مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۲، شماره ۴، زمستان ۹۴
مقاله پژوهشی

ارزیابی مواجهه شغلی راهبران متروی تهران با میدان‌های مغناطیسی در فرکانس بی‌نهایت کم

محمدرضا منظم [۱]، حامد جلیلیان [۲،*]، یحیی خسروی [۳]، کامران نجفی [۴]، زهرا زمانیان [۵]

[۱] استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[۲] دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
[۳] استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت، ایمنی و محیط (HSE)، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
[۴] کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[۵] دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

* **نویسنده مسئول:** حامد جلیلیان، دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران. ایمیل: jalilianh@hotmail.com

DOI: 10.21859/johe-02048

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۲/۱۹

واژگان کلیدی:
میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم
راهبر مترو
مواجهه شغلی

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

مقدمه: مواجهه شغلی با میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم در راهبران قطار بخشی جدایی‌ناپذیر از این وظیفه بوده و همین امر نگرانی‌هایی را از نظر سلامت شغل راهبری به وجود آورده است. مطالعه حاضر باهدف بررسی مواجهه شغلی راهبران متروی تهران با میدان‌های مغناطیسی در فرکانس بی‌نهایت کم طراحی شد.

روش‌کار: به منظور سنجش مواجهه راهبران، از دو نوع قطار AC و DC داخل شهری و AC بین شهری از هر خط شامل خط ۱، ۲، ۴ و ۵ نمونه‌ای به طور تصادفی انتخاب شد و پس از ایستگاه بندی، اندازه‌گیری چگالی شار مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم به وسیله دستگاه سه جهته TES- ۱۳۹۴ و با توجه به استاندارد IEEE std ۶۴۴-۱۹۹۴ انجام شد. سپس مواجهه راهبران در هر یک از قطارها با حدود مواجهه شغلی کشوری مقایسه گردید.

یافته‌ها: بیش‌ترین میانگین مواجهه در قطارهای AC بین شهری (۲/۵ ± ۱/۱ μT) و کمترین مقدار مربوط به قطارهای DC (۳۱/۲ ± ۰/۰ μT) بود. حداکثر مقدار مواجهه در راهبران قطارهای AC خط ۵ (۹ μT) و حداقل مقدار مربوط به همین خط (۰/۰۱ μT) بود. حداکثر مقدار مواجهه در خطوط داخل شهری در قطار AC خط ۱ (۵/۴ μT) و حداقل آن مربوط به همین خط و قطار (۰/۰۸ μT) بود.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که در این مطالعه، همچون مطالعات مختلف در دیگر کشورها، هیچ یک از حالات مواجهه در قطارهای مختلف، میزان مواجهه از حدود مجاز مواجهه کشوری و بین‌المللی فراتر نرفته بود. هرچند این موضوع نباید مبنایی بر بی‌خطر بودن این میدان‌ها قرار بگیرد.

مقدمه

سیستم حمل‌ونقل مشکلات زیست محیطی زیادی را از طریق آزادسازی گازهای آلاینده در هوا ایجاد می‌کند. در قرن ۲۱، هم در کشورهای توسعه یافته و هم در کشورهای در حال توسعه، سیستم حمل‌ونقل به سمت مصرف سوخت‌های پاک به جای سوخت‌های فسیلی در حرکت است. تکنولوژی‌های برقی و هیبریدی به منظور جلوگیری از انتشار گازهای آلاینده خطرناک که از اشتعال سوخت‌های فسیلی ایجاد می‌شد، رواج بیشتری پیدا کرد. اکنون در بیشتر کشورها از قطارهای برقی برای جابجایی مسافران استفاده می‌شود [۱]. مواجهه شغلی با میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم (Extremely Low Frequency Magnetic Fields: ELF-MFs) و پایا در راهبران بخشی جدایی‌ناپذیر از وظیفه هدایت و راهبری قطار است و همین امر نگرانی‌هایی را از نظر سلامت شغل راهبری به وجود آورده است [۱-۳]. در مطالعه‌ای که با حمایت سازمان تحقیقات فدرال میدان مغناطیسی بر روی انواع مختلفی از وسایل حمل‌ونقل برقی انجام شد، مشخص گردید که به ترتیب ماشین‌های الکتریکی، تراموا‌ها، اتوبوس‌های

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.21859/johe-02048]

