

بررسی وضعیت خرابی های سطحی روسازی های شهری در شهرهای هوشمند آینده با استفاده از سنسورهای شتاب سنج و ابزار GPS گوشی های هوشمند در محیط GIS

رضا جلال کمالی^{۱*}، پرهام کمالی سروستانی^۲

۱. استادیار بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد رشته راه و ترابری بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

r.jalalkamali@uk.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۱۵

چکیده

در شهرهای هوشمند با به کارگیری طیف وسیعی از فناوری های جدید، ضمن ایجاد تسهیلات مناسب برای زندگی، مشکلات زیرساختی بررسی شده و اقدامات لازم، به صورت هدفمند و نظام مند، برای حل این مشکلات انجام می گیرد. از جمله فناوری هایی که برای مدیریت زیرساخت ها در شهرهای هوشمند لازم است، تکنولوژی IT است. GPS و سنسورهای گوشی های هوشمند از دیگر فناوری هایی هستند که می توانند در این شهرها، به صورت گسترده مورد استفاده قرار گیرند. خیابان ها و معابر از زیر ساخت های مهم در هر شهر و در شهرهای هوشمند آینده هستند. نظارت صحیح، ترمیم و بهسازی مناسب روسازی خیابان ها و معابر شهری، عامل اصلی در کاهش هزینه استهلاک خودروها و تأمین راحتی و ایمنی برای شهروندان است. در صورت اقدام به موقع در خصوص ترمیم و بهسازی روسازی، از هزینه های مضاعف و هنگفت تعمیر و بازسازی جلوگیری به عمل آمده و این موضوع می تواند هزینه های مدیریت شهری را به طور چشمگیری کاهش دهد. اولین گام در این راستا، شناسایی موقعیت مکانی ناهمواری ها و اعوجاج سطح معابر و خیابان های شهری و شدت این خرابی ها، در کوتاه ترین زمان ممکن است. در این مقاله، ناهمواری ها و خرابی های سطح جاده، با استفاده از سنسور شتاب سنج و GPS گوشی های هوشمند مورد مطالعه قرار گرفته است. با قرار دادن دو دستگاه گوشی هوشمند، در یک خودرو و راندن خودرو در مسیرهای مختلف، داده های موقعیت مکانی و شتاب در راستای قائم، برداشت شده است. این داده ها پس از آماده سازی وارد نرم افزار GIS شده و داده ی شتاب قائم بر مبنای طول مسیر برداشت در دسترس قرار می گیرد. با تحلیل داده های شتاب قائم و محاسبه چندین شاخص پیشنهادی و مقایسه آن ها، بهترین شاخص انتخاب شد که از این شاخص برای تعیین وضعیت کیفی روسازی معابر استفاده شده است. با افزایش خرابی ها و ناهمواری های قطعه مورد بررسی، مقادیر این شاخص افزایش می یافت. سپس با توجه به بازدهی های میدانی انجام شده از وضعیت روسازی مسیرهای مورد مطالعه، یک دسته بندی کیفی از وضعیت روسازی صورت گرفته است. در این دسته بندی، قطعات با وضعیت روسازی خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف مشخص شده اند و مقادیر شاخص برای هر یک از این وضعیت ها در بازه مشخصی قرار می گیرد. با ترسیم نمودار فراوانی نسبی تجمعی مقادیر این شاخص، درصدهای متناظر با هر بازه

به دست آمد. از این درصدها می توان برای تکرارپذیری این شاخص در مناطق مطالعاتی دیگر استفاده کرد. به منظور اعتبارسنجی این شاخص، برداشت داده موقعیت مکانی و شتاب در راستای قائم در تعداد دیگری از مسیرها انجام شد و وضعیت کیفی این مسیرها توسط یک بازدید میدانی مشخص شد. نتایج به دست آمده نشان می داد که مقادیر شاخص برای هر مسیر نیز در بازه متناظر با وضعیت کیفی آن مسیر که قبلاً به دست آمد، قرار می گیرد.

واژگان کلیدی: شهرهای هوشمند، روسازی، خرابی، گوشی های هوشمند، سنسور شتاب سنج، GPS، GIS.

۱- مقدمه

امروزه با گسترش شهرنشینی و افزایش چالش های مربوط به مدیریت شهری، مفهوم شهرهای هوشمند مورد توجه بسیاری از صاحب نظران قرار گرفته است. یک شهر هوشمند، شهری است که با ابتکار و نوآوری، از فناوری های اطلاعاتی، ارتباطی و سایر فناوری های پیشرفته برای بهبود کارایی مدیریت شهری استفاده می کند [1]. برنامه های زیرساختی هوشمند برای به کارگیری فناوری در حوزه های مختلف مهندسی عمران، از جمله سیستم های حمل و نقل، بررسی می شوند [2]. یکی از موارد فناوری که برای مدیریت زیرساخت ها در شهرهای هوشمند مورد استفاده قرار می گیرد، تأمین داده با استفاده از سنسورها، است [2]. یکی از چالش های موجود در بحث زیر ساخت های حمل و نقل، خرابی روسازی راه ها است [3]. در این مطالعه، کاربرد سنسورها در تعیین موقعیت و میزان خرابی روسازی های شهری بررسی شده است.

خرابی های سطح جاده تاثیر قابل توجهی بر راحتی سرنشینان و سیله نقلیه و همچنین آسیب های وارده به و سیله نقلیه دارند. هم رانندگان و هم متولیان راه علاقه دارند که هرچه سریع تر آنها را برطرف کنند. با این حال، ابتدا باید موقعیت و میزان خرابی ها مشخص شود [4].

روش ها و تجهیزات بسیاری برای بررسی وضعیت سطح جاده وجود دارد که بیشتر آنها در کشورهای در حال توسعه محدودیت دارند و به دلیل گران قیمت بودن، امکان استفاده از آنها وجود ندارد. یک روش جایگزین و کاربردی برای بررسی وضعیت سطح معابر و روسازی شهری، استفاده از گوشی های هوشمند است. با استفاده از سنسورهای شتاب سنج و ابزار GPS گوشی های هوشمند (تلفن های هوشمند) می توان تغییرات پروفیل طولی راه را مشخص کرد. غالباً در خرابی ها، پروفیل

طولی سطح جاده دارای تغییرات است، در نتیجه با بررسی پروفیل طولی، می توان میزان ناهمواری و اعوجاج سطوح روسازی ها را مشخص کرد و با استفاده از سنسور GPS گوشی هوشمند نیز می توان موقعیت خرابی را تعیین نمود. مشخص شدن موقعیت و شدت خرابی، کمک قابل توجهی به مسئولین راه در زمینه نظارت، تعمیر و نگهداری خواهد نمود و با اقدامات به موقع و سریع موجبات کاهش هزینه ها و افزایش راحتی سرنشینان و آسیب کمتر به وسایل نقلیه فراهم می شود.

