



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

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

۱. استادیار بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. دانشآموخته مقطع کارشناسی ارشد رشته راه و تراپری بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

r.jalalkamali@uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۲۹

چکیده

در شهرهای هوشمند با به کارگیری طیف وسیعی از فناوری‌های جدید، ضمن ایجاد تسهیلات مناسب برای زندگی، مشکلات زیرساختی بررسی شده و اقدامات لازم، به صورت هدفمند و نظاممند، برای حل این مشکلات انجام می‌گیرد. از جمله فناوری‌هایی که برای مدیریت زیرساخت‌ها در شهرهای هوشمند لازم است، تکنولوژی IT است. GPS و سنسورهای گوشی‌های هوشمند از دیگر فناوری‌هایی هستند که می‌توانند در این شهرها، به صورت گسترده مورد استفاده قرار گیرند. خیابان‌ها و معابر از زیر ساخت‌های مهم در هر شهر و در شهرهای هوشمند آینده هستند. نظارت صحیح، ترمیم و بهسازی مناسب روسازی خیابان‌ها 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 هزینه‌های مضاعف و هنگفت تعییر و بازسازی جلوگیری به عمل آمده و این موضوع می‌تواند هزینه‌های مدیریت شهری را به طور چشمگیری کاهش دهد. اولین گام در این راستا، شناسایی موقعیت مکانی ناهمواری‌ها و اعوجاج سطح معابر و خیابان‌های شهری و شدت این خرابی‌ها، در کوتاه‌ترین زمان ممکن است. در این مقاله، ناهمواری‌ها و خرابی‌های سطح جاده، با استفاده از سنسور شتاب‌سنج و GPS گوشی‌های هوشمند مورد مطالعه قرار گرفته است. با قرار دادن دو دستگاه گوشی هوشمند، در یک خودرو و راندن خودرو در مسیرهای مختلف، داده‌های موقعیت مکانی و شتاب در راستای قائم، برداشت شده است. این داده‌ها پس از آماده‌سازی وارد نرم افزار GIS شده و داده‌ی شتاب قائم بر مبنای طول مسیر برداشت در دسترس قرار می‌گیرد. با تحلیل داده‌های شتاب قائم و محاسبه چندین شاخص پیشنهادی و مقایسه آن‌ها، بهترین شاخص انتخاب شد که از این شاخص برای تعیین وضعیت کیفی روسازی معتبر است. با افزایش خرابی‌ها و ناهمواری‌های قطعه مورد بررسی، مقادیر این شاخص افزایش می‌یافتد. سپس با توجه به بازدیدهای میدانی انجام شده از وضعیت روسازی مسیرهای مورد مطالعه، یک دسته بندي کیفی از وضعیت روسازی صورت گرفته است. در این دسته‌بندي، قطعات با وضعیت روسازی خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف مشخص شده‌اند و مقادیر شاخص برای هر یک از این وضعیت‌ها در بازه مشخصی قرار می‌گیرد. با ترسیم نمودار فراوانی نسبی تجمعی مقادیر این شاخص، درصدهای متناظر با هر بازه

به دست آمد. از این درصد ها می‌توان 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 می‌داد که مقادیر شاخص برای هر مسیر نیز در بازه متناظر با وضعیت کیفی آن مسیر که قبل از دست آمد، قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی:

شهرهای هوشمند، روسازی، خرابی، گوشی‌های هوشمند، سنسور شتاب‌سنج، GIS، GPS.

طولی سطح جاده دارای تغییرات است، در نتیجه با بررسی پروفیل طولی، می‌توان میزان ناهمواری و اعوچا سطوح روسازی‌ها را مشخص کرد و با استفاده از سنسور GPS گوشی هوشمند نیز می‌توان 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 هزینه‌ها و افزایش راحتی سرنشیبان و آسیب کمتر به وسائل نقلیه فراهم می‌شود.

