

ارزیابی کیفیت اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

امید عسگری^۱، نجمه نیسانی سامانی^{۲*}، سارا عطارچی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
o.asgari@ut.ac.ir

^۲ دانشیار گروه سنجش از دور و GIS - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
nneysani@ut.ac.ir

^۳ استادیار گروه سنجش از دور و GIS - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران
satarchi@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۸، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۹)

چکیده

تغییرات کاربری اراضی در اثر فعالیت‌های انسانی، عدم تعادل فضایی و توسعه فیزیکی ناموزون در گستره مناطق شهری، باعث شده پایش تغییرات کاربری زمین یکی از اصلی‌ترین دغدغه مدیران و برنامه‌ریزان شهری باشد. در این پژوهش به منظور انجام بررسی‌های مربوط به صحت‌سنجی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه تغییرات کاربری اراضی از ترکیب داده‌های سنجش از دوری و اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه استفاده شده است. بدین جهت تصاویر ماهواره ORBVIEW-3 برای سال ۲۰۰۵، ماهواره IRS برای سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ و تصاویر گوگل ارث از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ به عنوان پایگاه داده مرجع بکار گرفته شده است. یکی از موضوعات مورد بحث در زمینه صحت‌سنجی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در پایش تغییرات کاربری اراضی مربوط به کیفیت این اطلاعات می‌باشد. معیارها و شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی کیفیت پارامترهای VGI در زمینه صحت‌سنجی کاربری‌های تغییر یافته ارائه شده است که در این تحقیق ۳ معیار تمامیت، دقت مکانی و دقت شکلی داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقاله حاضر با هدف ارزیابی کیفیت اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه مربوط به تغییرات کاربری اراضی و مقایسه نتایج آن با داده‌های تولید شده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان داده‌های مرجع صورت گرفته است. در واقع استفاده از دانش محلی افراد در فرایند برنامه‌ریزی شهری و اهمیت به هنگام بودن اطلاعات جهت مدیریت و تصمیم‌گیری بهتر در برابر پدیده‌هایی مثل گسترش شهرنشینی، باعث توجه و پی بردن به اهمیت اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در زمینه تغییرات کاربری اراضی شده است. در این پژوهش به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی داده‌های جغرافیایی داوطلبانه، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای از مراکز ذریع اخذ و اقدام به استخراج و تفکیک اراضی مورد بررسی گردید. سپس به منظور جمع‌آوری داده‌های داوطلبانه، سامانه‌ای تحت وب طراحی تا کاربران بعد از ثبت اطلاعات شخصی و اطلاعات مربوط به کاربری، اقدام به ترسیم عوارض مربوطه نمایند. در نهایت کیفیت داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در اولین گام تمامیت داده‌ها محاسبه گردید. بر اساس نتایج بدست آمده، میزان تمامیت داده‌های داوطلبانه در سال‌های مختلف متفاوت می‌باشد و هر چقدر از زمان حال دورتر می‌شویم از دقت آن کاسته می‌شود به طوری که در سال ۱۳۹۷، ۷۲٫۷ درصد از داده‌های داوطلبان با داده‌های مرجع کاملاً همپوشانی داشت اما در سال ۱۳۸۶ این رقم به ۲۵ درصد کاهش یافت. در گام بعدی دقت مکانی داده‌ها محاسبه گردید. برای ارزیابی این پارامتر از روش فاصله مرکزی استفاده شده است. نتایج حاصل از فواصل بین مرکز پلیگون داده‌های داوطلب با مرکز پلیگون داده‌های مرجع نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین فاصله به ترتیب ۱۴٫۳۷ و ۰٫۰۹ متر بوده است. در آخرین گام دقت شکلی داده‌های داوطلب مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به انحراف معیار ۰٫۶۱ می‌توان گفت که هر دو پایگاه داده از لحاظ دقت شکلی تفاوت قابل توجهی با هم دارند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های VGI برای مطالعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی می‌تواند مناسب باشند در صورتی که تصاویر مورد استفاده از قدرت تفکیک مکانی بالایی برخوردار باشند.

واژگان کلیدی: اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه، مولفه‌های کیفیت VGI، فناوری وب سرویس، تصاویر ماهواره‌ای

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

امروزه با به وجود آمدن فناوری‌های جدید خصوصا وب ۲.۰^۱ و فراگیری استفاده از آن امکان تولید و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات توسط تمامی افراد حتی افراد غیر متخصص فراهم شده است. با توسعه سامانه‌های اطلاعات مکانی و آشکار شدن اهمیت و کاربردهای آن، انگیزه‌های زیادی برای تولید اطلاعات مکانی توسط مشارکت‌کنندگان، فراهم شده است [۱]. سامانه اطلاعات جغرافیایی مبتنی بر مشارکت مردمی^۲ به روش‌هایی اشاره دارد که اطلاعات مکانی را برای انواع برنامه‌ریزی‌های شهری و منطقه‌ای فراهم می‌کند [۲]. استفاده از سیستم اطلاعات مکانی بر روی وب به کاربران امکان انجام آنالیزهای مکانی و قابلیت‌های نظیر بزرگنمایی را نیز می‌دهد [۳]. سامانه‌های اطلاعات مکانی وب مبنا از این منظر ابزارهای توانمندی را برای برنامه‌ریزی‌های مشارکتی در اختیار افراد قرار می‌دهند. در همین راستا گودچایلد در سال ۲۰۰۷، با درک نقش انسان حتی با کمترین تخصص و دانش در تولید اطلاعات مکانی، مفهوم تازه‌ای به نام VGI^۳ را مطرح کرد. او انسان‌ها را به حسگرهایی تشبیه می‌کند که می‌توانند محیط اطراف خود را حس کرده و اطلاعاتی را در خصوص این محیط تولید و منتشر کنند [۴]. داده‌های جغرافیایی داوطلبانه، داده‌های متن‌باز^۴ هستند که توسط تعداد زیادی از کاربران غیرحرفه‌ای و عموم مردم ثبت شده است [۵].

تولید داده‌های مکانی به روش‌های سنتی که توسط نهادها و سازمان‌های دولتی و خصوصی صورت می‌گیرد اگر چه دارای مزیت‌هایی چون از دقت و صحت بالایی برخوردار می‌باشند اما به دلیل نبود نیروی متخصص، هزینه‌بر و زمان‌بر بودن تولید داده‌ها، با محدودیت‌هایی مواجه بوده است [۶]. امروزه با توسعه و پیشرفت فن‌آوری در زمینه وب ۲.۰ این امکان برای کاربران اینترنتی فراهم شده است تا خود بتوانند تولیدکننده اطلاعات باشند [۷]. علاوه بر این، نتیجه این پیشرفت‌ها منجر به تغییر الگوی تولید داده‌ها از حالت بالا به پایین یعنی از سوی دولت به سوی مردم، به حالت پایین به بالا یعنی از سوی مردم به سوی دولت شده است [۴].