۲- مطالعات پیشین

سنسورها منبع اصلی کسب اطلاعات برای شهرهای هوشمند هستند. آنها دستگاه هایی هستند که می توانند ویژگی های موجود در محیط را شناسایی یا تعیین کنند و پارامترها را به سیگنال الکترونیکی تبدیل کنند [5]. حسگرها کاربردهای بسیاری برای برنامه های زیرساختی هوشمند دارند. برخی از برنامه های زیرساختی هوشمند از سنسورهای رایج مانند دماسنج و فشارسنج استفاده می کنند، در حالی که برخی دیگر از سنسورهای پیشرفته، مانند سنسورهای مادون قرمز، حسگرهای دیداری، شتاب سنج ها، سیستم های موقعیت یابی جهانی (مانند GPS) و سایر حسگرهای مکانی استفاده می کنند [2]. چندین حسگر ممکن است در یک پکیج قرار بگیرند تا پدیده های پیچیده ای به نام رویدادهای مرکب را که نیاز به سنجش خواص محیطی متعدد دارند، کنترل کنند [6]. اما برداشت گسترده داده های زیرساختی و زیست محیطی توسط فناوری حسگرها ممکن است تا حدی محدود شوند، زیرا بیشتر حسگرهای منفرد یک پارامتر یا مجموعه ای محدود از ویژگی ها را کنترل می کنند و نقاط جمع آوری اغلب به طور پراکنده در ایستگاه های ثابت قرار دارند [7]. داده های جمع آوری شده در این نقاط فقط

کلیاتی از سیستم را ارائه می‌دهند و جزئیات دقیق‌تر مانند آنچه تعاملات انسان در زمان واقعی با زیر ساخت‌ها را توصیف می‌کنند، در دسترس قرار نمی‌گیرد. سیستم‌های زیست‌محیطی و زیرساختی، مانند جاده‌ها، شبکه‌های آب و شبکه‌های هیدرولوژیکی، مناطق جغرافیایی گسترده‌ای را در بر می‌گیرند و داده‌ها باید در مکان‌های متعدد در سراسر سیستم جمع‌آوری شوند تا پیچیدگی واقعی آن را به دست آورند. استخراج داده‌های پراکنده می‌تواند از ارزش داده‌ها بکاهد و بزرگ شدن شبکه حسگر ممکن است هزینه سنگینی داشته باشد [2]. استفاده از سنسورهای موجود در گوشی‌های هوشمند که امروزه در دسترس عمده‌ی افراد جامعه قرار دارد، می‌تواند در حل این مشکل بسیار موثر واقع شود.

از داده‌های پیوسته سرعت گرفته‌شده از گوشی‌های هوشمند، در مباحث مختلف مربوط به راه و ترافیک از جمله ایمنی [8]، سرعت جریان ترافیک [9] و تعیین وضعیت روستازی که در ادامه به طور ویژه، شرح داده می‌شود، استفاده شده است. تشخیص خرابی روستازی آسفالتی یکی از کاربردهای گوشی‌های هوشمند در مدیریت روستازی است. پژوهشگران برای تشخیص انواع مختلف خرابی‌ها، برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها مثل چاله و سرعت‌گیر، الگوریتم‌های مختلفی را پیشنهاد کرده‌اند. مدنیس و همکاران شاخص Z-THRESH را برای تعیین آستانه، برای داده‌های شتاب سنج در راستای محور Z، تعریف کردند. مقادیر خارج از آستانه به عنوان انواع مختلف حفره‌ها تعریف شدند [4].

دونگ فاچان و دیگران، شرایط جاده را با استفاده از اجزای VIMS به عنوان مرجعی برای محاسبه شاخص ناهمواری روستازی تخمین زدند. آنها داده‌ها را توسط برنامه AndroSensor نصب شده روی تلفن‌های هوشمند جمع‌آوری کردند تا پروفیل روستازی را تعیین کنند و شاخص IRI را محاسبه کنند [10]. اسلام و همکاران، دو بار از داده‌های شتاب انتگرال‌گیری عددی کردند و آن‌ها را از طریق نرم‌افزار رایانه‌ای Proval پردازش کردند. این مطالعه در سه محل مختلف برای جمع‌آوری داده شتاب، با دو روش پروفیل سنج مبتنی بر اینرسی و گوشی‌های هوشمند تعبیه شده روی یک وسیله نقلیه انجام

شد. خروجی‌ها نشان داد که گوشی‌های هوشمند قادر به مقایسه IRI با دقت قابل قبولی در مقایسه با یک پروفیل سنج مبتنی بر اینرسی بودند [11]. مدینا و همکاران، یک روش برای برآورد شاخص کیفیت سواری (RQI)، از برداشت‌های تجمعی داده‌های گوشی هوشمند، ارائه کردند و با استفاده از روش‌های آماری اعتبار این روش را تأیید کردند [12]. هریکیشنان و همکاران از مدل گاوسی در خوانش داده‌های محور Z شتاب سنج داخلی برای شناسایی و طبقه‌بندی برجستگی‌ها و حفره‌ها استفاده کردند. فرضیه تحقیق این است که مقادیر شتاب محور Z باید متناسب با توزیع گاوسی باشد [13]. آلوچ و همکاران برای تخمین وضعیت سطح جاده، یک روش یادگیری ماشین را به کار گرفتند. یک برنامه اندروید Road Data Collector برای داده‌ها ایجاد شد. در مرحله آزمایش، کیفیت واقعی جاده با استفاده از برنامه گوشی هوشمند طراحی شده با عنوان "صاف" یا "حفره‌ای" برچسب گذاری شد. ویژگی‌های قطعات مختلف جاده با خواندن داده‌های شتاب‌سنج و ژيروسکوپ استخراج شد [14]. العدلات و همکاران، از شتاب سنج‌های سه بعدی گوشی‌های هوشمند برای جمع‌آوری داده‌های شتاب عمودی وسیله نقلیه استفاده کردند. مشخص شد که واریانس مقادیر شتاب عمودی، ویژگی اصلی برای طبقه‌بندی سیگنال‌های اندازه‌گیری شده بود. یک آنالیز اعتبار سنجی نیز برای سنجش قابلیت اطمینان این روش انجام شد. نتایج اعتبارسنجی اولیه نشان داد که با استفاده از این روش، تلفن هوشمند استفاده شده می‌تواند با اطمینان منطقی مقادیر واقعی IRI را پیش‌بینی کند [15]. ارباب‌پور بیدگلی و همکاران، یک دستگاه خودکار جمع‌آوری داده مقرون به صرفه برای اندازه‌گیری ناهمواری سطح روستازی توسعه دادند. آن‌ها از یک چرخ اضافی مجهز به شتاب سنج و سیستم موقعیت‌یاب مکانی برای ارزیابی ناهمواری‌های روستازی استفاده کردند. برای محاسبه شاخص بین‌المللی ناهمواری از پروفیل‌های طولی با استفاده از یک مدل خطی با ضریب تشخیص بالای ۰/۸۷ استفاده کردند. خطای جذر میانگین مربعات و خطای درصد میانگین به ترتیب برابر با مقادیر کم، ۱۰٪ و ۲۰٪ بود [16]. بودی و همکاران، ترکیب روش شاخص بین‌المللی ناهمواری (IRI) با سنسور

را نشان دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ارتعاش شتاب، همبستگی خوبی با PCI دارد [19].

۳- روش انجام پژوهش

در بسیاری از موارد، نیاز مدیران شهری در بررسی وضعیت روسازی، ارزیابی فنی و دقیق نیست، بلکه ارزیابی کلی از وضعیت روسازی معابر و خیابان های شهر، مدنظر است. زیرا این موضوع به تصمیم گیری سریع و مناسب در زمینه مدیریت شهری و تامین اعتبار به موقع، کمک قابل توجهی می کند. در شهرهای هوشمند نیز زیربناهای حمل و نقلی از جمله روسازی خیابان ها و معابر، از اهمیت بالایی برخوردار است، اما تفاوت عمده، در سرعت و دقت جمع آوری داده ها با استفاده از ابزار GPS و تکنولوژی IT است، در این موضوع، یکی از روش های معرفی شده به منظور ارزیابی کلی و سریع از وضعیت روسازی، استفاده از سنسورها و GPS گوشی های هوشمند است.