۲- مطالعات پیشین

سنسورها منبع اصلی کسب اطلاعات برای شهرهای هوشمند هستند. آن‌ها دستگاه‌هایی هستند که می‌توانند ویژگی‌های موجود در محیط را شناسایی یا تعیین کنند و پارامترها را به سیگنال الکترونیکی تبدیل کنند [5]. حسگرهای کاربردهای بسیاری برای برنامه‌های زیرساختی هوشمند دارند. برخی از برنامه‌های زیرساختی هوشمند از سنسورهای رایج مانند دماسنج و فشارسنج استفاده می‌کنند، در حالی که برخی دیگر از سنسورهای پیشرفته، مانند سنسورهای مادون قرمز، حسگرهای دیداری، شتاب سنج‌ها، سیستم‌های موقعیت‌یابی جهانی (مانند GPS) و سایر حسگرهای مکانی استفاده می‌کنند [2]. چندین حسگر ممکن است در یک پکیج قرار بگیرند تا پدیده‌های پیچیده‌ای به نام رویدادهای مرکب را که نیاز به سنجش خواص محیطی متعدد دارند، کنترل کنند [6]. اما برداشت گستردگی داده‌های زیرساختی و زیستمحیطی توسط فناوری حسگرهای ممکن است تا حدی محدود شوند، زیرا بیشتر حسگرهای منفرد یک پارامتر یا مجموعه‌ای محدود از ویژگی‌ها را کنترل می‌کنند و نقاط جمع آوری اغلب به طور پراکنده در ایستگاه‌های ثابت قرار دارند [7]. داده‌های جمع آوری شده در این نقاط فقط

۱- مقدمه

امروزه با گسترش شهرنشینی و افزایش چالش‌های مربوط به مدیریت شهری، مفهوم شهرهای هوشمند مورد توجه بسیاری از صاحب‌نظران قرار گرفته است. یک شهر هوشمند، شهری است که با ابتکار و نوآوری، از فناوری‌های اطلاعاتی، ارتباطی و سایر فناوری‌های پیشرفته برای بهبود کارایی مدیریت شهری استفاده می‌کند [1]. برنامه‌های زیرساختی هوشمند برای به کارگیری فناوری در حوزه‌های مختلف مهندسی عمران، از جمله سیستم‌های حمل و نقل، بررسی می‌شوند [2]. یکی از موارد فناوری که برای مدیریت زیرساخت‌ها در شهرهای هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرد، تأمین داده با استفاده از سنسورها، است [2]. یکی از چالش‌های موجود در بحث زیرساخت‌های حمل و نقل، خرابی روسازی راه‌ها است [3]. در این مطالعه، کاربرد سنسورها در تعیین موقعیت و میزان خرابی روسازی‌های شهری بررسی شده است.

خرابی‌های سطح جاده تاثیر قابل توجهی بر راحتی سرزنشیبان و سیله نقلیه و همچنین آسیب‌های واردہ به و سیله نقلیه دارند. هم رانندگان و هم موتولیان راه علاقه دارند که هرچه سریع‌تر آنها را برطرف کنند. با این حال، ابتدا باید موقعیت و میزان خرابی‌ها مشخص شود [4].

روش‌ها 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 گوشی‌های هوشمند است. با استفاده از سنسورهای شتاب‌سنج و ابزار GPS گوشی‌های هوشمند (تلفن‌های هوشمند) می‌توان تغییرات پروفیل طولی راه را مشخص کرد. غالباً در خرابی‌ها، پروفیل

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]. هریکریشنان و همکاران از مدل گاووسی 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 گاووسی باشد [13]. الچ 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 "صف" یا "حفره‌ای" برچسب گذاری شد. ویژگی‌های قطعات مختلف جاده با خواندن داده‌های شتاب‌سنج و زیروسکوپ استخراج شد [14]. العلات و همکاران، از شتاب سنج‌های سه بعدی گوشی‌های هوشمند برای جمع‌آوری داده‌های شتاب عمودی و سیله 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 اعتبار سنجی اولیه نشان داد که با استفاده از این روش، تلفن هوشمند استفاده شده می‌تواند با اطمینان منطقی مقادیر واقعی IRI را پیش‌بینی کند [15]. ارباب پور بیدگلی و همکاران، یک دستگاه خودکار جمع‌آوری داده مقرنون به صرفه برای اندازه گیری ناهمواری سطح روسازی توسعه دادند. آن‌ها از یک چرخ اضافی مجهر به شتاب سنج و سیستم موقعیت‌یاب مکانی برای ارزیابی ناهمواری‌های روسازی 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

