

تحلیل نقش سیستم‌های مترو: چالش‌های ایمنی، عملکرد و مدیریت یکپارچه

حسین فاتحی^۱، بهرام آزموه املشی، علی نوروز فروش
^۱ کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه فضیلت سمنان، ایران.

نام نویسنده مسئول:

حسین فاتحی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۷

چکیده

مقاله حاضر به بررسی، تحلیل نقش سیستم‌های مترو: چالش‌های ایمنی، عملکرد و مدیریت یکپارچه می‌پردازد. با توجه به ماهیت کیفی بودن تحقیق برای مطالعه روش تحلیل محتوا انتخاب شد. تحلیل محتوا یکی از مهمترین روشهای تحقیق کیفی است که در پی شناخت اطلاعات به تحلیل آنها می‌پردازد. شهرنشینی شتابان در کشورهای در حال توسعه، که پیش‌بینی می‌شود جمعیت شهری تا سال ۲۰۵۰ به ۵.۵ میلیارد نفر برسد، فشار بی‌سابقه‌ای بر منابع و محیط‌زیست وارد کرده و چالش‌هایی چون گسترش کلبه‌ی بی‌رویه، ترافیک، آلودگی و الگوهای ناکارآمد کاربری زمین را به وجود آورده است. در این میان، توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی به‌ویژه مترو، به‌عنوان راه‌حلی کلیدی برای دستیابی به توسعه پایدار شهری و مدیریت این چالش‌ها شناخته می‌شود. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مترو با بهبود دسترسی، کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و ترویج توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD)، نه تنها به کاهش تراکم مراکز شهری و بازتوزیع جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی کمک می‌کند، بلکه با تشویق تراکم بالاتر و استفاده کارآمد از زمین، بستری برای رشد اقتصادی و شمول اجتماعی فراهم می‌آورد. با این حال، خود این سیستم‌ها با چالش‌های عملیاتی مهمی از جمله ایمنی (مانند حواس‌پرتی شناختی رانندگان و طراحی محیط ایستگاه‌ها) و ارزیابی عملکرد روبرو هستند. این پژوهش بر لزوم مدیریت یکپارچه و رویکردی همه‌جانبه شامل به کارگیری روش‌های کاربردی برای پایش رانندگان، طراحی محیطی ایمن و فراگیر و تدوین شاخص‌های ارزیابی عملکرد جامع برای تضمین کارایی و پایداری سیستم مترو در بلندمدت تأکید می‌نماید.

واژگان کلیدی: مترو، شهرنشینی، حمل و نقل، ایمنی مترو، مدیریت.

مقدمه

روند شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه به سرعت در حال افزایش است، به طوری که پیش‌بینی می‌شود جمعیت ساکنان شهری از ۲۰۰ میلیون نفر در سال ۲۰۰۰ به ۵.۵ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰ برسد (Haddad I et al, 2024). رشد جمعیت باعث فشار بر منابع زمین، تخریب محیط زیست، حمل‌ونقل ناپایدار و توسعه نامنظم اراضی شهری می‌شود که اغلب از رشد جمعیت پیشی می‌گیرد و نشان می‌دهد که اراضی شهری سریع‌تر از جمعیت در حال افزایش هستند (Liu X et al, 2020). توسعه پایدار حیاتی است؛ با این حال، رشد سریع و افزایش جمعیت چالش‌هایی ایجاد می‌کند که نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت شهری دقیق برای رشد هماهنگ دارند (Sharma A et al, 2023)، دشواری افزایش جمعیت یک شهر تشدید شده است و برآورد می‌شود جمعیت آن تا سال ۲۰۳۰ به تقریباً ۳۹ میلیون نفر برسد که منجر به دو برابر شدن جمعیت شهری طی دو دهه خواهد شد. طبق، تغییرات در کاربری و پوشش زمین (LULC) ناشی از شهری شدن، جنگل‌زدایی و توسعه کشاورزی بر اقلیم، تنوع زیستی و آلودگی تأثیر داشت (Egidi Get al 2020). افزایش ترافیک خودروها منجر به ازدحام و آلودگی هوا می‌شود. و الگوهای ناکارآمد استفاده از زمین، که باعث بروز مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی قابل توجهی می‌شوند (Al-Mousawi H et al, 2024). راه‌حل‌های حمل‌ونقل شهری انرژی و زمان پسند باید در اولویت قرار گیرند اگر شهرها قصد دارند طراحی شهری و رقابت اقتصادی خود را بهبود بخشند (Umoh AA et al, 2024). توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل (TOD) برای شکوفایی کلان‌شهرها و کیفیت زندگی بسیار مهم است. پتر کلتورپ این موضوع را در اواخر دهه ۱۹۸۰ شناسایی کرد و به اصول TOD منجر شد. استفاده از زمین با تراکم بالا و پایدار در نزدیکی مراکز حمل‌ونقل را ترویج می‌دهد و دسترسی دوطرفه به محل‌های کار و مناطق تفریحی و خرید را تشویق می‌کند. سیستم‌های اولیه مبتنی بر حمل‌ونقل تمرکز بر دسترسی نداشتند؛ با این حال، در سال‌های اخیر، آن‌ها بهبود یافته‌اند. گسترش سیستم‌های متروی شهری منجر به ایجاد جوامع قابل زندگی و پویا با کیفیت بالاتر زندگی شده است، زیرا ارزش زمین و تجمع کسب‌وکارها در مناطق مجاور افزایش یافته و سیستم‌های حمل‌ونقل شهری را پویاتر کرده است (Zamir KR et al, 2014).

