فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و چهارم، شماره ۹۹، زمستان ۱۴۰۳، ص. ۵۴-۲۱

بررسی نقاط توجه عابران در تقاطع‌های چراغ‌دار شهری با استفاده از محیط واقعیت مجازی (VR) مجهز به سیستم شبیه‌ساز آب‌وهوا

سجاد مظلوم، دستیار پژوهشی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران
نوید خادمی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران
E-mail: navid.khademi@ut.ac.ir

چکیده

تقاطع‌های چراغ‌دار شریان‌های حیاتی در شبکه‌های حمل‌ونقل شهری هستند که به دلیل تلاقی مسیرها و حجم بالای تردد، همواره خطر تصادفات را برای عابران به همراه دارند. عابران با بررسی صحیح تقاطع می‌توانند اطلاعات لازم برای عبور ایمن خود را به دست آورند. مطالعه تخصیص توجه عابران پیاده می‌تواند بینش ارزشمندی برای درک رفتار آن‌ها و اجرای اقدامات مقابله‌ای مناسب برای بهبود تمرکزشان بر عناصر مهم در تقاطع‌ها ارائه دهد. این مطالعه به بررسی تأثیر عوامل فردی، محیطی و موقعیتی بر تخصیص توجه عابران پیاده در عبور از خیابان می‌پردازد. برای جمع‌آوری داده‌ها با دقت بالا، یک آزمایش واقعیت مجازی کنترل‌شده با حضور ۱۹۸ شرکت‌کننده طراحی شد. همچنین محیط VR به حسگرهای ردیابی حرکت چشم و یک سیستم شبیه‌ساز آب‌وهوا مجهز شد که می‌تواند هوای گرم، سرد و بارانی و دمای معمولی را شبیه‌سازی کند. داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که شرایط جوی نامناسب و فشار زمان باعث کاهش قابل‌توجه تخصیص توجه عابران پیاده قبل و در حین عبور از خیابان می‌شود، درحالی‌که روشنایی تنها توجه عابران پیاده را به سایر عابران در حین عبور از خیابان کاهش می‌دهد. شرایط آب‌وهوای گرم تأثیر بیشتری بر مدت‌زمان و تعداد دفعات نگاه عابران پیاده به خط عابر پیاده و سایر عابران پیاده در تقاطع‌ها داشت. برعکس، شرایط آب و هوایی بارانی-سرد تأثیر مخرب‌تری بر مدت‌زمان و تعداد دفعات نگاه عابران پیاده به چراغ راهنمایی عابران پیاده و ترافیک وسایل نقلیه و زاویه دید تجمعی آن‌ها داشت. علاوه بر این، در مقایسه با زنان، مردان توجه بیشتری را به محیط ترافیک قبل و در حین عبور از خیابان نشان دادند. همچنین، تجربه تصادف قبلی به‌عنوان یک عامل پیشگیرانه برای تقویت رفتار محتاطانه عابران پیاده عمل می‌کند. نتایج این پژوهش، راهکارهای عملی و اجرایی را برای بهبود رفتار ایمن عابران پیاده پیشنهاد می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ایمنی عابران، سنجش حرکت چشم، محیط واقعیت مجازی (VR)، رفتار عبور از خیابان، شبیه‌ساز آب‌وهوا

۱. مقدمه

تقاطع‌های چراغ‌دار شریان‌های حیاتی در شبکه‌های حمل‌ونقل شهری هستند که تردد روان و ایمن را برای عابران پیاده و رانندگان فراهم می‌کنند. بااین‌حال، این نقاط به دلیل تلاقی مسیرها و حجم بالای تردد، همواره خطر تصادفات را به همراه دارند. عابران به‌عنوان کاربران آسیب‌پذیر راه‌ها سهمی ۵۰ درصدی از کل تلفات ناشی از تصادفات جاده‌ای در جهان را دارند. در تهران، آمار سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران نشان می‌دهد که عابران سهمی ۴۳ درصدی از کشته‌های ترافیکی را دارند. بعلاوه، تقاطع‌ها به‌عنوان مکان‌هایی که تداخل عابران و سایر شیوه‌های حمل‌ونقلی محتمل‌تر است، خطری بالقوه برای عابران دارد.

یکی از عوامل کلیدی در ارتقای ایمنی تقاطع‌های، توجه به نقاط دید عابران پیاده است. این نقاط به محل‌هایی در تقاطع اشاره دارند که عابران پیاده قبل و حین از عبور از خیابان به آن‌ها توجه می‌کنند مانند چراغ راهنمایی و ترافیک عبوری. نقاط نگاه کافی و ایمن برای عابران پیاده در تقاطعات چراغ‌دار شهری، نقشی حیاتی در کاهش خطر تصادف ایفا می‌کند. این توجه باعث دریافت اطلاعات کافی راجع به علائم حیاتی راه و درنتیجه تصمیم‌گیری مناسب و ایمن برای عبور از خیابان می‌شود.

در ادبیات ایمنی از محیط واقعیت مجازی (VR) به‌منظور انجام آزمایش‌ها در محیطی کنترل‌شده و بدون خطر استفاده‌شده است. این پژوهش‌ها با اهداف متفاوتی مانند رفتار عابران در عبور از خیابان، رفتار و درک عابران در قبال خودروهای خود ران، حواس‌پرتی عابران، برنامه‌های آموزشی و تأثیر متغیرهای طراحی شهری بر رفتار عابران از محیط واقعیت مجازی استفاده کرده‌اند. همچنین محیط واقعیت مجاز با امکان تجهیز به سنسورهای دقیق مانند سنسور سنجش حرکت چشم[1] امکان برداشت داده‌ها با دقت بالا را فراهم می‌کند.

۱-۱ نقاط توجه عابران

تحلیل نقاط توجه عابران با هدف درک نحوه مدیریت جریان مداوم اطلاعات توسط سیستم شناختی انسان، یکی از کانون‌های اصلی مطالعات بررسی رفتار کاربران راه بوده است. درنتیجه، ردیابی حرکات چشم به‌عنوان ابزاری ارزشمند برای کسب بینش در مورد ادراک و شناخت پدیدار شده است. محققان تخصیص توجه عابران پیاده را هم در محیط‌های واقعی و هم در محیط‌های شبیه‌سازی‌شده موردبررسی قرار داده‌اند. مطالعات قبلی با اتخاذ روش‌های مشاهده‌ای، توجه عابران پیاده را با شمارش تعداد دفعات نگاه کردن افراد به مناطق موردنظر[2] (AOIs) خاص مانند چراغ‌های راهنمایی و رانندگی و علائم، سنجیده‌اند. با وجود مزایای مطالعات مشاهده‌ای، این رویکردها اغلب نیازمند صرف منابع زیاد، مستعد خطای ناظر و محدود در معیارهای برداشت‌شده هستند.

فناوری نوآورانه ردیابی چشم[3] با ثبت خودکار طیف وسیعی از متغیرهای مرتبط با توجه انسان، به‌طور قابل‌توجهی بر دقت جمع‌آوری داده‌ها می‌افزاید. محققان در پاسخ به محدودیت‌های روش‌های دستی، از عینک‌های ردیابی چشم برای ثبت رفتار توجه عابران پیاده استفاده کرده‌اند. هرچند ازآنجاکه استفاده از این عینک‌ها باید در محیط واقعی صورت پذیرد دارای ضعف‌هایی است. در این موارد کنترل محیط اطراف ازجمله آب‌وهوا، ترافیک و محیط ساخته‌شده امکان‌پذیر نیست و اطمینان از ثبات و قابلیت اطمینان داده‌ها را با مشکل مواجه می‌سازند.

اگرچه ادبیات مربوط به استفاده از عینک ردیابی چشم در تجزیه‌وتحلیل رفتار عابران پیاده به‌خوبی شکل‌گرفته است، اما دانش نسبتاً کمی در مورداستفاده از این فناوری در آزمایش‌های مبتنی بر واقعیت مجازی (VR) وجود دارد. بااین‌وجود، علی‌رغم تفاوت‌های ذاتی آن‌ها، اشتراکاتی وجود دارد که نشان‌دهنده پتانسیل برای دستیابی به بینش‌های ارزشمند در تجزیه‌وتحلیل رفتار عابران پیاده است؛ بنابراین، ما به بررسی هر دو حوزه می‌پردازیم.

ادبیات پیشین در زمینه رفتار عابران پیاده از فناوری ردیابی چشم برای بررسی تأثیر عوامل فردی و خارجی بر تخصیص توجه عابران پیاده استفاده کرده است. به‌عنوان‌مثال، باسیونی و همکاران[۴] از معیارهای تعداد و مدت‌زمان خیره شدن استفاده کردند و نشان دادند که عابر پیاده بزرگسال نسبت به جوانان، نگاه‌های مکرر و طولانی‌تری به مناطق موردنظر تعریف‌شده دارند. ایگان و همکاران[۵] به بررسی عامل سن در موقعیت و جهت نگاه در حین عبور از خیابان پرداختند و خاطرنشان کردند که بزرگسالان بیشتر روی جاده و ترافیک مقابل تمرکز می‌کنند، درحالی‌که کودکان روی عابران پیاده و اشیاء جانبی تمرکز می‌کنند.

علاوه بر این، چندین مطالعه تحقیقاتی سعی کرده‌اند تا تأثیر استفاده از تلفن‌های هوشمند بر توجه بصری عابران پیاده را بررسی کنند. گرودن و همکاران[۶] با استفاده از عینک‌های ردیابی چشم، حرکت نگاه عابران را تجزیه‌وتحلیل کردند و کاهش قابل‌توجه در توجه به عناصر خیابان را در هنگام استفاده افراد از تلفن همراه نشان دادند. به‌طور مشابه، جیانگ و همکاران[۷] حواس‌پرتی ناشی از تلفن همراه را بررسی کردند و کاهش فرکانس اسکن محیط (نگاه به اطراف) را در شرایط حواس‌پرتی گزارش کردند. علاوه بر این، معیارهای ردیابی حرکت چشم برای ارزیابی شیوه‌ی تعامل بین عابران پیاده و وسایل نقلیه خود ران به کار گرفته‌شده است.

مطالعات پیشین همچنین تأثیر عوامل محیطی و ترافیکی بر توجه عابران پیاده را بررسی کرده‌اند. تاپیرو و همکاران[۸] به بررسی تأثیر شرایط ترافیک بر توجه بصری عابران پیاده پرداختند. آن‌ها دریافتند که وجود و یا عدم وجود مانع در مسیر دیدن ترافیک، باعث افزایش توجه شرکت‌کنندگان به جاده می‌شود. همچنین تاپیرو و همکاران اخیراً در یک مطالعه با استفاده از ابزار ردیابی چشم، دریافتند که افزایش بار بصری در محیط می‌تواند نگاه کودکان را به اشیاء و عناصر موجود در جاده (به‌عنوان‌مثال، بیلبوردها) پراکنده کند. گروشات و همکاران[۹] آزمایشی را برای بررسی تأثیر نوع تقاطع بر رفتار نگاه عابران پیاده، با استفاده از تعداد نگاه و جهت سر انجام دادند. این مطالعه نشان داد که در تقاطع‌های چراغ‌دار، برخی از عابران تمایل دارند برای عبور به چراغ‌های راهنمایی و رانندگی اعتماد کنند. برعکس، در نبود چراغ راهنمایی، عابران پیاده توجه خود را بر ترافیک متمرکز می‌کنند تا گپ مناسبی برای عبور پیدا کنند.

۲. تعریف مسئله و اهداف پژوهش

برای درک بهتر تخصیص توجه عابران پیاده قبل و در حین عبور از تقاطع و همچنین ارتباط بین رفتارهای قبل و حین عبور، نظریه فرآیندهای ادراکی[۱۰] چارچوب مفیدی ارائه می‌دهد. این نظریه مراحل شناسایی، پردازش، سازمان‌دهی و معنا بخشیدن به محرک‌های حسی را تشریح می‌کند. بر اساس این چارچوب نظری، درک فرآیند شناختی تخصیص توجه عابران پیاده تحت تأثیر دو نوع فرایند توجهی هدایت‌شونده از پایین به بالا (Bottom-up)و هدایت‌شونده از بالا به پایین (Top-down)قرار دارد. پردازش هدایت‌شونده از پایین به بالا بر اساس ویژگی‌های صحنه بصری (آنچه دیده می‌شود) صورت می‌گیرد، درحالی‌که توجه هدایت‌شونده از بالا به پایین تحت تأثیر عوامل دیگری مانند دانش قبلی، تجربه و اهداف فرد (عابر پیاده) شکل می‌گیرد. علاوه بر این، بر اساس این نظریه، فرآیند ادراکی، پویا بوده و در معرض تغییرات مداوم است؛ بنابراین، می‌توان استنتاج کرد که در هنگام عبور از خیابان، اجزای محیطی (محرک‌ها) مانند آب‌وهوا و روشنایی، هدف از عبور (مانند فشار زمانی) و مشخصات فردی عابر پیاده می‌تواند به‌طور مداوم تخصیص توجه عابر پیاده را در عبور از خیابان تغییر دهد.

بر این اساس این پژوهش، به دنبال ثبت داده‌های مربوط به نقاط توجه (تخصیص توجه) عابران پیاده در عبور از تقاطع‌های چراغ‌دار با استفاده از یک محیط واقعیت مجازی (VR) کنترل‌شده و شبیه‌سازی‌شده مجهز به حسگرهای ردیابی چشم و تنظیمات آب‌وهوا است. سپس، معیارهای ردیابی چشم شرکت‌کنندگان در مناطق موردنظر (AOIs) مختلف و مراحل

عبور با هم مقایسه می‌شوند تا درک عمیق‌تری از رفتار نگاه عابران پیاده به دست آید. در این راستا، ویژگی‌های فردی، شرایط محیطی (آب‌وهوا و روشنایی) و شرایط موقعیتی (عجله) در نظر گرفته‌شده است.