کلیاتی از سیستم را ارائه می‌دهند و جزئیات دقیق‌تر مانند آنچه تعاملات انسان در زمان واقعی با زیر ساخت‌ها را تو صیف می‌کنند، در دسترس قرار نمی‌گیرد. سیستم‌های زیست‌محیطی و زیرساختی، مانند جاده‌ها، شبکه‌های آب و شبکه‌های هیدرولوژیکی، مناطق جغرافیایی گستره‌های 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 گرفته شده از گوشی‌های هوشمند، در مباحث مختلف مربوط به راه و ترافیک از جمله اینمنی [8]، سرعت جریان ترافیک [9] و تعیین وضعیت روسازی که در ادامه به طور ویژه، شرح داده می‌شود، استفاده شده است. تشخیص خرابی روسازی آسفالتی یکی از کاربردهای گوشی‌های هوشمند در مدیریت روسازی است. پژوهشگران برای تشخیص انواع مختلف خرابی‌ها، برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها مثل چاله و سرعت‌گیر، الگوریتم‌های مختلفی را پیشنهاد کردند. مدینس 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 روسازی تخمین زدند. آنها داده‌ها را توسط برنامه AndroSensor نصب شده روی تلفن‌های هوشمند جمع‌آوری کردند تا پروفیل روسازی 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 تعییه شده روی یک و سیله نقلیه انجام

رآ 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 خیابان‌های شهر، مد نظر است. زیرا این موضوع به تصمیم‌گیری سریع و مناسب در زمینه‌ی مدیریت شهری و تامین اعتبار به موقع، کمک قابل توجهی می‌کند. در شهرهای هوشمند نیز زیربنای‌های حمل و نقلی از جمله روسازی خیابان‌ها و معابر، از اهمیت بالایی برخوردار است، اما تفاوت عمده‌های در سرعت و دقت جمع آوری داده‌ها با استفاده از ابزار GPS و تکنولوژی IT است، در این موضوع، یکی از روش‌های معرفی شده به منظور ارزیابی کلی و سریع از وضعیت روسازی، استفاده از سنسورها و GPS گوشی‌های هوشمند است.

در این تحقیق از نرم‌افزار Androsensor که یک نرم‌افزار کاربردی برای استفاده از سنسورهای گوشی هوشمند است استفاده شده است. توسط این نرم‌افزار با استفاده از سنسورهای شتاب‌سنج و GPS، مقادیر شتاب قائم و موقعیت مکانی برداشت می‌شود. تفاوت در حساسیت سنسورهای شتاب‌سنج می‌تواند منجر به ناسازگاری در اندازه‌گیری شود. برای رفع این مشکل این نرم‌افزار روی دو دستگاه گوشی هوشمند هوایی، مدل P30 Lite و بلکبری، مدل STV100 Priv نصب شده است. داده‌های جمع آوری شده در قالب فایل اکسل به منظور تجزیه و تحلیل به کامپیوتر انتقال داده می‌شوند. برای جمع آوری داده‌ها، گوشی‌ها 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 نرم‌افزار Androsensor فاصله برداشت داده‌ها، روی ۱۰۰ ثانیه تنظیم شد. با این فاصله برداشت، در هر ثانیه، داده شتاب قائم متناظر با ۱۰۰ نقطه در دسترس قرار می‌گردد، 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 موقعیت‌یابی جهانی (GPS) را به کار گرفتند. آن‌ها آزمایش را با استفاده از دو وسیله نقلیه مختلف، ماشین و موتور سیکلت انجام دادند. گوشی‌های هوشمند با برنامه‌های تشخیص کیفیت جاده، برای ثبت لرزشی که هنگام حرکت وسیله نقلیه بر اساس شرایط جاده رخ می‌دهد، با استفاده از نگهدارنده گوشی به وسیله نقلیه و موتورسیکلت متصل شدند. نتایج ضبط لرزش سپس در یک مشاهده بصری تأیید شد تا درستی نتایج ارزیابی، تعیین شود. برای ساس 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 خرابی‌های سطح را بر داده‌های جمع آوری شده، تجزیه و تحلیل کردند. دقت شتاب‌سنج‌های گوشی‌های 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 می‌آید که توان سیگنال را بر حسب مقادیر مختلف فرکانس آن ترسیم می‌کند). مقادیر IRI به دست آمده از گوشی هوشمند توسط شتاب‌هایی که بیانگر ناهمواری‌های روسازی بودند، تخمین زده شد. نتایج از نظر آماری با مقادیر IRI به دست آمده از شتاب‌سنج مقایسه شدند. همبستگی IRI مبتنی بر گوشی‌های هوشمند و مبتنی بر شتاب سنج مقدار بالای ۸۶٪ را نشان می‌داد [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 آزمایش‌ها در آن انجام گرفت. داده‌های شاخص شرایط روسازی (PCI) از پایگاه داده شبکه جاده‌ای شهر هوستون برای توسعه مدل تخمینی در برنامه اندروید مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره با استفاده از داده‌های 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 داده‌های 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 نرم افزار GIS، در دسترس خواهد بود.