اهمیت و ضرورت پژوهش

سیستم‌های مترو، می‌توانند با بهبود دسترسی و کاهش هزینه‌های حمل و نقل، به گسترش شهری کمک کنند، که ممکن است توسعه در مناطق کمتر قابل دسترس قبلی را تشویق کند. این می‌تواند منجر به بازتوزیع جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی از مراکز شهری شلوغ به حومه‌ها شود و احتمالاً باعث افزایش قیمت زمین و تغییر الگوهای جمعیتی شود (Yu H et al 2024). مترو تأثیر قابل توجهی بر گسترش شهری و توسعه اجتماعی-اقتصادی داشته است، زیرا ارتباطات را بهبود بخشیده و توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی را تشویق کرده است. این موضوع موجب افزایش مهاجرت، شهرنشینی شده است که مهاجران شهری را جذب کرده و تراکم در مرکز را کاهش داده است (Mann A et al 2022). سیستم‌های حمل و نقل عمومی کارآمد مانند متروی می‌توانند از تراکم جمعیتی بالاتر و توسعه‌های متنوع پشتیبانی کنند، که جنبه‌های کلیدی مدل شهر فشرده برای مدیریت گسترش شهری هستند (Shawly H et al, 2022). این توسعه‌ها می‌توانند به استفاده مؤثرتر از زمین و منابع منجر شوند و احتمالاً رشد اقتصادی و شمول اجتماعی را با فراهم کردن دسترسی برابر به حمل و نقل و امکانات شهری تسهیل کنند (Enwin AD et al 2023).

در شهرهای پرجمعیت، سیستم‌های مترو دسترسی‌پذیری را افزایش می‌دهند و جایگزینی قابل قبول برای سفرهای جاده‌ای فراهم می‌کنند که مستلزم بازبینی برنامه‌ریزی شهری و توسعه زیرساخت‌ها با هدف کاهش گسترش بی‌رویه شهری از طریق سیستم‌های حمل و نقل مانند متروی است. سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی، مانند مترو در شهرهای بزرگ، برای پاسخ به افزایش تقاضا برای حمل‌ونقل معرفی شده‌اند. با این حال، با وجود ظرفیت‌های بالای خود، این سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی با چالش‌هایی مواجه هستند. به عنوان مثال، در حالی که برای مثال میانگین روزانه تعداد مسافران یک متروی شهری از ۱۸۶ میلیون به ۲۰۵۹ میلیون افزایش یابد، تعداد مسافران روزانه اتوبوس‌ها از ۴۰۴۲ میلیون به ۲۰۵۴ میلیون کاهش می‌یابد (Ding, X et al, 2023).

روش پژوهش

برای گردآوری داده‌ها، از تکنیک اسنادی و کتابخانه‌ای استفاده می‌شود و با رجوع به منابع مرتبط در این زمینه تلاش می‌شود تا ابعاد مختلف موضوع شناسایی و بیان شود برای تحلیل داده‌ها نیز از روش کیفی استفاده شده است. لذا هر چیزی قابل محتوا است و هر پدیده‌ای تحلیلی می‌تواند محتوا شود در تحلیل محتوای کیفی مفاهیمی وجود دارد که در متن بسیار به آن اشاره می‌شود. از جمله این مفاهیم محتوای آشکار و نهفته واحد تحلیل، واحد معنا، فشردگی خلاصه سازی حیطه محتوا کد طبقه و تم است. هنگامی که متن با جنبه‌هایی از محتوا سر و کار دارد، اجزایی آشکار را توصیف می‌کند و بر عکس زمانی که متن با جنبه‌های ارتباطی محتوا سر و کار دارد و تحلیل گر درگیر تفسیر معانی متن است به تحلیل محتوای نهفته اشاره می‌شود. واحد تحلیل شامل تنوع وسیعی از نمونه‌های مطالعه است. در واقع جامعه و یا هر عبارت یا کلمه نوشته شده در متن نسخه برداری شده می‌تواند به عنوان واحد تحلیل مورد توجه قرار گیرد. واحد معنای کلمات یا عباراتی هستند که به معنای اصلی مربوط هستند. منظور از تنزل یا فشردگی کم کردن اندازه متن بدون تغییر در کیفیت آنچه در متن وجود دارد و خلاصه سازی فرایند کوتاه کردن متن است؛ در حالی که هسته اصلی متن حفظ شود. حیطه محتوا بخشی از متن بر اساس فرضیه‌ها و یا بخش‌هایی از متن است که به عنوان خاصی در یک راهنمای مصاحبه و یا مشاهده اشاره دارد کد بر چسب واحدی معنایی است و طبقه گروهی از محتوا است که اشتراکات را به مشارکت می‌گذارد. در واقع هسته اصلی شکل تحلیل محتوای کیفی طبقات است و سرانجام تم را یک باز رخداده منظم در یک طبقه معرفی می‌کنند (ادیب حاج باقری و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۵۶).