در این تحقیق از نرم افزار Androsensor که یک نرم افزار کاربردی برای استفاده از سنسورهای گوشی هوشمند است استفاده شده است. توسط این نرم افزار با استفاده از سنسورهای شتاب سنج و GPS، مقادیر شتاب قائم و موقعیت مکانی برداشت می شود. تفاوت در حساسیت سنسورهای شتاب سنج می تواند منجر به ناسازگاری در اندازه گیری شود. برای رفع این مشکل این نرم افزار روی دو دستگاه گوشی هوشمند هواوی، مدل P30 Lite و بلکبری، مدل Priv STV100 نصب شده است. داده های جمع آوری شده در قالب فایل اکسل به منظور تجزیه و تحلیل به کامپیوتر انتقال داده می شوند. برای جمع آوری داده ها، گوشی ها در سمت راست و چپ خودرو، روی داشبورد، در موقعیت ثابت قرار داده شد و سعی شد سرعت خودرو به منظور برداشت، ۵۰ کیلومتر بر ساعت حفظ شود. در تنظیمات نرم افزار Androsensor فاصله برداشت داده ها، روی ۰/۰۱ ثانیه تنظیم شد. با این فاصله برداشت، در هر ثانیه، داده شتاب قائم متناظر با ۱۰۰ نقطه در دسترس قرار می گیرد، اما با توجه به عدم سرعت کافی سنسور GPS در برداشت داده، مختصات مکانی برداشت شده تقریباً در هر ۱ ثانیه که معادل با

شتاب سنج و سیستم موقعیت یابی جهانی (GPS) را به کار گرفتند. آن ها آزمایش را با استفاده از دو وسیله نقلیه مختلف، ماشین و موتور سیکلت انجام دادند. گوشی های هوشمند با برنامه های تشخیص کیفیت جاده، برای ثبت لرزشی که هنگام حرکت وسیله نقلیه بر اساس شرایط جاده رخ می دهد، با استفاده از نگهدارنده گوشی به وسیله نقلیه و موتور سیکلت متصل شدند. نتایج ضبط لرزش سپس در یک مشاهده بصری تأیید شد تا درستی نتایج ارزیابی، تعیین شود. براساس نتایج آزمایش، میزان دقت خودرو در حدود ۹۰٪ و موتور سیکلت ۳۰٪ بود [17]. جانانی و همکاران یک روش تخمین ناهمواری جاده مبتنی بر شتاب سنج گوشی هوشمند را معرفی کردند و اثر خرابی های سطح را بر داده های جمع آوری شده، تجزیه و تحلیل کردند. دقت شتاب سنج های گوشی های هوشمند با یک شتاب سنج سه محوره خارجی تأیید شد. مدلی بین شاخص ناهمواری بین المللی (IRI) و چگالی طیف توان (PSD) مقادیر شتاب ایجاد شد (چگالی طیف توان یا PSD یک نمودار در حوزه فرکانس به شمار می آید که توان سیگنال را بر حسب مقادیر مختلف فرکانس آن ترسیم می کند). مقادیر IRI به دست آمده از گوشی هوشمند توسط شتاب هایی که بیانگر ناهمواری های روسازی بودند، تخمین زده شد. نتایج از نظر آماری با مقادیر IRI به دست آمده از شتاب سنج مقایسه شدند. همبستگی IRI مبتنی بر گوشی های هوشمند و مبتنی بر شتاب سنج مقدار بالای ۰/۸۶۲ را نشان می داد [18]. وموری و همکاران یک برنامه اندرویدی به منظور استفاده از ارتعاش شتاب برای تخمین وضعیت جاده توسعه دادند. چهارده بخش روسازی انتخاب شد که آزمایش ها در آن انجام گرفت. داده های شاخص شرایط روسازی (PCI) از پایگاه داده شبکه جاده ای شهر هوستون برای توسعه مدل تخمینی در برنامه اندروید مورد استفاده قرار گرفت. مدل های رگرسیون خطی چند متغیره با استفاده از داده های شتاب، به عنوان متغیرهای توضیحی ارائه شد. علاوه بر این، برای تعیین میزان تکرارپذیری مشاهدات، دو قطعه روسازی به صورت تصادفی برای انجام سه آزمایش انتخاب شدند. مشاهده شد که، به غیر از انحراف استاندارد و واریانس داده های شتاب قائم، سایر پارامترها تکرارپذیری بالایی

گوشی‌ها به مختصات UTM تبدیل شده و وارد نرم‌افزار GIS می‌شوند و مسیر حرکت خودرو مشخص می‌شود (شکل ۱). سپس با توجه به سرعت حرکت خودرو و فاصله برداشت داده GPS (۱ ثانیه)، مسیر برداشت به زیرقطعات حدوداً ۱۳ متری (تقریباً معادل مسافت پیموده شده در یک ثانیه حرکت با سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت) تقسیم‌بندی می‌شود. با این روش، داده‌های شتاب بر مبنای طول مسیر برداشت شده، در نرم‌افزار GIS، در دسترس خواهد بود.

شکل ۱-۱. ترسیم مسیرها در GIS

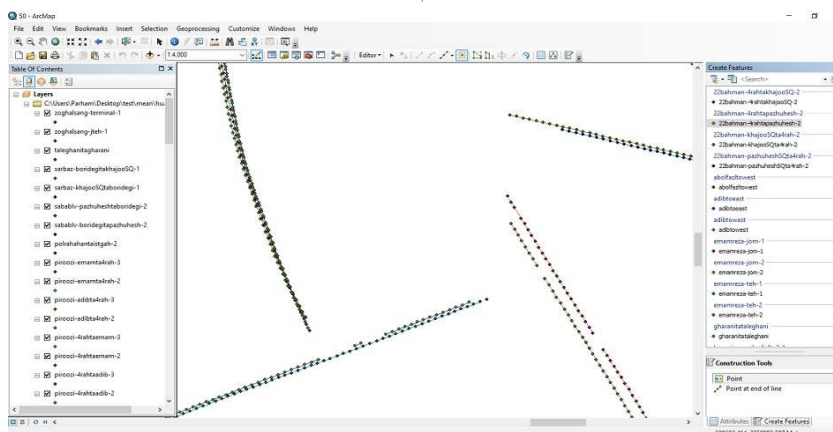


Fig. 1.1. Drawing tracks in GIS

شکل ۲-۱. طبقه‌بندی داده‌ها در GIS

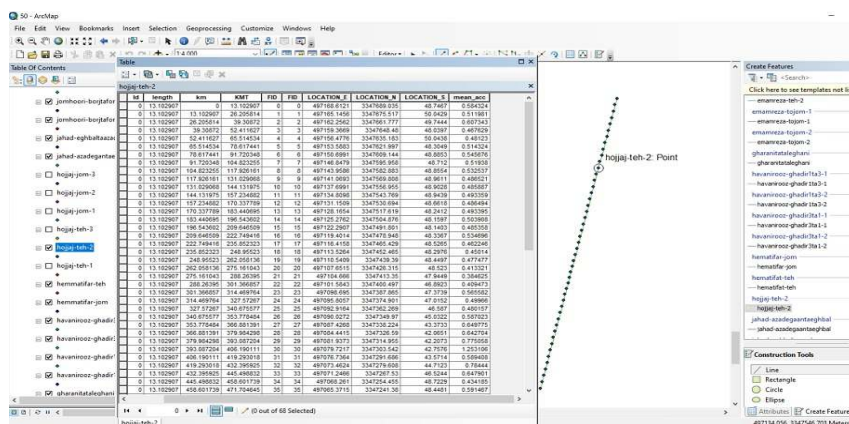


Fig. 1.2. Data classification in GIS

طول ۵۰۰ متر و ۲۴ قطعه به طول ۲۰۰ متر، (مجموعاً ۱۰۵ قطعه) در بازه زمانی ۱۳۹۹/۰۳/۲۳ الی ۱۳۹۹/۰۳/۳۰ انجام شده است.

این تحقیق در شهر کرمان (مرکز استان کرمان و یکی از شهرهای مهم کشور ایران)، انجام شده است و به منظور جمع‌آوری داده‌ها، مسیرهای مختلف با خرابی‌های مشخص انتخاب شده‌اند. برداشت داده‌ها در ۸۱ قطعه به

شتاب ها، واریانس شتاب ها، انحراف معیار شتاب ها و دامنه تغییرات توان دوم تغییرات شتاب ها، که از میان تمامی شاخص های ذکر شده، شاخص دامنه تغییرات توان دوم تغییرات شتاب ها، وضعیت قطعات روسازی را بهتر از بقیه شاخص ها نشان می دهد و با خرابی روسازی رابطه مستقیم قوی تری دارد.