به‌طور مشخص، سؤال تحقیق به شرح زیر است:

سؤال تحقیق: آیا تخصیص توجه عابران پیاده در اثر فواصل مختلف عبور (قبل و در حین عبور از خیابان)، ویژگی‌های فردی، شرایط محیطی (آب‌وهوا و روشنایی) و شرایط موقعیتی (عجله) تغییر می‌کند؟

این امر درک عمیق و دقیقی از رفتار نگاه عابران پیاده در هنگام عبور از تقاطع‌های چراغ‌دار را به ارمغان خواهد آورد.

۳. روش پژوهش

۳-۱ ابزار پژوهش

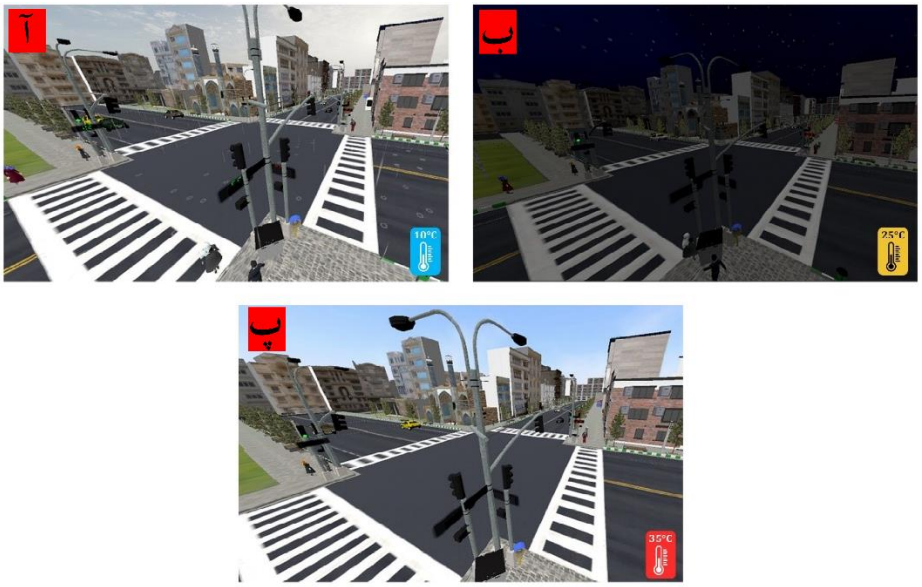
این مطالعه برای توسعه آزمایش‌های کنترل‌شده و دستیابی به داده‌های موردنیاز از محیط واقعیت مجازی (VR)استفاده می‌کند. دوربین اچ تی سی وایو پرو آی (HTC Vive Pro Eye) برای انجام آزمایش به کار گرفته می‌شود تا تجربه‌ای واقع‌گرایانه را برای شرکت‌کنندگان به ارمغان بیاورد. علاوه بر این، حسگرهای جدید ردیابی چشم در آخرین سری این دوربین‌ها ادغام‌شده‌اند که امکان مطالعه نقاط توجه انسان در محیط‌های شبیه‌سازی‌شده را فراهم می‌کند. سیستم ردیابی چشم، حرکات چشم را با فرکانس ۱۲۰ هرتز و دقتی بین ۰٫۵ تا ۱٫۱ درجه ثبت می‌کند. تمامی فرآیند ایجاد آبجکت‌های مرتبط، پیاده‌سازی آن‌ها در صحنه‌ها و ساخت محیط مجازی بر روی یک کامپیوتر رومیزی با پردازنده مرکزی Intel Core i7-7700k، رم ۲۰ گیگابایت و کارت گرافیک NVIDIA GeForce GTX 1080انجام شد.

برای در نظر گرفتن شرایط محیطی، یک سیستم شبیه‌ساز آب‌وهوا در محیط VR تعبیه شد. فضایی تعیین‌شده با استفاده از یک محفظه‌ی پلاستیکی (شکل ۱ الف) ایزوله شده و به ترتیب برای ایجاد هوای سرد و گرم واقع‌گرایانه ایده آل، به سیستم تهویه مطبوع و بخاری مجهز شده است. برای کنترل دما، از دماسنج‌ها برای اندازه‌گیری دمای داخل این ناحیه‌ی ایزوله استفاده می‌شود. شبیه‌سازی باران با استفاده از آب‌پاش‌های مه قابل تنظیم (نوع فشار متوسط، با فشار آب ۱۷۵ تا ۵۰۰ پوند بر اینچ مربع) که به یک پمپ آب متصل هستند و آب را از مخزن تأمین می‌کنند، امکان‌پذیر می‌شود.

شکل ۱. آ) شرکت‌کننده در محیط ایزوله و ب) نمای محیط شبیه‌سازی از بالا

۳-۲ محیط شبه سازی و سناریوها

برای افزایش غوطه‌وری افراد در محیط شبیه‌سازی، یک تقاطع شهری همراه با المان‌های ایرانی با استفاده از موتور بازی‌سازی یونیتی[11] ایجاد شد که مشابه تقاطع‌های متداول در شهر تهران است. برای انجام این مطالعه، سه محیط شبیه‌سازی‌شده با هسته (ساختار کلی) یکسان و تفاوت‌هایی در جزئیات، طراحی‌شده‌اند: محیط آشنایی، گرم کردن و آزمایش. محیط شبیه‌سازی‌شده این مطالعه شامل تقاطعی از دو خیابان دوطرفه است که خطوطی به عرض ۲٫۷۵ متر با یک خط ممتد زرد رنگ آن‌ها را از هم جدا می‌کند. همچنین تقاطع شامل گذرگاه‌های عابر پیاده و چراغ‌های راهنمایی است. خیابان با ساختمان‌ها احاطه‌شده و توسط پیاده‌روها از خیابان اصلی جدا می‌شود تا تفکیک واضح خیابان برای عبور عابران پیاده تضمین شود. برخلاف محیط آشنایی، محیط گرم کردن شامل ترافیک وسایل نقلیه و عابران پیاده است. محیط نهایی (یعنی محیط تست واقعی) شبیه محیط گرم کردن است، بااین‌حال شرایط آزمایش بر اساس طراحی آزمایش بین سناریوهای اختصاص‌یافته به‌صورت تصادفی متفاوت است. شکل ۱ ب محیط شبیه‌سازی‌شده را از نمای هوایی نشان می‌دهد. ترکیبی از شرایط آب و هوایی مختلف (عادی، گرم و سرد و بارانی)، نور محیطی (روز و شب) و عجله (عادی یا باعجله) سناریوهای این پژوهش را ایجاد می‌کنند. آزمون‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای سناریوهای آب و هوایی عادی، ۳۵ درجه سانتی‌گراد برای سناریوهای آب‌وهوای گرم و ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای سناریوهای آب‌وهوای سرد و بارانی انجام می‌شود. علاوه بر این، از نشانه‌های دیداری و شنیداری در صحنه برای تقلید از موقعیت‌های دنیای واقعی استفاده می‌شود. برای مثال، صداهای باران و اثر قطرات آب روی زمین در سناریوهای آب‌وهوای بارانی و جلوه‌های نورپردازی در سناریوهای آب‌وهوای گرم در صحنه اجرا می‌شود تا حس حضور و غوطه‌وری شرکت‌کنندگان در دنیای مجازی را تقویت کند (شکل ۲ را ببینید).



شکل ۲. تصاویر محیط شبیه‌سازی‌شده: آ) عادی، ب) گرم و پ) سرد و بارانی

در طول آزمایش، به شرکت‌کنندگان اجازه داده می‌شود تا تصمیمات خود را بگیرند، مانند اینکه آیا از چراغ راهنمایی تبعیت کنند یا خیر، مگر اینکه صراحتاً در سناریوهای خاص به عجله کردن ملزم شوند. در چنین مواردی، آن‌ها موظف‌اند در زمان از پیش تعیین‌شده از تقاطع عبور کنند. برای در نظر گرفتن تنوع در سرعت طبیعی راه رفتن شرکت‌کنندگان، این زمان برای هر فرد با محاسبه زمانی که شرکت‌کنندگان برای تکمیل آزمایش در محیط گرم کردن صرف می‌کنند، تنظیم می‌شود.

شرکت‌کنندگان با داشتن یک تایمر شمارش معکوس در گوشه سمت راست بالای صحنه دائماً از زمان باقی‌مانده خود مطلع هستند.

۳-۳ روند آزمایش

در بدو ورود رضایت آگاهانه از تک‌تک افرادی که برای شرکت در آزمایش ثبت‌نام کرده‌اند، گرفته شد و به آن‌ها صراحتاً یادآوری گشت که حق انصراف در هر نقطه‌ای از آزمایش را دارند. شرکت‌کنندگان پس از دریافت دستورالعمل‌های کلی در مورد محیط VR و نحوه حرکت در محیط دوربین را بر سر گذاشتند. در این مرحله، آن‌ها با نحوه‌ی حرکت در محیط آشنا شدند. محیط آشنایی، اولین مواجهه‌ی شرکت‌کنندگان با محیط مجازی قبل از شرکت در وظایف آزمایش بود. در این صحنه، آن‌ها برای تعامل با محیط مجازی در حین پیمایش و مانور دادن در یک تقاطع بدون هیچ ترافیک وسیله نقلیه یا عابر پیاده آموزش می‌دیدند. بعدازآن، از شرکت‌کنندگان خواسته می‌شد تا پرسشنامه‌هایی مربوط به اطلاعات دموگرافیک را تکمیل کنند. توجه داشته باشید که قرار گرفتن در معرض دمای سناریوها در یک فضای ایزوله قبل از شروع آزمایش بسیار مهم است؛ بنابراین، آن‌ها در حین تکمیل پرسشنامه‌ها، به‌طور متوسط به مدت ۱۵ دقیقه در یکی از سه محیط اختصاص‌یافته تصادفی که نشان‌دهنده شرایط آب و هوایی عادی، گرم و بارانی است، قرار می‌گرفتند. پس از تکمیل پرسشنامه، به پاسخ‌دهندگان نحوه‌ی انجام آزمایش آموزش داده می‌شد. آزمایش شامل عبور از یک تقاطع به‌منظور رسیدن به ایستگاه اتوبوس در طرف دیگر خیابان بود. از آن‌ها خواسته می‌شود تا حد امکان مطابق با رفتار دنیای واقعی خود عمل کنند و به آن‌ها یادآوری می‌شود که هرگونه برخورد با وسایل نقلیه منجر به پایان فوری آزمایش می‌شود. سپس، از آن‌ها خواسته می‌شود تا مرحله‌ی گرم کردن را برای انجام کل آزمایش یک‌بار انجام دهند. گنجاندن این مرحله دو عملکرد کلیدی دارد: اول، به شرکت‌کنندگان این امکان را می‌دهد تا رویه‌های آزمایش را به‌درستی درک کنند. دوم، به شرکت‌کنندگان این امکان را می‌دهد تا محیط VR را تجربه کنند و به کاهش تأثیر بالقوه‌ی اثرات تازگی بر رفتار در طول آزمایش واقعی کمک می‌کند .قبل از انجام آزمایش اصلی، آن‌ها باید فرآیند کالیبراسیون چشم[۱۲] را طی می‌کردند تا اطمینان حاصل شود که داده‌های ردیابی چشم به‌طور دقیق ثبت می‌شوند.

هنگامی‌که شرکت‌کنندگان برای ادامه‌ی آزمایش آماده شدند، یکی از چهار سناریوی مرتبط با هر شرایط آب و هوایی به‌صورت تصادفی به آن‌ها اختصاص داده می‌شد. برخلاف مرحله‌ی گرم کردن، شرکت‌کنندگان در آزمایش واقعی با محدودیت زمانی تعیین‌شده برای تکمیل کار مواجه بودند. فشار زمانی دارای دو حالت مجزا بود: بدون فشار زمانی و تحت‌فشار زمانی. به عبارت دقیق‌تر، در حالت عادی شرکت‌کنندگان زمانی برابر با زمانی که آن‌ها برای تکمیل کار گرم کردن صرف کرده‌اند، داشتند؛ درحالی‌که این مقدار در سناریوهای تحت‌فشار زمانی ۱۰ درصد کاهش می‌یافت. پس از تکمیل آزمایش، از آن‌ها قدردانی شد و آزمایش خاتمه یافت. کل فرآیند در آزمایشگاه گرافیک کامپیوتری در مهندسی عمران دانشگاه تهران انجام شد. این مطالعه توسط کمیته اخلاق تحقیقات زیست پزشکی دانشکده روانشناسی و آموزش دانشگاه تهران (شناسه تائید: IR. UT. PSYEDU. REC. 1400. 009؛ تاریخ: ۲۰۲۱-۰۵-۲۲) برای تضمین حقوق شرکت‌کنندگان مورد تائید قرار گرفت.