یافته‌های پژوهش

حوادث مترو

حواس پرتی هنگام رانندگی به عنوان یکی از خطرناک‌ترین حالات فیزیولوژیکی برای رانندگان شناخته می‌شود. این حالت زمان واکنش رانندگان و توانایی آن‌ها در کنترل وسیله نقلیه را مختل می‌کند، که به طور قابل توجهی احتمال وقوع تصادفات را افزایش می‌دهد. علاوه بر تأثیر بر ایمنی جاده‌ها، این وضعیت فیزیولوژیکی مضر همچنین ایمنی سیستم‌های ریلی را به خطر می‌اندازد. مطالعات گذشته نشان می‌دهند که رانندگان قطار که دچار حواس پرتی هستند، احتمال بیشتری دارد که حوادثی مانند برخورد یا انحراف از مسیر را ایجاد کنند، به‌ویژه رانندگان مترو. به عنوان مثال، در ۱۵ دسامبر ۲۰۲۳، یک راننده متروی حواس پرت در پکن نتوانست به موقع به سیگنال هشدار خرابی پاسخ دهد و منجر به برخورد از عقب شد که بیش از ۵۰۰ مجروح بر جای گذاشت، پیامدهای شدید حوادث مترویی که توسط حواس پرتی رانندگی ایجاد می‌شوند، اهمیت پیشگیری از حواس پرت شدن رانندگان مترو را دوچندان می‌کند. حواس پرتی‌های رانندگی به طور معمول به چهار دسته بینایی، شنوایی، دستی و شناختی تقسیم می‌شوند که مطابق با استفاده از دید، شنوایی، دست‌ها و تمرکز ذهن از وظایف رانندگی است (Li, N et al, 2015). در میان این انواع، حواس پرتی‌های شناختی مانند خیال پردازی، سرگردانی ذهن و چالش‌های تصمیم‌گیری به ویژه دشوار برای تشخیص هستند، زیرا هیچ رفتار آشکار (مثلاً صحبت کردن، پیام دادن یا نوشیدن) یا تغییر احساسی بر روی رانندگان در طول حواس پرتی‌های شناختی ظاهر نمی‌شود. در عملیات مترو دستی، رانندگان مجبورند به طور مکرر وظایف یکنواختی را در محیط‌های بسته، مثلاً تونل‌های زیرزمینی، انجام دهند. بنابراین، حواس پرتی‌های شناختی در میان رانندگان مترو بیشتر از سایر گروه‌های رانندگی مشاهده می‌شود. برای کاهش حواس پرتی رانندگی و اطمینان از ایمنی عملیاتی، شرکت‌های مترو اقدامات و قوانین مختلفی را برای مقابله با حواس پرتی‌های بینایی، شنوایی و دستی اجرا کرده‌اند (Liu, H et al, 2025).

برای حل چالش‌ها، مطالعات توصیه می‌کنند از سیگنال‌های فیزیولوژیکی برای تشخیص حواس پرتی شناختی بهره‌برداری شود. در میان سیگنال‌های فیزیولوژیکی، الکتروانسفالوگرام (EEG) و الکتروکاردیوگرام (ECG) به شدت با حواس پرتی شناختی مرتبط هستند. بنابراین، تحلیل گران می‌توانند روش‌هایی برای شناسایی حواس پرتی شناختی با استفاده از سیگنال‌های EEG

یا ECG توسعه دهند (Liu, H et al, 2025). برای مثال، وو و همکاران (۲۰۲۴)، از مدل GRU-EEGNet مبتنی بر سیگنال‌های EEG استفاده کردند و به دقت ۷۸٪ دست یافتند (Wu, X et al, 2024). طاهری صدر و همکاران (۲۰۲۴)، مدل یادگیری عمیقی توسعه دادند و ۹۵.۵۱٪ از حواس‌پرتی‌های رانندگان را با استفاده از سیگنال‌های ECG به‌درستی طبقه‌بندی کردند. در حالی که داده‌های EEG به عنوان داده‌هایی که با حواس‌پرتی رانندگی به‌طور نزدیکی مرتبط هستند تأیید شده‌اند، داده‌های ECG نیز مورد توجه تحلیل‌گران قرار دارند (Taherisadr, M et al, 2018). در مقایسه با سایر سیگنال‌های فیزیولوژیکی، داده‌های ECG می‌توانند توسط دستگاه‌های سبک و پوشیدنی اندازه‌گیری شوند که نسبت سیگنال به نویز بالایی دارند و در آزمایش‌های رانندگی حداقل تهاجمی هستند، که این امر ECG را برای شناسایی حواس‌پرتی شناختی محبوب‌تر و عملی‌تر می‌کند (Han, S. Y et al, 2019). این موضوع به خصوص اهمیت دارد زیرا کابین قطار مترو فضایی کوچک و محدود است. دستگاه‌های سنتی EEG، طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک عملکردی (fNIRS)، تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) و سایر دستگاه‌های جمع‌آوری فیزیولوژیکی یا نسبتاً بزرگتر هستند یا نیاز به تماس حساس با پوست راننده دارند. این دستگاه‌ها ممکن است بر عملکرد راننده تأثیر گذاشته و پاسخ‌های فیزیولوژیکی غیرقابل اعتماد در طول اندازه‌گیری ارائه دهند. سیگنال‌های ECG همچنین می‌توانند راه‌حلی برای تشخیص حواس‌پرتی شناختی رانندگان مترو ارائه دهند، حتی اگر کارهای مشابه در مطالعات گذشته یافت نشده باشد (Liu, H et al, 2025).