برقی عادی، اتوبوس‌های برقی تندرو و قطارها دارای میدانی به بزرگی ۵ mG، ۱۳ mG، ۱۷ mG، ۲۱ و ۵۰ mG هستند. حداکثر چگالی شار مغناطیسی در فرکانس بی‌نهایت کم مربوط به قطارهای نوع جریان متناوب AC (Alternative Current) گزارش شد [۴]. چادوییک و لوست مطالعاتی بر روی قطارها و سیستم‌های حمل‌ونقل برقی انجام دادند. میدان مغناطیسی پایا در کابین راهبر قطارهای برقی شهر لندن تا ۰/۲ mT و در نزدیک کف واگن‌های مسافربری تا ۱ mT اندازه‌گیری شد. همچنین میزان ELF-MFs را تا ۲۰ گزارش کردند [۳]. هالگاموگ و همکاران حداقل و حداکثر شدت میدان مغناطیسی را در قطارهای AC با کابل فوقانی، در مکان نشستن راهبر در کابین (به ترتیب ۰/۵ mG و ۴/۷)، خارج از کابین (۰/۴ mG و ۴/۸) و در نزدیکی سقف و پانتوگراف (۰/۳ mG و ۵/۵) گزارش نمودند [۱]. ناکاگاوا و کوانا میدان مغناطیسی را در قطارهای AC و همچنین قطارهای جریان مستقیم (Direct Current: DC) مورد ارزیابی قرار دادند. در قطارهای AC شدت میدان از ۲ mG تا ۱۵۰۰ متغیر بود. همچنین در قطارهای DC این مقدار کمتر و بین ۲ mG تا ۵۰ گزارش شد [۵]. بهرحال مطالعات متعدد اپیدمیولوژیک نشان داده است که مواجهه با میدان‌های مغناطیسی پایا و ELF در سیستم‌های حمل‌ونقل الکتریکی ممکن است خطراتی را برای سلامتی شاغلین ایجاد کند [۶-۱۲]. سازمان بهداشت جهانی بر اساس مدارک محدود سرطان‌زایی انسانی ELF-MFs در ارتباط با لوسمی در کودکان و مدارک ناکافی از سرطان‌زایی انسانی این میدان‌ها در ارتباط با دیگر انواع سرطان‌ها و همچنین مدارک ناکافی از سرطان‌زایی در حیوانات، ELF-MFs را به عنوان عاملی که ممکن است سرطان زا باشد (گروه 2B) طبقه‌بندی می‌نماید [۱۳]. مطالعات نشان داده است که ریسک انواعی از سرطان (تومورها) در کارمندان راه‌آهن بیش از سطح این ریسک در جامعه است. به خصوص در کارمندان ترامواى کشور نروژ ریسک ۱۲ برابری گزارش شده است [۱۴]. فلودریوس و همکاران دریافتند که مهندسین راه‌آهن خطر ریسک سه برابری را برای لوسمی مزمن دارند [۱۵]. مطالعه روزلی و همکاران نشان داد که رابطه‌ای بین مواجهه با میدان‌های مغناطیسی و سندروم هادگین و لوسمی وجود دارد [۸]. مطالعه مایندر و همکاران در کارکنان راه‌آهن سوئیس نشان داد، کسانی که به مدت طولانی در مواجهه با میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم بودند، یا دچار لوسمی‌شده‌اند یا پیشرفت‌های فیزیولوژیکی را به سمت این بیماری داشته‌اند. همچنین بهترین تخمین از ارتباط دوز-مرگ و میر به میزان ۱% در ازای μT-سال مواجهه در قسمت سینه با این میدان‌ها زده شد [۷].

با توجه به اینکه در کشور ما هنوز هیچ ارزیابی جامعی از مواجهه راهبران قطارهای بین و داخل شهری با ELF-MFs صورت نگرفته است و میزان تماس این گروه شغلی مشخص نیست، در این مطالعه پس از اندازه‌گیری این میدان‌ها در انواع قطارهای موجود در خطوط ۵ گانه شهر تهران و حومه، میزان مواجهه این افراد گزارش‌شده و سپس با حدود مواجهه شغلی کشوری ۱ mT در فرکانس ۶۰ Hz برای مواجهات شغلی [۱۶]؛ ۰/۱ mT در فرکانس ۶۰ Hz برای مواجهات عمومی [۱۷] مقایسه می‌گردد تا بتوان دیدی از مواجهه راهبران با این میدان‌ها داشته و در صورت لزوم در مورد کنترل میدان‌ها یا کاهش مواجهه آن‌ها از طریق فرایندهای مدیریتی تصمیمات صحیحی گرفته شود.

روش کار

محیط پژوهش و ابزار اندازه‌گیری

در این مطالعه مقطعی، به منظور ارزیابی مواجهه راهبران قطارهای بین و داخل شهری تهران، ابتدا باهماهنگی شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه اطلاعاتی در مورد ایستگاه‌ها، تقاطع‌ها و محل شانت (برگشت به داخل خط)، ساعات حرکت، ساعات شلوغی و خلوتی و نحوه رفت و برگشت قطارها جمع‌آوری گردید. بر اساس این اطلاعات، ۳ خط در داخل شهر تهران (۱، ۲ و ۴) و یک خط بین دو شهر تهران و کرج (خط ۵) فعال بودند. در خط ۱ و ۲ قطارها از نوع AC و DC، در خط ۴ تنها قطارهای AC و در نهایت در خط ۵ قطارهای AC ای متفاوت با آنچه در خطوط داخل شهری بود، به کار گرفته شده بود.