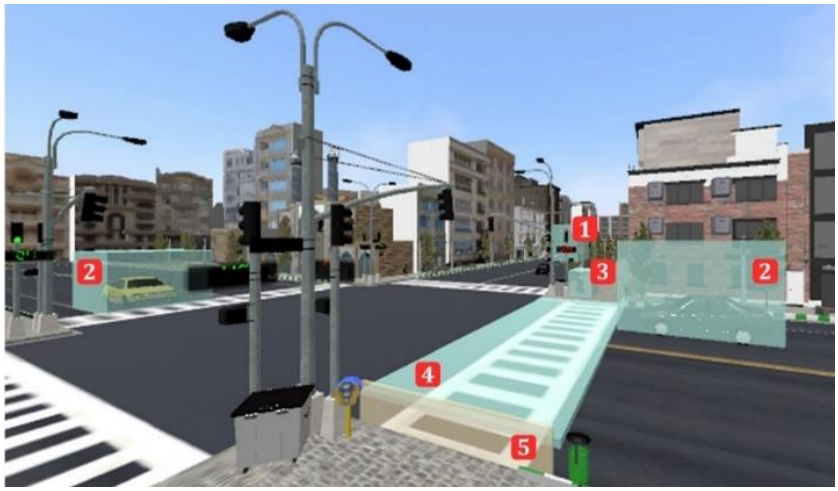
۳-۴ شرکت‌کنندگان

درمجموع ۱۹۸ نفر از ساکنین تهران بین سنین ۱۸ تا ۵۰ سال (میانگین = ۲۸,۲۳؛ انحراف معیار = ۳,۰۸) در این مطالعه شرکت کردند. نمونه‌ی این مطالعه شامل ۱۲۲ مرد (٪۶۱,۶) و ۷۶ زن (٪۳۸,۴) بود. ازنظر وضعیت تأهل، ۱۳۰ نفر مجرد (٪۶۵,۷) و ۶۸ نفر متأهل (٪۳۴,۳) بودند. اکثر شرکت‌کنندگان (٪۸۷,۹) گواهینامه رانندگی داشتند (۱۷۴ نفر)، درحالی‌که ۲۴ نفر (٪۱۲,۱) گواهینامه نداشتند. در رابطه باسابقه‌ی تصادفات، ۶۷ نفر از شرکت‌کنندگان (٪۳۳,۸) گزارش دادند که قبلاً تجربه‌ی تصادف به‌عنوان عابر پیاده را داشته‌اند، در مقابل ۱۳۱ نفر (٪۶۶,۲) که

چنین سابقه‌ای نداشتند. استفاده از تلفن همراه هنگام راه رفتن میان افراد رواج داشت، به‌طوری‌که ۱۵۶ نفر از شرکت‌کنندگان (۷۸٫۸٪) عنوان کردند که به‌طور مرتب با دستگاه‌های خود حین پیاده‌روی کار می‌کنند و در مقابل ۴۲ نفر (۲۱٫۲٪) که این کار را نمی‌کردند. همچنین ۱۳۲ نفر (۶۶٫۷٪) قبلاً از VR استفاده کرده بودند، درحالی‌که ۶۷ نفر (۳۳٫۳٪) آشنایی با آن نداشتند. از طریق غربالگری اولیه، تأیید شد که همه شرکت‌کنندگان توانایی راه رفتن طبیعی، بینایی و دید رنگ طبیعی را دارند.

۳-۵ شیوه‌ی برداشت و تحلیل داده‌ها

در این مطالعه از دو رویکرد جمع‌آوری داده استفاده شد: برداشت الگوهای حرکت چشم عابران پیاده از شبیه‌ساز و جمع‌آوری داده‌های مربوط به ویژگی‌های شرکت‌کنندگان از طریق پرسشنامه. معیارهای سنجش حرکت چشم، ازجمله مدت‌زمان توقف نگاه[۱۳] و تعداد توقف‌های نگاه[۱۴] در نواحی موردنظر به دست آمد (شکل ۳ را ببینید). همان‌طور که در این شکل نشان داده‌شده است، مناطق موردنظر عبارت‌اند از: (۱) چراغ راهنمایی، (۲) ترافیک وسایل نقلیه، (۳) سایر عابران پیاده و (۴) گذرگاه عابر پیاده. داده‌های خام ردیابی چشم با استفاده از کد نویسی با زبان سی شارپ (C#) با استفاده از افزونه‌ی یونیتی توبی[۱۵] از شبیه‌ساز به دست آمد. علاوه بر این، مجموع زوایای نگاه افقی شرکت‌کنندگان به‌طور خودکار توسط موتور برحسب درجه ثبت شد.



شکل ۳. مناطق موردنظر (AOI) در این پژوهش شامل ۱) چراغ راهنمایی عابر، ۲) ترافیک، ۳) سایر عابران، ۴) خط عابر پیاده و ۵) باکس شروع عبور

کل داده‌ها در دو مرحله جداگانه عبور جمع‌آوری شدند: (۱) قبل از شروع عبور و (۲) در حین عبور از تقاطع. توجه داشته باشید که داده‌های مربوط به فاز ۱ (یعنی قبل از شروع عبور) زمانی جمع‌آوری می‌شد که شرکت‌کننده در نزدیکی تقاطع قرار می‌گرفت (چه در حال انتظار باشد چه نباشد). داده‌های مربوط به فاز ۲ (یعنی داده‌هایی که در حین عبور شرکت‌کنندگان از تقاطع جمع‌آوری می‌شدند) از زمانی که شرکت‌کنندگان وارد خیابان شدند (گذر از کادر شروع عبور که توسط شیء ۵ در شکل ۳ نشان داده‌شده است) تا زمانی که در گذرگاه عابر حضور داشتند، ثبت می‌شد. اطلاعات دقیق در مورد معیارهای ردیابی چشم، همراه با خلاصه‌ای از آمار، در جدول ۱ ارائه‌شده است.

برای تحلیل داده‌های مربوط به این پژوهش، از آزمون‌های مستقل تی[۱۶] و تحلیل واریانس[۱۷] استفاده شد. این آزمون‌ها تفاوت میان اندازه‌گیری‌های مربوط به سنجش حرکت چشم در اثر متغیرهای خارجی را مشخص می‌کند. درحالی‌که آزمون مستقل تی برای بررسی تفاوت‌ها میان دو گروه به کار می‌رود، آزمون تحلیل واریانس تفاوت معنادار بین چندین گروه را مشخص می‌کند.

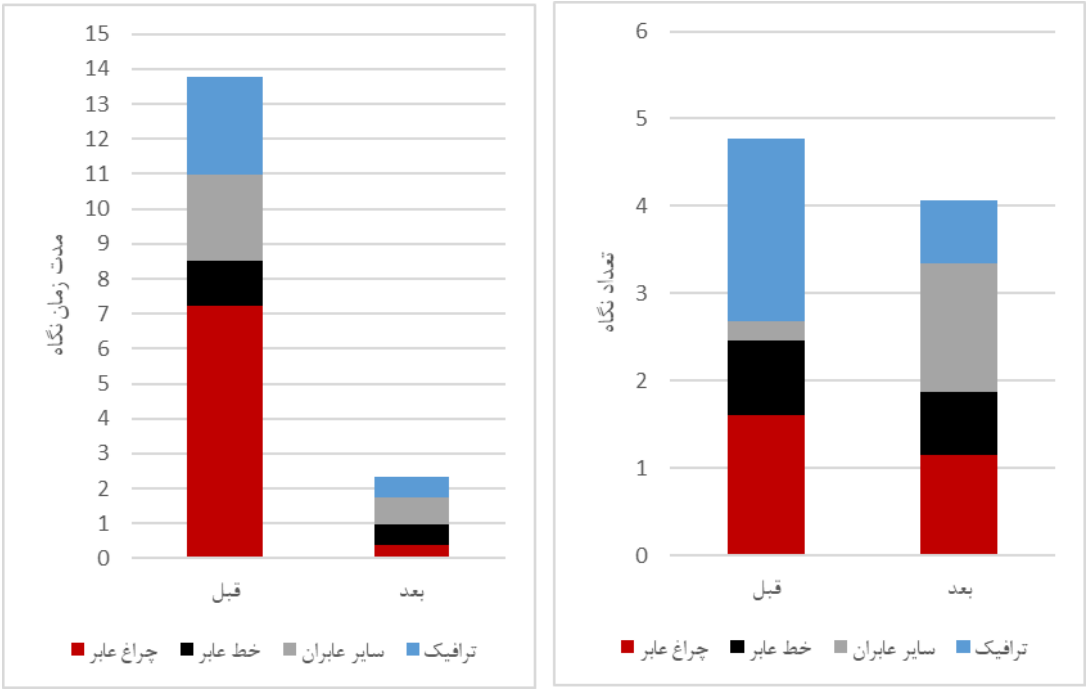
جدول ۱. میانگین و انحراف معیار سنجش‌های حرکت چشم و زوایای چرخش سر پیش و حین عبور

متغیر	علامت اختصاری	میانگین	انحراف معیار	علامت اختصاری	میانگین	انحراف معیار
مدت‌زمان نگاه بر چراغ عابر (ثانیه)	SBFD	۷.۲۱۵	۱۸.۳۴۲	SAFD	۰.۳۹۷	۰.۷۴۱
تعداد نگاه بر چراغ عابر	SBFC	۱.۶۱۱	۲.۷۱۰	SAFC	۱.۱۴۶	۱.۶۴۱
مدت‌زمان نگاه بر خط عابر (ثانیه)	CBFD	۱.۳۰۶	۴.۲۳۶	CAFD	۰.۵۶۶	۱.۷۴۷
تعداد نگاه بر خط عابر	CBFC	۰.۸۵۴	۱.۹۲۹	CAFC	۰.۷۱۸	۱.۲۲۷
مدت‌زمان نگاه بر سایر عابران (ثانیه)	PBFD	۲.۴۶۴	۱۳.۳۵۶	PAFD	۰.۷۷۸	۱.۲۱۹
تعداد نگاه بر سایر عابران	PBFC	۰.۲۱۲	۰.۷۳۷	PAFC	۱.۴۸۰	۱.۹۵۸
مدت‌زمان نگاه بر ترافیک (ثانیه)	TBFD	۲.۸۰۱	۳.۷۸۵	TAFD	۰.۵۹۳	۱.۲۸۵
تعداد نگاه بر ترافیک	TBFC	۲.۱۰۱	۲.۲۱۲	TAFC	۰.۷۲۲	۱.۰۰۲
زوایای چرخش سر (درجه)	CAB	۱۴۲.۶۰۳	۱۴۴.۲۳۶	CAA	۱۳۱.۵۸۲	۱۳۲.۴۴۶

۴. تحلیل داده‌ها

۴-۱ مقایسه‌ی توجه عابران حین و پیش از عبور از خیابان

شکل ۵ آمار توصیفی نقاط نگاه عابران را با تمرکز بر تمایز بین رفتارهای قبل از عبور و حین عبور آن‌ها ارائه می‌دهد. این شکل یک الگوی خاص را نشان می‌دهد: در هر دو پنل، ستون‌های سمت چپ که نشان‌دهنده توجه قبل از عبور است، در مقایسه با ستون‌های سمت راست که نشان‌دهنده نگاه‌های حین عبور است، مدت نگاه و تعداد نگاه‌ها به‌طور قابل‌توجهی طولانی‌تری را نشان می‌دهد. مهم‌تر اینکه، میانگین مدت‌زمان هر نگاه (مدت نگاه تقسیم بر تعداد نگاه) در فاز قبل از عبور نسبت به فاز حین عبور به‌طور قابل‌توجهی طولانی‌تر است.



شکل ۴. میانگین تعداد و مدت‌زمان نگاه پیش و حین عبور

جدول ۲ با استفاده از آزمون نمونه مستقل تی، به بررسی تغییرات احتمالی در معیارهای ردیابی حرکت چشم (مدت‌زمان توقف نگاه و تعداد توقف نگاه) قبل و در حین عبور عابران پیاده از تقاطع می‌پردازد. هدف ما شناسایی تغییرات قابل‌توجه در این معیارها در طول فازهای عبور است که به‌طور بالقوه می‌تواند ماهیت تخصیص توجه و پردازش اطلاعات بصری توسط افراد را در حین عبور از خیابان روشن سازد. مطابق با آمار توصیفی، نتایج آزمون تی نشان‌دهنده کاهش هر دو تعداد و مدت‌زمان توقف نگاه در تمام مناطق موردنظر (AOIs) است: چراغ راهنمایی، گذرگاه عابر پیاده، سایر عابران پیاده و ترافیک. به‌طور مشابه، کاهش در زوایای دید افقی در حین عبور نسبت به قبل از عبور مشاهده می‌شود.

جدول ۲. نتایج آزمون نمونه مستقل تی برای سنجش‌های حرکت چشم و زوایای چرخش سر پیش و حین عبور

	ترافیک	عابران	خط عابر	چراغ عابر	زوایای چرخش سر
مدت نگاه	۷.۷۷۳***	۲.۷۶۹***	۲.۲۷۱**	۵.۲۲۷***	۴.۳۶۳***
تعداد نگاه	۷.۹۸۹***	۸.۵۲۵***	۲.۸۳۲***	۲.۰۶۳*	

ازآنجاکه این نتایج تفاوت معنی‌داری را میان رفتار عابران حین و پیش از عبور از خیابان نشان می‌دهد، ادامه‌ی تحلیل‌ها به‌صورت جداگانه برای این دو فاز انجام خواهد شد.