از دیگر موارد اتفاق افتاده در حوادث مترو می‌توان قطع ناگهانی تأمین برق در بخش عملیاتی از پارک مرکزی در خط ۲ متروی شانگهای، این بخش را تا ۵ ساعت فلج کرد و منجر به هشدار زود هنگام جریان مسافر بزرگ کلاس اول شد؛ و تجهیزات پله برقی خط ۴ متروی پکن خراب شد و مسافران سقوط کردند که منجر به حادثه ازدحام شد و یک نفر جان باخت، دو نفر به شدت آسیب دیدند و ۲۶ نفر آسیب جزئی دیدند؛ هنگامی که قطار در یک تونل به دلیل جرقه در واگن خط ۸ متروی گوانگژو متوقف شد، مسافران ترسیده فرار از تونل را آغاز کردند نام برد. با تحلیل عمیق موارد قبلی حوادث، می‌توان مشاهده کرد که ریسک عملیات به صورت زنجیره‌ای از وقوع تا آخرین حادثه منتقل می‌شود. بررسی زنجیره ریسک و تشخیص و پیشگیری به موقع آن بسیار اهمیت دارد. در صورت بروز خرابی یا حادثه در طول دوره‌های عملیاتی، فرآیند انتقال نشان‌دهنده ساختار زنجیره‌ای خواهد بود. ایمنی عملیات مترو به یک مشکل دشوار تبدیل شده است که باید با آن مواجه شد (Ding, X et al, 2023). مفهوم ارتباط زنجیره ریسک از حوزه‌های مدیریت پروژه، تأمین مالی تجاری، رسانه، افکار عمومی و فرهنگ نشأت می‌گیرد. تحقیقات کمی در زمینه مدیریت ایمنی حمل و نقل ریلی وجود دارد. چپمن (Chapman CB et al, 1987)، اولین کسی بود که ایده زنجیره ریسک را مطرح کرد و سپس نظریه مدیریت ریسک در حوزه‌های مهندسی به کار گرفته شد. کانگاری و همکاران (Kangari R et al, 1995)، زنجیره ریسک را از دیدگاه زنجیره تأمین مطالعه و تأیید کردند و پیشنهاد دادند که زنجیره ریسک، مجموعه‌ای از اثرات زنجیره‌ای است که ناشی از یک رابطه منطقی می‌باشد و ریسک‌های مرتبط با یکدیگر را شکل می‌دهد.

علاوه بر این مطالعات مختلفی جنبه‌های شناسایی خطر را مورد بررسی قرار داده‌اند. به عنوان مثال، هی (He L (2018)، روش بهینه‌سازی سلسله‌مراتبی شناسایی و ارزیابی خطرات در عملیات مترو را مطالعه کرد، سیستم شاخص‌ها را کمی‌سازی نمود و خطاهای ناشی از ذهنی بودن را کاهش داد. برخی محققان به دنبال منابع خطر از طریق روش درخت خطا بودند. و مطالعه یانگ (Yang QM (2018) و دیگران روش شبکه بیزی را وارد شناسایی خطر در ایستگاه‌های مسافری راه‌آهن کردند و نظریه فازی عدم قطعیت را به عنوان یک مکمل قوی و بهبوددهنده برای تحلیل ایمنی سیستم‌های پیچیده ترکیب کردند. برخی از پژوهشگران تلاش کردند کاستی‌های الگوریتم فوق را با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی بهبود بخشند. ایده اصلی آن‌ها این است که عوامل کلیدی را از میان چندین ویژگی شناسایی کرده و منابع خطر را تعیین کنند. بر اساس مطالعات قبلی در مورد زنجیره ریسک، لیو (Liu X et al (2012)، داده‌های خروج از ریل را از پایگاه داده حوادث تجهیزات ریلی FRA برای دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۰ تحلیل کرد و فراوانی وقوع بر اساس علت و تعداد قطارهای واژگون شده را بررسی نمود. تحلیل‌های آماری برای بررسی اثرات علت حادثه انجام شد، که نشان داد ریل‌ها یا جوش‌های شکسته دلیل اصلی خروج از ریل در مسیرهای

اصلی، انبار و مسیرهای جانبی هستند. این تحلیل‌ها می‌توانند روشی راهنمایی‌کننده برای شناسایی علل حوادث ترافیک ریلی ارائه دهند.

ایمنی مترو (نور پردازی)

ایستگاه‌های مترو محیط‌های پیچیده‌ای هستند که در آن نورپردازی نقش حیاتی در تسهیل هدایت و تأثیرگذاری بر ادراکات ایمنی ایفا می‌کند. این ادراکات می‌توانند در مناطق مختلف ایستگاه، مانند سکوی قطار و ورودی، متفاوت باشند. علاوه بر این، تجربه‌های ایمنی به هیچ وجه جهانی نیستند؛ برای مثال، افراد دارای نقص بینایی ممکن است ایمنی را متفاوت از افرادی با بینایی طبیعی درک کنند. درک اینکه چگونه نورپردازی بر ادراکات ایمنی تأثیر می‌گذارد، می‌تواند بینش‌های ارزشمندی برای ایجاد ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی فراگیرتر و ایمن‌تر برای کاربران ارائه دهد. با این حال، وضوح کمی وجود دارد که آیا فراتر از جامعه تخصصی نورپردازی، بحث فعالی در مورد انتخاب رنگ نور، مانند رنگ‌های گرم‌تر، سردتر یا خنثی وجود دارد یا اینکه شهرهای مختلف عمداً تصمیمات متفاوتی در این زمینه می‌گیرند. درک این تفاوت‌ها ضروری است، به ویژه هنگامی که برنامه‌ریزان شهری و طراحان، نگرانی‌های ایمنی را با صرفه‌جویی در انرژی و سایر اهداف پایداری متعادل می‌کنند (Ceccato, V et al, 2025).