۱۰۰ برداشت شتاب است، یکسان هستند. به عبارت دیگر در هر ثانیه حدود ۱۰۰ نقطه با داده‌های شتاب هستند. بنابراین میانگین قدر مطلق شتاب‌های قائم متناظر با نقاط دارای مختصات یکسان محاسبه می‌شود و به هر موقعیت مکانی منحصر به فرد، یک مقدار شتاب قائم (میانگین قدر مطلق شتاب‌ها) اختصاص داده می‌شود و در ادامه، تحلیل داده‌ها با این مقادیر شتاب انجام خواهد شد. مختصات داده‌های موقعیت مکانی جمع‌آوری شده توسط

شکل ۱-۱. ترسیم مسیرها در GIS

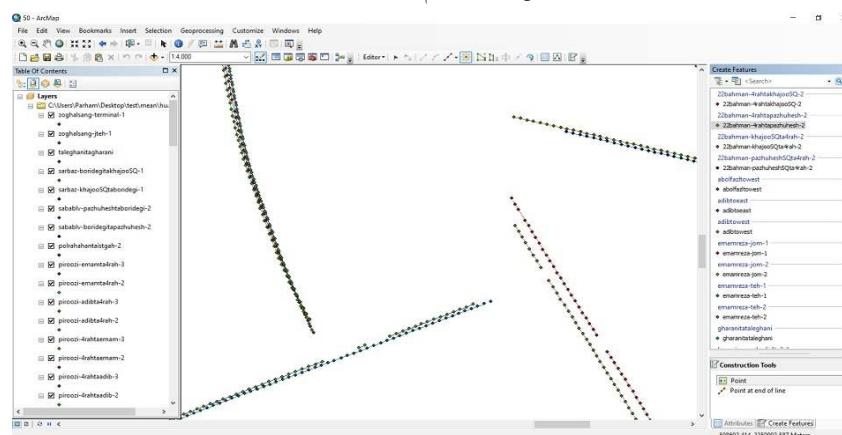


Fig. 1.1. Drawing tracks in GIS

شکل ۲-۱. طبقه‌بندی داده‌ها در GIS

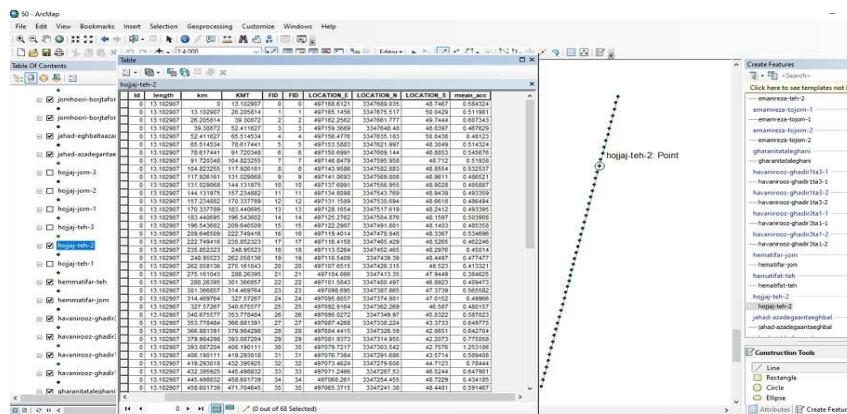


Fig. 1.2. Data classification in GIS

طول ۵۰۰ متر و ۲۴ قطعه به طول ۲۰۰ متر، (مجموعاً ۱۰۵ قطعه) در بازارهای 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

شتاپ‌ها، واریانس شتاب‌ها، انحراف معیار شتاب‌ها و دامنه تغییرات توان دوم تغییرات شتاب‌ها، که از میان تمامی شاخص‌های ذکر شده، شاخص دامنه تغییرات توان دوم تغییرات شتاب‌ها، وضعیت قطعات روسازی را بهتر از بقیه شاخص‌ها نشان می‌دهد و با خرابی روسازی رابطه مستقیم قوی‌تری دارد.