قطارهای AC بین شهری از خطوط برق فشارقوی ۲۵ Kv که در طول مسیر تهران به کرج کشیده شده‌اند، تغذیه می‌کردند و این برق در لکوموتیوهای آنان به برق DC تبدیل‌شده و برای حرکت قطار استفاده می‌شد. این قطارها بر اساس سال ساخت دارای مدل‌های مختلفی از جمله TM-۱ و TM-۳ است. قطارهای AC داخل شهری از ریل سوم که در سرتاسر خطوط ریلی داخل شهری کشیده شده است، تغذیه می‌نمایند. ریل سوم دارای ۷۵۰ ولت برق DC می‌باشد. جریان ۷۵۰ ولتی مستقیم به داخل موتورهای قطارهای AC رفته و سپس در این ولتاژ مستقیم تبدیل به ۳۸۰ ولت برق AC با فرکانس ۳۰ Hz تا ۳۰۰ شده و برای حرکت قطار مورد استفاده قرار می‌گیرد. قطارهای DC نیز همچون قطارهای AC از ریل سوم تغذیه می‌کنند. جریان ۷۵۰ ولتی مستقیم به داخل

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.21859/johe-02048]

موتورهـای قطارهـای DC رفتـه و ایـن انـرژی بـه منظـور حرکـت قطـار، مسـتقیم بـه موتورهـا وارد می‌شـود.

از هـر خـط داخـل شـهری ۱ قطـار AC و یـک قطـار DC بـه عنـوان نمونـه‌ای از ایـن قطارهـا بـه طـور تصادفـی انتخـاب شـد. قابل‌ذکـر اسـت کـه خـط ۴ تنهـا دارای قطـار نـوع AC بـود. از خـط ۵ نیـز ۲ مـدل مختلـف از قطارهـا (هـر دو AC) بـه طـور تصادفـی انتخـاب و مـورد سـنجش قـرار گرفـت.

بـه منظـور اندازه‌گیـری میـدان مغناطیسـی از دسـتگاه اندازه‌گیـری سـه جهته TES-۱۳۹۴ اسـتفاده شـد. علیرغـم گواهی کالیبراسـیون، بـرای اطمینـان از اندازه‌گیـری، دسـتگاه بـا کمـک سـازمان انـرژی اتمـی کشـور مجـدداً بـا تعییـن ضریـب کالیبراسـیون ۱ کالیبـره گردیـد. روش سـنجش، ارتفـاع، مـکان اندازه‌گیـری بـا توجـه بـه مطالعـات پیشـین [۲] و همچنیـن اسـتاندارد IEEE ۶۴۴-۱۹۹۴ std در کنـار صندلـی راهبـر و در ارتفـاع ۱ متـری از کـف کابیـن بـود. هنـگام اندازه‌گیـری میـدان مغناطیسـی اپراتـور می‌توانسـت دسـتگاه را در دسـت بگیـرد، چـون ماهیـت مغناطیسـی ضعیـف بدن انسـان سـبب آشـفتگی میـدان مغناطیسـی و تأثیـر در مقـدار آن نمی‌شـود [۱۸].

ارزیابی چگالی شار مغناطیسی

بـه منظـور برآورد اهـداف مطالعـه، محقـق یک بـار در سـاعت خلوت و یـک بـار در سـاعت شـلوغ (از نظـر تعـداد مسـافر) بـه ایسـتگاه‌های اصلـی متـرو (ایسـتگاه‌هایی کـه محـل اسـتراحت افـراد بـوده و دفتـر اعـزام راهبـران در آن مسـتقر بـود) مراجعـه نمـود. در ابتـدا در محـل اسـتراحت و دفتـر اعـزام راهبـر از میـدان مغناطیسـی سـنجش بـه عمـل آمـد، سـپس یـک قطـار را بـه صـورت اتفاقـی انتخـاب کـرده و پـس از ثبـت شـماره قطـار بـه داخـل کابیـن راهبـری (واگـن کنتـرل قطـار) رفتـه و یـک س‌یـر رفـت، شـانت، سـیر برگشـت، شـانت و بـه هنـگام رسـیدن بـه ایسـتگاه اولیـه از میـدان مغناطیسـی ELF سـنجش بـه عمـل آمـد. ثبـت شـماره قطارهـا بـه منظـور ایـن امـر بـود کـه سـنجش‌ها (از نظـر شـلوغی/خلوتی) از همـان قطـار باشـد. عمـل بـالا بـرای هـر دو نـوع قطـار AC و DC (بـرای قطارهـای داخـل شـهری) بـرای خطـوط مختلـف و همچنیـن قطارهـای AC خـارج شـهری در دو سـاعت مختلـف از روز (شـامل ۱۰ صبـح بـه عنـوان زمـان خلـوت و ۶ بعدازظهـر بـه عنـوان زمـان شـلوغ) انجـام شـد. هـدف از تعییـن چگالـی شـار در مسـیرهای رفـت و برگشـت تعییـن اثـر احتمالـی شـیب زمیـن (و متعاقـب آن صـرف انـرژی بیشـتر بـرای حرکـت) بـر آن بـود. لازم بـه ذکـر اسـت کـه در طـول سـیرها ۳ ایسـتگاه متـرو نیـز بـه صـورت اتفاقـی از هـر خـط انتخـاب و قبـل از رسـیدن (در طـول سـیر رسـیدن بـه ایسـتگاه)، هنـگام ورود بـه ایسـتگاه (ترمـز کـردن) و در هنـگام ترکشـن (شـتاب گرفتـن قطـار) از میـدان سـنجش بـه عمـل آمـد. در هـر مـکان و وضعیـت سـنجش (منظـور ایسـتگاه اندازه‌گیـری نـه ایسـتگاه متـرو) سـه بـار چگالـی شـار مغناطیسـی ثبـت شـد تـا بتـوان نقـش نوسـانات را کـم کـرد. بـه عنـوان مثـال در طـول سـیر یـک قطـار بیـن دو ایسـتگاه متـرو سـه بـار دسـتگاه قرائـت و ثبت شـد. در مجمـوع ۳۹۲ ایسـتگاه (۱۱۷۶ سـنجش) مـورد اندازه‌گیـری قـرار گرفـت.