برای ایجاد شرایط روشنایی مناسب، برخی استانداردها سطوح مناسب روشنایی، کیفیت رنگ، توزیع و انواع نورپردازی را برای بهبود راحتی دیداری، عملکرد و حمایت از افراد در فعالیت‌های مختلف پیشنهاد می‌کنند. با این حال، این استانداردها ممکن است همیشه نیازهای کاربران را برآورده نکنند، زیرا نیازهای روشنایی بر اساس ویژگی‌ها و ترجیحات فردی متفاوت است. روشنایی «خوب» با بهبود دید و کاهش خطر حوادث یا جرم، ایمنی را افزایش می‌دهد. رنگ و روشنایی از عوامل مهمی هستند که بر درک ایمنی تأثیر می‌گذارند. ده‌ها سال تحقیق نشان داده است که چگونه روشنایی (شدت، جهت، توزیع، ارتفاع و رنگ) بر ایمنی تأثیر می‌گذارد، از جمله روی وقوع حوادث و ادراک ایمنی فردی (Bullough et al., 2013).

رنگ نمایی یا ظاهر رنگ نور موضوع بحث و گفتگو بوده است. رنگ نور بر درک روشنایی اتاق یا صحنه تأثیر می‌گذارد، به طوری که نور آبی معمولاً در همان سطح روشنایی اندازه‌گیری شده نسبت به نور کهربایی-نارنجی روشن‌تر به نظر می‌رسد (Bullough et al., 2013). به عنوان مثال، نور آبی تأثیر مثبتی بر رفتار فردی در ایستگاه‌ها داشته است. برای مثال، نصب نور آبی منجر به کاهش ۷۴٪ خودکشی‌ها (بازه اطمینان: ۴۸-۸۷٪) در ایستگاه‌هایی شد که چراغ‌های آبی نصب شده بودند، بدون اینکه افزایش سیستماتیک خودکشی‌ها در ایستگاه‌های نزدیک مشاهده شود (Matsubayashi et al., 2014). نور با ظاهر گرم، معمولاً به رنگ‌هایی مانند نارنجی، کهربایی یا زرد شناخته می‌شود و دمای رنگ آن بین ۱۷۰۰ تا ۳۰۰۰ کلوین است، باعث آرامش و تعامل اجتماعی می‌شود و مناسب محیط‌های اجتماعی یا آرام‌بخش است (Keller, 2017). این نوع نور اغلب با شمع‌ها یا غروب خورشید مرتبط است و معمولاً برای ایجاد فضاهای دنج و صمیمی استفاده می‌شود و آن‌ها را برای محیط‌های اجتماعی یا آرام‌بخش ایده‌آل می‌سازد. در مقابل، نور سرد برای موقعیت‌هایی که باید هوشیار بمانیم، تمرکز کنیم یا فعال باشیم، مناسب‌تر است (Augustin, 2021). مطالعات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است، مطالعه چکاتو و همکاران (۲۰۲۵)، که به بررسی ارزیابی ادراک ایمنی و شرایط روشنایی در یک ایستگاه مترو پرداختند نشان داد که «ایمنی» با «راحتی» و «خوشایندی» مرتبط است و کمتر با پاسخ‌های عاطفی مرتبط با «رنگ» ارتباط دارد. در سکوها، نورپردازی خنثی کم‌نور باعث کاهش ادراک ایمنی نسبت به خط پایه خنثی نمی‌شود. در گذرگاه‌ها، کاهش نمرات ایمنی تحت نورپردازی درمان‌شده حتی پس از کنترل جنسیت شرکت‌کنندگان، مواجهه با جرایم، ناتوانی‌ها و ترتیب آزمون همچنان قابل توجه باقی می‌ماند. شرکت‌کنندگانی که دارای اختلالات بینایی بودند، به طور مداوم ایمنی درک شده پایین‌تری گزارش کردند، به‌ویژه در گذرگاه‌هایی با نورپردازی کم و رنگی. این مطالعه بر اهمیت طراحی نورپردازی فراگیر تأکید دارد و خواستار تحقیقات تجربی بیشتر CPTED درباره حداقل آستانه‌های روشنایی می‌شود و بر نیاز به جدا کردن اثرات رنگ از شدت نور هنگام ارزیابی تأثیر نور بر ایمنی تأکید می‌کند (Ceccato, V et al, 2025).