گام اول: با تحلیل داده‌های شتاب قائم و محاسبه چندین شاخص پیشنهادی و مقایسه‌ی آن‌ها، بهترین شاخص انتخاب گردید و با استفاده از آن یک دسته‌بندی به منظور بررسی و مقایسه وضعیت میزان ناهمواری و اعوجاج روسازی ایجاد شد. شاخص‌هایی که محاسبه و مقایسه شدند، عبارت‌اند از مجموع شتاب‌ها، مجموع توان دوم شتاب‌ها، مجموع توان دوم شتاب‌ها ضربدر تغییرات شتاب، میانگین توان دوم شتاب‌ها، میانگین

شکل ۲. مراحل روش انجام پژوهش

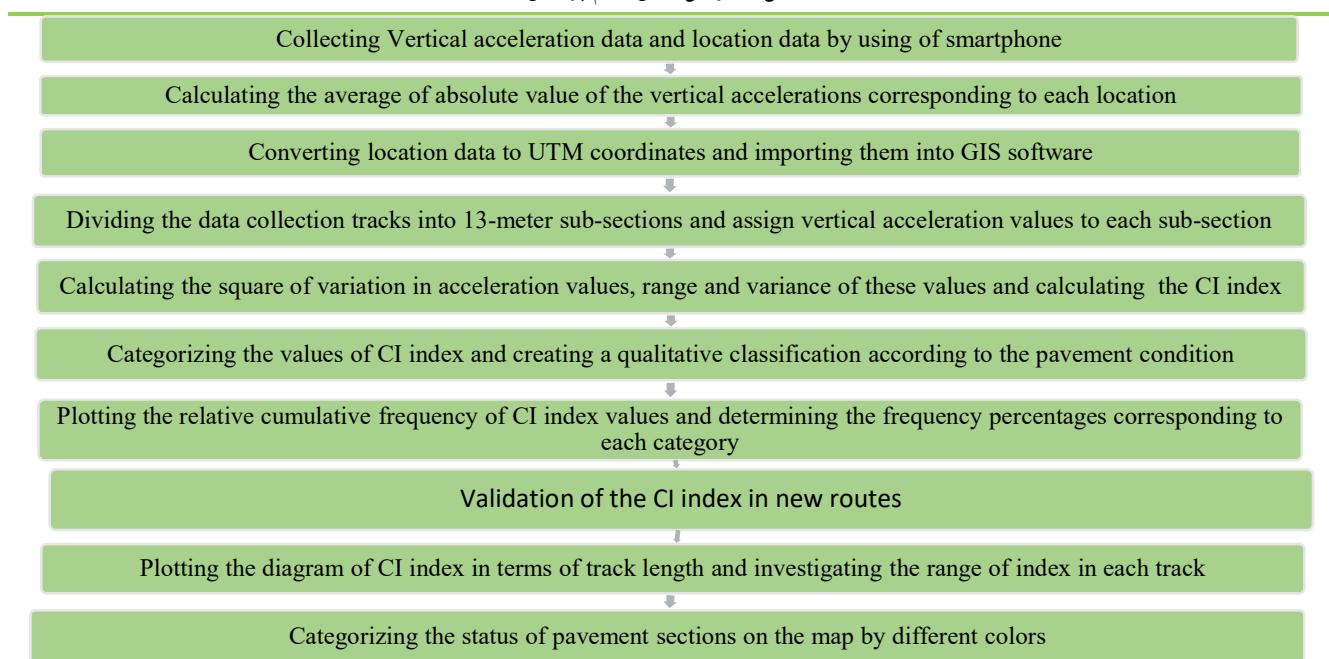


Fig. 2. Steps of research method

تغییرات شتاب‌ها در عدد ۱۰۰ ضرب شده است. این شاخص برای گوشی اول مطابق رابطه (۱) و برای گوشی دوم مطابق رابطه (۳) به دست می‌آید.

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

I_1 : متغیر توان دوم تغییرات شتاب‌ها در هر قطعه برای گوشی اول

a_{1i} : شتاب قائم به دست‌آمده از گوشی اول در لحظه i ام

$a_{1(i-1)}$: شتاب قائم به دست‌آمده از گوشی 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 شتاب‌ها) در یک قطعه روسازی نسبت به قطعه دیگر بیشتر باشد، نشان دهنده آنست که، متغیر شتاب قائم، اعداد بزرگتری (ثبت 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 می‌باشد. 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 ملموس‌تر بودن داده‌ها، توان دوم

