

ارزیابی میزان دسترسی پذیری پیاده‌روها برای کاربران ویلچر مبتنی بر عوامل پویای محیطی (بارش باران)

مریم نقدی زادگان جهرمی^{۱*}، نجمه نیسانی سامانی^{۱*}، میثم ارگانی^۱، میرابوالفضل مصطفوی^۲

^۱گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

naghdizadegan.m@ut.ac.ir, nneysani@ut.ac.ir, argany@ut.ac.ir

^۲مرکز تحقیقات داده و هوش مکانی (CRDIG)، گروه علوم ژئوماتیک، دانشگاه لاول، کانادا

mir-abolfazl.mostafavi@scg.ulaval.ca

(دریافت: دی ۱۴۰۲، تصویب: مرداد ۱۴۰۳)

چکیده

توانایی حرکت مستقل افراد دارای معلولیت حرکتی برای فعالیت‌های روزانه آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. اما، حرکت این افراد غالباً توسط عوامل مختلف محیطی و اجتماعی محدود می‌شود. علاوه بر عوامل ایستا، عوامل پویا مانند بارش می‌تواند دسترسی-پذیری پیاده-رو را کاهش دهد. این مقاله، به بررسی دسترسی‌پذیری پیاده‌روها برای افراد دارای معلولیت حرکتی، به ویژه برای استفاده کنندگان از ویلچر دستی، در زمان بارش می‌پردازد. هدف این مقاله بررسی چگونگی تأثیر عوامل محیطی، از جمله عوامل پویا مانند بارش، بر حرکت مستقل افراد دارای اختلالات حرکتی می‌باشد. روش پیشنهادی، سطح اطمینان هر کاربر را در جهت‌یابی اجزای مختلف پیاده‌رو در حضور شدت‌های مختلف بارش ارزیابی می‌کند و از یک مدل تصمیم‌گیری فازی برای ارزیابی دسترسی پذیری استفاده می‌کند. علاوه بر نقشه‌های دسترسی پذیری برای شدت‌های مختلف بارش، از شاخص شباهت برای مقایسه تأثیر شدت بارش بر دسترسی پذیری مؤلفه‌های پیاده‌رو استفاده شده‌است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که شدت بارش بر میزان دسترسی پذیری هر بخش از پیاده‌رو تأثیر بسزایی دارد و باید مورد توجه قرار گیرد. بر اساس نتایج بدست آمده، در حالیکه اکثر بخش‌های پیاده‌رو در زمان بارش با شدت کم برای کاربر ویلچر در دسترس هستند، با افزایش شدت بارش، میزان دسترسی پذیری پیاده‌رو در بیشتر بخش‌ها به متوسط تقلیل می‌یابد. علاوه بر این، در شدت بارش شدید، سطح دسترسی پذیری در مناطق با عرض کم و کیفیت نامطلوب سطح به سمت خیلی کم سوق می‌یابد.

واژگان کلیدی: دسترسی پذیری، بارش باران، حرکت کاربران ویلچر، پیاده‌رو

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

مشارکت اجتماعی افراد دارای معلولیت از اهمیت زیادی برخوردار است. بر اساس اصول عدالت اجتماعی، توانایی حرکت این افراد به صورت مستقل برای کارهای روزانه و مشارکت مؤثر در فعالیت‌های اجتماعی (مانند رفتن به مدرسه یا محل کار، خرید کردن و مشارکت در فعالیت‌های جمعی) مانند سایر شهروندان بسیار ضروری است [۱]. اما مشارکت اجتماعی این افراد با موانع مختلف فیزیکی و اجتماعی محدود شده‌است. در واقع، محیط‌های شهری به گونه‌ای طراحی نشده‌اند که افراد دارای اختلال حرکتی را در نظر بگیرند. بنابراین، توانایی حرکت این افراد نه تنها به دلیل معلولیت بلکه به دلیل موانع موجود در فضای شهری نسبت به سایر افراد کمتر است [۲، ۳، ۴]. این امر می‌تواند بر کیفیت زندگی آنها، که در نتیجه اثر متقابل عامل شخصی و عوامل اجتماعی و فیزیکی در محیط است، تأثیر بگذارد. موانع اجتماعی و فیزیکی می‌توانند فعالیت روزمره آنها را محدود کنند و منجر به انزوا و طرد آنها از جامعه شوند [۱، ۳، ۵]. علیرغم تلاش‌های زیادی که برای بهبود دسترسی پذیری محیط‌های شهری انجام شده‌است، افراد مبتلا به اختلالات حرکتی، هنوز دسترسی محدودی به زیرساختها و خدمات شهری دارند. این امر می‌تواند به دلیل استانداردهای جهانی نامناسب و یا مدیریت نامطلوب باشد [۶]. از این رو آگاهی از سطح دسترسی پذیری پیاده‌روها و موانع موجود، برای ایمنی این افراد بسیار ضروری است و می‌تواند مشارکت اجتماعی آنها را بهبود بخشد. در واقع، ارائه اطلاعات از موقعیت موانع و ویژگیهای آنها برای مسیریابی افراد دارای معلولیت بسیار کمک کننده خواهد بود [۶، ۷].

ابزارهای مختلفی برای جمع آوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات دسترسی پذیری محیط، با استفاده از فناوری‌های مکانی پیشرفته موجود (سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS)، سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS)^۲ و شبکه‌های بی سیم^۳)، می‌تواند فراهم شود. استفاده از این فناوریها و توسعه خدمات و برنامه‌های کاربردی متناسب با نیازهای کاربران ویلچر، می‌تواند موجب تسهیل حرکت این افراد در سطح جامعه گردد. اما علیرغم تلاشهای فراوان، فناوریهای ناوبری موجود، با نیازهای خاص افراد دارای معلولیت

حرکتی سازگار نیستند [۸، ۹، ۱۰]. به عنوان مثال، مطالعات انجام شده در مورد قابلیت استفاده از فناوری‌های کمکی، نشان داده‌است که محتوای اطلاعاتی در مسیرها برای کاربران ویلچر بسیار مهم است [۱۱]؛ با این حال، اطلاعات مربوط به دسترسی پذیری پیاده‌روها، وجود رمپ جدول و رمپ‌ها معمولاً در ابزارهای ناوبری موجود و منابع آنلاین موجود نمی‌باشد [۱۲]. برنامه‌های ناوبری همچنین، فاقد اطلاعات دسترسی‌پذیری مناسب در بخش‌های مختلف پیاده‌رو می‌باشند، فلذا نمی‌توانند سفرهای ایمن و آسان را برای این افراد تضمین کنند [۵].

برای غلبه بر این محدودیت‌ها، تحقیقات زیادی برای ارزیابی تأثیر عوامل مختلف بر دسترسی پذیری پیاده‌رو برای افراد دارای معلولیت حرکتی انجام شده‌است [۶، ۱۳-۱۹]. بر اساس این مطالعات، عوامل فیزیکی مؤثر بر دسترسی پذیری، به دو دسته عوامل ایستا^۴ و پویا^۵ تقسیم می‌شوند. در حالیکه تغییرات شیب، عرض، نوع و کیفیت سطح و تغییر ارتفاع عوامل ایستا هستند، بارش، ازدحام جمعیت و روشنایی عوامل پویایی هستند که می‌توانند در طول زمان تغییر کنند و موجب تغییر دسترسی پذیری شوند. اکثر مطالعات قبلی عوامل ایستا را برای ارزیابی قابلیت دسترسی پیاده‌روها در نظر گرفته‌اند و عوامل پویا به دلیل پیچیدگی‌های موجود در جمع آوری داده‌ها حذف شده‌اند [۲۰]. با این حال، عوامل پویا ممکن است به طور قابل توجهی بر دسترسی پذیری پیاده‌روها تأثیر بگذارند و لذا، توجه به آنها در تحرک کاربران ویلچر بسیار مهم است.

این مقاله یک روش فازی مبنا را برای ارزیابی دسترسی پذیری شبکه عابر پیاده در زمان بارندگی و چگونگی تأثیر شدت بارش (باران) بر دسترسی‌پذیری آن پیشنهاد می‌کند. برای تحقق این هدف، پارامترهای فیزیکی ایستای مؤثر بر دسترسی‌پذیری پیاده‌روها، برای کاربران ویلچر مورد بررسی قرار گرفت. سپس، اثرات شدت بارش بر این عوامل، بر اساس رویکرد سطح اطمینان کاربر ارزیابی گردید. روش پیشنهادی در یک مطالعه موردی اجرا شد و نتایج، ارائه و مورد بحث قرار گرفت. بقیه مقاله به شرح زیر سازماندهی شده‌است: بخش دوم اطلاعاتی را در مورد کارهای تحقیقاتی مرتبط در مورد دسترسی به شبکه‌های عابر پیاده برای کاربران ویلچر و

نقش بارش ارائه می‌دهد. بخش سوم، روش پیشنهادی برای ارزیابی دسترسی پذیری را شرح و بخش چهارم، جزئیات آزمایش و ارزیابی مدل را ارائه می‌دهد. در بخش پنجم، نتایج رویکرد پیاده‌سازی شده برای کاربر ویلچر دستی، با استفاده از شاخص شباهت مورد بحث قرار گرفته و مسیرهای شخصی‌سازی شده ارائه می‌گردد و در نهایت نتیجه‌گیری تحقیق در بخش آخر ارائه شده‌است.