ارزیابی عملکرد سیستم‌های مترو

شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های مترو وجود دارد؛ به علاوه پژوهش‌های کمتری به بررسی استانداردهای بهره‌وری که مسئول بهبود عملکرد سیستم‌های حمل و نقل عمومی هستند، پرداخته شده‌اند. دلایل اصلی این موضوع عبارتند از دشواری در دسترسی به داده‌ها و نبود تکنیک‌های ارزیابی یا شاخص‌های عملکرد خاص سیستم مترو. با این حال، برخی از مطالعات قبلی عواملی را شناسایی کرده‌اند که ممکن است به بهبود عملکرد سیستم مترو کمک کنند. در یک مطالعه شاخص‌های ارزیابی عملکرد سیستم‌های مترو در چهار شاخص ارائه شده‌اند، که شامل اندازه جمعیت شهری، طول شبکه سیستم مترو، حجم مسافران سالانه و قیمت بلیت است، که آن‌ها را شاخص‌های مؤثری برای ارزیابی کارایی سیستم‌های مترو از منظر اجتماعی، اقتصادی و فنی می‌داند (Chu X et al, 1992).

در مطالعه‌ای دیگر، رابطه بین فراوانی سیستم مترو و کارایی آن مورد سنجش قرار گرفت، زیرا افزایش دوره‌های فراوانی نشان‌دهنده میزان تمایل مسافران به استفاده از سیستم و اتکا به آن برای حمل و نقل و انجام سفرهای روزانه است. تقاضا برای بیشتر سیستم‌های ریلی مترو سالانه در حال افزایش است. با افزایش تقاضا برای حمل و نقل عمومی، فراوانی‌ها افزایش می‌یابند و به این ترتیب کارایی سیستم افزایش یافته و با جذب مسافران بیشتر و سریع‌تر کردن سفرهای کنونی، قابلیت اعتماد آن نیز افزایش می‌یابد. این مقاله بر اساس مطالعه‌ای انجام شده برای یک گروه جهانی از سیستم‌های مترو است که ۱۷ خط با فراوانی بالا را بررسی کرده است. این مقاله توصیه‌هایی برای افرادی که در زمینه بهره‌برداری، تأمین مالی، برنامه‌ریزی و طراحی سیستم‌های مترو فعالیت می‌کنند ارائه می‌دهد تا نحوه حداکثر کردن فراوانی و دسترسی و در نتیجه ارائه منافع بیشتر به مسافران، سازمان‌های حمل و نقل و ذینفعان را بیاموزند (Wen Y et al, 2020).

در مطالعه دیگر این مطالعه وضعیت فعلی در چین را ارائه می‌دهد و به بررسی سه شکاف عمده می‌پردازد که باید برای بهبود عملکرد، اجرایی شدن و برنامه‌ریزی سیستم‌های مترو برطرف شوند. این شکاف‌ها عبارت‌اند از: شکاف مالی، شکاف فناوری و شکاف توانایی پرداخت. در نهایت، مطالعه نتیجه می‌گیرد که برنامه‌ریزی زود هنگام و مطالعات دقیق در توسعه و بهبود عملکرد سیستم‌های مترو در چین اهمیت دارند. علاوه بر این، معیارهای جمعیت‌شناسی و اقتصادی برای ارزیابی کارایی سیستم‌های مترو کافی نیستند و باید با معیارهای ارزیابی دقیق‌تر و سختگیرانه‌تر تکمیل شوند (Hobbs FD, 2016).

در نتیجه می‌توان بیان کرد که سیستم مترو مهم‌ترین سیستم حمل‌ونقل در زیرساخت‌های شهری است. این سیستم نقش حیاتی در توسعه اجتماعی و اقتصادی شهری، به‌ویژه در کاهش ترافیک شهری دارد. این مطالعه مدلی برای ارزیابی سطح تراکم در ایستگاه‌های مترو ارائه می‌دهد به دلیل تأثیر منفی آن بر عملکرد و کارایی خدمات مترو. این مدل به عنوان مکانیزمی مؤثر برای کمک به اپراتورهای مترو در درک سطح تراکم و اتخاذ اقدامات مناسب برای کاهش تراکم در نظر گرفته شده است، و به این ترتیب عملکرد، کارایی و کیفیت خدمات مترو را بهبود می‌بخشد (Jarboui S et al, 2012). همچنین بر اساس تحلیل‌های قبلی، نتیجه به دست‌بندی شهرها منجر شد، بر اساس ارزش هر عامل به‌طور جداگانه، به سه سطح: سطح بالا، سطح متوسط و سطح پایین بهره‌وری. نتایج نشان دادند شهرهای سطح بالا مانند پکن، نیویورک، سئول، هنگ‌کنگ، دبی و غیره، در واقع با بهره‌وری خدمات عمومی خود مشخص می‌شوند سیستم‌های حمل‌ونقل به‌طور کلی و سیستم مترو به‌ویژه. و همچنین آن‌ها به انجام سفرهای روزانه مسافران به‌طور کارآمد، سریع و ایمن اهمیت می‌دهند، بدون آنکه حق افراد معلول و سالمند برای استفاده از مترو نادیده گرفته شود. تمامی استانداردهای ایمنی و کیفیت در طراحی و اجرا مورد توجه قرار گرفتند. بنابراین، هدف اصلی این شهرها دستیابی به رضایت و رفاه مسافران در تمام سنین است (Monast K et al, 2019).