۴-۲ عوامل تأثیرگذار بر توجه عابران پیش از عبور از خیابان

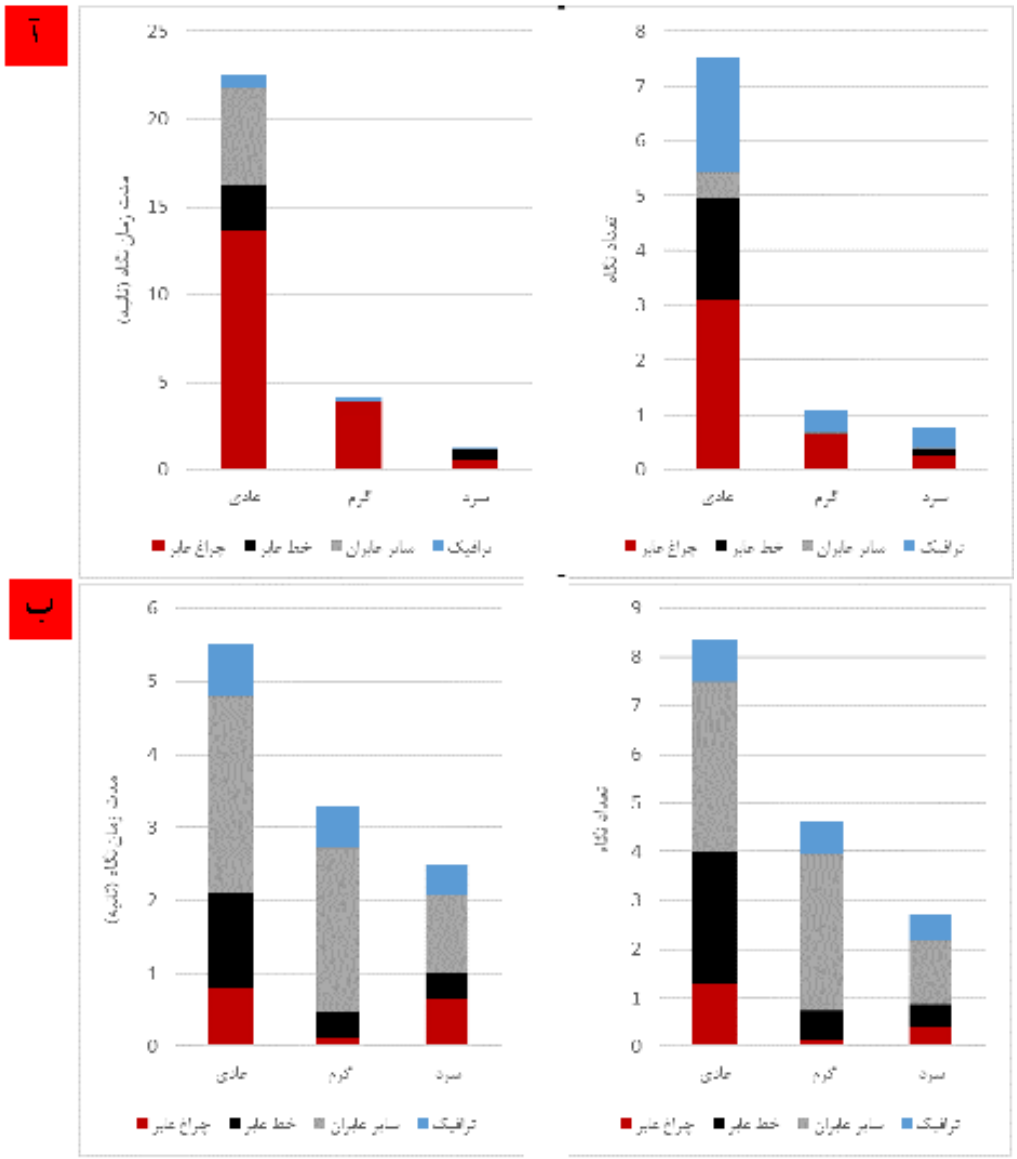
نتایج آزمون‌های نمونه مستقل تی و آزمون ANOVA برای اثر تعدیل‌کننده متغیرهای خارجی (ویژگی‌های دموگرافیک، پیشینه فردی و شرایط محیطی) بر معیارهای ردیابی چشم شرکت‌کنندگان قبل از شروع عبور در جدول ۳ ارائه‌شده است (برای جزئیات بیشتر به پیوست الف مراجعه کنید). سلول‌های سایه‌دار در جدول ۳ مقادیر غیر معنی‌دار را نشان می‌دهند که حاکی از رد نشدن فرضیه‌های صفر آزمون‌های آماری مرتبط است. قابل‌توجه است که تأثیر هر دو متغیر «عجله» و «شرایط آب و هوایی» در تمام معیارها ازنظر آماری معنی‌دار می‌شود. درنتیجه، ما اولویت را بر تحلیل بیشتر این دو عامل قرار می‌دهیم. شرکت‌کنندگان در سناریوهای عجله، در مقایسه با سناریوهای عادی، توقف‌های نگاه کوتاه‌تر و تعداد کمتری توقف نگاه بر روی چراغ راهنمایی، گذرگاه عابر پیاده، سایر عابران پیاده و ترافیک داشتند. همچنین، افراد در سناریوهای عجله در مقایسه با سناریوهای عادی زوایای دید افقی کوچک‌تری داشتند. علاوه بر این، نتایج آزمون آنالیز واریانس نشان داد که شرکت‌کنندگان تحت تأثیر شرایط آب‌وهوا بر تخصیص توجه خود قرارگرفته‌اند. نتایج آزمون تکمیلی توکی[۱۸] نشان داد که شرکت‌کنندگان در سناریوهای سرد و گرم نسبت به سناریوهای عادی، توقف‌های نگاه کوتاه‌تر و تعداد کمتری توقف نگاه بر روی چراغ راهنمایی، گذرگاه عابر پیاده، سایر عابران پیاده و ترافیک وسایل نقلیه داشتند. به همین ترتیب، شرکت‌کنندگان در سناریوهای سرد و گرم در مقایسه با سناریوهای عادی زوایای دید افقی کوچک‌تری را نشان دادند. این یافته‌ها حاکی از آن است که احساس عجله و همچنین شرایط آب و هوایی می‌تواند بر نحوه‌ی توزیع توجه عابران پیاده قبل از شروع عبور از تقاطع تأثیر بگذارد. به نظر می‌رسد که در سناریوهای با فشار زمان یا آب‌وهوای نامناسب، عابران پیاده اطلاعات بصری کمتری را جمع‌آوری می‌کنند که ممکن است بر ایمنی عبور آن‌ها تأثیر بگذارد.

جدول ۳. نتایج آزمون مستقل تی و ANOVA برای تأثیر متغیرهای خارجی بر رفتار نگاه عابران پیش از عبور از خیابان

متغیر	TBFC	TBFD	PBFC	PBFD	CAB	CBFC	CBFD	SBFC	SBFD
جنسیت	۱.۹۴۰*	۲.۴۵۷*	۲.۶۴۰*	۱.۹۹۴*	۲.۱۶۴*	۰.۳۱۲	۱.۹۱۵	۰.۲۴۵	۰.۶۹۷
وضعیت تأهل	۲.۳۲۶*	۱.۹۴۷*	۱.۰۲۸	۰.۶۵۸	۲.۲۵۴*	۱.۰۴۴	۰.۳۹۹	۰.۳۶۶	۰.۰۱۲
گواهینامه رانندگی	۰.۹۸۰	۰.۶۳۱	۰.۵۶۳	۰.۷۸۵	۰.۶۶۹	۱.۵۲۸	۱.۵۸۱	۰.۱۰۷	۰.۲۹۵
سابقه‌ی تصادف	۲.۲۱۰*	۲.۸۹۵**	۰.۴۵۰	۱.۳۷۸	۱.۹۸۷*	۱.۳۹۱	۱.۵۳۸	۰.۹۳۹	۱.۲۵۵
استفاده از موبایل	۰.۵۳۰	۰.۱۰۲	۱.۶۳۶	۱.۳۴۶	۰.۲۰۹	۰.۲۵۶	۰.۰۶۶	۲.۱۱۰*	۱.۹۸۵*
تجربه‌ی VR	۰.۱۰۱	۰.۵۳۰	۱.۶۳۶	۱.۳۴۶	۰.۲۰۹	۰.۲۵۶	۰.۰۶۶	۱.۷۸۴	۱.۳۶۳
عجله	۹.۱۴۹***	۹.۰۴۹***	۲.۱۱۱*	۲.۵۸۰**	۱۱.۰۶۵***	۲.۹۲۵**	۳.۴۵۸***	۵.۵۷۶***	۴.۸۲۶***
نور محیطی	۱.۱۶۳	۰.۵۶۰	۰.۷۹۸	۱.۲۱۰	۱.۲۳۹	۰.۸۱۷	۱.۱۷۲	۱.۶۶۲	۱.۰۶۵
آب‌وهوا	۱۰.۱۵۱***	۶.۴۸۴*	۱۰.۵۲۲***	۴.۴۱۶**	۸.۵۶۰***	۲۵.۳۳۸***	۷.۵۴۷***	۳۱.۱۱۹***	۱۱.۵۲۴***

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده‌شده است، عابران پیاده صرف‌نظر از اینکه عجله داشته باشند یا خیر، توجه خود را به‌طور عمده بر روی چراغ عابر پیاده متمرکز می‌کنند، به‌ویژه ازنظر مدت توقف نگاه و تعداد توقف نگاه. مطابق شکل ۴، پیش از عبور، تخصیص توجه به تمام مناطق موردنظر (AOIs) در شرایط آب و هوایی نامناسب (گرم و بارانی–سرد) به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. توجه داشته باشید که مطابق با یافته‌های بخش‌های قبلی، عابران پیاده قبل از ورود به تقاطع عمدتاً روی چراغ راهنمایی تمرکز می‌کنند. بااین‌حال، عابران پیاده در شرایط آب و هوایی نامناسب، توجه به گذرگاه عابر پیاده و سایر عابران پیاده را به نفع تمرکز روی چراغ راهنمایی کنار می‌گذارند. علاوه بر این، عابران پیاده در شرایط آب و هوایی نامناسب تمایل دارند حتی با کاهش زمان هر نگاه تا حد امکان نگاه خود را روی چراغ راهنمایی نگه‌دارند.



شکل ۵. میانگین تعداد و مدت‌زمان نگاه پیش از عبور: آ) در اثر آب‌وهوا و ب) فشار زمانی

درنهایت، طبق جدول ۳، نتایج آزمون نمونه‌های مستقل تی نشان داد که مردان نسبت به زنان، هنگام شروع عبور از تقاطع، وسعت بیشتری از تقاطع را پوشش می‌دادند، توقف‌های نگاه طولانی‌تر و بیشتری روی ترافیک داشتند و همچنین توقف‌های نگاه بیشتر و طولانی‌تری روی سایر عابران پیاده داشتند. علاوه بر این، افراد مجرد نسبت به افراد متأهل، زوایای دید تجمعی بیشتری داشتند، توقف‌های نگاه طولانی‌تر و بیشتری روی ترافیک نشان دادند. همچنین، شرکت‌کنندگان با سابقه تصادف قبلی، در مقایسه با افرادی که سابقه تصادف قبلی نداشتند، زوایای دید تجمعی بیشتری داشتند و توقف‌های نگاه طولانی‌تر و بیشتری روی ترافیک نشان دادند. علاوه بر این، افرادی که گزارش دادند هنگام راه رفتن از تلفن همراه استفاده می‌کنند، در مقایسه با دیگران توقف‌های نگاه کمتر و کوتاه‌تری روی چراغ‌های راهنمایی عابر پیاده داشتند.

۳-۴ عوامل تأثیرگذار بر توجه عابران حین عبور از خیابان

نتایج آزمون‌های نمونه‌های مستقل تی و آزمون ANOVA برای اثر تعدیل‌کننده‌ی ویژگی‌های دموگرافیک، پیشینه‌ی فردی و

شرایط محیطی بر معیارهای ردیابی چشم شرکت‌کنندگان در حین عبور از خیابان در جدول ۴ ارائه‌شده است (برای جزئیات بیشتر به پیوست ب مراجعه کنید). در جدول ۴، سلول‌های خاکستری مقادیر غیر معنی‌دار را نشان می‌دهند. مشابه یافته‌های قبلی، تأثیر هر دو متغیر «عجله» و «شرایط آب و هوایی» در اکثر معیارها ازنظر آماری معنی‌دار می‌شود. درنتیجه، بر لزوم بررسی بیشتر این دو عامل تأکید می‌کنیم.

نتایج آزمون نمونه‌های مستقل تی نشان داد که شرایط محیطی و وضعیتی بر تخصیص توجه عابران پیاده در حین عبور از خیابان تأثیر می‌گذارد. شرکت‌کنندگان در سناریوهای عجله، در مقایسه با سناریوهای عادی، توقف‌های نگاه کوتاه‌تر و تعداد کمتری توقف نگاه بر روی چراغ راهنمایی و سایر عابران پیاده داشتند. علاوه بر این، افراد در سناریوهای عجله نسبت به سناریوهای عادی، توقف‌های نگاه بیشتری روی ترافیک داشتند.