۲- پیشینه تحقیق

رویکردهای مختلفی برای ارزیابی دسترسی پذیری شبکه‌های پیاده رو و مسیریابی افراد دارای معلولیت، در سال‌های اخیر توسعه داده شده است [۳، ۶، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۱-۲۳]. در حالی که برخی از محققان، از تجربه و بازخورد شرکت کنندگان برای مسیریابی استفاده کردند، در برخی دیگر از تحقیقات، موانع فیزیکی پیاده رو برای ارزیابی دسترسی پذیری مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳، ۱۶-۱۸]. سایر مطالعات، روش‌ها و نرم افزارهای مختلفی را برای ارزیابی دسترسی پذیری شبکه‌های عابر پیاده طراحی و توسعه داده اند [۱۷، ۲۰، ۲۲، ۲۴، ۲۵].

با وجود نتایج مفید این مطالعات، نقشه‌های دسترسی پذیری در این پژوهش‌ها عمدتاً مبتنی بر عوامل ایستا و بدون در نظر گرفتن تأثیر عوامل پویا بر دسترسی پذیری پیاده‌روها است. از سوی دیگر، عوامل پویا برای کاربران ویلچر بسیار مهم هستند، زیرا ممکن است به طور قابل توجهی بر میزان دسترسی پذیری به مسیر تأثیر بگذارند. به عنوان مثال، پیمایش در زمان بارش برای کاربران ویلچر همیشه یک عامل چالش برانگیز است، در واقع تحرک در زمان بارش به عنوان یکی از سخت ترین موقعیت‌ها برای استفاده کنندگان ویلچر شناخته شده‌است [۲۶]. زیرا به صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر فعالیت فرد اثر می‌گذارد. استفاده از ویلچر می‌تواند چالش‌های متعددی را در مسیریابی در محیط فیزیکی و ساختمانی، به‌ویژه در هوای نامساعد، هنگام بارندگی ایجاد کند [۲۷]. بنابراین، مدل‌سازی تأثیر بارش بر تحرک کاربران ویلچر بسیار ضروری است.

برخی از محققان نقش بارش را در حرکت افراد دارای معلولیت حرکتی مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند [۲۸-۳۴].

اما، رویکرد این مطالعات عمدتاً کیفی بوده و نقش بارش در میزان دسترسی پذیری عوامل فیزیکی موجود در پیاده رو در نظر گرفته نشده‌است. این مطالعات، غالباً میزان تحرک کاربران ویلچر را در شرایط بارندگی در مقایسه با شرایط معمولی بررسی کردند. از مطالعات انجام شده، صرفاً دو تحقیق به بررسی ترجیحات کاربران ویلچر در شرایط آب و هوایی متفاوت مانند حضور باران و برف به منظور تأثیر آن بر ناوبری پرداخته است [۲۷، ۳۵].

دارکو^۶ و همکاران (۲۰۲۲)، وضعیت آب و هوا (برف و باران) را به عنوان یکی از پارامترهای مؤثر بر دسترسی پذیری پیاده رو برای افراد دارای معلولیت حرکتی در نظر گرفتند. در این مطالعه، دسترسی پذیری هر پیاده رو برای کاربران دارای اختلالات حرکتی، با پنج پارامتر عرض، طول، شیب، نوع سطح پیاده‌رو و وضعیت آب و هوا تعریف گردیده‌است. در این تحقیق، امتیاز شرایط آب و هوا بر هزینه هر بخش از پیاده رو، صرفاً از طریق تعامل آن با پارامتر نوع سطح پوشش در نظر گرفته شده‌است. به عنوان مثال، لیز بودن سطوح پیاده رو با نوع پوشش خاص، به دلیل باران و برف، هزینه کلی آن بخش از پیاده رو را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد و سبب کاهش میزان دسترسی پذیری آن بخش از پیاده رو، برای افراد دارای اختلالات حرکتی می‌گردد. در این مطالعه، همچنین، از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۷) برای تعیین وزن پنج پارامتر مؤثر بر دسترسی پذیری برای هر کاربر، استفاده شده‌است و لذا، کاربران می‌توانند مسیر خود را بر اساس نیازها و ترجیحات منحصر به فرد خود سفارشی کنند. سپس روش بهینه مسیریابی پویای شخصی سازی شده برای کاربران آسیب پذیر جاده (VRUPOD^۸) از این اطلاعات برای محاسبه مسیر بهینه برای هر کاربر، با در نظر گرفتن ماهیت پویای شرایط پیاده رو استفاده شده‌است [۲۷].

اپاچ^۹ و همکاران (۲۰۲۱)، مطالعاتی برای کمک به مسیریابی پیاده رو برای افراد دارای معلولیت حرکتی در شرایط محیطی نامطلوب انجام دادند. این مقاله به نقش آب و هوا در مسیریابی پیاده رو می‌پردازد و به طور خاص، بر شرایط محیطی نامطلوب پس از بارش مانند تجمع آب در جاده‌ها، پیاده‌روها و مسیرهای پیاده‌روی پس از بارش باران و ذوب برف که می‌تواند تهدیدی برای تردد عابران پیاده باشد، تمرکز می‌کند. در این مطالعه مسیریابی پیاده رو در ابزار

۸ Vulnerable Road Users' Personalized Optimum Dynamic routing
۹ Opach

۶ Darko

۷ Analytical Hierarchy Process

۳- روش پیشنهادی برای ارزیابی دسترسی پذیری در زمان بارش

روش مورد استفاده در این تحقیق، برای ارزیابی دسترسی پذیری پیاده‌روها برای افراد دارای اختلال حرکتی، مبتنی بر مدل فرایند ایجاد معلولیت (DCP^{۱۰}) است. بر اساس این مدل، معلولیت نتیجه تعامل بین عوامل شخصی است (مثلاً سیستم بدنی، توانایی‌ها، ...) و عوامل محیطی (شیب، پله، رمپ، ...) می‌باشد. عوامل محیطی می‌توانند ایستا یا پویا باشند [۳۶]. در حالی که اکثر کارهای قبلی به نقش عوامل ایستا بر تحرک کاربران ویلچر اختصاص داده شده‌است، آثار تحقیقاتی کمی نقش عوامل پویا را در دسترسی به پیاده‌روها در نظر می‌گیرند. روش مورد استفاده برای ارزیابی دسترسی پذیری پیاده‌روها در زمان بارش، از سه مرحله اصلی تشکیل شده‌است: (۱) شناسایی عوامل فیزیکی پیاده‌رو در زمان بارش بر اساس سطح اطمینان کاربران، (۲) کمی‌سازی این عوامل، و (۳) ارزیابی دسترسی پذیری.

بر اساس مطالعات قبلی [۲۰، ۸]، روش‌های مبتنی بر سطح اطمینان، می‌توانند به اندازه‌گیری ادراک کاربر ویلچر برای توانایی حرکت در حضور یک عامل فیزیکی خاص کمک کنند. اولین مرحله، شامل اندازه‌گیری سطح اطمینان کاربران ویلچر است. این امر نیازمند شناسایی عوامل فیزیکی مؤثر بر حرکت کاربران ویلچر در زمان بارش می‌باشد. از این رو، باید سطح اطمینان کاربر برای حرکت در حضور یک عامل فیزیکی و همچنین در زمان بارش با شدت معین به دست آورده شود. سپس، سطح دسترسی پذیری هر بخش از پیاده‌رو، با ترکیب سطوح اطمینان کاربران در مواجهه با عوامل فیزیکی مختلف موجود در آن بخش از پیاده‌رو و در زمان بارش با شدت معین تعیین می‌شود.