نتیجه‌گیری

ایمنی و کارایی سیستم‌های مترو در گرو مدیریت یکپارچه و پیشگیرانه سه حوزه حیاتی است. در سطح اول، مقابله با خطای انسانی رانندگان، به‌ویژه حواس‌پرتی شناختی پنهان که در محیط‌های یکنواخت تونل‌ها شایع است، از اولویت برخوردار می‌باشد. راه‌حل نوین برای این چالش، بهره‌گیری از سیستم‌های نظارتی پوشیدنی و غیرتهاجمی مبتنی بر سیگنال‌های فیزیولوژیکی مانند ECG و EEG است که قادرند این حالت‌های خطرناک را بدون مختل کردن عملکرد راننده، با دقت بالا

شناسایی کنند. در سطح دوم، طراحی محیط ایستگاه‌ها، به ویژه به کارگیری نورپردازی هوشمند، نقش تعیین‌کننده‌ای در ادراک ایمنی مسافران دارد. مطالعات نشان می‌دهند که انتخاب دمای رنگ (سرد، گرم یا خنثی) و شدت نور مناسب می‌تواند نه تنها بر راحتی بصری، بلکه بر رفتارهای جمعی و احساس امنیت به‌ویژه در گروه‌های آسیب‌پذیر مانند افراد دارای اختلال بینایی تأثیر مستقیم بگذارد، به طوری که حتی نور آبی ثابت کرده می‌تواند در کاهش حوادث شدید مؤثر باشد. در سطح سوم، ارزیابی عملکرد سیستم باید فراتر از شاخص‌های سنتی مالی و فنی رفته و معیارهایی چون مدیریت تراکم مسافری، فراوانی و قابلیت اطمینان خدمات، و رضایت جامع کاربران را در بر گیرد. این نگاه جامع به شهرها امکان می‌دهد تا با شناسایی و مدیریت "زنجیره ریسک" که از یک حادثه اولیه به حوادث ثانویه گسترش می‌یابد، زیرساختی مقاوم، کارآمد و عادلانه ایجاد کنند که نه تنها سفرهای روزانه را تسهیل می‌کند، بلکه به توسعه اجتماعی-اقتصادی پایدار شهرها کمک شایانی می‌نماید. سیستم‌های حمل و نقل عمومی کارآمد ستون فقرات توسعه در شهرها و محرک اصلی فعالیت‌ها و سفرهای درون شهری هستند. شبکه‌ها و مسیرهای آن‌ها شریان‌های اصلی گسترش شهری در داخل شهرها به شمار می‌روند. بنابراین، اهمیت این پژوهش‌ها از نیاز فوری به بازنگری در سیستم‌های حمل و نقل عمومی کنونی در شهرها ناشی می‌شود، که خود برای استخراج معیارهای موفقیت و امکان ارزیابی و پیگیری مستمر به منظور تضمین پایداری و عملکرد این سیستم‌ها اهمیت دارد. با توجه به روندهای فعلی به سمت سیستم‌های حمل و نقل عمومی دوستدار محیط زیست که نیازهای مسافران را برآورده می‌کنند، عوامل جدیدی پدید آمده‌اند که به موفقیت سیستم حمل و نقل عمومی کمک می‌کنند و نقش آن را در توسعه فعال می‌سازند. برنامه‌ریزان حمل و نقل عمومی توافق کرده‌اند که سیستم مترو گزینه بهینه در بسیاری از شهرها، به ویژه شهرهای پرجمعیت است. بنابراین، لازم است تا عوامل مؤثر بر بهبود عملکرد سیستم مترو را بیابیم، زیرا این سیستم مدت‌هاست مهم‌ترین و کارآمدترین سیستم حمل و نقل عمومی است که هم‌اکنون نیز در شهرهای بزرگ مانند پکن، پاریس، اوساکا، لندن، سئول، تهران، نیویورک و غیره به طور موفقیت‌آمیز وجود دارد.

منابع

- 1) Liu, H., Zhou, Y., & Jiang, C. (2025). Classifying metro drivers' cognitive distractions during manual operations using machine learning and random forest-recursive feature elimination. *Scientific Reports*, 15, 7564. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92248-6>
- 2) Li, N. & Busso, C. Predicting perceived visual and cognitive distractions of drivers with multimodal features. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 16 (1), 51–65. <https://doi.org/10.1109/tits.2014.2324414> (2015).
- 3) Wu, X., Shi, C. & Yan, L. Driving attention state detection based on GRU-EEGNet. *Sensors* 24 (16), 5086. <https://doi.org/10.3390/s24165086> (2024).
- 4) Taherisadr, M., Asnani, P., Galster, S. & Dehzeni, O. ECG-Based driver inattention identification during naturalistic driving using Mel-frequency cepstrum 2-D transform and convolutional neural networks. *Smart Health*. 9–10, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2018.07.022> (2018).
- 5) Han, S. Y., Kim, J. W., Lee, S. W. & Ieee Recognition of pilot's cognitive states based on combination of physiological signals. In *Proceedings of 7th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*, Korea Univ, Res Ctr Brain & Artificial Intelligence, Gangwon, South Korea 232–236 (2019).
- 6) Haddad I. A new tropism of the urban fabric in the face of risk and uncertainty in the developing countries. *Eur Modern Stud J.* 2024;8(1):106–18. [https://doi.org/10.59573/emsj.8\(1\).2024.11](https://doi.org/10.59573/emsj.8(1).2024.11).
- 7) Liu X, Huang Y, Xu X, Li X, Li X, Ciais P, Lin P, Gong K, Ziegler AD, Chen A, Gong P, Chen J, Hu G, Chen Y, Wang S, Wu Q, Huang K, Estes L, Zeng Z. High-spatiotemporal-