ارزیابی مواجهه راهبران

بـا توجـه بـه آنچـه کـه در حـدود مواجهـه شـغلی مجمـع دولتـی متخصصیـن بهداشـت صنعتـی آمریـکا (ACGIH) [۱۹] و همچنین حـدود مواجهـه شـغلی بـا آلاینده‌هـای محیـط کار کـه از سـوی وزارت بهداشـت، درمـان و آمـوزش پزشـکی و بـا نظـارت مرکـز سـلامت کار منتشـر شـده اسـت [۱۹]، در ارزیابـی مواجهـه شـغلی بـا ایـن میدان‌هـا بایـد حداکثـر مقـدار مواجهـه در نظـر گرفتـه شـود و بـا حـدود مواجهـه توصیه‌شـده شـغلی مقایسـه گـردد. بـه همیـن جهـت از سـه مقـدار سـنجش شـده در هـر ایسـتگاه اندازه‌گیـری، حداکثـر مقـدار ELF-MFs بـه منظـور مقایسـه بـا حـدود مواجهـه شـغلی کشـوری و بین‌المللـی در نظـر گرفتـه شـد. البتـه قابل‌ذکـر اسـت کـه بـرای بررسـی مواجهـه راهبـران بـا توجـه بـه متغیرهـای مختلـف مطالعـه ماننـد نـوع مسـیر، پیـک مسـافری و شـتاب قطـار، میانگینـی از سـه سـنجش در ایسـتگاه‌های مـورد نظـر بـه عنـوان مقـدار اصلـی مـورد نظـر قرارگرفتـه شـده اسـت. بـه منظـور آنالیـز آمـاری تمـام داده‌هـا از نرم‌افـزار SPSS نسـخه ۲۱ اسـتفاده شـد.

یافته‌ها

جـدول ۱ حداقـل، حداکثـر، میانگیـن و انحـراف معیـار از میانگیـن میـدان مغناطیسـی را در انـواع قطارهـا نشـان می‌دهـد. مقادیـر موجـود در ایـن جـدول بـر اسـاس میانگین‌گیـری از سـه عـدد قرائت‌شـده در هـر ایسـتگاه می‌باشـد نـه حداکثـر مقـداری کـه ثبـت شـده اسـت.

بـه دلیـل وجـود ایسـتگاه‌های همچـون اتـاق اسـتراحت (کـه دارای مقادیـر کـم از میـدان بودنـد) مقادیـر انحـراف معیـار و میانگیـن بـه یکدیگـر نزدیـک شـده اسـت. حداکثـر چگالـی شـار مغناطیسـی در قطـار AC بیـن شـهری (۷/۹ μT) مشـاهده شـد. همچنیـن بالاتریـن مقـدار میانگیـن بـه همیـن قطارهـا اختصـاص داشـت (۱/۲ μT). کمتریـن مقـدار چگالـی شـار مغناطیسـی نیـز مربـوط بـه قطارهـای AC بـود. جـدول ۲ مقایسـه‌ای از میانگیـن چگالـی شـار مغناطیسـی مسـیرهای رفـت/ برگشـت و پیک شـلوغی/ خلوتـی مسـافران را در قطارهـای AC بیـن و داخـل شـهری و قطارهـای DC نشـان می‌دهـد. بدیـن منظـور از آزمـون آمـاری T مسـتقل اسـتفاده شـد.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.21859/johe-02048]

جدول ۱: حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار میزان ELF-MFs در کابین راهبر انواع قطارها (μT)

	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
قطارهای AC	۰/۰۷	۵/۲۳	۰/۳۹	۰/۴
قطارهای DC	۰/۰۹	۱/۸۷	۰/۳۱	۰/۲
قطارها AC بین شهری	۰/۱	۷/۹	۱/۲	۱/۵