با توجه به تغییرات صورت گرفته و جهت پر کردن فضاهای ایجاد شده بین رویکرد سنتی و رویکرد جدید و همچنین بهبود مشکلات مطرح شده در روش‌های سنتی استفاده از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه به عنوان روش سریع، بدون هزینه و بهنگام جهت تولید اطلاعات ضروری است [۸]. اما از آنجا که کاربران داده‌های مردم گستر، اغلب افراد غیرمتخصص هستند که داده‌ها را بدون رعایت استانداردهای موجود جمع‌آوری می‌کنند، این امر موجب گردید تا هیچ‌گونه نظارتی بر کنترل کیفیت داده‌ها وجود نداشته باشد [۹]. بنابراین عدم آگاهی از کیفیت داده‌های VGI، یکی از محدودیت‌های این داده‌ها تلقی می‌گردد و ضروری است که بدانیم آیا VGI به عنوان یک جایگزین ارزان و کم‌هزینه، علیرغم عدم آگاهی از کیفیت آن، می‌تواند با داده‌های مکانی دارای قابلیت اطمینان بالا، رقابت کنند. پاسخ به این سوال مستلزم این است که پیش از استفاده از داده‌های VGI، نسبت به کیفیت آن اطمینان حاصل کنیم. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، اعتبارسنجی و ارزیابی کیفیت داده‌های جغرافیایی داوطلبانه با کمک تصاویر ماهواره‌ای به منظور شناسایی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. به عبارت دیگر، این پژوهش در صدد مقایسه نتایج حاصل از داده‌های جغرافیایی داوطلبانه و تصاویر ماهواره‌ای است تا نشان دهد اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه از چه میزان دقتی برخوردار هستند.

بر اساس اطلاع نگارنده، تاکنون هیچ مطالعه‌ای به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی داده‌های VGI با تصاویر سنجش از دوری برای شناسایی و پایش تغییرات کاربری اراضی ساخته شده، نپرداخته است.

۲- پیشینه تحقیق

عدم اطمینان از کیفیت داده‌های VGI بزرگ‌ترین مانع در استفاده از این داده‌ها، توسط سازمان نقشه‌برداری و دیگر سازمان‌های دولتی می‌باشد [۱۰]. به همین منظور مطالعات متعددی جهت ارزیابی دقت اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه صورت گرفته است. برای مثال هاگلی در سال ۲۰۱۰ دقت هندسی و تمامیت پایگاه داده OSM^۵ و OS^۶ را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش شهر لندن به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که

^۱ Web 2.0^۲ Public Participation GIS^۳ Volunteered Geographic Information^۴ Open Source^۵ Open Street Map^۶ Ordnance Survey

ساختمان در پایگاه داده مرجع مورد تناظرایی قرار گرفت. نتایج تناظرایی نشان می‌داد که دقت مکانی ساختمان‌های موجود در پایگاه داده OSM حداقل سازگاری را با پایگاه داده مرجع دارد. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها، تعداد ساختمان‌هایی که در پایگاه داده مرجع وجود داشت اما پایگاه داده OSM فاقد آن لایه‌ها بود حدوداً ۵۷ درصد تخمین زده شد. در مقابل تنها ۹ درصد از ساختمان‌های موجود در پایگاه داده OSM در پایگاه داده مرجع وجود نداشت [۱۵].

۳- مبانی نظری

۳-۱- اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه

گودچایلد در سال ۲۰۰۷، با درک نقش انسان حتی با کمترین تخصص و دانش در تولید اطلاعات مکانی، مفهوم تازه‌ای به نام VGI را مطرح کرد. اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه به عنوان ابزاری برای ایجاد، گردآوری و انتشار داده‌های جغرافیایی که به صورت داوطلبانه توسط مردم ارائه شده، تعریف می‌شوند [۴]. داده‌های جغرافیایی داوطلبانه، اطلاعاتی را شامل می‌شود که توسط کاربران و مشارکت‌کنندگان غیرمتخصص به صورت داوطلبانه تهیه، جمع‌آوری و بهنگام می‌شود. سامانه اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در سال‌های اخیر پدیده کاملاً جدیدی را در تولید مشارکتی داده‌های مکانی تعریف کرده است که به عنوان یک منبع اطلاعاتی جدید، تلقی می‌شوند [۱۶]. از سال ۲۰۰۷ به بعد، استفاده از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه به تدریج افزایش یافته و یک پایگاه داده بزرگی را در استفاده از این منبع اطلاعاتی به وجود آورده است. برای مثال تعداد کاربران ثبت نام شده در سامانه OSM در سال‌های قبل از ۲۰۱۰، کمتر از ۲۰۰ هزار نفر بوده است اما در سال ۲۰۲۰ این رقم به بیش از ۶ میلیون نفر رسیده است [۱۷].

۳-۲- اجزای تشکیل دهنده سیستم اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه

سیستم‌های VGI می‌توانند به عنوان محیطی برای تولید اطلاعات مکانی در نظر گرفته شوند. یک سیستم VGI نوع خاصی از سیستم اطلاعاتی (IS) [۴] است. که در آن IS به عنوان مجموعه‌ای از روش‌های استفاده شده برای

اطلاعات موجود در پایگاه داده OSM نسبتاً دقیق می‌باشد زیرا به طور متوسط تقریباً ۶ متر از لحاظ دقت هندسی با داده‌های ثبت شده در پایگاه داده OS اختلاف دارد، همچنین نزدیک به ۸۰ درصد از عوارض در هر دو پایگاه داده موجود می‌باشد [۱۱]. وانگ و همکاران (۲۰۱۳)، به منظور ارزیابی صحت داده‌های OSM در شهر ووهان چین، دو پارامتر دقت هندسی و تمامیت این داده‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که در جاده‌های سطح پایین^۱ هر دو پارامتر از دقت کمی برخوردار می‌باشند. در مقابل، در جاده‌های سطح بالا^۲ و شبکه ترافیک شهری، داده‌های OSM از دقت هندسی و تمامیت بالایی برخوردار بود بنابراین بر اساس نتایج تحلیل‌ها می‌توان گفت که استفاده از داده‌های OSM در بروز رسانی پایگاه داده ترافیک شهری مناسب می‌باشد [۱۲].

در مطالعه‌ای سیبریتز (۲۰۱۴) کیفیت داده‌های OSM را در مقایسه با داده‌های مرجع در آفریقای جنوبی مورد بررسی قرار داد. هدف از برآورد کیفیت در این تحقیق، بررسی توانایی داده‌های OSM در تلفیق با داده‌های مرجع است. همچنین با فرض پذیرفتن سازگاری OSM با داده‌های مرجع و توانایی آن در به روزرسانی نقشه‌های موجود، معیارهای دقت هندسی، دقت معنایی، کامل بودن عوارض خطی و دقت موضوعی عوارض مسطحاتی بررسی و سپس معیارهای کیفی نظیر به روز بودن عوارض خطی و مسطحاتی ارزیابی شدند. نتایج به دست آمده حاکی از رد فرضیه این تحقیق است [۱۳]. در مطالعه دیگری براولی و همکاران (۲۰۱۶) دقت مکانی و تمامیت داده‌های VGI با پایگاه داده مرجع را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان می‌داد کیفیت پارامترهای مورد بررسی داده‌های VGI از صحت بالایی برخوردار می‌باشد. میزان تمامیت داده‌های داوطلبان از مرکز شهر به نواحی پیرامونی روند کاهشی را نشان می‌دهد در حالی که دقت مکانی در تمامی نواحی مورد مطالعه تقریباً از روند ثابتی برخوردار می‌باشد [۱۴].