R_1 : دامنه تغییرات متغیر توان دوم تغییرات شتابها قطعه زام
برای گوشی اول

$I_{1(\max(j))}$: مقدار بیشینه شاخص I_1 (مربوط به گوشی اول)، در
قطعه زام

$I_{1(\min(j))}$: مقدار کمینه شاخص I_1 (مربوط به گوشی اول)، در
قطعه زام

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

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

a_{2i} : شتاب قائم به دست آمده از گوشی دوم در لحظه t_i

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

$$R_2 = I_{2(\max(j))} - I_{2(\min(j))} \quad (4)$$

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

$I_{2(\max(j))}$: مقدار بیشینه شاخص I_2 (مربوط به گوشی دوم)،
در قطعه j ام

$I_{2(\min(j))}$: مقدار کمینه شاخص I_2 (مربوط به گوشی 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 گوشی 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 شده متغیر توان دوم تغییرات
شتتابها (گوشی اول و دوم)

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

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

گام دوم: با توجه به بازدیدهای میدانی انجام شده از وضعیت
روسازی قطعات مختلف و تطبیق آن با مقادیر شاخص CI
منتظر با هر قطعه، یک دسته بنده کمی از وضعیت روسازی
صورت می‌گیرد. این دسته بنده به ۵ دسته‌ی خیلی خوب،
خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم‌بندی می‌شود.
در این دسته بنده، 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 سوسмарی محدود و لکه
های خفیف ناشی از ترمیم کanal های حفر شده، در دسته
متوسط، قطعات دارای خرابی زیاد شامل ترک پوست
سوسмарی باشد متوسط و لکه و برآمدگی و فرورفتگی
متوسط، در دسته ضعیف و قطعات دارای خرابی شدید شامل
ترک پوست سوسмарی 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
منتظر با این دسته‌بنده، 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 تجمعی
نسبی مقادیر شاخص CI ، در صدای فراوانی متناظر با مقادیر
شاخص CI برای تمامی دسته‌بندهای خیلی خوب، خوب،
متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف به دست می‌آید. از این
درصدانها 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

باشد و می‌توان نتیجه گرفت، وضعیت کیفی آن قطعه بدتر است. در مطالعه‌ای که نمورا و همکاران انجام دادند، مشخص شد که در راههای با سطوح ناهمواری مختلف، مقادیر واریانس شتاب در راستای قائم در راههایی که ناهمواری در آن‌ها بیشتر بود، دارای مقدار بیشتری بود. برای راههای با سطح ناهمواری صفر، مقادیر واریانس بین $0^{\circ}/0.19$ و $0^{\circ}/0.28$ راههای با سطح ناهمواری یک، مقادیر واریانس بین $0^{\circ}/0.19$ و $0^{\circ}/0.28$ برای سطح ناهمواری دو، این مقادیر از $0^{\circ}/0.28$ به بالا بود [20]. فیروزی یگانه و همکاران در تحقیق خود، ارتباط بین جذر میانگین مریعات و شاخص کیفیت سواری را مورد بررسی قرار دادند. مشاهده شد که شاخص کیفیت سواری با جذر میانگین مریعات شتاب‌های اندازه‌گیری شده توسط گوشی‌های هوشمند همبستگی خوبی دارد ($R^2 = 0.8$) و با افزایش مقدار جذر میانگین مریعات (که ناشی از افزایش مقادیر شتاب در راستای قائم است)، شاخص کیفیت سواری کاهش می‌یابد، که نشان‌دهنده بدتر شدن وضعیت کیفی روسازی است [21]. همچنین العدلات و همکاران در تحقیق خود به بررسی رابطه بین شتاب قائم اندازه‌گیری شده توسط گوشی‌های هوشمند و شاخص خدمت‌دهی فعلی (PSI) پرداختند. در تحقیق آن‌ها مشخص شد که واریانس مقادیر شتاب قائم با شاخص خدمت‌دهی فعلی همبستگی بسیار بالایی دارد ($R^2 = 0.93$) و با افزایش مقادیر واریانس شتاب قائم (افزایش پراکندگی و تغییرات شتاب‌ها) مقدار شاخص خدمت‌دهی فعلی کاهش می‌یابد، که نشان‌دهنده بدتر شدن وضعیت کیفی روسازی است [22]. تمامی مطالعات ذکر شده نشان می‌دهند که با افزایش مقادیر شتاب قائم و افزایش پراکندگی و تغییرات این مقادیر، کیفیت روسازی به طرز معنی‌داری کاهش می‌یابد. در این تحقیق نیز با افزایش مقادیر شتاب در راستای قائم و افزایش دامنه تغییرات این مقادیر، مقدار شاخص CI افزایش می‌یابد، که نشان‌دهنده کاهش کیفیت روسازی است. با تقسیم‌بندی مقادیر شاخص CI به بازه‌هایی 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 بازه‌های دسته‌بندی شده در جدول فراوانی، برای هر کدام از دسته‌بندی‌های وضعیت روسازی،