جدول ۲: مقایسه میانگین چگالی شار مغناطیسی مسیرهای رفت/برگشت و پیک شلوغی/خلوتی مسافران در قطارهای AC و DC

متغیرها	میانگین ± انحراف معیار	P value
قطارهای AC		
مسیر رفت	۰/۳۷۷۹ ± ۰/۳۰	۰/۶۵
مسیر برگشت	۰/۴۱۱۶ ± ۰/۶۲	
خلوت	۰/۴۴۴۷ ± ۰/۶۳	۰/۱۹
شلوغ	۰/۳۴۴۸ ± ۰/۲۸	
قطارهای DC		
مسیر رفت	۰/۳۵۶۴ ± ۰/۲۶	۰/۰۶
مسیر برگشت	۰/۲۸۰۶ ± ۰/۱۴	
خلوت	۰/۳۲۴۶ ± ۰/۲۶	۰/۷۶
شلوغ	۰/۳۱۲۴ ± ۰/۱۵	
قطارهای AC بین شهری		
مسیر رفت	۱/۲۲ ± ۱/۶	۰/۸۹
مسیر برگشت	۱/۱۸ ± ۱/۵	
خلوت	۱/۰۴ ± ۱/۴	۰/۲۸
شلوغ	۱/۳۶ ± ۱/۶	

نتایج حاصل از جدول ۲ نشان می‌دهد که در مسیرهای رفت/برگشت و پیک شلوغی/خلوتی مسافران، میزان مواجهه راهبران قطارهای AC، DC و قطارهای بین شهری باهم اختلاف معناداری نداشت. جدول ۳ مقایسه میانگین چگالی شار مغناطیسی در خطوط ۱،۲،۴ و ۵ را نشان می‌دهد. به منظور مقایسه میانگین چگالی در خطوط مختلف از آزمون ANOVA یک طرفه استفاده شد.

نتایج حاصل از جدول ۳ نشان داد که میانگین مواجهه در خط ۵ با خطوط دیگر اختلاف معنادار آماری داشت ($P < ۰/۰۰۱$). خطوط دیگر باهم اختلاف معناداری نداشتند. عدم تفکیک نوع قطارها در خطوط به این دلیل است که راهبران در یک نوبت کاری به صورت زمان‌بندی شده به دفاتر اعزام مراجعه می‌نمایند و بدون توجه به نوع قطار به سیر اعزام می‌شوند. نتایج آزمون ANOVA یک طرفه از مقایسه میانگین چگالی شار مغناطیسی در انواع قطارهای AC بین و داخل شهری و DC نشان داد که بین قطارهای داخل شهری اختلاف معنادار آماری وجود نداشت ($P = ۰/۴۹$)، اما بین قطارهای داخل شهری و بین شهری اختلاف معنادار آماری وجود داشت ($P < ۰/۰۰۱$). جدول ۴ حداکثر مواجهه راهبران را با توجه به خطوط و نوع قطار نشان می‌دهد.

جدول ۳: مقایسه میانگین چگالی شار مغناطیسی قطارهای AC و DC در خطوط مختلف

	فاصله اطمینان 95%		P value
	حد پایین	حد بالا	
خط 1			
خط ۲	-۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۶۹
خط ۴	-۰/۲۷	۰/۳	۰/۹
خط ۵	-۱/۰۵	-۰/۵۸	< ۰/۰۰۱
خط 2			
خط ۴	-۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۸۳
خط ۵	-۱/۱	-۰/۶۲	< ۰/۰۰۱
خط 4			
خط ۵	-۱/۱۲	-۰/۵۴	< ۰/۰۰۱

جدول ۴: حداقل و حداکثر مواجهه راهبران با میدان‌های مغناطیسی ELF(μT)

خطوط و نوع قطار	حداقل	حداکثر
خط ۱		
قطار AC	۰/۰۸	۵/۴
قطار DC	۰/۱	۰/۸
خط ۲		
قطار AC	۰/۱	۲
قطار DC	۰/۱	۲/۸
خط ۴		
قطار AC	۰/۰۸	۴
خط ۵		
قطار AC	۰/۰۱	۹

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.21859/johe-02048]

جدول ۴ نشان داد که حداکثر مقدار مواجهه در راهبران قطارهای AC خط ۵ (μT ۹) و حداقل مقدار مربوط به همین خط (μT ۰/۰۱) بود. مقدار مواجهه در خطوط داخل شهری در قطار AC خط ۱ (μT ۵/۴) و حداقل آن مربوط به همین خط و قطار (μT ۰/۰۸) بود.

بحث

مطالعه حاضر به منظور بررسی وضعیت مواجهه راهبران خطوط متروی بین و داخل شهری تهران با ELF-MFs انجام گرفت و همچنین بررسی‌هایی بر انواع قطار، خطوط، وضعیت مترو از نظر پیک کاری نیز مدنظر قرار گرفت.