در مطالعه دیگری براولی و زامبونی (۲۰۱۸)، دقت مکانی و تمامیت زیربنای ساختمان^۳ در داده‌های OSM مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش یک روش تناظرایی نقشه برای بررسی دقت مکانی لایه‌های ساختمان ارائه شد. تقریباً ۱ میلیون ساختمان در پایگاه داده OSM با ۲٫۸ میلیون

^۱ Low level road

^۲ High-level roads

^۳ Building Footprints

اخذ، انتقال، ذخیره سازی، بازیابی، دستکاری و نمایش اطلاعات تعریف می شود و از سه بخش اصلی تکنولوژی، مردم و فرایندهای سازمانی تشکیل شده است [۱۸].

۳-۳- OSM نمونه بارز اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه

OSM^۱ یک پروژه VGI متن باز است که با هدف جمع آوری پایگاه داده رایگان از اطلاعات جغرافیایی در سراسر دنیا به وجود آمد. از ویژگی های آن می توان به یک سرور اصلی که برای نگهداری داده ها بکار برده می شود، تعدادی مشارکت کننده که به عنوان حسگرهای جغرافیایی عمل می کنند و شبکه ای که برای ویرایش اطلاعات استفاده می شود، نام برد [۱۹]. این پروژه در آگوست ۲۰۰۴ در لندن توسط استیو کاست^۲ کلید خورد. او به منظور حل مشکلی که کاربران در اخذ، پردازش و توزیع داده های جغرافیایی با منابع OS^۳ یا NMA^۴ روبرو بودند این پایگاه داده رایگان را فراهم کرده است [۲۰].

۳-۴- مزایا و چالش های مرتبط با سامانه های VGI

یکی از بزرگترین مزیت های استفاده از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه، رایگان بودن، جمع آوری آسان، ارائه سریع اطلاعات و پایین بودن هزینه تولید نسبت به روش های رسمی می باشد [۲۱]. علاوه بر این، اهمیت داده های VGI به این دلیل است که مشارکت کنندگان محلی شناخت بیشتری را از محل زندگی و پیرامون خود در مقایسه با نیروهای دولتی غیربومی دارند. [۲۲].

علی رغم طیف وسیعی از مزایا، سامانه اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه با برخی از چالش ها و نقاط ضعف روبرو است که در ادامه به چند نمونه از مهم ترین چالش های پیشرو سامانه های VGI خواهیم پرداخت:

۳-۴-۱- ارزیابی کیفیت داده های جغرافیایی داوطلبانه

همواره یکی از موضوعات مورد بحث در زمینه استفاده از اطلاعات VGI مربوط به کیفیت این اطلاعات است، در واقع این که تا چه میزان اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه از دقت و صحت برخوردار هستند، یکی از دغدغه های اصلی سازمان های مختلف در بکارگیری این اطلاعات می باشد.

در سال ۲۰۰۲ سازمان بین المللی استاندارد^۵ برای اندازه گیری کیفیت داده های مکانی پنج عنصر کامل بودن، سازگاری منطقی، دقت مکانی، دقت زمانی و دقت موضوعی را تعریف کرد [۱۹].

۳-۴-۲- ناشناخته بودن منبع داده ها

عامل دیگری که میزان صحت و اطمینان داده های VGI را تحت تاثیر قرار می دهد، ناشناس بودن عاملان تولیدکننده این نوع از داده ها است. به دلیل عدم شناخت افراد مشارکت کننده در یک طرح و عدم اطمینان از بی طرفانه بودن گزارشات تولید شده توسط آنان، ارزیابی کیفی داده ها و درصد اطمینان پذیر بودن نتایج حاصله از سامانه اطلاعات داوطلبانه با مشکل مواجه خواهد شد [۲۳].

۳-۴-۳- بهره برداری با اهداف و انگیزه های مختلف

هر یک از کاربران با اهداف و انگیزه های خاصی اقدام به ثبت اطلاعات مکانی می کنند. بنابراین به دلیل وجود اختلاف در اهداف کاربران، سطح دقت و صحت داده های داوطلبانه پایین آمده و احتمال خطا در موقعیت و موجودیت آن بالا می رود. [۱۱].

۴- مواد و روش ها

داده های سنجش از دور به دلیل برخورداری از ویژگی هایی چون دید همه جانبه، قدرت تفکیک زمانی بالا، دسترسی آسان و قابلیت اطمینان، امکان گسترده ای را در ترسیم نقشه های شهری و پایش تغییرات فراهم می کند. برای این منظور در این مطالعه جهت صحت سنجی داده های VGI از تصاویر ماهواره ORBVIEW-3 برای سال ۲۰۰۵، ماهواره IRS برای سال های ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ و تصاویر گوگل ارث از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ استفاده شده است.

در این پژوهش ابتدا از طریق سامانه آنلاین گوگل ارث انجین^۶ و با استفاده از تصاویر ماهواره لندست کل محدوده شهر قزوین با روش ماشین بردار پشتیبان^۷ در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ طبقه بندی شده است تا مناطق با تغییرات