الگوریتم‌های مختلفی مانند مدل خطی، مدل تحلیل سلسله‌مراتبی، حمل و نقل چند وجهی و پیاده‌روی چند معیاره (MMT-MCW^{۱۱}) و منطق فازی در مطالعات مختلف [۱۴، ۳۷، ۳۸] برای محاسبه شاخص دسترسی پذیری استفاده شده‌است. این الگوریتم‌ها، اگرچه مفید هستند، اما به دلیل ساده‌سازی بیش از حد، دارای محدودیت‌هایی برای ارزیابی دسترسی پذیری می‌باشند. الگوریتم فازی-تاپسیس^{۱۲} اخیراً در بعضی مطالعات

مبتنی بر وب به نام "WayFinder" پیاده‌سازی گردید. این ابزار مبتنی بر نقشه، برای مسیریابی عابر پیاده در مناطقی که به دلیل باران‌های شدید و تجمع آب در جاده‌ها، پیاده‌روها و مسیرهای پیاده‌روی احتمال آبرفتگی وجود دارد، توسعه یافته‌است. این مطالعه از دو سرویس مسیریابی، "Google Maps Directions API" و "Open Route Service API" استفاده کرد تا چندین گزینه مسیریابی را در اختیار شرکت‌کنندگان قرار دهد و به آن‌ها اجازه دهد آزادانه، گزینه‌ای را انتخاب کنند که برایشان مناسب‌تر است. شرکت‌کنندگان از "WayFinder" برای حرکت در مناطقی که به دلیل باران‌های شدید و تجمع آب در جاده‌ها، پیاده‌روها و مسیرهای پیاده‌روی به زیر آب می‌روند استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که اکثر شرکت‌کنندگان در استفاده از "WayFinder" موفق بودند، اما آن‌ها سطح رضایت متوسطی را گزارش کردند و سودمندی ابزار نیز به طور مشابه، متوسط ارزیابی شد. شرکت‌کنندگان به ندرت مسیری را انتخاب می‌کردند که از نقاط دارای آبرفتگی اجتناب می‌کرد، و در عوض، پیاده‌روی، بیشتر در کوتاه‌ترین مسیر و یا مسیری که کوتاه‌ترین تلاقی را با مناطق دارای آبرفتگی دارد، انجام می‌گردید. در واقع آن‌ها انتخاب مسیریابی را که از مناطقی که احتمال آبرفتگی آن‌ها وجود دارد و کسب اطلاعات در مورد خطرات آن را، به جای انتخاب یک مسیر پیشنهادی، که قبلاً از مناطق در معرض خطر اجتناب کرده بود، ترجیح دادند [۳۴].

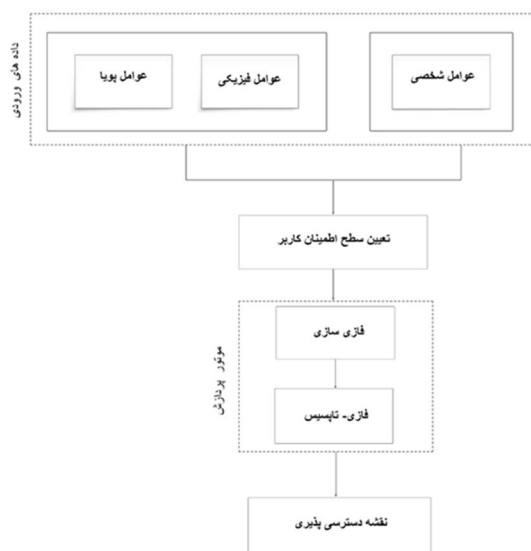
مطالعات فوق، اثر بارش را بر مسیریابی افراد دارای معلولیت حرکتی ارزیابی کرده‌است، اما همانطور که توضیح داده شد، ترجیحات افراد در انتخاب مسیر بهینه در هنگام بارش، باید در مسیریابی کاملاً لحاظ شود. لذا، بررسی درک کاربر از میزان دسترسی پذیری همه عوامل فیزیکی موجود در سطح پیاده‌رو در زمان بارش از اهمیت بالایی برخوردار است. حضور بارش می‌تواند دسترسی پذیری مؤلفه‌های مختلف پیاده‌رو (سطح پیاده‌رو، پل، رمپ، و غیره) را تغییر دهد. از این رو در این تحقیق، به بررسی تاثیر شدت بارش بر دسترسی پذیری مؤلفه‌های مختلف پیاده‌روها می‌پردازیم. به طور خاص، هدف این مطالعه، ارزیابی دسترسی پذیری پیاده‌روها برای افرادی است که با ویلچر دستی حرکت می‌کنند.

۱۰ Disability Creation Model

۱۱ Multi-Modal Transportation and Multi-Criteria Walking

مسیریابی، به عنوان الگوریتم مناسب برای تصمیم گیری چند معیاره مورد استفاده قرار گرفته است. (۲۰۱۸) [۳].

مزیت استفاده از فازی-تاپسیس در این تحقیق، در نظر گرفتن فاصله سطح اطمینان فرد در مواجهه با هریک از فاکتورهای فیزیکی متعلق به هر مؤلفه پیاده رو با سطوح اطمینان ایده ال فرد در همان شرایط و استفاده از آن در بررسی دسترسی پذیری پیاده رو می باشد. این الگوریتم با محاسبه فاصله سطح اطمینان کاربر برای هر ویژگی پیاده رو، تا بهترین و بدترین سطح اطمینان او برای همان ویژگی، اهمیت سطح اطمینان کاربر را برای محاسبه میزان دسترسی پذیری پیاده رو، در زمینه^{۱۳} از پیش تعریف شده (مانند بارش) در نظر می گیرد. این الگوریتم، در محاسبه شاخص دسترسی پذیری بسیار کارآمد است. رویکرد پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- رویکرد پیشنهادی برای ارزیابی دسترسی پذیری پیاده روها در زمان بارش برای حرکت کاربران ویلچر

۳-۱- تعیین عوامل فیزیکی مؤثر پیاده روها بر حرکت کاربران ویلچر در زمان بارش

مهمترین عوامل فیزیکی مؤثر بر حرکت کاربران ویلچر در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته اند [۸، ۱۴، ۳۹، ۴۰]. با این حال، قوانین و استانداردهای طراحی پیاده روها از کشوری به کشور دیگر متفاوت است. پژوهش حاضر در تهران، پایتخت ایران انجام شده است. اگرچه بسیاری از عوامل فیزیکی مرتبط بر تحرک کاربران ویلچر

مشابه شهرهای دیگر است. اما تفاوت هایی در قوانین و استانداردهای اعمال شده برای طراحی و اجرای پیاده روهای مختص تهران وجود دارد. به عنوان مثال، مسیر زهکشی موجود در حاشیه خیابان ها که خیابان و پیاده روها را از هم جدا می کند. از این رو پل های کوچک زیادی برای عبور از آنها وجود دارد که پیاده روها را به خیابان متصل می کند و ممکن است توسط کاربران ویلچر در حین حرکت استفاده شود. این پل ها نقش زیادی در تردد افراد دارند و لذا باید در مطالعات دسترسی پذیری مورد توجه قرار گیرند. از این رو، در این تحقیق، فهرست عوامل فیزیکی مؤثر بر حرکت کاربر ویلچر با ویژگی پیاده روهای تهران تطبیق داده شد. (شکل ۲).

جدول ۱- نمونه ای از مجموعه عوامل مؤثر بر دسترسی پذیری پیاده رو

فاکتور فیزیکی	دامنه مقادیر	زیر مجموعه فازی
عرض (متر)	۰-۳	{کم، متوسط، زیاد}
شیب عرضی (درصد)	۰-۵	{ملایم، متوسط، پرشیب}
شیب طولی (درصد)	۰-۸	{ملایم، متوسط، پرشیب}
نوع سطح	-	{سیمان، آسفالت، ماسه، سنگفرش، گرانیت، مرمر}
کیفیت سطح	۰-۱۰	{خوب، متوسط، ضعیف}
تغییرات ارتفاع	۰-۲۰	{کم، متوسط، زیاد}

با توجه به عوامل ذکر شده در بالا، برای ارزیابی قابلیت دسترسی پذیری به پیاده رو، عوامل فیزیکی اصلی مؤثر بر پیمایش کاربر ویلچر در سفرهای روزانه آنها مشخص شده است. به طور خاص، عوامل فیزیکی مختلف از جمله عرض، طول، شیب، جنس پوشش سطح، کیفیت سطح، و تغییرات ارتفاع به عنوان ویژگی های اصلی برای چهار مؤلفه مختلف موجود شامل پیاده رو، رمپ جدول، رمپ و پل در نظر گرفته می شوند. نمونه ای از مجموعه عوامل مؤثر بر دسترسی پذیری پیاده رو در جدول ۱ ارائه شده است. سپس از استانداردهای شهرسازی و معماری ایرانی برای افراد دارای اختلال حرکتی، به منظور استخراج مقادیر محدوده برای هر عامل فیزیکی استفاده شده است. این مقادیر با استفاده از

استاندارد مذکور و کارشناسان خبره در معیارهای مختلف دسته بندی شدند. در نهایت، تأثیر بارش بر ارزیابی دسترسی پذیری در نظر گرفته شد. برای انجام این کار، شدت بارش به عنوان یک عامل پویای محیطی در نظر گرفته شد (جدول ۲) و بر اساس راهنمای مشاهده آب و هوای سطحی (MANOBS^{۱۴}) به چهار کلاس طبقه بندی شده است [۴۱]. هر دسته بر اساس شدت بارش در هر متر مربع در پیاده رو تعریف شده است.