میانگین مواجهه راهبران در این قطارها بیش‌ترین مقدار خود را در قطارهای AC بین شهری (μT ۱/۲) و کمترین مقدار را در قطارهای DC (μT ۰/۳۱) نشان داد (جدول ۱). حداکثر مقدار مواجهه در راهبران قطارهای AC خط ۵ (μT ۹) و حداقل مقدار مربوط به همین خط (μT ۰/۰۱) بود (جدول ۴). حداکثر مواجهه در خطوط داخل شهری مربوط به قطار AC خط ۱ (μT ۵/۴) و حداقل آن مربوط به همین خط و قطار (μT ۰/۰۸) بود (جدول ۴). در قطارهای بین شهری به علت وجود کابل‌های فشارقوی در بالای آن‌ها مقدار ELF-MFs بیشتر بود. این بدان معنی است که احتمالاً نوع تغذیه قطارهای AC بین شهری (کابل‌های فوقانی فشارقوی) عامل اصلی میزان بیشتر ELF-MFs نسبت به دیگر قطارها است. همچنین در قطارهای AC داخل شهری به دلیل اینکه جریان مستقیم ورودی به موتور به جریان متناوب تبدیل می‌شود، پتانسیل بیشتری برای ایجاد ELF-MFs دارد و همین امر نیز اختلاف چگالی شار مغناطیسی را بین دو قطار AC و DC که از ریل سوم تغذیه می‌کنند، توضیح می‌دهد. جدول ۲ نشان می‌دهد که شلوغ یا خلوت بودن قطارها (که خود را به صورت افزایش وزن قطار نشان می‌دهد) بر مواجهه راهبران تاثیری نداشته است و در بین هیچ یک از قطارها اختلاف معناداری مشاهده نشد. اگرچه مطالعات نشان داده‌اند که برای جابجایی وزن بیشتر مسافران به نیروی بیشتری برای سرعت گرفتن نیاز است [۱۹]، اما احتمالاً به دلیل اینکه این اختلاف وزن بین زمان شلوغ و خلوت زیاد نبوده است، تفاوت‌های معناداری ایجاد نشد.

جدول ۳ نشان می‌دهد که میزان مواجهه یا همان ELF-MFs در خط ۵ با دیگر خطوط اختلاف معنادار دارد و این امر احتمالاً ناشی از همان نوع منبع تغذیه قطارها است؛ چرا که نتایج (جدول ۳) اختلاف معناداری را بین خطوط داخل شهری که از ریل سوم تغذیه می‌کنند، نشان نداد. در مطالعه‌ای که در کشور ایتالیا توسط کونتسا و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد، قطارهای AC و DC از نظر میدان مغناطیسی مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در ارتفاع ۱ متری از کف واگن راهبر، حداکثر ELF-MFs در قطارهای AC به ترتیب برابر μT ۹/۳ و در قطارهای DC μT۴ بود. اگرچه مدل قطارها در این مطالعه کاملاً مشخص نبود، اما به هر حال نتایج نشان می‌دهد که چگالی شار مغناطیسی مشابهی با مطالعه حاضر گزارش شده است. این امر به ویژه در قطارهای AC نمایان‌تر است [۲].

چادوییک و لوست (۱۹۹۸) مطالعاتی بر روی قطارها و سیستم‌های حمل‌ونقل برقی انجام دادند. این دو میزان میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم را تا μT۲۰ گزارش کردند. این مطالعه به نتیجه‌گیری مشابهی در ارتباط با مواجهه راهبران مبنی بر "مواجهه کمتر از حدود توصیه‌شده" رسیده‌اند. هرچند نتایج چگالی شار مغناطیسی در این مطالعه بیشتر بود [۳]. ناکاگاوا و کوانا (۱۹۹۳) ELF-MFs را در قطارهای AC و DC مورد ارزیابی قراردادند. چگالی شار مغناطیسی در این قطارها به ترتیب μT ۱۰۰- ۰/۲ و μT ۵-۰/۵ گزارش شد. نتایج این مطالعه گویای این مطلب است که ELF-MFs در قطارهای AC بالاتر از قطارهای DC می‌باشد؛ هرچند مقدار حداکثر گزارش‌شده در این مطالعه برای قطارهای AC بیشتر از مطالعه حاضر است، اما این نتایج نیز همچون جدول ۱ و ۴ مطالعه حاضر نشان می‌دهند، که در هیچ یک از حالت‌های مواجهه، مقدار پرتو گیری بیش از حد مجاز نبوده است. این حدود را می‌توان هم از لحاظ حدود مواجهه کشوری [۱۶] و هم از لحاظ حدود مواجهه سازمان‌های همچون ACGIH [۲۰] وکمیسیون بین‌المللی حفاظت از پرتوهای غیریونیزان (ICNIRP) [۲۱] (ACGIH: mT ۱ و ICNIRP) مد نظر داشت. در مطالعه‌ای که با حمایت سازمان تحقیقات فدرال میدان مغناطیسی بر روی انواع مختلفی از وسایل برقی انجام شد، حداکثر مقدار مربوط به قطارهای AC (μT ۵) بود که با آنچه در قطارهای داخل شهری تهران (μT ۵/۴) مورد سنجش قرار گرفت، مطابقت دارد [۴].