^۵ International Organisation for Standards

^۶ Google Earth Engine

^۷ Support Vector Machine

^۱ Open Street Map

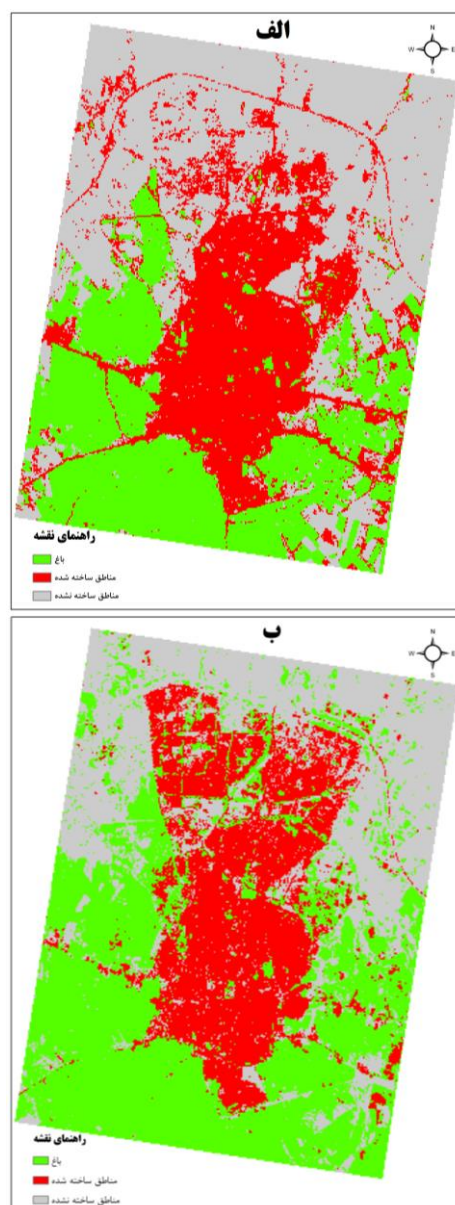
^۲ Steve Coast

^۳ Ordnance Survey

^۴ National Mapping Agreement

از آن جا که ماهواره لندست به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین به خوبی قادر نیست ساختمان های شهری را تفکیک و شناسایی کند، و همچنین دسترسی به تصاویر ماهواره ای با رزولوشن مکانی بالا جهت پایش تغییرات کاربری اراضی شهری به دلیل قیمت بالای این گونه تصاویر و یا به دلیل مسائل امنیتی، گاهی اوقات ممکن است مدیران و برنامه ریزان شهری را با مشکل مواجه کند. یک راه حل جایگزین برای مقابله با این مشکلات، استفاده از تصاویر گوگل ارث می باشد که هم متن باز است و هم نمایش واضحی از سطوح زمین، ساختمان ها و جاده ها ارائه می دهد. یکی از مزایای استفاده از گوگل ارث دریافت تصاویری با رزولوشن مکانی ۱ متر در سری های زمانی مختلف است که برای پایش تغییرات می تواند بسیار مفید باشد. تنها محدودیت استفاده از تصاویر گوگل ارث این است که امکان دستیابی به باند چند طیفی داده های اصلی وجود ندارد. به عبارت دیگر با استفاده از تصاویر گوگل ارث ما قادر نیستیم به مقادیر مربوط به عدد رقومی (Pixel Number)، انعکاس و درجه روشنایی در هر پیکسل دست یابیم. در واقع با تصاویر گوگل ارث نمی توان طبقه بندی نظارت شده یا نظارت نشده انجام داد [۲۴]. با این حال به دلیل رزولوشن مکانی بالای تصاویر مذکور، این امکان وجود دارد تا به راحتی مناطق مسکونی، راه های ارتباطی، سطوح آبی و غیره در تصاویر قابل مشاهده باشد. بنابراین در این مطالعه از تصاویر گوگل ارث استفاده شده اما برای سال هایی که در گوگل ارث هیچ گونه تصویری از منطقه مورد مطالعه ارائه نشده است تصاویر ماهواره ORBVIEW-3 و IRS بکار گرفته شده است (اطلاعات تکمیلی در جدول ۱ ارائه شده است).

کاربری اراضی زیاد مشخص شود. کلاس های مورد بررسی جهت طبقه بندی تصاویر لندست به ۳ گروه، مناطق ساخته شده^۱، پوشش گیاهی و زمین های بایر دسته بندی شده است. صحت کلی^۲ بدست آمده از نتایج طبقه بندی برای سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ به ترتیب ۰٫۹۸ و ۰٫۸۶ می باشد. در نهایت بعد از طبقه بندی و شناسایی محدوده با تغییرات کاربری اراضی زیاد در بازه زمانی مورد نظر، روی این محدوده متمرکز شده و داده های جغرافیایی داوطلبانه مربوط به این ناحیه برداشت شده است.



شکل ۱- تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۰۰ میلادی (الف)، تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۱۹ میلادی (ب)

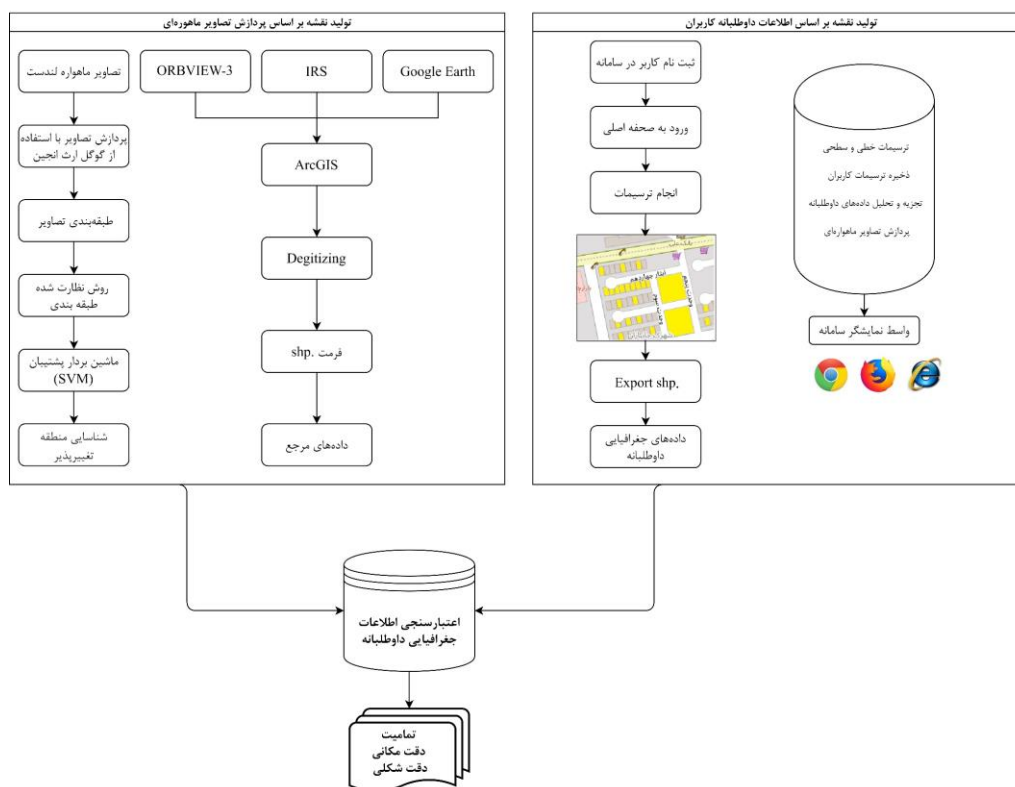
^۱ built up
^۲ overall accuracy

جدول ۱- اطلاعات مربوط به تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

تاریخ اخذ دیتا	رزولوشن مکانی (متر)	تصاویر ماهواره‌ای	ماهواره
۲۰۱۹/۰۶/۲۷	۳۰	LC08_L1TP_166034_20190627_20190705_01_T1	Landsat_8 OLI
۲۰۰۰/۰۷/۲۵	۳۰	LE07_L1TP_165035_20000725_20170210_01_T1	Landsat_7
۲۰۰۵/۰۳/۰۶	۱,۰۶	3V050306P0000653041A520000100242M_001640111	ORBVIEW-3
۲۰۱۵/۰۷/۰۸	۲,۵	8326H9818401	IRS P5
۲۰۱۰/۰۹/۱۵	۲,۵	8326H9818201	IRS P5
۲۰۰۸/۰۸/۲۰	۲,۵	8326H9818101	IRS P5
۲۰۱۹/۰۷/۱۳	۱	Image © Maxar Technologies	Google Earth
۲۰۱۸/۰۹/۱۴	۱	Image © Maxar Technologies	Google Earth
۲۰۱۷/۱۱/۳۰	۱	Image © Maxar Technologies	Google Earth
۲۰۱۶/۱۰/۲۴	۱	Image © Maxar Technologies	Google Earth
۲۰۱۴/۱۰/۱۱	۱	Image © Maxar Technologies	Google Earth
۲۰۱۳/۰۶/۳۰	۱	Image © Maxar Technologies	Google Earth
۲۰۱۲/۰۷/۰۷	۱	Image © Maxar Technologies	Google Earth
۲۰۱۱/۰۶/۱۹	۱	Image © Maxar Technologies	Google Earth
۲۰۰۳/۰۳/۱۲	۱	Image © Maxar Technologies	Google Earth

بررسی میزان دقت هندسی، دقت شکلی و تمامیت عوارض انتخاب شده از سوی افراد محلی، نتایج حاصل از پایگاه داده VGI با پایگاه داده سنجش از دوری (مرجع) مقایسه شد. شکل ۲ مدل مفهومی فرایند پژوهش را نشان می‌دهد.