جدول ۲- مقادیر شدت بارش

شدت بارش	ملازم	متوسط	زیاد	شدید
مقدار بارش (mm/h)	۲.۵ >	۲.۵-۷.۵	۷.۶-۵۰	۵۰ <

۳-۲- فازی سازی^{۱۵} عوامل فیزیکی

برای توصیف عوامل محیطی، مردم غالباً از یک رویکرد کیفی استفاده می کنند، زیرا مقادیر کمی دقیق ممکن است موقعیت های واقعی زندگی را به درستی نشان ندهند. برای پرداختن به این موضوع، از منطق فازی برای تبدیل مقادیر قطعی به مقادیر غیر قطعی استفاده می شود، این فرآیند فازی سازی نامیده می شود. فازی سازی با تعریف توابع عضویت، که توابع ریاضی هستند که یک مقدار معین را به مجموعه ای از مقادیر بین ۰ و ۱ ترسیم می کنند، انجام می شود. کلاس های مجموعه فازی توابع عضویت هر عامل فیزیکی (عرض، شیب، نوع سطح و ...)، برای هر مؤلفه پیاده رو، بر اساس مقادیر تعیین شده توسط استانداردهای شهرسازی و معماری ایران برای استفاده کنندگان از ویلچر تعریف می شود. توابع عضویت برای عوامل فیزیکی هر مؤلفه با سایر مؤلفه ها متفاوت است. به عنوان مثال، در حالی که مقادیر شیب برای رمپ جدول به سه مجموعه مختلف طبقه بندی می شوند، مقادیر شیب برای رمپ ها دارای چهار مجموعه است. یک تابع عضویت نیز برای شدت بارش تعریف شده است. شدت بارش به چهار دسته کم، متوسط، زیاد و شدید طبقه بندی شده است.

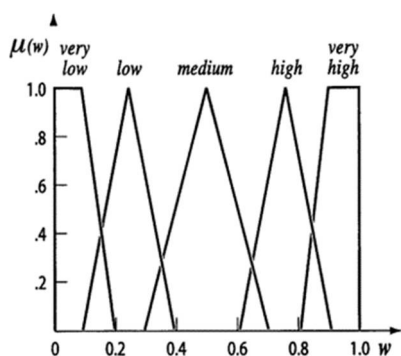
فازی سازی را می توان به صورت ریاضی نشان داد. مجموعه فازی A در زمینه یک جهان X با یک تابع عضویت مشخص می شود که با $\mu_A(x_i)$ مشخص می شود، به طوری که دامنه X در محدوده [۰، ۱] است. مقدار عضویت x_i در

مجموعه A که به صورت $\mu_A(x_i)$ نشان داده می شود، مطابق با کار زاده^{۱۶} و همکاران (۱۹۶۵)، با معادله ۱ تعریف می شود [۴۲]. در اینجا، مجموعه A با $A=(a,b,c,d)$ نشان داده می شود و x_i به عنوان معیاری است که به مجموعه $X=[x_1,x_2,\dots,x_n]$ تعلق دارد. برای هر عامل فیزیکی یک بخش از پیاده رو، مقادیر عضویت برای هر معیار در هر شدت بارش به دست آورده می شود.

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} 0, & x_i \leq a \\ \frac{x_i - a}{b - a}, & a \leq x_i \leq b \\ 1, & b \leq x_i \leq c \\ \frac{d - x_i}{d - c}, & c \leq x_i \leq d \\ 0, & d \leq x_i \end{cases} \quad (1)$$

۳-۳- ساخت بردارهای فازی مبتنی بر سطح اطمینان در زمان بارش

سطح دسترسی پذیری هر بخش از پیاده رو به عنوان تابعی از معیارهای مختلف در هر شدت بارش، از فردی به فرد دیگر متفاوت است. بنابراین، نقش سطح اطمینان کاربر در محاسبه دسترسی پذیری به پیاده رو در زمان بارش بسیار مهم است [۶]. در این مطالعه کاربران با استفاده از اصطلاحات زبانی مانند خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، سطح اطمینان خود را ابراز می کنند. بنابراین، در این تحقیق، از یک تابع عضویت منطبق با مقادیر فوق، پیشنهاد شده توسط مالچوسکی^{۱۷} (۱۹۹۹)، برای نشان دادن سطوح مختلف اطمینان استفاده گردید [۴۳]. تابع عضویت، مجموعه های فازی و مقادیر آن در شکل ۲ و جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- تابع عضویت سطوح اطمینان کاربر (مالچوسکی، ۱۹۹۹)

^{۱۶} Zadeh

^{۱۷} Malczewski

^{۱۴} Manual of Surface Weather Observations

^{۱۵} Fuzzifying

جدول ۳- مجموعه‌های فازی و مقادیر فازی سطوح اطمینان کاربر

مجموعه فازی	مقادیر فازی
خیلی کم	(۰, ۰.۱, ۰.۲)
کم	(۰.۱, ۰.۲۵, ۰.۴)
متوسط	(۰.۳, ۰.۵, ۰.۷)
زیاد	(۰.۶, ۰.۷۵, ۰.۹)
خیلی زیاد	(۰.۸, ۰.۹, ۱)

با استفاده از این تابع عضویت، یک سطح اطمینان با توجه به مقادیر عضویت مشتق شده در بخش قبل به هر معیار اختصاص داده می‌شود. به عنوان مثال، یک رمپ جدول با شیب ۳٪ و شدت بارش ۲ میلی متر در ساعت، به ترتیب متعلق به مجموعه فازی ملایم با مقدار عضویت ۰.۹۲ و مجموعه فازی کم با مقدار عضویت ۰.۸۳ است. سطح اطمینان کاربر برای این رمپ جدول، در این شدت بارش، خیلی زیاد می‌باشد، لذا، سطح اطمینان خیلی زیاد و عدد فازی (۰.۸, ۰.۹, ۱)، منتج شده از جدول ۳، به این معیار (رمپ جدول با شیب ۳٪) و در این شدت بارش، اختصاص داده می‌شود.

۳-۴- شاخص دسترسی پذیری

در این تحقیق، شاخص دسترسی پذیری برای هر بخش از پیاده رو بر اساس سطح اطمینان کاربر در هنگام مواجهه با عوامل فیزیکی مختلف در طول آن بخش و در زمان بارش محاسبه می‌شود. به هر بخش از پیاده رو، یک سطح دسترسی پذیری اختصاص می‌یابد، که به نوبه خود با جمع‌آوری سطوح اطمینان کاربر در مواجهه با عوامل فیزیکی متعدد موجود در آن بخش از پیاده رو و در هر شدت بارش محاسبه می‌شوند. در این مطالعه، شاخص دسترسی پذیری با استفاده از روش فازی- تاپسیس محاسبه شده‌است. فازی- تاپسیس، در واقع، توسعه رویکرد تاپسیس در یک محیط فازی است [۴۴]. الگوریتم فازی تاپسیس مورد استفاده در این تحقیق، برای مدلسازی شدت بارش به عنوان فاکتور پویای محیط توسعه داده شده‌است.

۳-۴-۱- تقسیم‌بندی شبکه پیاده‌رو

در پایگاه‌های داده مناطق شهری، هر مسیر پیاده رو به عنوان بخشی از شبکه‌های جاده تعریف می‌شوند که بین دو

رمپ جدول قرار گرفته‌است و دارای بیش از یک ویژگی مانند شیب، کیفیت سطح و عرض می‌باشد. این ویژگی‌ها معمولاً ثابت نیستند و در طول مسیر تغییر می‌کنند. در چنین پایگاه‌های داده‌ای، ضروری است از روش مناسبی برای تقسیم مسیر به بخش‌هایی که ویژگی‌ها ثابت دارند، استفاده شود. تقسیم بندی شبکه پیاده‌رو گام اول برای اندازه‌گیری و بررسی دسترسی پذیری است. فرآیند تقسیم بندی شامل سه گام است: (۱) استخراج شبکه پیاده، (۲) اطمینان از اتصال پیوستگی آن‌ها و (۳) تقسیم بندی بر اساس پارامترهای ثابت (دائمی) و زمانی. شبکه پیاده رو موجود، پس از تایید اتصال خطوط، با تغییر در هر ویژگی ثابت در طول مسیر شکسته شده، به بخشهایی تقسیم می‌شوند.

۳-۴-۲- روش فازی- تاپسیس

روش فازی- تاپسیس که توسط Chen (۲۰۰۰) توسعه یافته‌است، یک تکنیک برای ترجیح شباهت به وضعیت ایده آل است. این روش بر اساس نزدیکترین فاصله به $FPIS^{18}$ (راه حل ایده آل مثبت فازی) و دورترین فاصله از $FNIS^{19}$ (راه حل ایده آل منفی فازی) می‌باشد [۴۴]. مراحل مربوط به فازی- تاپسیس در هر شدت بارش در ادامه ارائه شده است:

۱. ساخت بردار فازی: در این مرحله از بردارهای فازی مبتنی بر سطح اطمینان در زمان بارش که در بخش ۳.۳ به آن پرداخته شد استفاده می‌گردد.
۲. ایجاد بردارهای فازی نرمال شده (r_i) : هدف این مرحله تنظیم مقادیر سطح اطمینان کاربر برای عوامل فیزیکی در مقیاسی ثابت است که امکان انجام محاسبات و مقایسه‌ها را فراهم می‌کند. مقدار نرمال شده توسط سطح اطمینان کاربر برای هر عامل در رابطه با حداکثر سطح اطمینان کاربر برای آن عامل مشخص می‌شود.

$$r_i = \frac{(a_con)_i}{(c_con_i^*)} \cdot \frac{(b_con)_i}{(c_con_i^*)} \cdot \frac{(c_con)_i}{(c_con_i^*)} \quad (2)$$

$$(c_con)_i^* = \max(c_con)_i$$

که در آن (a_con, b_con, c_con) سطوح اطمینان کاربر در مورد هر معیار و $(c_con_i^*)$ حداکثر سطح اطمینان کاربر برای آن معیار است.