گام اول: با تحلیل داده های شتاب قائم و محاسبه چندین شاخص پیشنهادی و مقایسه ی آن ها، بهترین شاخص انتخاب گردید و با استفاده از آن یک دسته بندی به منظور بررسی و مقایسه وضعیت میزان ناهمواری و اعوجاج روسازی ایجاد شد. شاخص هایی که محاسبه و مقایسه شدند، عبارت اند از مجموع شتاب ها، مجموع توان دوم شتاب ها، مجموع توان دوم تغییرات شتاب، میانگین توان دوم شتاب ها، میانگین

شکل ۲. مراحل روش انجام پژوهش

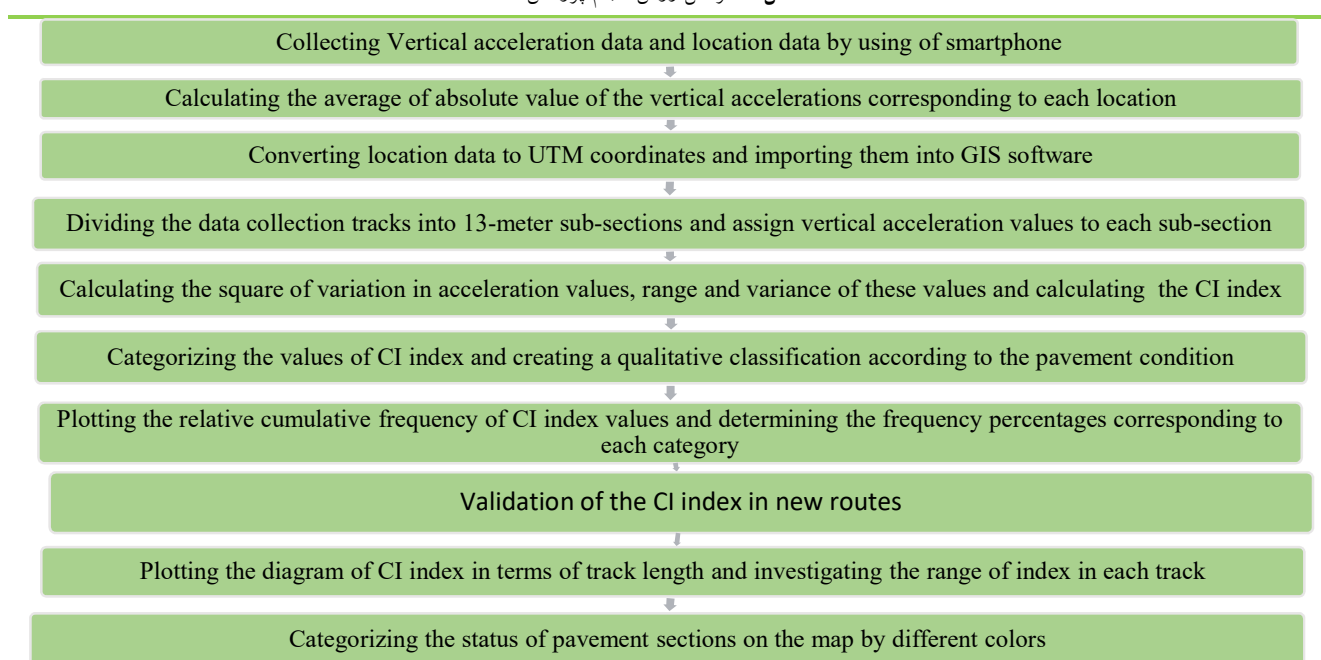


Fig. 2. Steps of research method

تغییرات شتاب ها در عدد ۱۰۰ ضرب شده است. این شاخص برای گوشه اول مطابق رابطه (۱) و برای گوشه دوم مطابق رابطه ی (۳) به دست می آید.

$$I_1 = (a_{1i} - a_{1(i-1)})^2 \quad (1)$$

I_1 : متغیر توان دوم تغییرات شتاب ها در هر قطعه برای گوشه اول

a_{1i} : شتاب قائم به دست آمده از گوشه اول در لحظه i ام

$a_{1(i-1)}$: شتاب قائم به دست آمده از گوشه اول در لحظه $i-1$ ام

$$R_1 = I_{1(\max(j))} - I_{1(\min(j))} \quad (2)$$

اگر مقدار این شاخص (دامنه تغییرات توان دوم تغییرات شتاب ها) در یک قطعه روسازی نسبت به قطعه دیگر بیشتر باشد، نشان دهنده آنست که، متغیر شتاب قائم، اعداد بزرگتری (مثبت یا منفی) در آن قطعه دارد و نیروهای بزرگتری در جهت جاذبه و خلاف جهت جاذبه به شتاب سنج وارد شده است و در نتیجه، آن قطعه از روسازی دارای ناهمواری، اعوجاج و خرابی بیشتری می باشد. به عبارت دیگر هر چه خرابی یک قطعه بیشتر باشد، مقدار این شاخص بیشتر است. در این تحقیق با استفاده از شاخص دامنه تغییرات توان دوم تغییرات شتاب و ترسیم پروفیل این شاخص بر حسب طول مسیر، وضعیت روسازی بررسی شده است. به منظور ملموس تر بودن داده ها، توان دوم

R_1 : دامنه تغییرات متغیر توان دوم تغییرات شتابها قطعه j ام،
برای گوشه اول

$I_1(\max(j))$: مقدار بیشینه شاخص I_1 (مربوط به گوشه اول)، در
قطعه j ام

$I_1(\min(j))$: مقدار کمینه‌ی شاخص I_1 (مربوط به گوشه اول)،
در قطعه j ام

$$I_2 = (a_{2i} - a_{2(i-1)})^2 \quad (3)$$

I_2 : متغیر توان دوم تغییرات شتابها در هر قطعه برای گوشه
دوم

a_{2i} : شتاب قائم به دست آمده از گوشه دوم در لحظه i ام

$a_{2(i-1)}$: شتاب قائم به دست آمده از گوشه دوم در لحظه
 $i-1$ ام

$$R_2 = I_2(\max(j)) - I_2(\min(j)) \quad (4)$$

R_2 : دامنه تغییرات متغیر توان دوم تغییرات شتابها در قطعه j
ام، برای گوشه اول

$I_2(\max(j))$: مقدار بیشینه شاخص I_2 (مربوط به گوشه دوم)،
در قطعه j ام

$I_2(\min(j))$: مقدار کمینه شاخص I_2 (مربوط به گوشه دوم)،
در قطعه j ام

پس از به دست آوردن مقادیر دامنه تغییرات متغیر توان دوم
تغییرات شتابها در تمامی قطعات، نتایج به دست آمده از
داده‌های هر دو گوشه ترکیب شده‌اند. به این منظور از عکس
واریانس مقادیر متغیر توان دوم تغییرات شتابها و دامنه
تغییرات مقادیر این شاخص، مطابق رابطه زیر، استفاده شده
است:

$$CI = \left(\frac{P_1}{P_1 + P_2} \times R_1 \right) + \left(\frac{P_2}{P_1 + P_2} \times R_2 \right) \quad (5)$$

که در آن:

CI : شاخص ترکیب شده‌ی متغیر توان دوم تغییرات
شتابها (گوشه اول و دوم)

R_1 : دامنه تغییرات متغیر توان دوم تغییرات شتابها در هر
قطعه برای گوشه اول

R_2 : دامنه تغییرات متغیر توان دوم تغییرات شتابها در هر
قطعه برای گوشه دوم

P_1 : عکس واریانس مقادیر I_1 در هر قطعه برای گوشه اول
 P_2 : عکس واریانس مقادیر I_2 در هر قطعه برای گوشه دوم

گام دوم: با توجه به بازدهی‌های میدانی انجام شده از وضعیت
روسازی قطعات مختلف و تطبیق آن با مقادیر شاخص CI
متناظر با هر قطعه، یک دسته بندی کیفی از وضعیت روسازی
صورت می‌گیرد. این دسته بندی به ۵ دسته‌ی خیلی خوب،
خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم بندی می‌شود.
در این دسته بندی، قطعات بدون خرابی و دارای ترک عرضی
بسیار خفیف در دسته‌ی خیلی خوب، قطعات دارای خرابی
خفیف ترک عرضی و ترک‌های جرئی و محدود در دسته
خوب، قطعات دارای خرابی پوست سو سماری محدود و لکه
های خفیف ناشی از ترمیم کانال‌های حفر شده، در دسته
متوسط، قطعات دارای خرابی زیاد شامل ترک پوست
سوسماری با شدت متوسط و لکه و برآمدگی و فرورفتگی
متوسط، در دسته ضعیف و قطعات دارای خرابی شدید شامل
ترک پوست سوسماری شدید، لکه و برآمدگی و فرورفتگی‌های
شدید در دسته خیلی ضعیف قرار می‌گیرند. شایان ذکر است
که جدا از خرابی‌های مختلف، ناهمواری روسازی نیز در تعیین
وضعیت کیفی روسازی تاثیرگذار است.