به طور کلی سطح مواجهه راهبران قطار با ELF-MFs از دیگر مشاغل مثل مهندسین برق کمتر بود [۲۲] و احتمالاً همین امر دلیل اصلی تعداد کم مطالعات اپیدمیولوژیک در ارتباط با اثرات این میدان‌ها بر راهبران قطار می‌باشد.

سازمان بهداشت جهانی در گزارش خود در ارتباط با اثر این میدان‌ها بر سلامتی بدین نکته اشاره می‌کند که مواجهه با میدان مغناطیسی با چگالی شار بیشتر از μT ۰/۴ ریسک

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.21859/johe-02048]

لوسمی را ۲ برابر می‌کند [۱۳]، هرچند مطالعات دیگر مقدار ۰/۳ μT را برای ریسک ۲ برابری گزارش نموده‌اند [۲۳]. از این رو مواجهه راهبران قطار با مقادیر بالاتر از ۰/۳ (برای مثل ۹ μT در رهبران خط ۵) می‌تواند زنگ خطری باشد برای خطرات احتمالی که متوجه راهبران قطار می‌باشد؛ هر چند همان‌گونه که نتایج نشان داد، میدان مغناطیسی در هیچ یک از شرایط و نقاط بالاتری از ۱ mT گزارش نشد و تمام مقادیر بسیار کوچک‌تر از این مقدار بودند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که در هیچ یک از حالات مواجهه در قطارهای مختلف، میزان مواجهه از حدود استاندارد کشوری و همچنین بین‌المللی فراتر نرفته است. البته این موضوع نباید مبنایی بر تصمیم‌گیری در مورد بی‌خطر بودن این میدان‌ها باشد. مطالعات زیادی وجود دارد که اثرات مختلفی مثل لوسمی و بیماری هادگین را در افرادی که در سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی (برقی) در مواجهه با میزان‌های پایینی از میدان بودند، گزارش کردند و همین امر نشان‌دهنده اهمیت موضوع مطالعه و بررسی مواجهه شغلی با میدان‌های مغناطیسی در صنایع ریلی می‌باشد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر حاصل طرح تحقیقاتی با کد طرح ۲۰۴۳۹ و با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی تهران می‌باشد. از تمامی کسانی که در انجام این طرح مشارکت به عمل آوردند و همچنین از متصدیان شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه به خصوص بخش بهداشت حرفه‌ای تشکر می‌آید. قابل‌ذکر است که نظرات ارائه شده در مقاله صرفاً نظر نویسندگان است و منعکس کننده نظر شرکت مترو نیست.