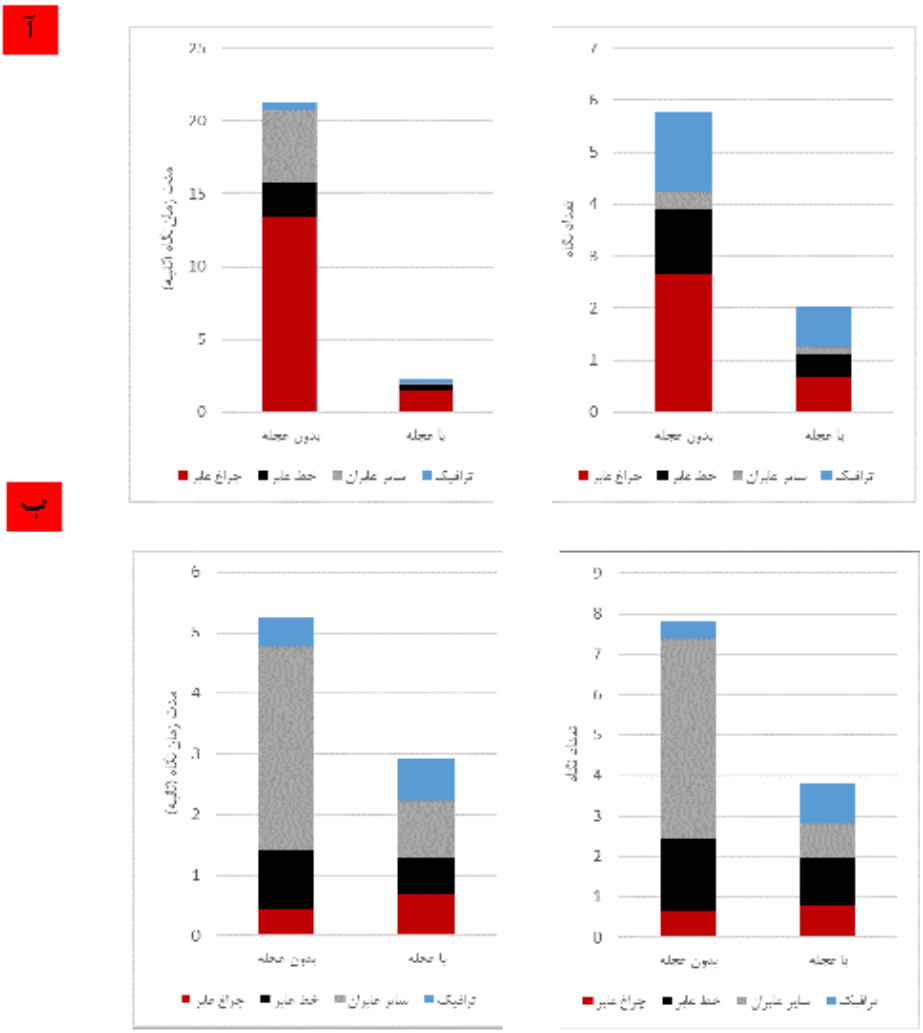
طبق نتایج آزمون ANOVA، شرکت‌کنندگان تحت تأثیر شرایط آب‌وهوا بر مدت‌زمان توقف نگاه و تعداد توقف نگاه خود بر روی چراغ راهنمایی، گذرگاه عابر پیاده، سایر عابران پیاده و ترافیک قرارگرفته‌اند. نتایج آزمون مقایسه‌ای توکی نشان داد که شرکت‌کنندگان در سناریوهای با شرایط آب و هوایی نامناسب (سرد و گرم) نسبت به سناریوهای عادی، توقف‌های نگاه کوتاه‌تر و تعداد کمتری توقف نگاه بر روی چراغ راهنمایی عابر پیاده، گذرگاه عابر پیاده، سایر عابران پیاده و ترافیک داشتند. علاوه بر این، شرکت‌کنندگان در سناریوهای سرد و گرم نسبت به سناریوهای عادی دارای زوایای دید محدودتری بودند.

جدول ۴. نتایج آزمون مستقل تی و ANOVA برای تأثیر متغیرهای خارجی بر رفتار نگاه عابران حین عبور از خیابان

متغیر	TAFC	TAFD	PAFC	PAFD	CAA	CAFC	CAFD	SAFC	SAFD
جنسیت	۲.۴۹۶*	۲.۰۵۸*	۰.۰۴۰	۰.۲۸۶	۰.۱۲۴	۱.۵۰۶	۱.۶۵۳	۰.۹۰۲	۱.۷۸۰
وضعیت تأهل	۳.۳۴۱*	۲.۵۴۸*	۰.۱۱۵	۰.۰۴۴	۲.۹۶۴*	۱.۶۱۴	۰.۸۰۶	۰.۰۴۴	۰.۴۸۳
گواهینامه رانندگی	۰.۷۲۴	۰.۷۴۱	۰.۵۰۱	۰.۵۸۲	۰.۷۷۶	۱.۶۴۸	۱.۰۹۶	۰.۴۶۵	۱.۲۰۷
سابقه‌ی تصادف	۲.۷۲۰*	۲.۰۱۹*	۱.۷۱۸	۱.۸۹۶	۰.۲۱۸	۱.۵۸۲	۱.۰۰۷	۲.۶۶۵*	۲.۶۳۷*
استفاده از موبایل	۲.۵۶۷*	۲.۸۷۷*	۰.۳۶۸	۱.۱۵۶	۰.۹۳۰	۰.۷۳۲	۰.۸۴۵	۰.۸۶۳	۰.۱۰۱
تجربه‌ی VR	۱.۱۶۰	۱.۸۱۹	۰.۳۶۸	۱.۱۵۶	۰.۹۳۰	۰.۷۳۲	۰.۸۴۵	۰.۸۶۳	۰.۱۰۱
عجله	۳.۵۹۹***	۱.۰۴۹	۲.۲۳۲**	۲.۱۹۰**	۰.۰۰۴	۰.۹۵۶	۰.۹۹۵	۳.۲۰۰***	۲.۸۷۵**
نور محیطی	۰.۶۰۹	۰.۵۰۸	۲.۱۵۷*	۱.۹۸۹*	۰.۳۷۳	۰.۳۸۴	۰.۸۲۸	۰.۶۹۸	۱.۱۹۲
آب‌وهوا	۳.۹۱۸*	۳.۳۷۱*	۴۲.۱۰۲***	۱۶.۷۲۰***	۳.۹۸۹*	۲۰.۹۳۶***	۲.۹۷۲*	۳۵.۶۸۸***	۱۰.۷۶۷***

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده‌شده است، عابران پیاده‌ای در حین عبور از یک تقاطع چراغ‌دار، عمدتاً روی سایر عابران پیاده تمرکز می‌کنند و مدت توقف نگاه و تعداد توقف نگاه آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از سایر مناطق موردنظر (AOIs) است. این الگو صرف‌نظر از اینکه عابر پیاده عجله داشته باشد یا خیر، همچنان وجود دارد. شکل ۶ همچنان نشان می‌دهد که توجه عابران پیاده در حین عبور از تقاطع در شرایط آب و هوایی نامناسب (به‌ویژه هوای گرم و بارانی–سرد) به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. این کاهش در هر دو مدت‌زمان توقف نگاه و تعداد توقف نگاه مشهود است، بااین‌حال، آن‌ها همچنان به ترافیک وسایل نقلیه توجه نشان می‌دهند. علاوه بر این، این مشاهدات با یافته‌های قبلی مطابقت دارد و بر تمایل عابران پیاده به تمرکز بر سایر عابران پیاده در حین عبور تأکید می‌کند.



شکل ۶. میانگین تعداد و مدت‌زمان نگاه حین عبور: آ) در اثر آب‌وهوا و ب) فشار زمانی

درنهایت، طبق نتایج آزمون نمونه‌ی مستقل تی در جدول ۴، مردان نسبت به زنان توقف‌های نگاه کوتاه‌تر و تعداد کمتری توقف نگاه بر روی ترافیک داشتند. علاوه بر این، افراد مجرد در مقایسه با افراد متأهل، در حین عبور از خیابان زوایای دید بیشتری داشتند. به‌طور مشابه، افراد مجرد نسبت به افراد متأهل توقف‌های نگاه طولانی‌تر و بیشتری روی ترافیک داشتند. همچنین، شرکت‌کنندگان با سابقه تصادف قبلی، در مقایسه با افرادی که سابقه تصادف قبلی نداشتند، توقف‌های نگاه طولانی‌تر و بیشتری روی چراغ راهنمایی و ترافیک داشتند. علاوه بر این، افرادی که عادت داشتند هنگام راه رفتن از تلفن همراه استفاده کنند، در مقایسه با دیگران توقف‌های نگاه طولانی‌تر و بیشتری روی ترافیک داشتند. درنهایت، شرکت‌کنندگان در طول «روز» نسبت به «شب» توقف‌های نگاه بیشتر و طولانی‌تری روی سایر عابران پیاده داشتند.

۵. نتیجه‌گیری

درک الگوهای تخصیص توجه عابران پیاده می‌تواند به ما در توجه به موقعیت‌هایی که در آن‌ها عابران پیاده توجه کمتری دارند کمک کند و درنتیجه برای توسعه‌ی راهبردها و اقدامات مقابله‌ای به‌منظور بهبود رفتار محتاطانه‌ی آن‌ها به کار رود. بااین‌حال، مطالعات اخیر به دلیل کمبود ابزارهای دقیق جمع‌آوری داده، توجه کمتری به این موضوع داشته‌اند؛ بنابراین ما در این مطالعه، با استفاده از محیط واقعیت مجازی (VR) یک بررسی اکتشافی

بر روی ردیابی چشم عابران پیاده در تقاطع‌های چراغ‌دار انجام شد تا تأثیر عوامل فردی، شرایط موقعیتی و عوامل محیطی بر تخصیص توجه عابران پیاده به مناطق موردنظر (AOIs) برای عبور عابران پیاده در دو مرحله‌ی قبل از شروع عبور و در حین عبور، مورد ارزیابی قرار گیرد.

تحلیل معیارهای ردیابی حرکت چشم قبل و در حین عبور نشان داد که شرکت‌کنندگان نسبت به زمان عبور از خیابان، در مرحله قبل از شروع به عبور، توجه بیشتری به تمام مناطق موردنظر (AOIs) نشان دادند. این یافته حاکی از آن است که افراد قبل از شروع عبور، منابع توجه بیشتری را به جمع‌آوری اطلاعات در مورد محیط اختصاص می‌دهند تا به‌طور بالقوه خطرات را به حداقل رسانده و رفتار عبور خود را بهینه کنند. میانگین مدت توقف نگاه در تمام مناطق موردنظر در فاز قبل از عبور نسبت به حین عبور به‌طور قابل‌توجهی طولانی‌تر بود که نشان‌دهنده‌ی افزایش توجه برای ارزیابی محیط و بهبود استراتژی‌های عبور است و به‌طور بالقوه خطر لغزش‌های شناختی را کاهش داده و رفتار عبور را بهینه می‌کند. برای تغییر مشاهده‌شده در توجه، چند توضیح احتمالی وجود دارد. اولین مورد ممکن است در «تخصیص منابع و بارگذاری شناختی» ریشه داشته باشد. فرآیند تصمیم‌گیری قبل از عبور، بار شناختی بالایی را بر افراد تحمیل می‌کند. آن‌ها نیاز دارند تا اطلاعات بصری را ادغام کنند، خطرات بالقوه را ارزیابی کنند و مسیر عبور خود را برنامه‌ریزی کنند. همچنین ممکن است قبل از شروع عبور، برای بررسی محیط اطراف خود زمان بیشتری داشته باشند که نیازمند گسترش توجه برای جمع‌آوری تمام نشانه‌های مرتبط است. از طرف دیگر، در حین عبور واقعی، حفظ یک مسیر ایمن در حین عبور از موانع بالقوه، نیازمند تصمیم‌گیری‌های پیچیده‌تری است. این امر به کاهش بار شناختی و تغییر به سمت توجه متمرکزتر و کارآمدتر بر روی تهدیدات لحظه‌ای منجر می‌شود.

«میزان عدم قطعیت» ممکن است دلیل دیگری برای تغییر مشاهده‌شده در توجه باشد. مرحله قبل از عبور اغلب به دلیل درک خطر ناشی از عبور با عدم قطعیت بالا همراه است. این امر می‌تواند منجر به تمرکز گسترده‌تری از توجه برای یافتن هرگونه تهدید بالقوه و اطمینان از ایمنی شود. در مقابل، هنگامی‌که عبور آغاز می‌شود، احساس اطمینان و آشنایی با مسیر انتخاب‌شده می‌تواند عدم قطعیت را کاهش دهد و پردازش بصری خودکارتری را ایجاد کند که منجر به نگاه‌های کوتاه‌تر می‌شود. این ممکن است حس امنیت کاذبی ایجاد کند، جایی که عابران پیاده تصور می‌کنند چون چراغ راهنمایی سبز است، حق تقدم عبور دارند. این درک نادرست می‌تواند خطرناک باشد، زیرا رانندگان متخلف یا وسایل نقلیه در حال گردش همچنان می‌توانند خطراتی را برای عابران ایجاد کنند. ازاین‌رو، گنجاندن هشدارهای هدفمندی که عابران پیاده را در حین عبور از خطرات فوری آگاه می‌کند، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی ایمنی عابران پیاده را بهبود بخشد. بعلاوه، تحلیل ردیابی حرکت چشم، توجه بیشتر به سایر عابران پیاده، به‌ویژه در حین عبور را نشان داد. این ممکن است به این دلیل باشد که عابران پیاده اغلب رفتار دیگران را مشاهده و تقلید می‌کنند و همچنین سعی می‌کنند برای جلوگیری از برخورد، حرکات سایر عابران پیاده را پیش‌بینی کنند.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که افراد در مرحله‌ی عبور از خیابان، جستجوی بصری و پردازش اطلاعات خود را احتمالاً برای اولویت دادن به مسیریابی کارآمد و ایمن از طریق خطرات بالقوه در تقاطع تسهیل می‌کنند. این موضوع بر بالقوه بودن محدود شدن توجه تأکید می‌کند که می‌تواند منجر به کاهش هوشیاری نسبت به عناصر حیاتی مانند عبور وسایل نقلیه یا چراغ راهنمایی عابران پیاده شود. برای کاهش این خطر و اطمینان از آگاهی موقعیتی، اجرای کمک‌های بصری مانند چراغ‌های چشمک‌زن، چراغ‌های LED و گذرگاه‌های عابر پیاده برجسته در این مکان‌ها می‌تواند به‌ویژه مفید باشد.