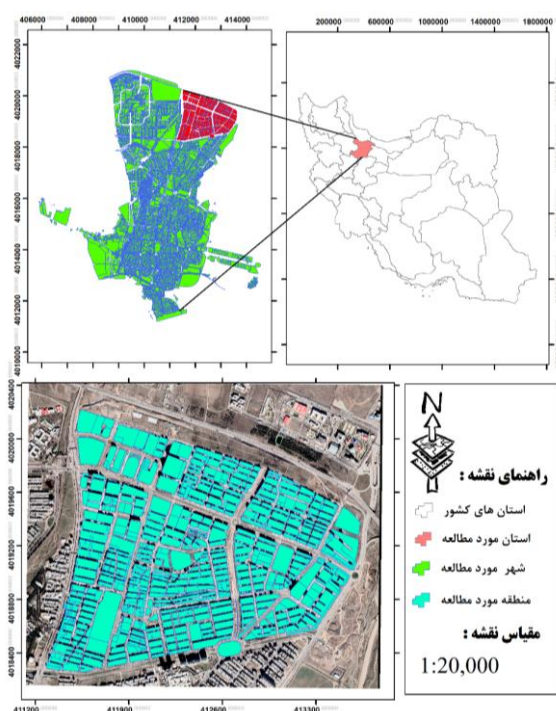
در ادامه با طراحی یک برنامه تحت وب به منظور شناسایی تغییرات کاربری‌های ساخته شده در بازه زمانی مورد بررسی، پلیگون‌های اراضی تغییر یافته به صورت داده‌های VGI، جمع‌آوری و مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت



شکل ۲- مدل مفهومی تحقیق

۴-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر قزوین به عنوان مرکز استان و مرکز شهرستان با مساحت ۳۰ کیلومربع در شمال شرقی استان قزوین واقع شده است. شهر قزوین نیز همانند سایر شهرهای ایران، رشد شتابان شهرنشینی را در نتیجه مهاجرت‌های شدید روستا به شهر تجربه کرده است. این امر باعث به وجود آمدن پیامدهای منفی و نامطلوبی مانند تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی به کاربری‌های ساخته‌شده و از بین رفتن اراضی کشاورزی مرغوب شده است. از این رو مطالعه و ارزیابی روند گسترش فیزیکی شهر و آگاهی از الگوی تغییرات کاربری اراضی در برنامه‌ریزی‌های آینده شهر ضروری می‌باشد. محدوده مورد مطالعه ما در این پژوهش، ناحیه پونک (مهدیه) واقع در شمال شرقی منطقه ۳ شهر قزوین می‌باشد. این منطقه با مختصات ۵۰ درجه و ۰ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۲ دقیقه و ۷ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۲۶ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۶ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. مساحت محدوده مورد مطالعه ما ۳,۵ کیلومتر مربع می‌باشد.



شکل ۳- منطقه مورد مطالعه

۴-۲- مولفه‌های ارزیابی کیفیت اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه

به منظور ارزیابی نقشه‌های متکی بر مشارکت مردمی، پارامترهای متعددی وجود دارد که با توجه به نوع داده‌ها و هدف مورد نظر پارامتر مناسب جهت ارزیابی انتخاب می‌شود.

۴-۲-۱- تمامیت^۱

پارامتر تمامیت نشان‌دهنده وجود و عدم وجود عوارض، اطلاعات توصیفی و روابط بین آن‌هاست. در واقع تمامیت تعداد آیتم‌ها در مجموعه داده OSM را با تعداد آیتم‌ها در مجموعه داده‌های استاندارد مقایسه می‌کند. این پارامتر خطاهای اضافی^۲ و حذفی^۳ بین داده‌های مرجع و مشارکتی را ارزیابی می‌کند. به طور کلی دو روش برای اندازه‌گیری دقت کامل بودن داده‌ها وجود دارد [۲۵].

۴-۲-۱-۱- واحد مبنا^۴

یک روش ساده برای محاسبه کامل بودن داده‌های OSM است که از طریق نسبت کل عوارض موجود در داخل پایگاه داده OSM و پایگاه داده مرجع بدست می‌آید [۲۵]:

$$C_{Area} = \frac{\sum BuildingArea_{OSM}}{\sum BuildingArea_{Ref}} \times 100 \quad (1)$$

۴-۲-۱-۲- شی مبنا^۵

در این روش عوارض همسان^۶ به دو صورت، روش مرکزی و همپوشانی داده‌های متناظر در هر دو مجموعه داده را بررسی می‌کند.

۴-۲-۱-۲-۱- روش مرکزی

روش مرکزی متکی است روی جست‌وجوی مکانی، به گونه‌ای که مرکز هندسی پلیگون‌های مرجع باید در داخل یک پلیگون OSM قرار گیرد. که از طریق معادله زیر به دست می‌آید [۲۵]:

^۱ Completeness

^۲ errors of commission

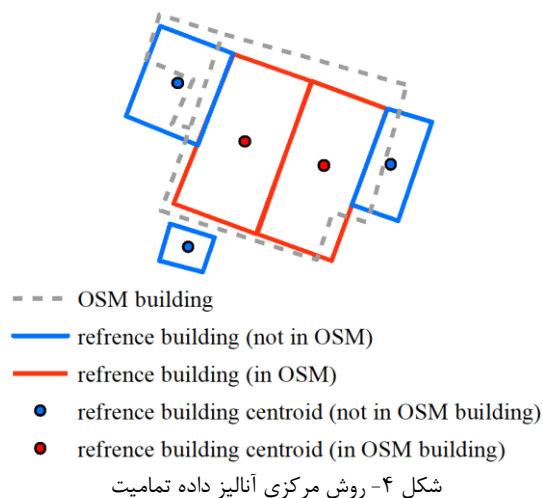
^۳ errors of omission

^۴ Unit-Based Method

^۵ Object-Based Method

^۶ homologous

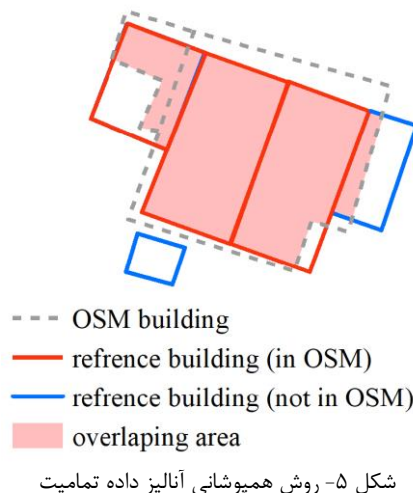
$$C_{Centr} = \frac{\sum Centroid_{Ref_in_OSM}}{\sum Centroid_{Ref}} \times 100 \quad (2)$$