برخوردار است. شاخص تشابه (SI) می‌تواند به تحلیل دقیق این اثرات کمک کند. شاخص شباهت، معیاری برای تعیین میزان تشابه سطوح اطمینان کاربر ویلچر، در شدت‌های مختلف بارش است و به عنوان نسبت تعداد سطوح اطمینان که در شدت‌های مختلف بارش برابر است به کل تعریف می‌شود [۴۵]. مقدار SI بین ۰ و ۱ است، جایی که ۰ نشان می‌دهد که هیچ شباهتی بین اطمینان کاربر وجود ندارد و ۱ نشان می‌دهد که مقادیر اطمینان کاربر در شدت‌های مختلف بارش یکسان است.

۴- ارزیابی مدل

در این تحقیق، رویکردی جدید، برای ارزیابی دسترسی پذیری به پیاده‌روها بر اساس ادراک کاربران ویلچر از عوامل فیزیکی موجود در مسیر حرکت آن‌ها در پیاده‌رو، پیشنهاد داده شده‌است (شکل ۱). این رویکرد پیشنهادی، چگونگی درک و تعامل افراد دارای اختلالات حرکتی، به‌ویژه کاربران ویلچر، را در مواجهه با موانع مختلف محیطی، در شدت‌های مختلف بارش مورد بررسی قرار می‌دهد. برای بررسی این مدل، آزمایشی با حضور سه کاربر ویلچر میانسال (۳۵ تا ۵۵ ساله) در شهر تهران انجام شد. مطالعه بر اساس پروتکل خاصی انجام گردید. برای هر شرکت‌کننده، سه مسیر انتخاب گردید. از این سه مسیر، دو مسیر آشنا (یکی آسان و یکی دشوار) و مسیر سوم توسط متخصص انتخاب شد که دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشند. مسیر سوم، در خیابان اصلی قرار گرفته‌است و دارای تنوع کاربری و همچنین، سیستم حمل و نقل اصلی می‌باشد. در ادامه، سطوح اطمینان شرکت‌کنندگان در مواجهه با عوامل فیزیکی مختلف موجود در پیاده‌روها و در شدت‌های بارش مختلف، در طی یک مصاحبه نیمه ساختاریافته ثبت گردید. بدین منظور، برای هر مسیر با تمرکز بر عوامل فیزیکی پیاده‌روها، فیلم و عکس‌های متعددی ضبط و ثبت گردید. از شرکت‌کنندگان خواسته شد ویدیو و عکس‌ها را تماشا کنند و سطح اطمینان خود را برای هر عامل فیزیکی موجود در هر بخش از مسیر و در شدت بارش‌های مختلف، با عباراتی مانند خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بیان کنند. سپس هر مسیر پیاده‌رو بر اساس موانع فیزیکی موجود و ویژگی‌های آن بخش بندی گردید و ویژگی‌ها در یک پایگاه داده ذخیره شدند. سطح اطمینان کاربر برای هر عامل فیزیکی در شدت‌های

۳. محاسبه راه حل ایده آل مثبت فازی و راه حل ایده آل منفی فازی: حداکثر سطح اطمینان برای هر عامل فیزیکی در شدت بارش‌های مختلف به عنوان FPIS در نظر گرفته می‌شود و حداقل سطح اطمینان برای برای همان عامل فیزیکی در شدت بارش‌های مختلف به عنوان FNIS شناسایی می‌شود.

$$\begin{aligned} FPIS &= [r_1^*, r_2^*, \dots, r_6^*] & r_i^* &= \max\{r_{i4}\} \\ FNIS &= [r_1^*, r_2^*, \dots, r_6^*] & r_i^* &= \min\{r_{i1}\} \end{aligned} \quad (3)$$

۴. محاسبه فاصله از هر مقدار نرمال شده تا FPIS و FNIS: فاصله هر مقدار سطح اطمینان برای هر عامل نسبت به FPIS و FNIS محاسبه می‌شود.

$$d_i^* = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^6 (r_{i-} - r_i^*)^2}, \quad (4)$$

$$d_i^- = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^6 (r_{i-} - r_i^-)^2}$$

۵. محاسبه ضریب نزدیکی: ضریب نزدیکی بر اساس مقدار نزدیکی سطوح اطمینان کاربر در هر شدت بارش به بهترین و بدترین سطوح اطمینان کاربر برای هر عامل فیزیکی به صورت زیر محاسبه می‌شود، این ضریب به عنوان شاخص دسترسی پذیری اولیه در نظر گرفته می‌شود:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*} \quad (5)$$

۶. رتبه بندی ضریب نزدیکی: با توجه به سطح اطمینان کاربر در این محاسبات، قسمتی که ضریب نزدیکی بالاتری دارد، از دسترسی پذیری بیشتری برخوردار خواهد بود. این ضریب به عنوان شاخص دسترسی پذیری اولیه در نظر گرفته می‌شود و به چهار کلاس طبقه بندی می‌شود که نشان دهنده میزان دسترسی پذیری در شدت بارش مشخص شده برای هر بخش از پیاده‌رو می‌باشد.

۳-۵- شاخص تشابه^{۲۰}

تأثیر شدت بارش بر سطح اطمینان کاربر در مواجهه عوامل فیزیکی مختلف یک پیاده‌رو، از اهمیت بالایی

مختلف بارش، برای هر شرکت کننده ثبت گردید (بخشی از پروفایل یکی از کاربران در مواجهه با دو عامل فیزیکی سطح پیاده رو در جدول ۴ نشان داده شده است) و سپس با استفاده از الگوریتم فازی-تاپسیس تجزیه و تحلیل گردید. در نهایت، شاخص دسترس پذیری محاسبه شد و نتایج در قالب یک نقشه

جدول ۴- نمونه‌ای از پروفایل کاربر ویلچر

جنس سطح			شیب طولی (بالا رفتن)			ویژگی عامل فیزیکی
ملایم	لغزنده	غیرلغزنده	زیاد	متوسط	ملایم	
خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	سطح اطمینان کاربر در بارش کم
زیاد	کم	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	سطح اطمینان کاربر در بارش متوسط
متوسط	خیلی کم	متوسط	خیلی کم	کم	متوسط	سطح اطمینان کاربر در بارش زیاد
خیلی کم	صفر	خیلی کم	صفر	خیلی کم	خیلی کم	سطح اطمینان کاربر در بارش شدید

می‌باشد. این دو عامل می‌توانند به عنوان عوامل کلیدی در زمان مسیریابی مورد توجه قرار گیرند.