شد. با محاسبه مقدار شاخص مشخص شد که مقادیر شاخص برای هر قطعه در بازه متناظر با وضعیت کیفی آن قطعه که پیشتر به دست آمد، قرار می‌گیرد. در پایان قطعات با وضعیت روسازی خوب با رنگ سبز، 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 می‌شوند. به عنوان نمونه وضعیت کیفی و موقعیت مکانی تعدادی از قطعات در شکل‌های (۷ تا ۱۰) مشاهده می‌شود. مراحل روش انجام این تحقیق در شکل (۲) نشان داده شده است.

۴- نتایج

از میان شاخص‌های ذکر شده در قسمت ۳، گام اول، شاخص دامنه تغییرات توان دوم تغییرات شتاب‌ها، وضعیت قطعات روسازی را بهتر از بقیه شاخص‌ها نشان داد و با خرابی روسازی رابطه‌ی مستقیم و قوی‌تری داشت. در نتیجه این شاخص به منظور تحلیل داده‌ها انتخاب شد. با تجزیه و تحلیل داده‌ها و با توجه به بازدیدهای میدانی انجام شده از وضعیت روسازی این قطعات و تطبیق آن با مقادیر شاخص ترکیب شده CI متناظر با هر قطعه، یک دس

تبندی 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 محدودی از قطعات (به عنوان نمونه) در جدول (۲) آورده شده است. همان‌گونه 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-

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 متناظر 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 ۱۰ تا ۱۵ 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 مشخص نشان می‌دهد.

شکل ۳. نمودار فراوانی نسبی تجمعی مقادیر شاخص CI

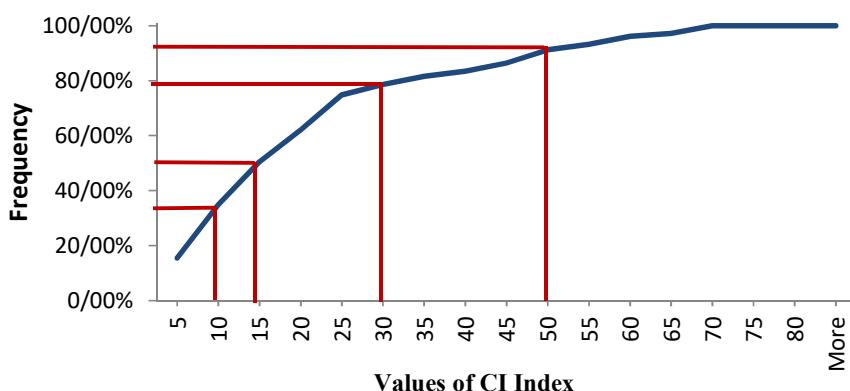


Fig 3. Graph of relative cumulative frequency of CI index values

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
Jomhouri Blvd- Lane 2- between the airport and borj aval complex	41	No failure, Very slight transverse cracking	6.12	Very good
Jomhouri Blvd-Slow lane-between the havanirooz T-	23	Alligator cracking, severe patch and bumps and depression	55.56	Very poor

intersection and the airport					
Jomhouri 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 Jomhouri	16	Partial and limited cracks	12.97	Good	
Hemmatifar St – Towards jomhouri	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 jomhouri- section 1	48	Alligator cracking and bumps and depression with moderate severity	40.26	Poor	
Zoghalsang Blvd- Lane 1- Towards jomhouri- 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

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

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 خرابی های روسازی در این قطعات، وضعیت کیفی روسازی این

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.