با تجزیه و تحلیل داده‌ها، بازه‌های شاخص پیشنهادی
متناظر با این دسته بندی، برای دسته خیلی خوب از ۰ تا ۱۰،
برای دسته خوب از ۱۰ تا ۱۵، برای دسته متوسط از ۱۵ تا ۳۰،
برای دسته ضعیف از ۳۰ تا ۵۰ و برای دسته خیلی ضعیف از
۵۰ به بالا در نظر گرفته شد. با ترسیم نمودار فراوانی
نسبی مقادیر شاخص CI ، درصدهای فراوانی متناظر با مقادیر
شاخص CI برای تمامی دسته بندی‌های خیلی خوب، خوب،
متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف به دست می‌آید. از این
درصدها می‌توان، برای تکرار پذیری این شاخص در مناطق
مطالعاتی دیگر یا در دیگر شهرها، استفاده کرد. در ادامه به
منظور اعتبارسنجی این شاخص در تعدادی مسیر دیگر (۳۲
قطعه ۵۰۰ متری) که به صورت تصادفی انتخاب شدند،
برداشت داده شتاب قائم و موقعیت مکانی، انجام شد و
وضعیت کیفی این مسیرها توسط یک بازدید میدانی مشخص

شد. با محاسبه مقدار شاخص مشخص شد که مقادیر شاخص برای هر قطعه در بازه متناظر با وضعیت کیفی آن قطعه که بیشتر به دست آمد، قرار می گیرد. در پایان قطعات با وضعیت روسازی خیلی خوب با رنگ سبز، قطعات با وضعیت روسازی خوب با رنگ آبی، قطعات با وضعیت روسازی متوسط با رنگ زرد، قطعات با وضعیت روسازی ضعیف با رنگ نارنجی و قطعات با وضعیت روسازی خیلی ضعیف با رنگ قرمز بر روی نقشه مشخص می شوند. به عنوان نمونه وضعیت کیفی و موقعیت مکانی تعدادی از قطعات در شکل های (۷ تا ۱۰) مشاهده می شود. مراحل روش انجام این تحقیق در شکل (۲) نشان داده شده است.

۴- نتایج

از میان شاخص های ذکر شده در قسمت ۳، گام اول، شاخص دامنه تغییرات توان دوم تغییرات شتاب ها، وضعیت قطعات روسازی را بهتر از بقیه شاخص ها نشان داد و با خرابی روسازی رابطه ای مستقیم و قوی تری داشت. در نتیجه این شاخص به منظور تحلیل داده ها انتخاب شد. با تجزیه و تحلیل داده ها و با توجه به بازدیدهای میدانی انجام شده از وضعیت روسازی این قطعات و تطبیق آن با مقادیر شاخص ترکیب شده ی CI متناظر با هر قطعه، یک دس

ته بندی کیفی از وضعیت روسازی به دست آمد. این قطعات به صورت تصادفی انتخاب شدند. با توجه به بالا بودن تعداد قطعات مورد بررسی و به دلیل محدودیت در تعداد صفحات این مقاله، امکان نشان دادن تمامی نتایج در تمامی قطعات وجود نداشت، بنابراین نتایج تحلیل شتاب قائم بر مبنای شاخص CI برای تعداد معدودی از قطعات (به عنوان نمونه) در جدول (۲) آورده شده است. همان گونه که از جدول مشخص است، قطعاتی که خرابی بیشتری دارند، مقدار شاخص بیشتری نیز به دست آمده است. دلیل این موضوع این است که متغیر شتاب قائم، اعداد بزرگتری (مثبت یا منفی) در آن قطعه دارد و نیروهای بزرگتری در جهت جاذبه و خلاف جهت جاذبه به شتاب سنج وارد شده است و به تبع آن تغییرات شتاب دارای مقادیر بزرگتری است. در نتیجه، آن قطعه از روسازی دارای ناهمواری، اعوجاج و خرابی بیشتری می

باشد و می توان نتیجه گرفت، وضعیت کیفی آن قطعه بدتر است. در مطالعه ای که نمورا و همکاران انجام دادند، مشخص شد که در راه های با سطوح ناهمواری مختلف، مقادیر واریانس شتاب در راستای قائم در راه هایی که ناهمواری در آن ها بیشتر بود، دارای مقدار بیشتری بود. برای راه های با سطح ناهمواری صفر، مقادیر واریانس بین ۰ و ۰/۱۹، راه های با سطح ناهمواری یک، مقادیر واریانس بین ۰/۱۹ و ۰/۴۲۸ و برای سطح ناهمواری دو، این مقادیر از ۰/۴۲۸ به بالا بود [20]. فیروزی یگانه و همکاران در تحقیق خود، ارتباط بین جذر میانگین مربعات و شاخص کیفیت سواری را مورد بررسی قرار دادند. مشاهده شد که شاخص کیفیت سواری با جذر میانگین مربعات شتاب های اندازه گیری شده توسط گوشی های هوشمند همبستگی خوبی دارد ($R^2 = 0.8$) و با افزایش مقدار جذر میانگین مربعات (که ناشی از افزایش مقادیر شتاب در راستای قائم است)، شاخص کیفیت سواری کاهش می یابد، که نشان دهنده بدتر شدن وضعیت کیفی روسازی است [21]. همچنین العدلات و همکاران در تحقیق خود به بررسی رابطه بین شتاب قائم اندازه گیری شده توسط گوشی های هوشمند و شاخص خدمت دهی فعلی (PSI) پرداختند. در تحقیق آن ها مشخص شد که واریانس مقادیر شتاب قائم با شاخص خدمت دهی فعلی همبستگی بسیار بالایی دارد ($R^2 = 0.93$) و با افزایش مقادیر واریانس شتاب قائم (افزایش پراکندگی و تغییرات شتاب ها) مقدار شاخص خدمت دهی فعلی کاهش می یابد، که نشان دهنده بدتر شدن وضعیت کیفی روسازی است [22]. تمامی مطالعات ذکر شده نشان می دهند که با افزایش مقادیر شتاب قائم و افزایش پراکندگی و تغییرات این مقادیر، کیفیت روسازی به طرز معنی داری کاهش می یابد. در این تحقیق نیز با افزایش مقادیر شتاب در راستای قائم و افزایش دامنه ی تغییرات این مقادیر، مقدار شاخص CI افزایش می یابد، که نشان دهنده کاهش کیفیت روسازی است. با تقسیم بندی مقادیر شاخص CI به بازه هایی با فاصله پنج CI، جدول و نمودار فراوانی نسبی تجمعی برای مقادیر شاخص CI به دست آمد. این نمودار در شکل (۳) نشان داده شده است. سپس با مشخص کردن درصدهای متناظر با بازه های دسته بندی شده در جدول فراوانی، برای هر کدام از دسته بندی های وضعیت روسازی،

پذیری استفاده از این شاخص در محدوده‌های دیگری از ناحیه مطالعاتی یا در دیگر شهرها، کمک گرفت. به عبارت دیگر با محاسبه مقادیر شاخص CI برای قطعات مورد بررسی در یک ناحیه مطالعاتی دیگر و محاسبه جدول فراوانی نسبی تجمعی مقادیر شاخص، با توجه به درصد‌های به‌دست آمده در جدول (۱) و با توجه به بازه‌های متناظر با هر دسته، وضعیت کیفی روسازی هر قطعه از مسیرها، مشخص می‌شود.