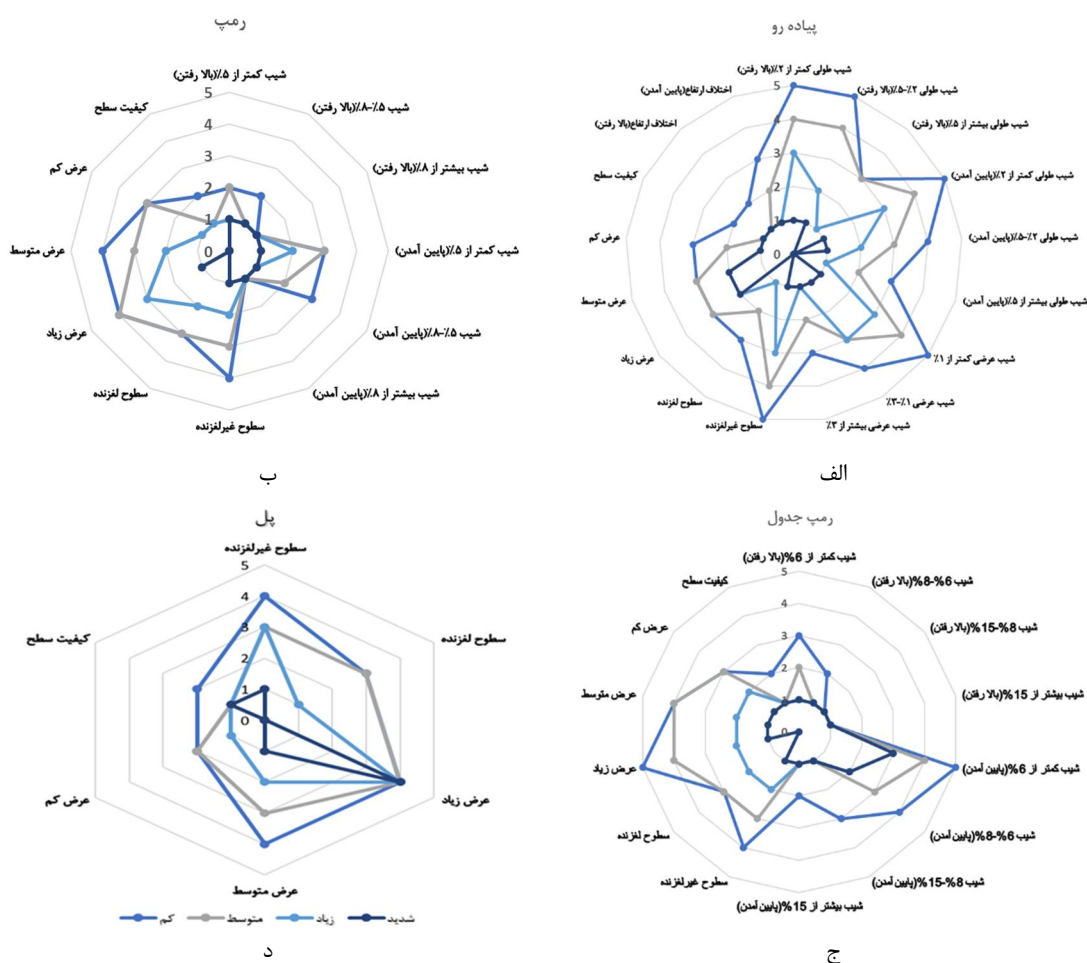
همچنین، از نتایج می‌توان دریافت که سطح اطمینان کاربر برای بالا رفتن از شیب‌های طولی پیاده رو، به طور کلی، بالاتر از پایین آمدن از شیب‌های طولی مشابه می‌باشد. این امر بدلیل لغزندگی سطح و احساس عدم کنترل ویلچر در هنگام پایین آمدن در زمان بارش می‌باشد، اما، سطح اطمینان کاربر در زمان بارش شدید، برای عبور از شیب‌های طولی، در هر دو جهت حرکت (به سمت بالا و پایین شیب)، بشدت کاهش می‌یابد. بر اساس شکل ۳ و شاخص شباهت (شکل ۴) سطح اطمینان فرد، در عبور از شیب عرضی، به سطح اطمینان او در پایین آمدن از شیب طولی شباهت زیادی دارد. این شباهت در همه شدتهای بارش بغیر از شیب بیشتر از ۵٪ در زمان بارش شدید موجود است.

همانطوریکه در شکل ۳ ب نشان داده شده است، در زمان بارش، سطح اطمینان فرد در بالا رفتن از شیب رمپ جدول، بسیار پایین تر پایین آمدن از رمپ جدول می‌باشد. این امر، به دلیل بارش و لیز بودن سطح و اصطکاک کمتر است که بالا رفتن از رمپ جدول را برای او دشوار می‌سازد. بر اساس نتایج، افزایش شدت بارش سطح اطمینان او را کاهش می‌دهد اما بر اساس شاخص شباهت (شکل ۴)، افزایش شدت بارش از زیاد به شدید، تاثیری بر سطح اطمینان کاربر برای عبور از رمپ جدول ندارد. لغزندگی سطح، با افزایش شدت

۵- نتایج و بحث

به منظور بررسی مدل پیشنهادی، در این بخش، تأثیر شدت بارش بر چهار مؤلفه مسیر پیاده‌روها (پیاده‌رو، پل، رمپ جدول و رمپ) برای یکی از شرکت کنندگان ارائه می‌گردد. شاخص دسترسی پذیری و شاخص شباهت برای تجزیه و تحلیل نتایج با جزئیات بیشتر محاسبه شده است. با توجه به نتایج، شدت‌های مختلف بارش می‌توانند به روش‌های متفاوتی بر حرکت کاربر ویلچر تأثیر بگذارد. بر اساس نتایج بدست آمده، سطح اطمینان کاربر در حرکت در زمان بارش هنگام عبور از پیاده رو، رمپ جدول، پل و رمپ متفاوت است. لذا، در این تحقیق تأثیر چهار شدت بارش (شدید، زیاد، متوسط و کم) بر روی این مؤلفه‌ها به طور دقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. شکل ۳ سطح اطمینان کاربر را در عبور از چهار مؤلفه پیاده رو و در چهار شدت بارش نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج بدست آمده (شکل ۵ الف)، سطح اطمینان کاربر برای عبور از عوامل فیزیکی موجود در سطح پیاده‌رو با افزایش شدت بارش کاهش می‌یابد، اما همانطوریکه مشاهده می‌شود، سطح اطمینان کاربر در تعامل با برخی از فاکتورهای فیزیکی پیاده رو مانند عرض و کیفیت سطح، در شدت بارش زیاد و شدید مشابه می‌باشد. همچنین سطح اطمینان فرد برای عبور از این دو فاکتور، بطور کلی، حتی در بارش کم و متوسط نیز، پایین تر از سایر فاکتورهای فیزیکی پیاده رو



شکل ۳- سطوح اطمینان کاربر در هنگام حرکت در زمان بارش (الف) پیاده رو، (ب) رمپ، (ج) رمپ جدول، (د) پل، در بارش کم، متوسط، زیاد و شدید.

بارش می‌تواند سطح اطمینان فرد را برای عبور از رمپ جدول کاهش دهد و در بارش شدید فرد تمایلی برای عبور از رمپ جدول ندارد. بر اساس نتایج، عرض رمپ جدول اثر بسیار محسوسی در سطح اطمینان فرد دارد و با افزایش میزان بارش و کاهش عرض، سطح اطمینان فرد کاهش می‌یابد. کیفیت نامطلوب سطح نیز در زمان بارش بشدت موجب کاهش سطح اطمینان فرد می‌شود و با افزایش شدت بارش به متوسط و بیشتر، سطح اطمینان فرد را به خیلی کم کاهش می‌دهد. در واقع، کیفیت نامطلوب سطح و وجود شکستگی و ناهمواری، تمایل فرد را به عبور از رمپ جدول در زمان بارش بسیار کاهش می‌دهد.

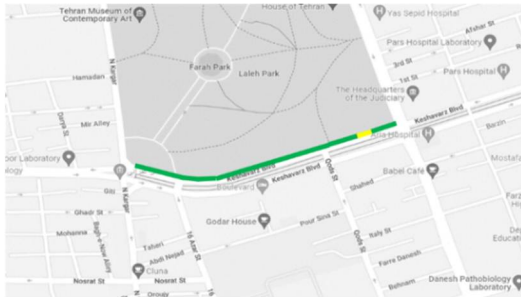
سطح اطمینان فرد در هنگام عبور از یک رمپ (شکل ۳ ج)، در زمان بارش، بطور کلی کمتر از سطح اطمینان او در عبور از سطح پیاده رو می‌باشد. در زمان بارش کم و متوسط، سطح اطمینان فرد در بالا رفتن از رمپ، کمتر از سطح اطمینان او در پایین آمدن از رمپ در همان شدت‌های بارش است. اما سطح اطمینان او در هر دو جهت حرکت و

در تمام شدت‌های بارش، برای شیب زیاد همواره بسیار کم است. در عبور از رمپ، عرض کم، سطح اطمینان کاربر ویلچر را کاهش داده و در شدت زیاد بارش، سطح اطمینان فرد نزدیک به صفر می‌باشد. همچنین، توجه به این نکته بسیار حائز اهمیت است که کیفیت سطح در زمان بارش، بشدت بر سطح اطمینان فرد اثر گذاشته و می‌تواند مانند شیب کنترل کننده حرکت فرد باشد. در واقع، نتایج بدست آمده از سطوح اطمینان فرد نشان می‌دهد که فرد در بارش شدید تمایلی به عبور از رمپ با عرض کم و کیفیت ضعیف سطح ندارد.

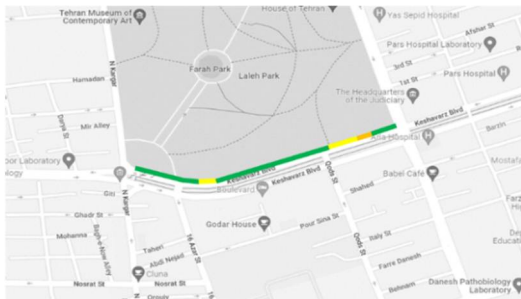
در عبور از یک پل (شکل ۳ د و ۴ د)، نتایج نشان می‌دهد که سطح اطمینان فرد در عبور از پل با عرض زیاد و متوسط، در زمان بارش، بیشتر از رمپ می‌باشد. این امر می‌تواند به دلیل مسطح بودن پل و فقدان شیب باشد که سطح اطمینان فرد را افزایش می‌دهد. اما با کاهش عرض و افزایش شدت بارش، سطح اطمینان فرد در عبور از پل، بشدت کاهش می‌یابد. سطح اطمینان او همچنین، در عبور از پل با جنس

لغزنده در زمان بارش زیاد کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، کیفیت نامطلوب سطح نیز بشدت در کاهش سطح اطمینان او فارغ از میزان بارش مؤثر است و می‌تواند در کنار لغزندگی سطح، به عنوان عامل کنترل کننده توانایی حرکت فرد در نظر گرفته شود.