نتایج نشان داد که «شرایط آب و هوایی» و «فشار زمان» بیشترین تأثیر را بر تخصیص توجه عابران پیاده قبل و در حین عبور از تقاطع داشتند و باعث کاهش شدید توجه آن‌ها می‌شد. این امر

لزوم اجرای اقدامات ایمنی برای مناطقی با شرایط آب و هوایی نامناسب را ضروری می‌کند. ازآنجایی‌که رانندگان بیشتر در برابر شرایط آب و هوایی نامناسب محافظت می‌شوند، کمپین‌های آموزشی ایمنی باید بر افزایش دانش رانندگان در مورد کاهش توجه موقعیتی عابران پیاده در این شرایط تمرکز کنند. علاوه بر این، هشدارهای ویژه قابل‌مشاهده در شرایط آب و هوایی نامناسب (به‌ویژه برف و باران) می‌تواند ایمنی عابران پیاده را بهبود بخشد.

علاوه بر این الگوی کلی، رفتار نگاه افراد تحت تأثیر هوای گرم و سرد تفاوت داشت. در هوای گرم، بخش قابل‌توجهی از توجه عابران پیاده قبل از عبور از خیابان به چراغ راهنمایی اختصاص می‌یابد، درحالی‌که خطوط عابر پیاده در هوای سرد و بارانی سهم قابل‌توجهی از توجه افراد را به خود جلب می‌کند. به‌عنوان یک توضیح احتمالی، شرکت‌کنندگان در شرایط آب و هوایی گرم ممکن است تمایل داشته باشند در اسرع وقت از خیابان عبور کنند و بنابراین دائماً چراغ راهنمایی را چک می‌کنند. بااین‌حال، با توجه به شرایط بارانی در سناریوهای سرد، شرکت‌کنندگان سعی کردند با نگاه کردن به زمین (خط عابر پیاده) از خود در برابر بارندگی محافظت کنند که می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی آگاهی موقعیتی آن‌ها را مختل کند؛ بنابراین، توصیه می‌شود در هوای سرد و بارانی از عناصر درون زمینی مانند چراغ‌های LED کارگذاری شده در سطح زمین و در هوای گرم از عناصر با ارتفاع بالا (مانند تابلوهای روی دیوار) استفاده شود.

علاوه بر این، تحت فشار زمان، میانگین مدت توقف نگاه (یعنی کل زمان نگاه تقسیم بر تعداد دفعات نگاه کردن) به هر ناحیه موردنظر (AOI) به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد عابران پیاده زمان کمتری را به منابع اطلاعاتی برای تصمیم‌گیری در مورد عبور ایمن اختصاص می‌دهند. به‌طور خاص، اسکن ناکافی ترافیک ممکن است منجر به قضاوت نادرست از موقعیت شود و به‌طور بالقوه باعث نادیده گرفتن وسایل نقلیه در حال نزدیک شدن شود. همچنین، نقص در اسکن چراغ‌های راهنمایی عابران پیاده ممکن است منجر به رفتارهای عبور اشتباه شود. این امر می‌تواند منجر به تخلفات زمانی یا عبورهای دیرهنگام شود که می‌تواند سلامت عابران پیاده را به خطر بیندازد. علاوه بر این، کاهش توجه به سایر عابران پیاده و خط عابر پیاده می‌تواند خطر آسیب‌دیدگی و سقوط عابران پیاده را افزایش دهد؛ بنابراین، اقدامات مقابله با تخصیص توجه که در بالا پیشنهاد شد، باید در مناطقی که افراد بیشتر در معرض فشار زمان قرار دارند، اجرا شود.

علاوه بر این، تمایلات خاصی در رابطه با تخصیص توجه عابران پیاده در شرایط آب و هوایی نامناسب و تحت فشار زمان مشاهده شد. یافته‌ها نشان داد که در شرایط آب و هوایی نامناسب، توجه به خط عابر پیاده و سایر عابران پیاده به‌جای چراغ راهنمایی و ترافیک جبران می‌شود. این رفتار را می‌توان به‌عنوان شکلی از سازگاری برای حفظ خود مفهوم‌سازی کرد، زیرا عابران پیاده در شرایط آب و هوایی چالش‌برانگیز، اولویت را به ایمنی خود نسبت به دیگران می‌دهند تا ایمن بمانند، رفتار رانندگان را پیش بینی کنند، خطرات را پیش‌بینی کنند و هوشیار باشند.

علاوه بر این، شرکت‌کنندگان صرف‌نظر از فشار زمانی، توجه خود را به چراغ راهنمایی عابر پیاده حفظ کردند. این ممکن است ناشی از نقش اساسی چراغ راهنمایی در امکان تصمیم‌گیری ایمن برای عبور باشد. قابل‌توجه است که مدت توقف نگاه و تعداد دفعات نگاه کردن مرتبط با چراغ راهنمایی عابر پیاده به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از سایر نواحی موردنظر (AOI) است که نشان می‌دهد آن‌ها در فرآیند عبور بر روی چراغ راهنمایی اولویت قائل هستند. چندین عامل وجود دارد که به این سوگیری توجهی نسبت به چراغ راهنمایی کمک می‌کند. در وهله اول، این چراغ به‌عنوان تنها منبع قابل‌اعتماد اطلاعات در مورد زمان ایمن بودن عبور از خیابان عمل می‌کند. برخلاف سایر عناصر مانند سایر عابران پیاده، خط عابر پیاده و ترافیک، چراغ راهنمایی عابران پیاده همیشه اطلاعات دقیق و به‌روز در مورد حق تقدم عابران پیاده را ارائه می‌دهد. دوم اینکه، این چراغ به‌عنوان یک

محرک برجسته، به‌طور مشخص نمایش داده می‌شود و به‌راحتی در میدان دید عابران پیاده قابل‌مشاهده است و پردازش سریع و کارآمد اطلاعات چراغ را تسهیل می‌کند. با توجه به خطرات بالقوه مرتبط با عبور بدون حق تقدم، قابل‌درک است که عابران پیاده بر روی چراغ راهنمایی عابر پیاده اولویت قائل شوند. در این زمینه، توصیه‌ها شامل بهبود دید چراغ راهنمایی از طریق عناصر طراحی مانند کنتراست رنگ، اندازه و مکان قرارگیری استراتژیک است. علاوه بر این، نشان دادن واضح حق تقدم عابران پیاده با استفاده از علائم استاندارد، هشدارهای کمکی و الگوهای زمان‌بندی ثابت، امری ضروری است. برای اطمینان از انتشار جامع اطلاعات، چراغ‌های راهنمایی عابران پیاده را می‌توان با علائم صوتی و تابلو تکمیل کرد و برای عابران پیاده افزونگی ایجاد کرد.

شرکت‌کنندگان، صرف‌نظر از شرایط فشار زمانی، در حین عبور از خیابان توجه قابل‌توجهی به سایر عابران پیاده داشتند. عابران پیاده که در حال عبور از خیابان هستند، نشانه‌هایی در مورد حق تقدم، ترافیک در حال آمدن و ایمنی کلی عبور ارائه می‌دهند. مشاهده عبور ایمن سایر عابران پیاده، اعتمادبه‌نفس را در حین مشاهده تقویت می‌کند، هشدارهای عابران پیاده را به خطرات بالقوه نشان می‌دهد و از عبورهای ناایمن جلوگیری می‌کند.

یافته‌های این پژوهش، راهبردهای متعددی را برای بهبود ایمنی عابران پیاده و بهینه‌سازی تعامل عابر پیاده–وسیله نقلیه پیشنهاد می‌کند، ازجمله:

- طراحی زیرساخت‌هایی که امکان عبور ایمن عابران پیاده را فراهم می‌آورد. این زیرساخت‌ها می‌توانند شامل خطوط عابر پیاده مشخص، تایمرهای شمارش معکوس و چراغ‌های راهنمایی تقاضا–محور[19] باشند.
- ادغام داده‌های آنی[20] عابران پیاده در سیستم‌های مدیریت ترافیک می‌توان زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی را بر اساس حجم عابران پیاده در زمان‌های مختلف تنظیم کرد.
- فناوری واقعیت افزوده و فناوری‌های پوشیدنی برای هشدار به عابران پیاده در مورد خطرات احتمالی و هماهنگ‌سازی رفتارهای عبور مورداستفاده قرار گیرند.

تحلیل معیارهای ردیابی حرکت چشم نشان داد که ویژگی‌های فردی بر تخصیص توجه عابران پیاده قبل و در حین عبور تأثیر می‌گذارد. مردان نسبت به زنان، توجه بیشتری را به ترافیک، هم قبل و هم در حین عبور اختصاص می‌دهند. این یافته با مطالعات قبلی مطابقت دارد. همچنین، مردان زاویه دید بازتری را قبل از عبور از خیابان نشان دادند. بااین‌حال، برخلاف مطالعه انجام‌شده توسط تام و گرانیه[21]، در این پژوهش، مردان مدت‌زمان بیشتری را صرف نگاه کردن به سایر عابران پیاده در تقاطع کردند. افرادی که سابقه تصادف قبلی داشتند، توجه بیشتری را به ترافیک قبل و در حین عبور و به‌ویژه به چراغ راهنمایی در حین عبور اختصاص دادند. این الگو نشان‌دهنده تأثیر پیشگیرانه تصادفات قبلی بر عابران پیاده است که به‌طور بالقوه باعث تشدید پایبندی به اقدامات ایمنی می‌شود که این یافته با مطالعات قبلی مطابقت دارد. بااین‌حال، سابقه تصادفات قبلی تأثیر قابل‌توجهی بر توجه به ترافیک قبل از عبور از خیابان نداشت.

افرادی که گزارش دادند هنگام راه رفتن از تلفن همراه استفاده می‌کنند، توجه کمتری به چراغ راهنمایی قبل از عبور نشان دادند. این یافته، ارتباط بین استفاده از تلفن همراه توسط عابران پیاده و تخلفات زمانی را تأیید می‌کند. به‌طور جالب‌توجه، افرادی که از تلفن همراه استفاده می‌کردند، تعداد دفعات نگاه کردن بیشتر و مدت‌زمان طولانی‌تری را به ترافیک اختصاص می‌دادند. درگیری با فناوری با کاهش آگاهی هنگام عبور از خیابان مرتبط است. این رفتار ممکن است نشان دهد که این گروه با افزایش توجه به ترافیک در حین عبور از خیابان، سعی در بالا بردن ایمنی خود برای جبران کاهش آگاهی ناشی از استفاده از فناوری دارند.

۶. پی‌نوشت‌ها

1. Eye tracking sensor
2. Areas of interest
3. Eye tracking

4. Biassoni et. al.
5. Egan et. al.
6. Gruden et. al.
7. Jiang et. al.
8. Tapiro et. al.
9. Geruschat et. al.
10. The theory of perceptual processes
11. Unity game engine
12. Eye calibration
13. Fixation duration
14. Fixation counts
15. Tobii XR Unity SDK
16. Independent sample t-test
17. ANOVA
18. Tuckey's post-hoc test
19. On-demand
20. Real-time data
21. Tome & Granie