۲-۲-۱-۲-۴- روش همپوشانی

روش همپوشانی بخش‌هایی را شامل می‌شود که در هر دو مجموعه داده مشترک هستند. این معیار زمانی محقق می‌شود که سطح مشترک بین دو تا پلیگون، حداقل نیمی از مساحت کل پلیگون مرجع را در بر گرفته باشد. این روش از طریق معادله زیر بدست می‌آید [۲۵]:

$$C_{Overlap} = \frac{\sum Buildings_{Ref_overlap_OSM}}{\sum Buildings_{Ref}} \times 100 \quad (3)$$



۲-۲-۴- دقت مکانی (موقعیتی)^۱

این پارامتر از طریق میزان نزدیکی مختصات عوارض در داده OSM به مختصات حقیقی آن‌ها در داده مرجع بدست

^۱ Positional accuracy

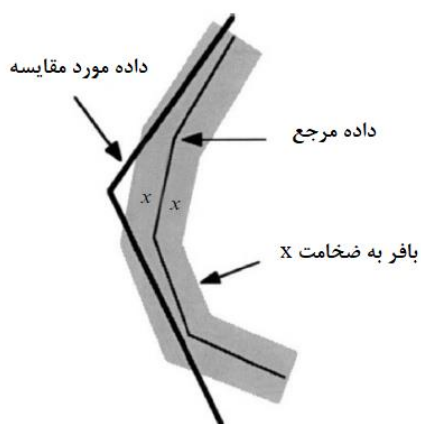
می‌آید. روش‌های اندازه‌گیری دقت موقعیتی با توجه به نوع داده‌ها (نقطه، خط و سطح) دسته‌بندی می‌شوند. یک روش معمول برای اندازه‌گیری دقت موقعیتی عوارض نقطه‌ای، استفاده از فاصله اقلیدسی است، که در این روش، فاصله هر سلول با نزدیک‌ترین منبع داده‌ای محاسبه می‌شود [۲۶].

۲-۲-۴-۱- عوارض خطی

رایج‌ترین روش برای اندازه‌گیری دقت هندسی عوارض خطی، آنالیز بافر است. در این روش بافری با شعاع X در اطراف عارضه خطی از یک مجموعه داده معتبر ترسیم می‌شود، سپس درصدی از عارضه مورد مقایسه که درون بافر قرار می‌گیرد، محاسبه می‌گردد. این روش از طریق معادله زیر بدست می‌آید [۲۷]:

$$b_i = b_{i-1} \pm \frac{|b_{i-1} - b_{i-2}|}{2} \quad (4)$$

b_i : طول بافر



شکل ۶- روش آنالیز دقت مکانی داده‌های خطی

۲-۲-۴-۲- عوارض سطحی

برای عوارض چند ضلعی، فاصله مرکزی در نظر گرفته می‌شود. زیرا با تغییر مقیاس، هندسه اشیا نیز تغییر می‌کند. نقطه مرکزی یک پلیگون پارامتری هندسی است که حداقل تاثیر را از تغییر مقیاس می‌پذیرد. بنابراین فاصله مرکزی می‌تواند به عنوان یک پارامتر مناسب برای ارزیابی میزان تطابق بین پلیگون‌ها، در مقیاس‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. مختصات مرکز هر پلیگون با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شود [۱۵]:

$$C_X = \frac{1}{NA} \sum_{i=0}^{N-1} (X_i + X_{i+1})(X_i Y_{i+1} + X_{i+1} - Y_i) \quad (5)$$

نتیجه بدست آمده از انحراف معیار روش فوق هر چقدر نزدیک صفر باشد پلیگون‌ها در دو پایگاه داده شباهت بیشتری نسبت به هم دارند و لی هر چقدر عدد بدست آمده نزدیک یک باشد نشان دهنده این است که دو تا پلیگون کاملاً باهم تفاوت دارند.

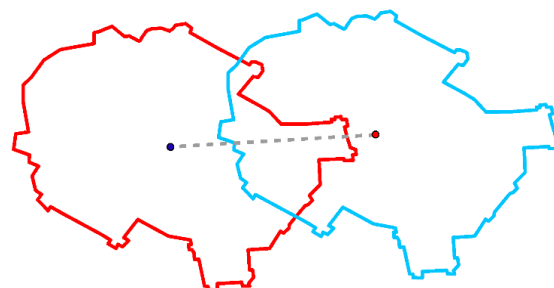
۵- پیاده‌سازی

در این پژوهش به منظور جمع‌آوری داده‌های مکانی شهروندان، با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون یک سیستم تحت وب طراحی و اجرا شده است. چارچوب مورد استفاده برای توسعه سیستم پیشنهادی، فریم‌ورک جَنگو (Django) است. جَنگو یک فریم‌ورک تحت وب سطح بالای پایتون است که این امکان را در اختیار توسعه‌دهندگان قرار می‌دهد تا با سرعت و کیفیت بالا بتوانند برنامه‌های تحت وب تولید کنند.

به منظور حفظ و نگهداری اطلاعات داوطلبان، از یک سیستم مدیریت پایگاه داده استفاده شده است. سیستم مدیریت پایگاه داده مورد استفاده در این پژوهش PostgreSQL می‌باشد که اطلاعات مربوط به کاربران و داده‌های مکانی داوطلبان در این سیستم ذخیره می‌شود. همچنین به منظور نمایش اطلاعات مرجع، نقشه‌های پایه‌ای از قبیل OSM و Bing Satellite بکار گرفته شد. شکل ۸ نحوه طراحی این سیستم را نشان می‌دهد.

$$C_Y = \frac{1}{NA} \sum_{i=0}^{N-1} (X_i + X_{i+1}) (X_i Y_{i+1} + X_{i+1} Y_i) \quad (6)$$

در معادلات بالا، A : مساحت پلیگون، X_i و Y_i : مختصات رئوس C_X و C_Y : مختصات مرکز پلیگون می‌باشند.



شکل ۷- روش آنالیز دقت مکانی عوارض سطحی

۴-۲-۳- دقت شکلی

به منظور ارزیابی شباهت بین پلیگون‌های موجود در پایگاه داده مرجع و داوطلبانه از روش نسبت مساحت استفاده شده است. این روش با محاسبه مساحت یک پلیگون در پایگاه داده مرجع و محاسبه مساحت همان پلیگون در پایگاه داده داوطلبانه از طریق معادله زیر به دست می‌آید [۲۸]:

$$R = \frac{A_1}{A_2} \quad (7)$$

A_1 : مساحت پلیگون اول

A_2 : مساحت پلیگون دوم



شکل ۸- معماری برنامه سرویس‌دهنده و سرویس‌گیرنده

این سیستم به عنوان یک سامانه تحت وب جهت جمع‌آوری و سنجش میزان کیفیت داده‌های جغرافیایی داوطلبانه ایجاد شده است. برای این منظور ابتدا اقدام به بارگذاری سامانه و سپس در جهت ترسیم عوارض مکانی وارد پنل کاربری خواهیم شد. در واقع پس از وارد شدن در پنل کاربری، هر یک از داوطلبان می‌توانند با وارد کردن اطلاعات

شخصی و اطلاعات مربوط به کاربری مورد نظر، اقدام به ترسیم عوارض چندضلعی نمایند. این اطلاعات شامل، نام کاربری، شناسه کاربری، سن، تحصیلات، جنسیت، نوع کاربری فعلی، نوع کاربری قبلی، سال تغییر کاربری و آدرس عارضه ترسیم شده می‌باشد. شکل ۹ نمای صفحه ثبت اطلاعات شخصی و ترسیم عوارض مکانی را نشان می‌دهد.