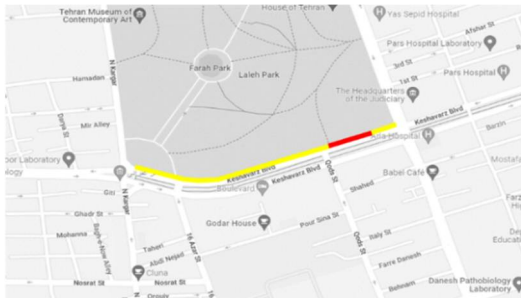
منطقه مورد مطالعه انجام شده‌است. این مقادیر با استفاده از الگوریتم فازی- تاپسیس محاسبه شده‌اند. این شاخص برای ارزیابی دسترسی پذیری هر بخش از پیاده رو با توجه به پروفایل‌های کاربری مختلف در مسیر پیاده رو، و در زمان بارش با شدت‌های مختلف، استفاده می‌شود.



الف



ب



ج



د

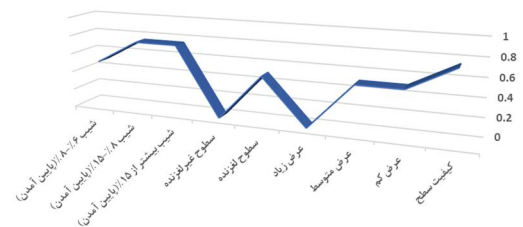
شکل ۵- نقشه‌های دسترسی‌پذیری با شدت‌های مختلف بارش، (الف) بارش ملایم، (ب) بارش متوسط، (ج) بارش زیاد، (د) بارش شدید

شکل ۵ قابلیت دسترسی پذیری یک پیاده رو واقع در بلوار کشاورز را نشان می‌دهد. دلیل انتخاب این پیاده رو، تنوع عوامل فیزیکی موجود در آن به دلیل ساختار پیاده رو و نیز



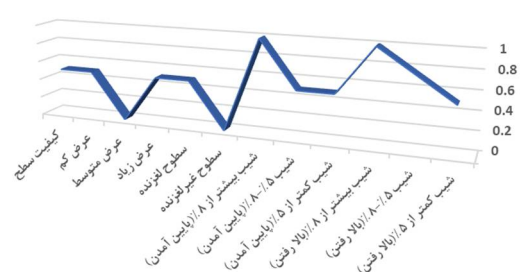
الف

رسم جدول



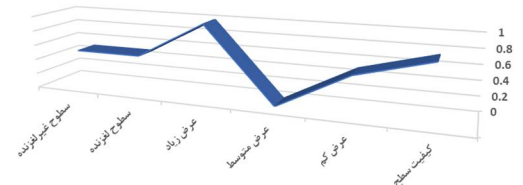
ب

رسم



ج

پل



د

شکل ۴- شاخص تشابه چهار مؤلفه مسیر پیاده رو در زمان بارش

علاوه بر این، محاسبه شاخص دسترسی پذیری برای هر بخش از پیاده رو بر اساس سطوح اطمینان کاربر در مواجهه با هر معیار از عوامل فیزیکی موجود، و چهار شدت بارش در

ساخت و ساز موجود در زمان بررسی این مطالعه می‌باشد. این بخش از پیاده رو، فاقد شیب طولی و عرضی می‌باشد و عرض آن در قسمت مرکز و غرب پیاده رو، به استثنا بخشی که توسط بلوکهای عمودی برای جلوگیری از تردد موتورسواران محدود شده، زیاد است. عرض پیاده رو در قسمت شرق بدلیل انجام ساخت و ساز کمتر است. در نقشه خروجی در شکل ۵، بخش‌های با «دسترسی پذیری بسیار کم» با رنگ قرمز، بخش‌های با «دسترسی پذیری کم» با رنگ نارنجی، بخش‌های با «دسترسی پذیری متوسط» با رنگ زرد و «دسترسی پذیری زیاد» به رنگ سبز نشان داده شده‌اند. طبق نقشه، این پیاده رو برای این کاربر ویلچر، در قسمت های غربی بیشتر و در قسمت شرقی کمتر قابل دسترس می‌باشد. دسترسی پذیری کمتر در این قسمت به دلیل کم عرض بودن پیاده رو و وجود ترک‌ها و تغییرات کیفیت سطح است که در نتیجه برخی ساخت و سازها در آن منطقه ایجاد شده‌است. علاوه بر این، همانطور که واضح است دسترسی به پیاده رو، بر اساس شدت بارش متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد که اکثر بخش‌ها زمانی که شدت بارش کم است، در دسترس هستند. با این حال، هنگامی که شدت بارش به زیاد افزایش می‌یابد، بیشتر بخش های پیاده رو فقط در حد متوسط قابل دسترسی هستند. علاوه بر این، در شدت بارش شدید، سطح دسترسی پذیری در مناطق با عرض کم و کیفیت نامطلوب سطح به سمت خیلی کم سوق می‌یابد. این تغییرات در دسترسی پذیری، هنگام مواجهه با عوامل فیزیکی در پیاده‌روها بسیار مهم است و باید توسط دست اندرکاران طراحی و مدیریت شهری در نظر گرفته شود.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، رویکرد جدیدی برای ارزیابی دسترسی پیاده‌روها، بر اساس ادراک کاربران ویلچر در زمان بارش باران

توسعه داده شد. این مطالعه درک کاربران از محیط اطراف خود را در زمان بارش با شدت های مختلف، بر اساس تجربیات حرکتی آن‌ها ارزیابی کرد. نتایج به‌دست‌آمده از تست مدل پیشنهادی توسط کاربر ویلچر نشان داد که شدت بارش تأثیر بسزایی بر دسترسی‌پذیری بخش‌های مختلف پیاده‌رو دارد و وجود بارش می‌تواند بر اساس موقعیت، میزان دسترسی پذیری پیاده رو را تغییر دهد. علاوه بر آن، شدت بارش نیز، تأثیر قابل توجهی بر مقدار دسترسی پذیری مسیر پیاده رو دارد. در حالیکه افزایش شدت بارش از کم به زیاد، میزان دسترسی پذیری را از زیاد به متوسط کاهش می‌دهد، دربارش شدید، میزان دسترسی پذیری به بسیار کم کاهش می‌یابد و عملاً کاربر ویلچر تمایلی به تردد در پیاده رو در بارش شدید ندارد. همچنین، بر اساس نتایج بدست آمده، در حالیکه برای هر مؤلفه پیاده رو، فاکتورهای فیزیکی به صورت متفاوتی موجب تغییر سطح دسترسی پذیری می‌شوند، کیفیت سطح، در هر چهار مؤلفه، نقش کلیدی بر میزان دسترسی پذیری پیاده رو در زمان بارش دارد و باید مورد توجه جدی قرار گیرد. اطلاعات بدست آمده در این تحقیق می‌تواند برای کاربران ویلچر در زمان بارش، و برای تصمیم‌گیران شهرداری تهران برای بهبود دسترسی پذیری مفید باشد. همچنین، نتایج بدست آمده می‌تواند در مسیریابی بافت آگاه، با توجه به شرایط پویای محیط پیاده‌رو، مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

این تحقیق با کد طرح ۹۹۰۱۹۸۲۴، با حمایت صندوق (INSF: Iran National Science Foundation) انجام گردیده‌است. همچنین، بخشی از اعتبار این تحقیق، توسط شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا (NSERC: Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada) تامین شده‌است.