REFERENCES

1. Halgamuge MN, Abeyrathne CD, Mendis P. Measurement and analysis of electromagnetic fields from trams, trains and hybrid cars. Radiat Prot Dosimetry. 2010;141(3):255-68. DOI: 10.1093/rpd/ncq168 PMID: 20554578
2. Contessa GM, Falsaperla R, Brugaletta V, Rossi P. Exposure to magnetic fields of railway engine drivers: a case study in Italy. Radiat Prot Dosimetry. 2010;142(2-4):160-7. DOI: 10.1093/rpd/ncq270 PMID: 21071462
3. Chadwick P, Lowes F. Magnetic fields on British trains. Ann Occup Hyg. 1998;42(5):331-5. PMID: 9729921
4. Dietrich FM, Jacobs WL. Survey and assessment of electric and magnetic field (EMF) public exposure in the transportation environment. Electric Research and Management, Inc., State College, PA (United States); John A. Volpe National Transportation Systems Center, Cambridge, MA (United States), 1999.
5. Nakagava M, Koana T. Electricity and magnetism in biology and medicine. San Francisco: San Francisco Press; 1993.
6. Ptitsyna NG, Kopytenko YA, Villoresi G, Pfluger DH, Ismaguilov V, Iucci N, et al. Waveform magnetic field survey in Russian DC and Swiss AC powered trains: a basis for biologically relevant exposure assessment. Bioelectromagnetics. 2003;24(8):546-56. DOI: 10.1002/bem.10135 PMID: 14603474
7. Minder CE, Pfluger DH. Leukemia, brain tumors, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees. Am J Epidemiol. 2001;153(9):825-35. PMID: 11323311
8. Roosli M, Lortscher M, Egger M, Pfluger D, Schreier N, Lortscher E, et al. Leukaemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: cohort study of Swiss railway employees. Occup Environ Med. 2007;64(8):553-9. DOI: 10.1136/oem.2006.030270 PMID: 17525094
9. Minder CE, Pfluger P. Extremely low frequency electromagnetic field measurements (ELF-EMF) in Swiss railway engines. Radiat Protect Dosimet. 1993;48(4):351-4.
10. Alfredsson L, Hammar N, Karlehagen S. Cancer incidence among male railway engine-drivers and conductors in Sweden, 1976-90. Cancer Causes Control. 1996;7(3):377-81. PMID: 8734832
11. Ptitsyna NG, Villoresi G, Kopytenko YA, Kudrin VA, Tyasto MI, Kopytenko EA, et al. Coronary heart diseases: assessment of risk associated with work exposure to ultralow-frequency magnetic fields. Bioelectromagnetics. 1996;17(6):436-44. DOI: 10.1002/(SICI)1521-186X(1996)17:6<436::AID-BEM2>3.0.CO;2-4 PMID: 8986360
12. Pfluger D, Villoresi G, Ptitsyna N, Temuriantz N, Martinyuk V, Kopytenko Y, et al., editors. Increased mortality for myocardial infarction in Swiss railway workers. Millennium international workshop on biological effects of electromagnetic fields; 2000; Crete, Greece.
13. World Health Organization. Extremely low frequency fields. WHO Press, 2007.
14. Tynes T, Andersen A. Electromagnetic fields and male breast cancer. Lancet. 1990;336(8730):1596. PMID: 1979420
15. Floderus B, Tornqvist S, Stenlund C. Incidence of selected cancers in Swedish railway workers, 1961-79. Cancer Causes Control. 1994;5(2):189-94. PMID: 8167266
16. Ministry of Health and Medical Education. Occupational Exposure Limits. Tehran: Institute of Environmental Health Sciences; 2012.
17. Exposure Limits Non-Ionization Radiation. Institute of Standards & Industrial Research of Iran, 2006.
18. Tanaka K, Mizuno Y, Naito K. Measurement of power frequency electric and magnetic fields near power facilities in several countries. IEEE Transactions on Power Delivery. 2011;26(3):1508-13.
19. Ptitsyna N, Ponzetto A, editors. Magnetic fields encountered in electric transport: Rail systems, trolleybus and cars. Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE), 2012 International Symposium on; 2012: IEEE.
20. TLVs and BEIs, Kemper Meadow Drive. American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2012; Cincinnati, Ohio.
21. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physic. 2010;99(6):818-36.
22. Barsam T, Monazzam MR, Haghdoost AA, Ghotbi MR, Dehghan SF. Effect of extremely low frequency electromagnetic field exposure on sleep quality in high voltage substations. Iranian J Environ Health Sci Eng. 2012;9(1):15. DOI: 10.1186/1735-2746-9-15 PMID: 23369281
23. Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. Childhood Leukemia-EMF Study Group. Epidemiology. 2000;11(6):624-34. PMID: 11055621

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.21859/johe-02048]

Journal of Occupational Hygiene Engineering **Original Article**

No 8, Volume 2, Issue 4

Occupational Exposure Assessment of Tehran Metro Drivers to Extremely Low Frequency Magnetic Fields

Mohammad Reza Monazzam [1], Hamed Jalilian [2,*], Yahya Khosravi [3], Kamran Najafi [4], Zahra Zamanian [5]

[1] Professor of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2] Ph.D. Student of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, Research Center for Health, Safety and Environment (RCHSE), Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran
[4] Master of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[5] Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

** Corresponding author: Hamed Jalilian, Department of Occupational Health Engineering, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran. E-mail: jalilianh@hotmail.com*

DOI: 10.21859/johe-02048

Received: 03.14.2016

Accepted: 05.08.2016

Keywords:
Extremely Low Frequency Magnetic Field
Metro Drivers
Occupational Exposure

How to Cite this Article:
Monazzam MR, Jalilian H, Khosravi Y, Najafi K, Zamanian Z. Occupational Exposure Assessment of Tehran Metro Drivers to Extremely Low Frequency Magnetic Fields. J Occup Hyg. 2016;2(4):58-64. DOI: 10.21859/johe-02048

© 2016 Hamedan University of Medical Sciences.

Abstract

Introduction: Occupational exposure to Extremely Low Frequency Magnetic Fields (ELF-MFs) in train drivers is an integral part of the driving task and creates concern about driving jobs. The present study was designed to investigate the occupational exposure of Tehran train drivers to extremely low frequency magnetic fields.

Methods: In order to measure the driver's exposure, from each line, a random sample in AC and DC type trains was selected and measurements were done according to the IEEE std 644-1994 using a triple axis TES-394 device. Train drivers were then compared with national occupational exposure limit guidelines.

Results: The maximum and minimum mean exposure was found in AC external city trains (1.2±1.5 μT) and DC internal city trains (0.31±0.2 μT), respectively. The maximum and minimum exposure was 9 μT and 0.08 μT in AC trains of line 5, respectively. In the internal train line, maximum and minimum values were 5.4 μT and 0.08 μT in AC trains.

Conclusions: In none of the exposure scenarios in different trains, the exposure exceeded the national or international occupational exposure limit guidelines. However, this should not be the basis of safety in these fields.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.21859/johe-02048]