- resolution mapping of global urban change from 1985 to 2015. *Nat Sustain.* 2020;3(7):564–70. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0521-x>.
- 8) Sharma A, Nikam B, Bagri DS. 2023. Urbanization trends and challenges: a case study in the Asan watershed of Uttarakhand on Urban Growth patterns and sustainable land use planning. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3660810/v1>
- 9) Egidi G, Salvati L, Vinci S. The long way to tipperary: city size and worldwide urban population trends, 1950–2030. *Sustain Cities Soc.* 2020;60: 102148. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102148>.
- 10) Al-Mousawi H, Vein Leong L, Al-Jameel H. The influence of ring roads on traffic characteristics in urban cities. *BIO Web Conf.* 2024;97:00067. <https://doi.org/10.1051/bioco/20249700067>.
- 11) Umoh AA, Ohenhen PE, Chidolue O, Ngozichukwu B, Fafure AV, Ibekwe KI. Incorporating energy efficiency in urban planning: a review of policies and best practices. *Eng Sci Technol J.* 2024;5(1):83–98. <https://doi.org/10.51594/estj.v5i1.729>.
- 12) Zamir KR, Nasri A, Baghaei B, Mahapatra S, Zhang L. Effects of transit-oriented development on trip generation, distribution, and mode share in Washington, D.C., and Baltimore, Maryland. *Trans Res Record.* 2014;2413(1):45–53. <https://doi.org/10.3141/2413-05>.
- 13) Yu H, Zhu S, Li JV, Wang L. Dynamics of urban sprawl: deciphering the role of land prices and transportation costs in government-led urbanization. *J Urban Manage.* 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2024.08.002>.
- 14) Mann A. A symbiotic relationship. New York: Routledge eBooks; 2022. p. 438–56. <https://doi.org/10.4324/9781003204749-30>.
- 15) Shawly H. Evaluating compact city model implementation as a sustainable urban development tool to control Urban Sprawl in the city of Jeddah. *Sustainability.* 2022;14(20):13218. <https://doi.org/10.3390/su142013218>.
- 16) Enwin AD, Ikiriko TD. Balancing urban development: literature on the Nexus between affordable housing and urban Sprawl. *Int J Res Rev.* 2023;10(12):560–72. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20231259>.
- 17) Ding, X., Shi, G., Liu, Z., & Hu, H. (2023). Risk Chain Mining of Hazard Sources in Metro Operation System Safety: A New Method to Mine and Control Risk for Safety Management. *Urban Rail Transit*, 9(147–178). <https://doi.org/10.1007/s40864-023-00192-3> Received 2 December 2022; Revised 2 March 2023; Accepted 15 March 2023; Published online 15 May 2023.
- 18) Chapman CB, Cooper DF (1987) Risk analysis for large project: models method and cases. Wiley, Hoboken, pp 544–549
- 19) Kangari R (1995) Risk management perceptions and trends of US construction. *J Constr Eng Manag* 121(4):422–429
- 20) He L (2018) Application of hazard identification and assessment grading optimization method for metro lines. *Safety* 39(8):8–11
- 21) Yang QM (2018) Research on safety risk identification and analysis of large railway passenger station system [D]. Beijing Jiaotong University, Beijing
- 22) Liu X et al (2012) Analysis of causes of major train derailment and their effect on accident rates. *Transp Res Rec* 2289(1):154–163
- 23) Ceccato, V., Besenecker, U., Ariel, B., Höglund, M., Näsman, P., & Eizadi, H. (2025). Assessing safety perceptions and lighting conditions in a metro station. *Journal of Experimental Criminology*. Accepted: 26 June 2025. <https://doi.org/10.1007/s11292-025-09683-8>
- 24) Augustin, S. (2021). How lighting choices can affect your mood. People, places, and things. *Psychology Today*.

- 25) Keller, H. (2017). The integral rules of good lighting: An expert shares his advice on achieving the perfect light. Architectural Digest. [https:// www. archi tectu raldi gest. com/ story/ rules- for- perfe ct- light ing- mista kes- to- avoid](https://www.architecturaldigest.com/story/rules-for-perfect-lighting-mistakes-to-avoid)
- 26) Matsubayashi, T., Sawada, Y., & Ueda, M. (2014). Does the installation of blue Lights on train plat forms shift suicide to another station?: Evidence from Japan. *Journal of Affective Disorders*, 169, 57–60.
- 27) Bullough, J. D., Donnell, E. T., & Rea, M. S. (2013). To illuminate or not to illuminate: Roadway lighting as it affects traffic safety at intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 53, 65–77. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. aap. 2012. 12. 029](https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.029)
- 28) Chu X, Fielding GJ, Lamar BW (1992) Measuring transit performance using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 26(3):223–230
- 29) Wen Y, Leng J, Shen X, Han G, Sun L, Yu F (2020) Environmental and health effects of ventilation in subway stations: a literature review. *Int J Environmental Research Public Health* 17(3):1084
- 30) Hobbs FD (2016) *Traffic planning and engineering: Pergamon international library of science, technology, engineering and social studies*. Elsevier
- 31) Jarboui S, Forget P, Boujelbene Y (2012) Public road transport efficiency: a literature review via the classification scheme. *Public Transport* 4(2):101–128
- 32) Monast K, Stanfield C (2019) An analysis of success plans and performance measures for rural transit systems in North Carolina. *Transp. Res. Record*. 2673:97–105