۷. پیوست

پیوست الف: آمار توصیفی متغیرهای سنجش حرکت چشم پیش از عبور از خیابان

جدول پ ۱. میانگین (انحراف معیار) متغیرهای سنجش حرکت چشم پیش از عبور از خیابان

		تعداد	SBFD	SBFC	CBFD	CBFC	CAB	PBFD	PBFC	TBFD	TBFC
جنسیت	مرد	۱۲۲	۶.۴۹۶	۱.۵۷۰	۳.۰۰۷	۰.۸۲۰	۱۴۷.۷۸۳	۳.۷۲۶	۰.۳۲۰	۳.۱۸۳	۲.۳۸۵
			(۱۷.۰۱۲)	(۲.۶۳۵)	(۰.۲۷۲)	(۱.۶۷۱)	(۱۳۷.۸۷۳)	(۱۶.۷۰۹)	(۰.۹۱۲)	(۴.۱۳۵)	(۲.۳۷۹)
	زن	۷۶	۸.۳۶۸	۱.۶۷۰	۲.۰۳۱	۰.۹۱۰	۱۱۲.۱۷۷	۰.۴۳۶	۰.۰۴۰	۲.۱۸۶	۱.۶۴۴
			(۲۰.۳۵۹)	(۲.۸۴۴)	(۵.۶۲۸)	(۲.۲۹۳)	(۱۱۱.۹۰۰)	(۳.۳۶۰)	(۰.۱۹۶)	(۲.۰۶۷)	(۱.۸۳۸)
وضعیت تأهل	مجرد	۱۳۰	۷.۲۱۸	۱.۶۳۰	۱.۲۷۴	۰.۸۲۰	۱۶۸.۳۴۳	۲.۶۲۲	۰.۲۳۰	۲.۸۷۵	۰.۶۱۷
			(۱۸.۷۲۳)	(۲.۷۵۶)	(۴.۲۱۰)	(۱.۸۳۳)	(۱۵۲.۲۴۳)	(۱۳.۷۶۶)	(۰.۷۵۹)	(۳.۸۶۴)	(۱.۳۱۰)
	متأهل	۶۸	۷.۱۵۵	۱.۳۳۰	۱.۷۷۹	۱.۴۲۰	۱۱۱.۷۶۴	۱.۴۶۶	۰.۲۱۰	۱.۶۵۱	۰.۲۲۰
			(۱۱.۳۵۷)	(۱.۹۲۳)	(۴.۷۹۰)	(۳.۱۱۸)	(۱۱۲.۴۹۸)	(۳.۵۷۸)	(۰.۶۸۵)	(۱.۹۴۲)	(۰.۴۲۳)
گواهینامه رانندگی	بله	۱۷۴	۷.۳۵۸	۱.۶۰۰	۱.۴۸۱	۰.۹۳۰	۱۲۷.۹۰۹	۲.۷۴۰	۰.۲۰۰	۲.۸۹۸	۲.۱۳۷
			(۱۹.۱۴۴)	(۲.۶۸۵)	(۴.۴۹۲)	(۲.۰۱۹)	(۱۱۲.۲۰۰)	(۱۴.۲۱۷)	(۰.۶۹۷)	(۳.۹۴۱)	(۲.۲۶۱)
	خیر	۲۴	۶.۱۷۸	۱.۶۷۰	۰.۰۲۸	۰.۲۹۰	۱۱۲.۳۲۰	۰.۴۵۶	۰.۲۹۰	۲.۰۹۱	۱.۸۳۳
			(۱۱.۱۰۹)	(۲.۹۴۴)	(۰.۰۸۴)	(۰.۹۰۸)	(۱۰۱.۰۰۹)	(۱.۵۶۷)	(۰.۹۹۹)	(۲.۲۹۰)	(۱.۸۳۳)
سابق تصادف	بله	۶۷	۶.۵۰۴	۱.۸۱۰	۰.۵۰۵	۰.۸۸۰	۱۴۳.۱۹۰	۶.۹۳۸	۰.۱۶۰	۳.۸۶۹	۲.۵۸۲
			(۱۱.۶۰۵)	(۲.۴۵۵)	(۱.۰۳۲)	(۱.۴۰۸)	(۱۳۴.۸۴۲)	(۲۶.۷۶۸)	(۰.۵۱۵)	(۴.۶۱۴)	(۲.۳۸۱)
	خیر	۱۳۱	۷.۳۵۲	۱.۵۷۰	۱.۴۵۹	۰.۸۵۰	۱۱۲.۳۸۲	۱.۶۰۱	۰.۲۲۰	۲.۲۵۴	۱.۸۵۵
			(۱۹.۳۹۶)	(۲.۷۶۲)	(۴.۵۹۱)	(۲.۰۱۷)	(۱۱۲.۰۳۹)	(۸.۵۸۵)	(۰.۷۷۴)	(۳.۱۶۳)	(۲.۰۸۷)
استفاده از تلفن همراه	بله	۱۵۶	۳.۷۹۷	۰.۹۵۰	۱.۲۹۵	۰.۸۷۰	۱۱۶.۰۸۵	۳.۱۲۵	۰.۲۶۰	۲.۸۰۰	۲.۰۵۷
			(۹.۶۴۵)	(۲.۱۰۶)	(۴.۲۲۰)	(۱.۹۶۰)	(۱۲۵.۱۶۸)	(۱۴.۹۸۷)	(۰.۸۱۸)	(۳.۸۶۸)	(۲.۱۴۶)

	خیر	۴۲	۸.۱۳۵	۱.۷۹۰	۱.۳۴۴	۰.۷۹۰	۱۱۲.۵۴۰	۰.۶۰۹	۰.۰۵۰	۲.۸۰۱	۲.۲۶۱
			(۱۹.۹۷۳)	(۲.۸۳۱)	(۴.۳۴۷)	(۱.۸۲۸)	(۱۱۲.۰۱۹)	(۱.۳۲۴)	(۰.۲۱۶)	(۳.۵۰۱)	(۲.۴۶۰)
تجربه‌ی VR	بله	۱۳۲	۶.۶۰۵	۱.۳۹۰	۰.۸۰۷	۰.۶۴۰	۱۱۲.۵۳۵	۲.۳۲۶	۰.۲۲۰	۲.۵۰۳	۱.۹۱۶
			(۱۹.۰۹۷)	(۲.۵۱۶)	(۳.۴۴۰)	(۱.۵۹۸)	(۱۱۲.۱۴۹)	(۱۴.۱۳۳)	(۰.۷۴۵)	(۳.۶۸۶)	(۲.۰۵۶)
	خیر	۶۶	۸.۴۳۴	۲.۰۵۰	۲.۳۰۲	۱.۲۹۰	۱۲۱.۷۲۰	۲.۷۳۸	۰.۲۰۰	۳.۳۹۵	۲.۴۶۹
			(۱۶.۸۰۲)	(۳.۰۳۵)	(۵.۳۸۷)	(۲.۴۱۶)	(۱۲۱.۲۰۴)	(۱۱.۷۴۲)	(۰.۷۲۸)	(۳.۹۳۵)	(۲.۴۶۹)
عجله	بله	۱۰۳	۱.۴۸۸	۰.۶۵ (۱.۲۰۲)	۰.۳۳۲	۰.۴۸۰	۱۱۱.۲۹۰	۰.۱۴۵	۰.۱۱۰	۰.۸۳۲	۰.۹۴۱
			(۳.۹۶۶)		(۰.۹۶۷)	(۰.۹۱۷)	(۱۱۰.۹۳۹)	(۰.۸۲۷)	(۰.۴۸۳)	(۰.۹۳۴)	(۰.۸۳۸)
	خیر	۹۵	۱۳.۴۲۳	۲.۶۵۰	۲.۳۶۰	۱.۲۶۰	۳۴۶.۹۸۳	۴.۹۷۷	۰.۳۳۰	۴.۹۳۴	۳.۳۵۷
			(۲۴.۸۸۰)	(۳.۴۲۳)	(۵.۸۶۸)	(۲.۵۶۱)	(۲۴۲.۶۸۱)	(۱۸.۹۹۴)	(۰.۹۲۸)	(۴.۴۹۷)	(۲.۵۳۴)
روشنایی	روز	۸۹	۵.۶۷۸	۱.۲۶۰	۱.۶۹۵	۰.۹۸۰	۱۱۲.۳۸۸	۴.۷۶۳	۰.۲۶۰	۲.۶۳۳	۱.۸۹۸
			(۱۶.۰۹۶)	(۲.۳۱۴)	(۵.۰۸۴)	(۲.۰۶۱)	(۱۱۲.۰۲۱)	(۱۹.۴۲۱)	(۰.۸۰۵)	(۳.۵۶۷)	(۱.۸۹۵)
	شب	۱۰۹	۸.۴۶۹	۱.۹۰۰	۰.۹۸۷	۰.۷۵۰	۱۳۰.۷۴۳	۰.۵۸۶	۰.۱۷۰	۲.۹۳۷	۲.۲۶۶
			(۱۹.۹۷۴)	(۲.۹۷۵)	(۳.۳۸۲)	(۱.۸۱۶)	(۱۲۹.۸۴۵)	(۳.۱۷۶)	(۰.۶۷۸)	(۳.۹۶۳)	(۲.۴۳۶)
آب و هوا	عادی	۸۷	۱۳.۷۰۸	(۳.۲۶۴)	۲.۵۶۰	۱.۸۴۰	۲۱۰.۹۶۱	۵.۵۹۶	۰.۴۷۰	۳.۵۱۱	۳.۵۱۱
			(۲۳.۳۲۷)		(۵.۶۰۹)	(۲.۵۴۷)	(۱۱۴.۶۵۸)	(۱۹.۷۷۰)	(۱.۰۵۵)	(۴.۲۱۸)	(۴.۲۱۸)
	گرم	۵۴	۳.۸۵۹	۰.۶۵۰	۰.۰۲۱	۰.۰۲۰	۱۹۶.۸۱۰	۰.۰۱۸	۰.۰۲۰	۳.۲۰۸	۲.۲۵۹
			(۱۵.۱۰۶)	(۱.۵۸۰)	(۰.۱۶۰)	(۰.۱۳۶)	(۱۱۳.۶۲۲)	(۰.۱۳۶)	(۰.۱۳۶)	(۳.۸۱۸)	(۲.۱۵۶)
	سرد و بارانی	۵۷	۰.۴۸۴	۰.۲۵۰	۰.۶۰۵	۰.۱۴۰	۱۱۱.۶۳۳	۰.۰۰۷	۰.۰۱۷	۱.۳۳۱	۱.۰۷۰
			(۳.۰۵۳)	(۰.۹۳۱)	(۳.۲۰۲)	(۰.۴۴۱)	(۱۱۲.۰۹۵)	(۰.۰۹۸)	(۰.۰۹۷)	(۲.۴۷۴)	(۱.۶۴۵)

پیوست ب: آمار توصیفی متغیرهای سنجش حرکت چشم حین عبور از خیابان

جدول پ ۲. میانگین (انحراف معیار) متغیرهای سنجش حرکت چشم حین عبور از خیابان

		تعداد	SBFD	SBFC	CBFD	CBFC	CAB	PBFD	PBFC	TBFD	TBFC
جنسیت	مرد	۱۲۲	۰.۴۷۰	۱.۲۳۰	۰.۷۶۸	۰.۸۲۱	۱۱۱.۵۶۵	۰.۷۵۸	۱.۴۸۰	۰.۷۲۰	۰.۸۶۰
			(۰.۸۸۱)	(۱.۸۲۶)	(۰.۷۶۸)	(۱.۳۱۱)	(۱۱۱.۱۵۵)	(۱.۳۲۲)	(۲.۰۹۴)	(۱.۵۲۶)	(۱.۱۱۵)
	زن	۷۶	۰.۲۷۸	۱.۰۱۰	۰.۸۲۴	۰.۵۵۲	۱۱۴.۷۴۷	۰.۸۰۹	۱.۴۹۰	۰.۳۸۹	۰.۵۰۰
			(۰.۴۰۸)	(۱.۲۹۱)	(۲.۶۳۷)	(۱.۰۶۳)	(۱۱۳.۶۸۱)	(۱.۰۴۰)	(۱.۷۳۲)	(۰.۷۱۴)	(۰.۷۳۹)
وضعیت تأهل	مجرد	۱۳۰	۰.۴۰۳	۱.۱۵۰	۰.۵۹۱	۰.۷۵۳	۱۹۷.۱۹۴	۰.۷۷۷	۱.۴۸۰	۰.۶۱۷	۰.۷۵۲
			(۰.۷۵۶)	(۱.۶۵۹)	(۱.۷۹۶)	(۱.۲۵۳)	(۱۱۲.۵۱۴)	(۱.۲۲۵)	(۱.۹۹۰)	(۱.۳۱۸)	(۱.۰۲۰)
	متأهل	۶۸	۰.۲۹۶	۱.۱۷۰	۰.۱۷۱	۰.۱۶۶	۱۱۰.۹۱۴	۰.۷۹۳	۱.۴۲۰	۰.۲۲۰	۰.۲۵۰
			(۰.۴۵۷)	(۱.۴۰۳)	(۰.۴۲۱)	(۰.۳۸۹)	(۱۱۰.۵۳۲)	(۱.۱۶۵)	(۱.۴۴۳)	(۰.۴۲۳)	(۰.۴۵۲)
گواهینامه رانندگی	بله	۱۷۴	۰.۴۲۰	۱.۱۷۰	۰.۶۱۶	۰.۷۷۱	۱۴۸.۹۰۰	۰.۷۹۷	۱.۵۱۰	۰.۶۱۸	۰.۷۴۱
			(۰.۷۷۶)	(۱.۶۶۶)	(۱.۸۴۴)	(۱.۲۵۶)	(۱۱۲.۵۷۷)	(۱.۲۴۶)	(۱.۹۸۵)	(۱.۳۴۹)	(۱.۰۱۸)
	خیر	۲۴	۰.۲۲۵	۱.۰۰۰	۰.۱۹۹	۰.۳۳۳	۱۱۱.۲۱۹	۰.۶۴۲	۱.۲۹۰	۰.۴۱۰	۰.۵۸۳
			(۰.۳۷۴)	(۱.۴۷۴)	(۰.۶۳۷)	(۰.۹۱۶)	(۱۱۱.۰۴۷)	(۱.۰۱۲)	(۱.۷۸۱)	(۰.۶۲۴)	(۰.۸۸۰)
سابق تصادف	بله	۶۷	۰.۷۰۸	۱.۸۴۰	۰.۸۵۰	۱.۰۳۱	۱۱۸.۹۷۹	۱.۱۵۰	۲.۱۹۰	۱.۰۰۹	۱.۱۵۶
			(۰.۸۵۶)	(۱.۶۴۸)	(۲.۹۷۵)	(۱.۲۵۶)	(۱.۰۰۳)	(۲.۰۰۶)	(۲.۶۶۹)	(۱.۴۳۷)	(۱.۲۴۷)
	خیر	۱۳۱	۰.۳۳۶	۱.۰۱۰	۰.۵۱۱	۰.۶۵۸	۱۱۱.۵۶۵	۰.۷۰۶	۱.۳۴۰	۰.۵۱۲	۰.۶۳۸
			(۰.۷۰۴)	(۱.۶۱۱)	(۱.۴۰۰)	(۱.۲۱۵)	(۱۱۲.۶۳۶)	(۰.۹۹۳)	(۱.۷۶۷)	(۱.۲۴۱)	(۰.۹۲۸)
استفاده از تلفن همراه	بله	۱۵۶	۰.۳۹۹	۱.۲۰۰	۰.۶۲۰	۰.۷۵۱	۱۴۵.۹۶۵	۰.۷۲۶	۱.۵۱۰	۰.۶۷۸	۰.۸۰۱
			(۰.۷۱۹)	(۱.۶۷۱)	(۱.۹۲۲)	(۱.۲۶۸)	(۱۱۲.۷۱۷)	(۱.۰۲۱)	(۲.۰۸۴)	(۱.۴۰۹)	(۱.۰۴۰)
	خیر	۴۲	۰.۳۸۶	۰.۹۵۰	۰.۳۶۳	۰.۵۹۵	۱۱۱.۲۷۰	۰.۹۷۱	۱.۳۸۰	۰.۲۷۵	۰.۴۲۸
			(۰.۸۲۵)	(۱.۵۲۹)	(۰.۷۹۶)	(۱.۰۶۰)	(۱۱۰.۸۲۷)	(۱.۷۷۵)	(۱.۴۱۳)	(۰.۵۴۱)	(۰.۷۶۹)