مراجع

- [1] Noreau, L. O., & Fougereyrollas, P. O. (s.d.). Long-term consequences of spinal cord injury on social participation: the occurrence of handicap situations. Repéré à www.tandf.co
- [2] Wang, Y., Chau, C. K., Ng, W. Y., & Leung, T. M. (2016). A review on the effects of physical built environment attributes on enhancing walking and cycling activity levels within residential neighborhoods. *Cities*, 50, 1–15.
- [3] Gharebaghi, A., Mostafavi, M. A., Chavoshi, S. H., Edwards, G., & Fougereyrollas, P. (2018). The role of social factors in the accessibility of urban areas for people with motor disabilities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/ijgi7040131>

- [4] Orellana, D., Bustos, M. E., Marín-Palacios, M., Cabrera-Jara, N., & Hermida, M. A. (2020). Walk'n'roll: Mapping street-level accessibility for different mobility conditions in Cuenca, Ecuador. *Journal of Transport and Health*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100821>
- [5] Wheeler, B., Syzdykbayev, M., Karimi, H. A., Gurewitsch, R., & Wang, Y. (2020b). Personalized accessible wayfinding for people with disabilities through standards and open geospatial platforms in smart cities. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 5(1).
- [6] (Revue Développement Humain, Handicap et Changement Social Journal of Human Development, Disability, and Social Change ACTES DU COLLOQUE-Pour Une Ville Inclusive : Innovations et Partenariats. Proceedings of the Colloquium-For an Inclusive City: Innovations and Partnership, n.d.)
- [7] Gharebaghi, A., Mostafavi, M. A., Edwards, G., Fougeyrollas, P., Gamache, S., & Grenier, Y. (2018a). Integration of the social environment in a mobility ontology for people with motor disabilities. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 13(6), 540–551. <https://doi.org/10.1080/17483107.2017.1344887>
- [8] Gharebaghi, A., Mostafavi, M. A., Edwards, G., Fougeyrollas, P., Morales-Coayla, P., Routhier, F., Leblond, J., & Noreau, L. (2017a). A confidence-based approach for the assessment of accessibility of pedestrian network for manual wheelchair users. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 463–477. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57336-6_32
- [9] Wheeler, B., Syzdykbayev, M., Karimi, H. A., Gurewitsch, R., & Wang, Y. (2020a). Personalized accessible wayfinding for people with disabilities through standards and open geospatial platforms in smart cities. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40965-020-00075-5>
- [10] Hara, K., Chan, C., & Froehlich, J. E. (2016). The design of assistive location-based technologies for people with ambulatory disabilities: A formative study. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 1757–1768.
- [11] Prémont, M. É., Vincent, C., & Mostafavi, M. A. (2020). Geospatial assistive technologies: potential usability criteria identified from manual wheelchair users. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 15(8), 844–855.
- [12] Bolten, N., Mukherjee, S., Sipeeva, V., Tanweer, A., & Caspi, A. (2017). A pedestrian-centered data approach for equitable access to urban infrastructure environments. *IBM Journal of Research and Development*, 61(6), 101–1012.
- [13] Naude, A., de Jong, T., & van Teefelen, P. (1999). Measuring Accessibility with GIS-Tools: A Case Study of the Wild Coast of South Africa. *Transactions in GIS*, 3(4), 381–395.
- [14] Kasemsuppakorn, P., & Karimi, H. A. (2009). Personalised routing for wheelchair navigation. *Journal of Location Based Services*, 3(1), 24–54. <https://doi.org/10.1080/17489720902837936>
- [15] Pérez-Delhoyo, R., García-Mayor, C., Mora, H., Gilart-Iglesias, V., & Andújar-Montoya, M. D. (2017). Improving urban accessibility: A methodology for urban dynamics analysis in smart, sustainable and inclusive cities. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12(3), 357–367. <https://doi.org/10.2495/SDP-V12-N3-357-367>
- [16] Tajgardo, M., & Karimi, H. A. (2015). Simulating and visualizing sidewalk accessibility for wayfinding of people with disabilities. *International Journal of Cartography*, 1(1), 79–93.
- [17] Menkens, C., Sussmann, J., Al-Ali, M., Breitsameter, E., Frtunik, J., Nendel, T., & Schneiderbauer, T. (n.d.). EasyWheel- A Mobile Social Navigation and Support System for Wheelchair Users.
- [18] Gharebaghi, A., Mostafavi, M. A., Edwards, G., Fougeyrollas, P., Gamache, S., & Grenier, Y. (2018b). Integration of the social environment in a mobility ontology for people with motor disabilities. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 13(6), 540–551.
- [19] Mostafavi, M. A., Noreau, L., Edwards, G., Fougeyrola, P., Hubert, F., Vincent, C., & Routhier, F. (2014). Urban Accessibility in Action: Development of a Geospatial assistive technology for navigation of people with motor disabilities. *Géocongrès*, October.
- [20] Gharebaghi, A., Mostafavi, M. A., Edwards, G., Fougeyrollas, P., Morales-Coayla, P., Routhier, F., Leblond, J., & Noreau, L. (2017b). A confidence-based approach for the assessment of accessibility of pedestrian network for manual wheelchair users. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 463–477.
- [21] Mackett, R.L., Achuthan K., and Titheridge H. (2008). AMELIA: making streets more accessible for people with mobility difficulties. *URBAN DESIGN International*, 13:80–89
- [22] Sobek, A. D., & Miller, H. J. (2006). U-Access: A web-based system for routing pedestrians of differing abilities. *Journal of Geographical Systems*, 8(3), 269–287.
- [23] Volker, T., & Weber, G. (2008). RouteChecker: Personalized multicriteria routing for mobility impaired pedestrians. In *The 10th international ACM SIGACCESS conference on computers and accessibility* (pp. 185–192). Halifax, NS: ACM

- [24] Matthews, H., Beale, L., Picton, P. and Briggs, D. (2003). Modelling Access with GIS in Urban Systems MAGUS): capturing the experiences of wheelchair users. *Area*, 35(1):34-45
- [25] Mobasheri, A., Deister, J., & Dieterich, H. (2017). Wheelmap: the wheelchair accessibility crowdsourcing platform. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 2(1).
- [26] Ward, E. (2023). Whether or not to go: the travel impact of nuisance flooding and heavy rain for disabled and older people.
- [27] Darko, J., Folsom, L., Pugh, N., Park, H., Shirzad, K., Owens, J., & Miller, A. (2022). Adaptive personalized routing for vulnerable road users. *IET Intelligent Transport Systems*, 16(8), 1011-1025.
- [28] Zhao, J., Guo, C., Zhang, R., Guo, D., & Palmer, M. (2019). Impacts of weather on cycling and walking on twin trails in Seattle. *Transportation research part D: transport and environment*, 77, 573-588.
- [29] Baker, S. (2022). Perceived Accessibility of Unstructured Physical Activity for Manual Wheelchair Users: A Comparative Evaluation of Socioecological Barriers and Facilitators between US and Scandinavian Urban and Rural Settings (Doctoral dissertation, Colorado College).
- [30] Lindsay, S., Morales, E., Yantzi, N., Vincent, C., Howell, L., & Edwards, G. (2015). The experiences of participating in winter among youths with a physical disability compared with their typically developing peers. *Child: care, health and development*, 41(6), 980-988.
- [31] Pan, H., Zhang, J., & Song, W. (2020). Experimental study of pedestrian flow mixed with wheelchair users through funnel-shaped bottlenecks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2020(3), 033401.
- [32] Ripat, J., Borisoff, J. F., Grant, L. E., & Chan, F. H. (2018). Patterns of community participation across the seasons: A year-long case study of three Canadian wheelchair users. *Disability and rehabilitation*, 40(6), 722-731.
- [33] Czarnecki, K. (2018). Operational world model ontology for automated driving systems—part 2: Road users, animals, other obstacles, and environmental conditions,”. Waterloo Intelligent Systems Engineering Lab (WISE) Report, University of Waterloo.
- [34] Ripat, J., & Colatruglio, A. (2016). Exploring winter community participation among wheelchair users: an online focus group. *Occupational therapy in health care*, 30(1), 95-106.
- [35] Opach, T., Navarra, C., Rød, J. K., & Neset, T. S. (2021). Pedestrian routing and perspectives: WayFinder’s route down the lane—Come on with the rain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(6), 365.
- [36] Fougeyrollas, P. (2002). L’évolution conceptuelle internationale dans le champ du handicap : enjeux socio-politiques et contributions québécoises. *Perspectives Interdisciplinaires Sur Le Travail et La Santé*, 4-2. <https://doi.org/10.4000/pistes.3663>
- [37] Socharoentum, M., & Karimi, H. A. (2016). Multi-modal transportation with multi-criteria walking (MMT-MCW): Personalized route recommender. *Computers, Environment and Urban Systems*, 55, 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.10.005>
- [38] Karimi, H. A., Zhang, L., & Benner, J. G. (2014). Personalized accessibility map (PAM): a novel assisted wayfinding approach for people with disabilities. *Annals of GIS*, 20(2), 99-108. <https://doi.org/10.1080/19475683.2014.904438>
- [39] Rushton, P. W., Miller, W. C., Lee Kirby, R., Eng, J. J., & Yip, J. (2011). Development and content validation of the Wheelchair Use Confidence Scale: a mixed-methods study. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 6(1), 57-66.
- [40] Neis, P. (2015). Measuring the reliability of wheelchair user route planning based on volunteered geographic information. *Transactions in GIS*, 19(2), 188-201.
- [41] MANOBS - manual of surface weather observations, Meteorological Service of Canada, 2013.
- [42] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- [43] Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons.
- [44] Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 114(1), 1-9.
- [45] Dong, Li, & Li. (2009). “A survey of image retrieval with high-level semantics”. *Pattern Recognition*, 42(9), pp. 1857-1881.