Monazzam MR, Khosravi Y, Zamanian Z. Assessment of Static and Extremely Low-Frequency Magnetic Fields in the Electric-Powered Trains. International Journal of Occupational Hygiene. 2017;9(2):105-12.
6. Jansson A, Olsson E, Kecklund L. Acting or reacting? A cognitive work analysis approach to the train driver task. Rail human factors. 2005:40-9.
7. Smith P, Blandford A, Back J. Questioning, exploring, narrating and playing in the control room to maintain system safety. Cognition, Technology & Work. 2009;11(4):279.
8. Young M, Stanton N. Mental workload. Handbook of human factors and ergonomics methods. 2005:39-1.
9. Allahyari T, Rangi NH, Khosravi Y, Zayeri F. Development and evaluation of a new questionnaire for rating of cognitive failures at work. International journal of occupational hygiene. 2011;3(1):6-11.
10. Cain B. A review of the mental workload literature. DTIC Document, 2007.
11. Young MS, Brookhuis KA, Wickens CD, Hancock PA. State of science: mental workload in ergonomics. Ergonomics. 2015;58(1):1-17.
12. Hassanzadeh-Rangi N, Khosravi Y, Farshad AA, Abedinloo R, Jalilian H. Inter and intra-rater reliability of a new assessment tool for Health، Safety, and Environment (HSE) in urban districts: A case study in Tehran city. Journal of Health and Safety at Work. 2016;6(3):73-90.
13. Rau R, Stanton N, Hedge A, Hendrick H, Brookhuis K, Salas E. Ambulatory Assessment of Blood Pressure to Evaluate Work Load. Handbook of Ergonomics and Human Factors Methods, edited by N Stanton, A Hedge, HW Hendrick, KA Brookhuis, and E Salas. 2004.
14. Zander TO, Kothe C. Towards passive brain–computer interfaces: applying brain–computer interface technology to human–machine systems in general. Journal of neural engineering. 2011;8(2):025005.
15. Strangman G, Culver JP, Thompson JH, Boas DA. A quantitative comparison of simultaneous BOLD

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

fMRI and NIRS recordings during functional brain activation. Neuroimage. 2002;17(2):719-31.
16. Ayaz H, Shewokis PA, Bunce S, Izzetoglu K, Willems B, Onaral B. Optical brain monitoring for operator training and mental workload assessment. Neuroimage. 2012;59(1):36-47.
17. Mazlomi A. Heart rate variation: The Routine index for evaluation of workload in ergonomics (Editorial). Iran Occupational Health. 2010;7(3):4-6.
18. Camm AJ, Malik M, Bigger J, Breithardt G, Cerutti S, Cohen RJ, et al. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. European heart journal. 1996;17(3):354-81.
19. Pickup L, Wilson JR, Norris BJ, Mitchell L, Morrisroe G. The Integrated Workload Scale (IWS): A new self-report tool to assess railway signaller workload. Applied Ergonomics. 2005;36(6):681-93.
20. Wilms MS, Zeilstra MP, editors. 375 Subjective mental workload of Dutch train dispatchers: Validation of IWS in a practical setting. Rail Human Factors: Supporting Reliability, Safety and Cost Reduction; 2013.
21. Samn SW, Perelli LP. Estimating aircrew fatigue: a technique with application to airlift operations. DTIC Document, 1982.
22. Dorrian J, Baulk SD, Dawson D. Work hours, workload, sleep and fatigue in Australian Rail Industry employees. Applied ergonomics. 2011;42(2):202-9.
23. Mansikka H, Simola P, Virtanen K, Harris D, Oksama L. Fighter pilots' heart rate, heart rate variation and performance during instrument approaches. Ergonomics. 2016:1-9.
24. Lan L, Lian Z, Pan L. The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings. Applied ergonomics. 2010;42(1):29-36.
25. Mukherjee S, Yadav R, Yung I, Zajdel DP, Oken BS. Sensitivity to mental effort and test–retest reliability of heart rate variability measures in healthy seniors. Clinical Neurophysiology. 2011;122(10):2059-66.
26. Cinaz B, Arnrich B, La Marca R, Tröster G. Monitoring of mental workload levels during an everyday life office-work scenario. Personal and Ubiquitous Computing. 2013;17(2):229-39.
27. Fallahi M, Motamedzade M, Heidarimoghadam R, Soltanian AR, Miyake S. Effects of mental workload on physiological and subjective responses during traffic density monitoring: A field study. Applied Ergonomics. 2016;52:95-103.
28. Jay SM, Dawson D, Ferguson SA, Lamond N. Driver fatigue during extended rail operations. Applied ergonomics. 2008;39(5):623-9.
29. Wei Z, Zhuang D, Wanyan X, Liu C, Zhuang H. A model for discrimination and prediction of mental workload of aircraft cockpit display interface. Chinese Journal of Aeronautics. 2014;27(5):1070-7.

پیوست (۱)

معیار خستگی کلی Samn-Perelli

سطح خستگی خود را چگونه ارزیابی می کنید؟

	کاملاً هوشیار و حواس جمع
	سرحال، قادر به واکنش سریع اما نه به‌طور کامل
	تقریبا سرحال
	کمی خسته
	خسته در حد متوسط
	خیلی خسته، مشکل در تمرکز حواس
	کاملاً خسته، ناتوانی در عملکرد موثر

پیوست (۲)

معیار IWS

به‌طورکلی بارکار فکری خود را چگونه ارزیابی می کنید؟

	بدون مطالبه
	با حداقل تلاش
	با کمی تلاش
	با تلاش متوسط
	با فشار متوسط
	با مشغله زیاد
	با تلاش زیاد
	با تلاش و زحمت خیلی زیاد
	بسیار سخت و طاقت فرسا

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]

Journal of Health and Safety at Work Vol. 8; No. 4; Winter 2019

Mental workload assessment among train drivers using ECG-related indices

Mohammad-Javad Jafari[1], Narmin Hassanzadeh-Rangi[2]*, Yahya Khosravi[3], Soheila Khodakarim[4]

[1] Professor, Department of Occupational Health Engineering, Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2] M.Sc., Department of Occupational Health Engineering, Student Research Committee, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Occupational Health and Safety, School of Health, Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Epidemiology, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Driving a train is one of the high demand job due to high vigilance task requiring the ability to long periods monitor surrounding environment and recognizing signals. The aim of this study was to assess train drivers' mental workload using heart rate (HR) and heart rate variability (HRV) indices.

Material and Method: An experimental design was conducted among 12 well-trained subjects to induce two different levels of mental demands in a metro simulator and to monitor mental workload levels while driving the train. The HR and HRV parameters were recorded and analysis using ECG signals.

Result: The HRV parameters including SDNNIX (p-value=0.01), RMSSD (p-value=0.00), %PNN50 (p-value=0.01), SDNN (p-value=0.07) and LF/HF Ratio (p-value=0.04) were significantly reduced in a normal operation task comparing to the abnormal one.

Conclusion: The HR and HRV (SDNN, SDNNIX, RMSSD, %PNN50 and LF/HF Ratio) were found to be sensitive to mental workload in metro train driving .It is recommended to include the HRV parameters for mental workload assessment of train drivers.

Key words: *Mental Workload, Heart Rate, Driving, Subway*

* Corresponding Author Email: *narminhassanzadeh@sbmu.ac.ir*

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-31]