بنابراین نتایج مربوطه برای تعداد محدودی 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

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 jomhouri	No failure, With roughness	12.49	Good
Hojjaj Blvd-Lane 3-Towards jomhouri	No failure	4.31	Very good
Jomhouri 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

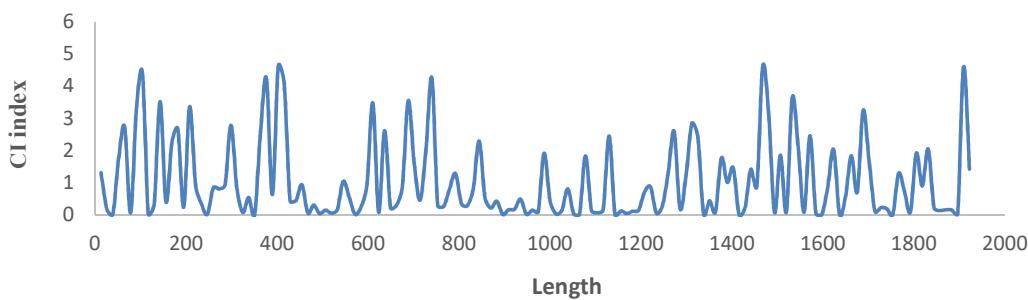


Fig 4. Diagram of Jomhouri Blvd, the distance between the first tower complex and the airport - Lane 2 - very good pavement condition

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

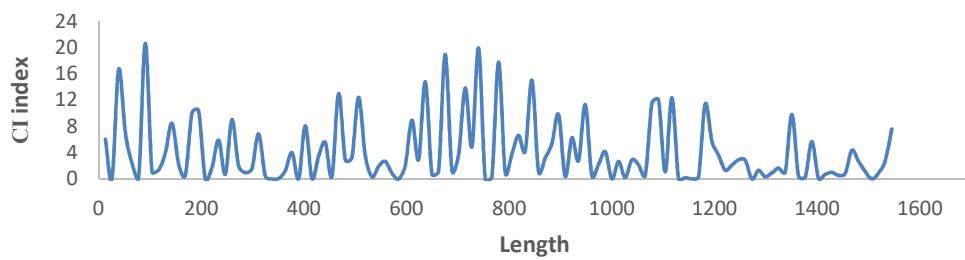


Fig 5. Diagram of rahahan bridge to railway station - Moderate pavement condition

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

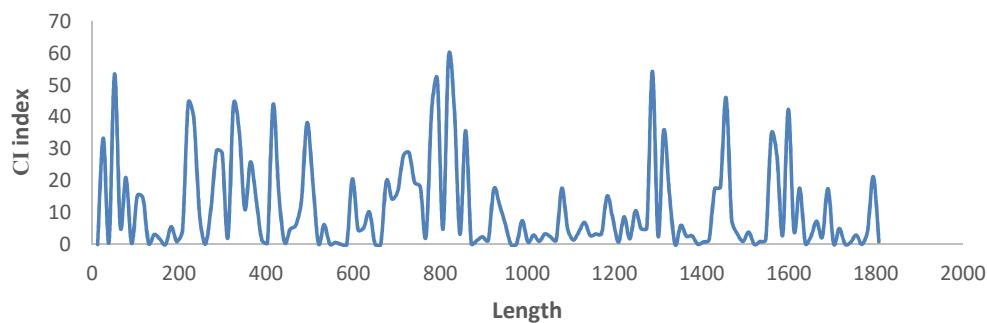


Fig 6. Diagram of Jahad Blvd - the distance between eqbal and Azadegan - very poor pavement condition



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



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



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



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

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 معاشر شهری با استفاده از سنسورهای شتاب سنج 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

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 به کارگیری 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 حمل و نقل آن شهر می‌باشد و جاده‌ها مهمترین

- 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 شاخص‌ها، شاخص دامنه تغییرات توان دوم تغییرات شتاب‌ها، وضعیت قطعات روسازی را بهتر از بقیه شاخص‌ها نشان داد و مشخص شد، با خرابی روسازی رابطه‌ی مستقیم و قوی‌تری 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 گوشی‌های هوشمند، می‌توان با هزینه کم، سرعت بالا و دقیق مناسب، برای بررسی وضعیت سطح روسازی معابر شهری و درجه بندی کیفیت روسازی، استفاده نمود. همچنین به نظر می‌رسد، در شهرهای هوشمند آینده که مبتنی بر تکنولوژی IT، استفاده از داده‌های کاربران، دقیق بالا در مکان‌یابی و سرعت عمل در تشخیص و پیشگیری خرابی‌ها، هستند، روش پیشنهاد شده در این تحقیق، به شکل مطلوب تری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۶- مراجع

- [1] Focus group on smart sustainable cities, 2020. [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/Pages/default.aspx>
- [2] Berglund, E.Z., Monroe, J.G., Ahmed, I., Noghabaei, M., Do, J., Pesantez, J.E., Khaksar Fasaee, 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.