شکل ۹- نمای صفحه ثبت اطلاعات شخصی و ترسیم عوارض چندضلعی

به طور کلی در این پژوهش ۳۰۰ نفر از شهروندان به صورت داوطلبانه مشارکت داشته‌اند. هر یک از کاربران پس از ورود به سامانه، اقدام به درج اطلاعات شخصی، اطلاعات مربوط به سال تغییر کاربری و ترسیم پلیگون ساختمان مورد نظر می‌نماید. که در ادامه به پیاده‌سازی روش‌های پیشنهادی و ارزیابی نتایج خواهیم پرداخت.

۵-۱- تمامیت

به منظور ارزیابی مولفه تمامیت داده‌های داوطلبان از روی داده‌های مرجع، اطلاعات هر دو پایگاه داده به صورت سالیانه محاسبه گردید. به طوری که اگر سال رخداد تغییر کاربری عارضه مورد نظر در پایگاه داده داوطلبانه با سال رخداد تغییر کاربری در پایگاه داده مرجع یکسان بود ضریب یک (کاملاً صحیح) را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین سال درج شده در هر دو پایگاه داده اگر ۱ سال اختلاف داشتند داده داوطلبانه تاحدودی درست است اما اگر اختلاف آن‌ها ۲ سال بود داده داوطلبانه از دقت کمی برخوردار است در غیر این صورت اگر بیش از ۲ سال

اختلاف داشتند اطلاعات داوطلب کاملاً اشتباه بوده و از نظر مولفه تمامیت فاقد اعتبار می‌باشد. به طور کلی نتایج حاکی از این است که هر چقدر از زمان حال فاصله می‌گیریم ضریب دقت داده‌های VGI از لحاظ تمامیت کاهش پیدا می‌کند. به طوری که در سال ۱۳۹۷، ۷۲٫۷ درصد از داده‌های داوطلبان با داده‌های مرجع کاملاً همپوشانی داشت اما در سال ۱۳۸۶ تنها ۲۵ درصد از داده‌های هر دو پایگاه داده تا حدودی باهم همپوشانی داشتند، که به ترتیب بیشترین و کم‌ترین دقت را به خود اختصاص دادند (اطلاعات تکمیلی در جدول ۲ درج شده است).

جدول ۲- اختلاف بیشترین و کمترین دقت از لحاظ تمامیت داده‌های VGI

جمع	نادرست	کمی	تاحدودی	کاملاً صحیح	
۳۳	۱	۲	۶	۲۴	۱۳۹۷
۱۰۰	۳٫۰۳	۶٫۰۶	۱۸٫۱	۷۲٫۷	
۴	۰	۳	۱	۰	۱۳۸۶
۱۰۰	۰	۷۵	۲۵	۰	

کاربری‌های مورد بررسی در این پژوهش به ۴ دسته کلی از قبیل: مسکونی، آموزشی، تفریحی و راه‌های ارتباطی طبقه‌بندی می‌شوند. بیشترین اطلاعات ثبت شده

مرکزی استفاده شده است. جدول ۴ نتایج حاصل از فواصل بین مرکز پلیگون داده‌های داوطلبان با مرکز پلیگون داده‌های مرجع را نشان می‌دهد. بیشترین فاصله‌ای که پایگاه داده داوطلب از پایگاه داده مرجع داشته است، ۱۴,۳۷ متر بوده و کم‌ترین آن مربوط به پلیگونی بوده که ۰,۰۹ متر با پلیگون مشابه خود در پایگاه داده مرجع فاصله داشت است.

جدول ۴- فواصل بین پلیگون‌های داوطلبان و مرجع

بیشترین فاصله	کمترین فاصله	میانگین فاصله
۱۴,۳۷	۰,۰۹	۲,۲۹

همچنین به منظور ارزیابی دقت مکانی داده‌های خطی، بافری با شعاع ۸ متری اطراف داده‌های مرجع ترسیم نمودیم سپس درصدی از عوارض خطی موجود در داده‌های داوطلبان که درون بافر قرار گرفتند را محاسبه کردیم. نتایج نشان داد که ۷۵,۲ درصد از داده‌های داوطلبان با داده‌های مرجع همپوشانی دارند (اطلاعات تکمیلی در جدول ۵ درج شده است).

جدول ۵- فواصل بین پلیگون‌های داوطلبان و مرجع

پایگاه داده	جمع طول راه‌ها	جمع همپوشانی	درصد همپوشانی
مرجع	۱۴۴۸۸,۷۹	۸۴۰۹,۸۶	۷۵,۲۸
داوطلبان	۱۱۱۶۹,۹۶		

توسط داوطلبان مربوط به کاربری مسکونی می‌باشد که در مجموع ۲۳۹ پلیگون را در بر می‌گیرد. از این تعداد، داده‌های ۱۱۵ مشارکت‌کننده با اطلاعات درج شده در پایگاه داده مرجع کاملاً تطابق دارد.

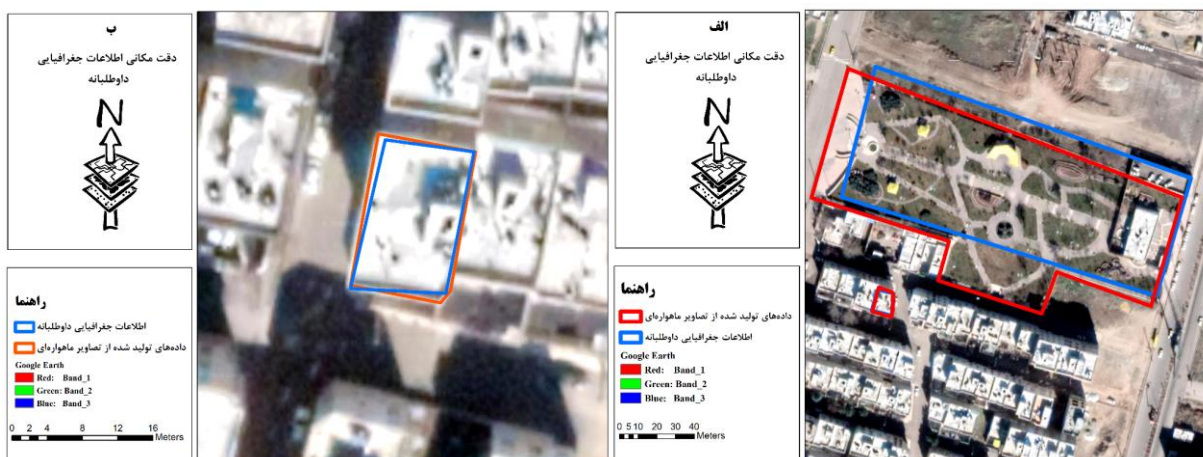
اما بر عکس اماکن شخصی مثل مسکونی، اطلاعات شهروندان در مورد اماکن عمومی از جمله راه‌های ارتباطی بر حسب حدس و گمان است. زیرا آن‌ها از زمان تغییر کاربری اماکن عمومی اطلاع دقیقی نداشتند و به صورت تقریبی و بازه‌ای می‌دانستند در طول چه سال‌هایی عارضه مورد نظر دچار تغییر کاربری شده است (اطلاعات تکمیلی در جدول ۳ درج شده است).