درصد‌های متناظر با آن مشخص شد. درصد‌های متناظر با مقادیر شاخص CI روی محور قائم نمودار شکل (۳) نیز نشان داده شده است. برای نمونه در دسته بندی خوب، مقادیر شاخص CI، بین ۱۰ تا ۱۵ است که با توجه به شکل (۳)، درصد‌های فراوانی متناظر با این بازه ۳۴ تا ۵۰ درصد هستند. جدول (۱) مقادیر شاخص CI و درصد‌های فراوانی متناظر را برای هر دسته‌بندی مشخص نشان می‌دهد. از این درصدها می‌توان به منظور تکرار

شکل ۳. نمودار فراوانی نسبی تجمعی مقادیر شاخص CI

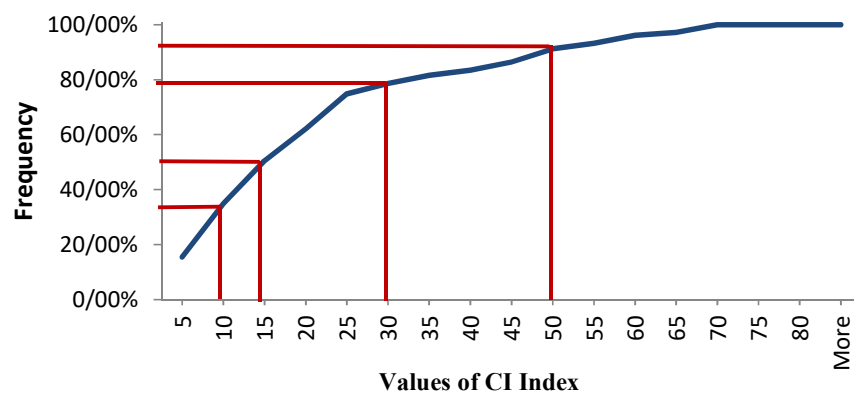


Fig 3. Graph of relative cumulative frequency of CI index values

جدول ۱. بازه‌های شاخص CI و درصد‌های فراوانی متناظر با دسته‌بندی‌های وضعیت روسازی

Pavement condition	Very good	Good	Moderate	Poor	Very poor
The corresponding interval of CI index with each pavement condition	0-10	10-15	15-30	30-50	50 and more
Percentage of the frequency corresponding to each interval	0-34	34-50	50-78	78-90	90-100

Table 1. CI index intervals and frequency percentages corresponding to pavement condition classifications

جدول ۲. وضعیت کیفی قطعات روسازی

Location of data collection	Section number	Pavement condition	Value of CI index	Pavement condition classify
Hajjaj Blvd-Lane 1 - towards Sadoughi	12	No failure	4.35	Very good
Jomhoury Blvd- Lane 2- between the airport and borj aval complex	41	No failure, Very slight transverse cracking	6.12	Very good
Jomhoury Blvd-Slow lane-between the havanirooz T-	23	Alligator cracking, severe patch and bumps and depression	55.56	Very poor

intersection and the airport				
Jomhuri Blvd-Slow lane-between the kharazmi St and havanirooz	28	Alligator cracking and bumps and depression with moderate severity	46.71	Poor
Havanirooz Blvd - Lane 1- Ghadir 1 to Ghadir 3	2	No failure	7.57	Very good
Havanirooz Blvd - Lane 2- Ghadir 1 to Ghadir 3	4	Limited alligator cracking and slight patches caused by canal digging	23.11	Moderate
Imam Reza Blvd - Line 1- Towards Jomhuri	16	Partial and limited cracks	12.97	Good
Hemmatifar St – Towards jomhuri	20	Limited alligator and transverse cracking and slight patches caused by canal digging	15.07	Moderate
Between rahahan bridge and railway station – Lane 2	46	Limited alligator cracking	24.21	Moderate
Zoghalsang Blvd- Lane 1- Towards jomhuri- section 1	48	Alligator cracking and bumps and depression with moderate severity	40.26	Poor
Zoghalsang Blvd- Lane 1- Towards jomhuri- section 2	49	Partial and limited cracks	11.18	Good
22 Bahman Blvd- Khajoo Square to the crossroads - Lane 2	52	Limited alligator cracking	21.60	Moderate
22 Bahman Blvd- Crossroads to the Khajoo Square - Lane 2	53	Limited alligator cracking and slight patches caused by canal digging	22.13	Moderate
ادامه جدول ۲. وضعیت کیفی قطعات روسازی				
22 Bahman Blvd- Pazhouhesh Square to the crossroads - Lane 2	55	Alligator cracking and patches with moderate severity	34.61	Poor
22 Bahman Blvd- crossroads to the Pazhouhesh Square - Lane 2	58	Partial and limited cracks with road roughness	18.19	Moderate
Adib Blvd- Towards west – Lane 1	62	Slight transverse cracking Partial and limited cracks	11.57	Good
Jahad Blvd- Between eghbal St to Azadegan St- Lane1	68	severe Patches and bumps and depression	57.53	Very poor

Table 2. Quality condition of pavement sections

به منظور اعتبارسنجی شاخص، مقادیر شاخص CI، برای تعداد دیگری از قطعات روسازی (۳۲ قطعه ۵۰۰ متری) که به صورت تصادفی انتخاب شدند و برداشت داده در آن‌ها صورت گرفت، محاسبه و بررسی شد. ابتدا با توجه به بازدید میدانی از خرابی‌های روسازی در این قطعات، وضعیت کیفی روسازی این

قطعات مشخص شد. سپس با محاسبه شاخص CI متناظر با هر قطعه، مشاهده شد که شاخص، با توجه به بازه‌های به دست آمده برای هر کدام از پنج وضعیت کیفی روسازی، در بازه مربوطه قرار می‌گیرد. با توجه به محدودیت در تعداد صفحات این مقاله، امکان نشان دادن تمامی نتایج در تمامی قطعات وجود نداشت،

بنابراین نتایج مربوطه برای تعداد معدودی از قطعات (به عنوان نمونه) در جدول شماره (۳) آورده شده است. با ترسیم پروفیل شاخص CI در طول مسیر و مشخص نمودن آستانه‌های شاخص CI روی نمودار، می‌توان وضعیت کیفی قطعات روسازی را مشخص نمود. به عنوان نمونه، تعدادی از این نمودارها در وضعیت‌های روسازی مختلف، در ادامه آورده شده است.

جدول ۳. نتایج اعتبارسنجی شاخص CI و بازه‌بندی آن توسط داده‌های روسازی

Location of data collection	Pavement condition	Value of CI index	Pavement condition classify
Sarbaz Blvd- Between U-turn and Khajoo Sq	No failure	6.69	Very good
Jahad Blvd-Between Azadegan and Eghbal St	Limited alligator cracking and slight patches caused by canal digging	16.47	Moderate
Hojjaj Blvd-Lane 1- Towards jomhuri	No failure, With roughness	12.49	Good
Hojjaj Blvd-Lane 3- Towards jomhuri	No failure	4.31	Very good
Jomhuri Blvd-Between Shafa and Farhangian crossroad- Lane 3	Slight transverse cracking, Partial and limited cracks	12.78	Good
Piroozi Blvd-Between Emam St and crossroad - Lane 2	Patches and bumps and depression with moderate severity	36.84	Poor
Piroozi Blvd-Between crossroad and Emam St - Lane 2	Slight patches caused by canal digging	21.89	Moderate
ادامه جدول ۳. نتایج اعتبارسنجی شاخص CI و بازه‌بندی آن توسط داده‌های روسازی			
Saba Blvd- Between Pazhouhesh Sq and U-turn	No failure	2.76	Very good
Abolfazl Blvd-Lane 2- Towards west	Severe alligator cracking and severe Patches and bumps and depression	130.61	Very poor
Zoghalsang Blvd-Towards terminal- Section 1	Limited alligator and transverse cracking and slight patches caused by canal digging	24.46	Moderate