بررسی نقاط توجه عابران در تقاطع‌های چراغ‌دار شهری با استفاده از محیط واقعیت مجازی (VR) مجهز به سیستم شبیه‌ساز آب‌وهوا

تجربه‌ی VR	بله	۱۳۲	۰.۳۸۶ (۰.۸۱۸)	۰.۹۸ (۱.۵۳۱)	۰.۵۷۰ (۲.۰۳۸)	۰.۶۱۵ (۱.۱۵۷)	۱۴۰.۹۲۰ (۱۱۲.۹۳۱)	۰.۷۰۷ (۱.۲۹۹)	۱.۲۷۰ (۱.۹۱۸)	۰.۶۷۷ (۱.۴۴۴)	۰.۸۳۳ (۱.۰۸۵)
	خیر	۶۶	۰.۴۱۷ (۰.۵۶۲)	۱.۴۸۰ (۱.۸۰۸)	۰.۵۵۶ (۰.۹۳۴)	۰.۹۲۴ (۱.۳۳۹)	۱۱۱.۳۴۴ (۱۱۰.۸۴۹)	۰.۹۱۹ (۱.۰۳۴)	۱.۹۱۰ (۱.۹۸۲)	۰.۴۲۵ (۰.۸۶۹)	۰.۵۰۰ (۰.۷۶۹)
عجله	بله	۱۰۳	۰.۲۵۳ (۰.۴۵۰)	۰.۰۸۰ (۱.۱۱۵)	۰.۶۸۴ (۱.۹۰۹)	۰.۷۹۸ (۱.۲۱۶)	۱۱۱.۵۸۱ (۱۱۰.۹۲۲)	۰.۵۹۷ (۱.۲۶۸)	۱.۱۸۰ (۱.۶۰۷)	۰.۶۸۵۱ (۰.۸۳۵)	۰.۹۶۱ (۰.۹۷۹)
	خیر	۹۵	۰.۵۵۱ (۰.۹۴۰)	۱.۵۳۰ (۲.۰۰۴)	۰.۴۳۷ (۱.۵۵۱)	۰.۶۳۱ (۱.۲۳۸)	۱۱۱.۷۲۲ (۱۱۳.۴۰۷)	۰.۹۷۴ (۱.۱۳۸)	۱.۸۰۰ (۲.۲۴۴)	۰.۴۹۳ (۱.۶۳۷)	۰.۴۶۳ (۰.۹۶۵)
روشنایی	روز	۸۹	۰.۳۳۲ (۰.۵۸۲)	۱.۰۶۰ (۱.۵۶۹)	۰.۶۷۹ (۱.۷۸۳)	۰.۷۵۵ (۱.۲۷۳)	۱۲۱.۲۵۸ (۱۱۳.۴۲۶)	۰.۹۵۳ (۱.۵۰۷)	۱.۸۱۰ (۲.۴۴۹)	۰.۵۴۱ (۰.۹۳۷)	۰.۶۷۴ (۰.۸۷۶)
	شب	۱۰۹	۰.۴۴۸ (۰.۸۴۸)	۱.۲۲۰ (۱.۷۰۲)	۰.۴۷۲ (۱.۷۱۹)	۰.۶۸۸ (۱.۱۹۱)	۱۱۱.۵۲۳ (۱۱۱.۱۵۵)	۰.۶۳۵ (۰.۹۰۲)	۱.۲۱۰ (۱.۳۹۵)	۰.۶۳۵ (۱.۵۱۳)	۰.۷۶۱ (۱.۰۹۶)
آب و هوا	عادی	۸۷	۰.۶۵۲ (۰.۷۳۰)	۲.۱۰۰ (۱.۶۶۴)	۰.۷۹۸ (۱.۳۱۶)	۱.۲۸۷ (۱.۴۷۷)	۱۱۱.۹۷۰ (۱۱۳.۴۷۹)	۱.۳۰۳ (۱.۱۴۰)	۲.۶۹۰ (۲.۲۰۱)	۰.۷۴۸ (۱.۶۶۴)	۰.۸۸۵ (۱.۲۰۴)
	گرم	۵۴	۰.۲۷۰ (۰.۷۳۵)	۰.۴۳۰ (۱.۱۵۹)	۰.۱۰۳ (۰.۳۴۷)	۰.۱۲۹ (۰.۴۳۶)	۱۱۱.۵۳۸ (۱۱۱.۱۲۲)	۰.۳۶۵ (۰.۵۶۷)	۰.۶۱۰ (۰.۹۴۰)	۰.۵۵۵ (۰.۹۹۵)	۰.۶۸۵ (۰.۸۶۴)
	سرد و بارانی	۵۷	۰.۱۲۵ (۰.۶۴۰)	۰.۳۷۰ (۱.۱۹۰)	۰.۶۴۸ (۲.۷۶۸)	۰.۴۰۷ (۰.۹۰۶)	۱۱۱.۰۳۱ (۱۱۰.۸۴۵)	۰.۳۶۶ (۱.۴۳۴)	۰.۴۶۰ (۱.۰۷۰)	۰.۳۹۱ (۰.۷۳۰)	۰.۵۰۸ (۰.۷۱۰)

۸. مراجع

– شهرداری تهران، "گزیده آمار و اطلاعات حمل‌ونقل و ترافیک تهران"، ۱۳۹۹.

– سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، ۱۴۰۰.
Online Available: http://trafficorg.tehran.ir

– WHO, Global status report on road safety 2018. Geneva: World Health Organization, 2018.

– B. C. de Lavalette, C. Tijus, S. Poitrenaud, C. Leproux, J. Bergeron, and J.-P. Thouez, "Pedestrian crossing decision-making: A situational and behavioral approach," Safety science, vol. 47, no. 9, pp. 1248-1253, 2009.

– A. Sobhani and B. Farooq, "Impact of smartphone distraction on pedestrians' crossing behaviour: An application of head-mounted immersive virtual reality," Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, vol. 58, pp. 228-241, 2018.

– S. Deb, L. J. Strawderman, and D. W. Carruth, "Investigating pedestrian suggestions for external features on fully autonomous vehicles: A virtual reality experiment," Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, vol. 59, pp. 135-149, 2018.

– J. P. N. Velasco, H. Farah, B. van Arem, and M. P. Hagenzieker, "Studying pedestrians' crossing behavior when interacting with automated vehicles using virtual reality," Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, vol. 66, pp. 1-14, 2019.

– H. Tapiro, T. Oron-Gilad, and Y. Parmet, "Pedestrian distraction: The effects of road environment complexity and age on pedestrian's visual attention and crossing behavior," Journal of safety research, vol. 72, pp. 101-109, 2020.

– C. A. Cutello, M. Gummerum, Y. Hanoch, and E. Hellier, "Evaluating an intervention to reduce risky driving behaviors: taking the fear out of virtual reality," Risk analysis, vol. 41, no. 9, pp. 1662-1673, 2021.

– J.-H. Kwon, J. Kim, S. Kim, and G.-H. Cho, "Pedestrians safety perception and crossing behaviors in narrow urban streets: An experimental study using immersive virtual reality technology," Accident Analysis & Prevention, vol. 174, p. 106757, 2022.

– D. T. Luu, H. Eom, G.-H. Cho, S.-N. Kim, J. Oh, and J. Kim, "Cautious behaviors of pedestrians while crossing narrow streets: Exploration of behaviors using virtual reality experiments," Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, vol. 91, pp. 164-178, 2022.

– L. Lévêque, M. Ranchet, J. Deniel, J.-C. Bornard, and T. Bellet, "Where do pedestrians look when crossing? A state of the art of the eye-tracking studies," IEEE Access, vol. 8, pp. 164833-164843, 2020.

– K. Aghabayk, J. Esmailpour, A. Jafari, and N. Shiwakoti, "Observational-based study to explore pedestrian crossing behaviors at signalized and unsignalized crosswalks," Accident Analysis & Prevention, vol. 151, p. 105990, 2021.

– A. Tom and M.-A. Granié, "Gender differences in pedestrian rule compliance and visual search at signalized and unsignalized crossroads," Accident Analysis & Prevention, vol. 43, no. 5, pp. 1794-1801, 2011.

– D. Dey, F. Walker, M. Martens, and J. Terken, "Gaze patterns in pedestrian interaction with vehicles: Towards effective design of external human-machine interfaces for automated vehicles," in Proceedings of the 11th international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications, 2019, pp. 369-378.

– Y. B. Eisma, S. van Bergen, S. Ter Brake, M. Hensen, W. J. Tempelaar, and J. C. de Winter, "External human–machine interfaces: The effect of display location on crossing intentions and eye movements," Information, vol. 11, no. 1, p. 13, 2019.

– A. Kalatian and B. Farooq, "Decoding pedestrian and automated vehicle interactions using immersive virtual reality and interpretable deep learning," Transportation research part C: emerging technologies, vol. 124, p. 102962, 2021.

– H. Tapiro, A. Meir, Y. Parmet, and T. Oron-Gilad, "Visual search strategies of child-pedestrians in road crossing tasks," Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe, pp. 119-130, 2014.

– D. R. Geruschat, S. E. Hassan, and K. A. Turano, "Gaze behavior while crossing complex intersections," Optometry and vision science, vol. 80, no. 7, pp. 515-528, 2003.

– E. B. Goldstein, Encyclopedia of perception. Sage, 2010.

– J. J. Gibson, "The Theory of A ordances", Perceiving, Acting, and Knowing, ed. Shaw, R., and Bransford, J," ed: Erlbaum, 1977.

– J.-C. Bornard, T. Bellet, P. Mayenobe, D. Gruyer, and B. Claverie, "A perception module for car drivers visual strategies modeling and visual distraction effect simulation," in

– A. Laureshyn, K. Åström, and K. Brundell-Freij, "From speed profile data to analysis of behaviour: classification by pattern recognition techniques," IATSS research, vol. 33, no. 2, pp. 88-98, 2009.

– S. Deb, L. Strawderman, J. DuBien, B. Smith, D. W. Carruth, and T. M. Garrison, "Evaluating pedestrian behavior at crosswalks: Validation of a pedestrian behavior questionnaire for the US population," Accident Analysis & Prevention, vol. 106, pp. 191-201, 2017.

– F. Biassoni, M. Bina, F. Confalonieri, and R. Ciceri, "Visual exploration of pedestrian crossings by adults and children: Comparison of strategies," Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, vol. 56, pp. 227-235, 2018.

– C. D. Egan, A. Willis, H. Ness, and S. G. Stradling, "Visual gaze behaviour of children and adult pedestrians at a signalized road crossings," 2008.

– C. Gruden, I. Ištoka Otković, and M. Šraml, "Safety analysis of young pedestrian behavior at signalized intersections: An eye-tracking study," Sustainability, vol. 13, no. 8, p. 4419, 2021.

– K. Jiang et al., "Effects of mobile phone distraction on pedestrians' crossing behavior and visual attention allocation at a signalized intersection: An outdoor experimental study," Accident Analysis & Prevention, vol. 115, pp. 170-177, 2018.

– J. Bindschädel, I. Krems, and A. Kiesel, "Two-step communication for the interaction between automated vehicles and pedestrians," Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, vol. 90, pp. 136-150, 2022.

Proceedings of the 1st international Symposium on Digital Human Modelling (IEA-DHM), 2011, pp. 1-6.

– HTC. "VIVE Pro Eye Specs & User Guide." https://developer.vive.com/documents/718/VIVE_Pro_Eye_user_guide.pdf (accessed).

– D. Qu, H. Li, H. Liu, S. Wang, and K. Zhang, "Crosswalk safety warning system for pedestrians to cross the street intelligently," Sustainability, vol. 14, no. 16, p. 10223, 2022.

– M. J. King, D. Soole, and A. Ghafourian, "Illegal pedestrian crossing at signalised intersections: incidence and relative risk," Accident Analysis & Prevention, vol. 41, no. 3, pp. 485-490, 2009.

– P. Koh and Y. Wong, "Gap acceptance of violators at signalised pedestrian crossings," Accident Analysis & Prevention, vol. 62, pp. 178-185, 2014.

– A. Dommes, M.-A. Granié, M.-S. Cloutier, C. Coquelet, and F. Huguenin-Richard, "Red light violations by adult pedestrians and other safety-related behaviors at signalized crosswalks," Accident Analysis & Prevention, vol. 80, pp. 67-75, 2015.