Table 3. validation results of CI index and its classification by pavement data

شکل ۴. نمودار بلوار جمهوری حدفاصل مجتمع برج اول تا فرودگاه - خط عبور ۲ - وضعیت روسازی خیلی خوب

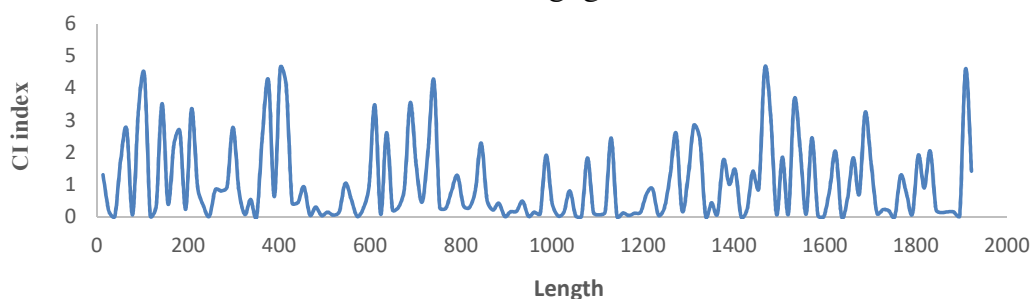


Fig 4. Diagram of Jomhuri Blvd, the distance between the first tower complex and the airport - Lane 2 - very good pavement condition

شکل ۵. نمودار پل راه آهن تا ایستگاه راه آهن - وضعیت روسازی متوسط

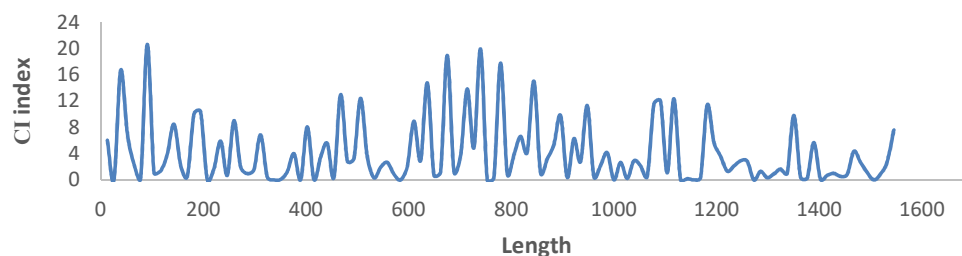


Fig 5. Diagram of rahahan bridge to railway station - Moderate pavement condition

شکل ۶. نمودار بلوار جهاد - حدفاصل اقبال تا آزادگان - وضعیت روسازی خیلی ضعیف

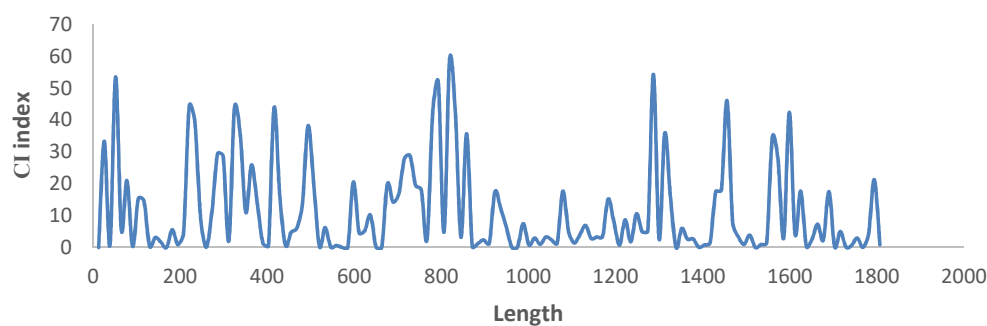


Fig 6. Diagram of Jahad Blvd - the distance between eqbal and Azadegan - very poor pavement condition

شکل ۷. موقعیت و وضعیت کیفی قطعات روسازی (بلوار امام رضا)



Fig 7. Location and quality condition of pavement sections (Emam reza Blvd)

شکل ۸. موقعیت و وضعیت کیفی قطعات روسازی (بلوار هوانیروز)



Fig 8. Location and quality condition of pavement sections (Havanirouz Blvd)

شکل ۹. موقعیت و وضعیت کیفی قطعات روسازی (بلوار جمهوری)



Fig 9. Location and quality condition of pavement sections (Jomhouri Blvd)

شکل ۱۰. موقعیت و وضعیت کیفی قطعات روسازی (بلوار کوثر)



Fig 10. Location and quality condition of pavement sections (Kowsar Blvd)

با توجه به رنگ‌بندی ذکر شده در قسمت ۳ در انتهای گام دوم، که نشان‌دهنده وضعیت‌های کیفی مختلف روسازی قطعات بود، وضعیت روسازی در تصاویر (۷ تا ۱۰) مشخص است.

۵ - نتیجه‌گیری

امروزه با گسترش شهرنشینی و افزایش چالش‌های مربوط به مدیریت شهری، مفهوم شهرهای هوشمند مورد توجه قرار گرفته است. در شهرهای هوشمند با به‌کارگیری فناوری‌های اطلاعاتی، ارتباطی و سایر فناوری‌های پیشرفته کارایی مدیریت شهری بهبود می‌یابد. با توسعه چشمگیر فناوری، روش‌ها و تجهیزات بسیاری برای مدیریت، نظارت، تعمیر و نگهداری زیرساخت‌های شهری، در دسترس پژوهشگران و مدیران شهری قرار گرفته است این روش‌ها و تجهیزات در بسیاری از موارد باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها و افزایش دقت در پژوهش‌ها و عملیات‌های اجرایی در شهرها می‌شود. یکی از اصلی‌ترین بخش‌های یک سیستم شهری، سیستم حمل‌ونقل آن شهر می‌باشد و جاده‌ها مهمترین

زیرمجموعه این سیستم هستند. روش‌ها و تجهیزات بسیاری برای بررسی وضعیت سطح روسازی جاده وجود دارد که بیشتر آنها در کشورهای در حال توسعه محدودیت دارند و امکان استفاده از آنها وجود ندارد و گران‌قیمت هستند. یک روش جایگزین و کاربردی برای بررسی وضعیت سطح روسازی جاده‌ها، استفاده از گوشی‌های هوشمند است. با توجه به گسترش روزافزون تکنولوژی و در دسترس بودن گوشی‌های هوشمند، استفاده از این روش در کشورهای در حال توسعه می‌تواند بسیار کاربردی باشد و باعث صرفه جویی در هزینه‌های نظارتی شود. در بررسی وضعیت سطح روسازی جاده‌ها و معابر شهری با استفاده از سنسورهای شتاب سنخ و GPS گوشی‌های هوشمند، مقادیر شتاب قائم (عمود بر سطح زمین) و موقعیت مکانی خودرو ثبت می‌شود. در این تحقیق با تحلیل داده‌های شتاب قائم و محاسبه چندین شاخص پیشنهادی و مقایسه آنها، بهترین شاخص از میان شاخص‌های تحت بررسی، انتخاب شد و با استفاده از آن یک دسته‌بندی به منظور مقایسه وضعیت میزان ناهمواری و

- detection using android smartphones with accelerometers. In 2011 International conference on distributed computing in sensor systems and workshops (DCOSS) (pp. 1-6). IEEE.
- [5] Hancke, G.P. and Hancke Jr, G.P., 2013. The role of advanced sensing in smart cities. *Sensors*, 13(1), pp.393-425.
- [6] Gao, J., Li, J., Cai, Z. and Gao, H., 2015, April. Composite event coverage in wireless sensor networks with heterogeneous sensors. In 2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM) (pp. 217-225). IEEE.
- [7] Alvear, O., Calafate, C.T., Cano, J.C. and Manzoni, P., 2018. Crowdsensing in smart cities: Overview, platforms, and environment sensing issues. *Sensors*, 18(2), p.460.
- [8] Ahmadinejad, M., Afandizadeh Zargari, S. and Jalalkamali, R., 2018, October. Are deceleration numbers a suitable index for road safety?. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport* (Vol. 171, No. 5, pp. 247-252). Thomas Telford Ltd.
- [9] Yu, J., Stettler, M.E., Angeloudis, P., Hu, S. and Chen, X.M., 2020. Urban network-wide traffic speed estimation with massive ride-sourcing GPS traces. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 112, pp.136-152.
- [10] Douangphachanh, V. and Oneyama, H., 2014. A study on the use of smartphones under realistic settings to estimate road roughness condition. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2014(1), pp.1-11.
- [11] Islam, S., Buttlar, W.G., Aldunate, R.G. and Vavrik, W.R., 2014. Measurement of pavement roughness using android-based smartphone application. *Transportation Research Record*, 2457(1), pp.30-38.
- [12] Medina, J.R., Noorvand, H., Shane Underwood, B. and Kaloush, K., 2020. Statistical validation of crowdsourced pavement ride quality measurements from smartphones. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(3), p.04020009.
- [13] Harikrishnan, P.M. and Gopi, V.P., 2017. Vehicle vibration signal processing for road surface monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 17(16), pp.5192-5197.
- [14] Allouch, A., Koubâa, A., Abbes, T. and Ammar, A., 2017. Roadsense: Smartphone application to estimate road conditions using accelerometer
- اعوجاج روسازی ایجاد شد. از میان تمامی شاخص ها، شاخص دامنه تغییرات توان دوم تغییرات شتاب ها، وضعیت قطعات روسازی را بهتر از بقیه شاخص ها نشان داد و مشخص شد، با خرابی روسازی رابطه مستقیم و قوی تری دارد. هر چه این شاخص در یک قطعه روسازی نسبت به قطعه دیگر بیشتر باشد، نشان دهنده آنست که نیروهای بزرگتری در جهت جاذبه و خلاف جهت جاذبه به شتاب سنج وارد شده است و در نتیجه، آن قطعه از روسازی دارای ناهمواری، اعوجاج و خرابی بیشتری است. به عبارت دیگر هر چه خرابی یک قطعه بیشتر باشد، مقدار این شاخص بیشتر است.
- در نهایت مشخص شد که از سنسورهای شتاب سنج و ابزار GPS گوشی های هوشمند، می توان با هزینه کم، سرعت بالا و دقت مناسب، برای بررسی وضعیت سطح روسازی معابر شهری و درجه بندی کیفیت روسازی، استفاده نمود. همچنین به نظر می رسد، در شهرهای هوشمند آینده که مبتنی بر تکنولوژی IT، استفاده از داده های کاربران، دقت بالا در مکان یابی و سرعت عمل در تشخیص و پیشگیری خرابی ها، هستند، روش پیشنهاد شده در این تحقیق، به شکل مطلوب تری می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۶- مراجع

- [1] Focus group on smart sustainable cities, 2020. [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITUT/focusgroups/ssc/Pages/default.aspx>
- [2] Berglund, E.Z., Monroe, J.G., Ahmed, I., Noghabaei, M., Do, J., Pesantez, J.E., Khaksar Fasaei, M.A., Bardaka, E., Han, K., Proestos, G.T. and Levis, J., 2020. Smart infrastructure: A vision for the role of the civil engineering profession in smart cities. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(2), p.03120001.
- [3] Nofriyanti, E., 2020. Evaluation of concretization of local road in Padang city using the importance satisfaction analysis and customer satisfaction index methods. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 156, p. 05007). EDP Sciences.
- [4] Mednis, A., Strazdins, G., Zviedris, R., Kanonirs, G. and Selavo, L., 2011, June. Real time pothole

- [19] Vemuri, V., Ren, Y., Gao, L., Lu, P. and Song, L., 2020, November. Pavement Condition Index Estimation Using Smartphone Based Accelerometers for City of Houston. In Construction Research Congress 2020: Infrastructure Systems and Sustainability (pp. 522-531). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- [20] Nomura, T. and Shiraishi, Y., 2015. A method for estimating road surface conditions with a smartphone. *International Journal of Informatics Society*, 7(1), pp.29-36.
- [21] Yeganeh, S.F., Mahmoudzadeh, A., Azizpour, M.A. and Golroo, A., 2019. Validation of smartphone based pavement roughness measures. *arXiv preprint arXiv:1902.10699*
- [22] Aleadelat, W. and Ksaibati, K., 2017. Estimation of pavement serviceability index through android-based smartphone application for local roads. *Transportation Research Record*, 2639(1), pp.129-135.
- and gyroscope. *IEEE Sensors Journal*, 17(13), pp.4231-4238.
- [15] Aleadelat, W., Ksaibati, K., Wright, C.H. and Saha, P., 2018. Evaluation of pavement roughness using an android-based smartphone. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 144(3), p.04018033.
- [16] Bidgoli, M.A., Golroo, A., Nadjar, H.S., Rashidabad, A.G. and Ganji, M.R., 2019. Road roughness measurement using a cost-effective sensor-based monitoring system. *Automation in Construction*, 104, pp.140-152.
- [17] Setiawan, E.B. and Nurdin, H., 2019. Road Quality Assessment Using International Roughness Index Method and Accelerometer on Android. *Lontar Komputer: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, pp.62-72.
- [18] Janani, L., Sunitha, V. and Mathew, S., 2020. Influence of surface distresses on smartphone-based pavement roughness evaluation. *International Journal of Pavement Engineering*, pp.1-14.

Investigating the situation of urban pathways pavements surface in future smart cities using accelerometer sensors and GPS tools of smartphones and GIS application.

Reza Jalalkamali^{1*}, Parham Kamali Sarvestani²

1. Assistant professor, Faculty of Civil Engineering, Shahid bahonar University of Kerman
2. M.S. in Highway and Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid bahonar University of Kerman

r.jalalkamali@uk.ac.ir

Abstract

In smart cities, with using lots of new technologies, while creating appropriate facilities in routine urban life, infrastructure problems are investigated, and the necessary measures are taken in a targeted and systematic manner to solve these problems. One of the most important technologies for managing infrastructure in smart cities is IT technology. GPS and smartphone sensors are other technologies that can be widely used in these cities. Streets, roads, and pavements are important infrastructures in any city and in the future smart cities. Proper supervision, repair, and improvement of pavements, streets, and urban pathways are the main factor in reducing the cost of depreciation of vehicles and providing comfort and safety for citizens. On the other hand, if timely action is taken to restore and improve the pavement, huge costs of repair and reconstruction will be avoided, and this can significantly reduce the costs of urban management. The first step to achieving this goal is to identify the location of the roughness and distortion of the surface of the streets and urban pathways and the severity of these failures in the shortest possible time. In this paper, road surface roughnesses and failures have been studied using accelerometer sensors and GPS smartphone devices. Location and vertical acceleration data have been entered into GIS software and a quantitative index based on the values of vertical acceleration has been introduced to determine the quality of each section of urban road pavement. In this research, Androsensor software, which is a useful application for using smartphone sensors, has been used. This software is installed on two smartphones, Huawei, P30 Lite, and BlackBerry, Priv STV100. The collected data for analysis is transferred to the computer in Excel files. To collect the data, the smartphones were placed in a fixed position on the right and left sides of the car, on the dashboard. This research has been done in Kerman city and in order to collect data, different routes with specific failures have been selected. Data collection was performed in 81 pieces with a length of 500 meters and 24 pieces with a length of 200 meters (105 pieces in total). By analyzing the vertical acceleration data and calculating some proposed indexes and comparing them, the best index has been selected. This index is classified into different ranges according to the field inspection of the pavement condition in the routes in this study, each of which indicates the quality status of the pavement. Each of these intervals is introduced with a specific color, and by examining the index obtained in each route and the corresponding interval, the studied routes are marked with different colors on the map. Finally, it was found that the accelerometer sensors and GPS of smartphones can be used with low cost, high speed and appropriate accuracy to check the surface of pavement of urban roads and grading the quality of pavement. It also seems that in the smart cities of the future, which are based on IT technology, the use of user data, high accuracy in locating and speed of action in prevention, the proposed method in this research can be used more favorably.

Keywords: smart cities, pavement, failure, smartphones, accelerometer sensor, GPS, GIS.