جدول ۳- دقت تمامیت داده‌های VGI در هر یک از کاربری‌های مورد نظر

	کاملاً صحیح	تاحدودی	کمی	نادرست	جمع
مسکونی	۴۸,۱	۲۸,۰۳	۱۲,۵	۲۷	۲۳۹
آموزشی	۲	۲	۱	۰	۵
تفریحی	۳	۲	۱	۰	۶
	۵۰	۳۳,۳	۱۶,۶	۰	۱۰۰

۵-۲- دقت مکانی

به منظور ارزیابی دقت مکانی عوارض سطحی پایگاه داده داوطلبانه بر اساس پایگاه داده مرجع، از روش فاصله



شکل ۱۰- بیشترین (الف) و کمترین (ب) فاصله پلیگون داوطلب از پلیگون مشابه خود در پایگاه داده مرجع

می‌دهد که هر دوتا پایگاه داده از نظر دقت شکلی تفاوت قابل توجهی را با هم دارند (اطلاعات تکمیلی در جدول ۶ درج شده است).

۵-۳- دقت شکلی

نتایج بدست آمده از روش نسبت مساحت پلیگون‌های موجود در پایگاه داده داوطلب به پایگاه داده مرجع، نشان

جدول ۶- دقت شکلی داده‌های VGI

بیشترین اختلاف	کمترین اختلاف	میانگین	انحراف معیار
۶,۰۵	۰,۲۷	۱,۳۳	۰,۶۱

۶- نتیجه‌گیری

اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه با وجود داشتن ویژگی‌هایی نظیر رایگان بودن، جمع‌آوری آسان، ارائه سریع اطلاعات و پایین بودن هزینه تولید نسبت به روش‌های رسمی دارای عدم اطمینان و نگرانی‌هایی درباره نحوه جمع‌آوری این داده‌ها می‌باشند. بنابراین یکی از موضوعات مورد بحث درباره اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه، داشتن اعتبار^۱ و قابل قبول بودن این اطلاعات می‌باشد. ثبت اطلاعات نادرست می‌تواند میزان اعتبار داده‌های VGI را تحت تاثیر قرار دهد. بر این اساس تضمین کیفیت این نوع داده‌ها یک نیاز اساسی برای استفاده از این اطلاعات می‌باشد. معیارها و شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی داده‌های VGI ارائه شده است که با توجه به ماهیت پژوهش و کاربردهای مختلف، متفاوت می‌باشد.

برای انجام تحقیق، ابتدا تصاویر مورد نیاز از سازمان‌های مربوطه اخذ گردید سپس با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری اقدام به تولید داده‌های مرجع نمودیم. در گام بعدی می‌بایست داده‌های داوطلبانه جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل گردد. برای انجام این کار ابتدا سامانه‌ای را طراحی کرده، سپس هر یک از کاربران به صورت داوطلبانه اقدام به درج اطلاعات و ترسیم پلیگون مربوطه نمودند. در آخرین مرحله داده‌های جمع‌آوری شده را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم. با توجه به ماهیت پژوهش خود، سه مولفه تمامیت، دقت مکانی و دقت شکلی داده‌های داوطلبانه مورد بررسی قرار گرفت.

ابتدا میزان تمامیت داده‌های داوطلبانه محاسبه گردید. نتایج تحقیق حاکی از این است که میزان تمامیت داده‌های داوطلبانه در سال‌های مختلف متفاوت می‌باشد و هر چقدر از زمان حال دورتر می‌شویم از دقت آن کاسته می‌شود به طوری که در سال ۱۳۹۷، ۷۲,۷ درصد از داده‌های داوطلبان با داده‌های مرجع کاملاً همپوشانی داشت اما در سال ۱۳۸۶ این رقم به ۲۵ درصد کاهش یافت. سپس میزان دقت مکانی داده‌ها بررسی گردید. برای

ارزیابی این پارامتر از روش فاصله مرکزی استفاده شده است. نتایج حاصل از فواصل بین مرکز پلیگون داده‌های داوطلب با مرکز پلیگون داده‌های مرجع نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین فاصله به ترتیب ۱۴,۳۷ و ۰,۰۹ متر بوده است. در نهایت دقت شکلی داده‌های داوطلبان مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به انحراف معیار ۰,۶۱ می‌توان گفت که هر دو پایگاه داده از لحاظ دقت شکلی تفاوت قابل توجهی با هم دارند.

البته باید به این نکته توجه کرد که قدرت تفکیک مکانی ماهواره مورد استفاده تاثیر به سزایی در تولید داده‌های مرجع و به تبع در ارزیابی داده‌های VGI دارد. در واقع هر چه قدر تصاویر از قدرت تفکیک مکانی بالایی برخوردار باشند داده‌های مرجع با دقت مکانی، دقت شکلی و دقت تمامیت بالایی تولید خواهند شد. بر این اساس می‌توان گفت که تصاویر گوگل ارث به دلیل دارا بودن از قدرت تفکیک ۱ متر، نمایش واضحی از سطوح زمین، ساختمان‌ها و جاده‌ها دارد. علاوه بر این گوگل ارث به دلیل داشتن تصاویر در سری‌های زمانی مختلف، می‌تواند برای پایش تغییرات بسیار مفید باشد. بنابراین نتایج حاصل از تصاویر گوگل ارث به دلیل داشتن چنین مزیت‌هایی نسبت به سایر تصاویر مورد استفاده در این پژوهش، از دقت بالایی برخوردار هستند.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های VGI تا حد بسیار زیادی برای مطالعات و بررسی‌های مربوط به تغییرات کاربری اراضی می‌توانند مناسب باشند به شرطی که بیشتر از یک دهه فاصله زمانی با زمان حال نداشته باشند و تصاویر مورد استفاده از قدرت تفکیک مکانی بالایی برخوردار باشند.

به منظور سهولت انجام مطالعات مربوط به اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه پیشنهاد می‌شود طراحی این سیستم‌ها به صورت Mobile GIS انجام گیرد. دستگاه‌های تلفن همراه به دلیل دارا بودن از سامانه موقعیت‌یاب جهانی این امکان را در اختیار داوطلبان قرار می‌دهد تا به راحتی مکان‌های مورد نظر را شناسایی کرده و اطلاعات مربوطه را دریافت یا درج نمایند. این دستگاه‌ها قابل حمل بوده و در هر مکان و زمان در دسترس شهروندان قرار دارند. به همین دلیل، ورود داده‌های VGI با استفاده از دستگاه‌های تلفن همراه، آسان‌تر صورت می‌گیرند.

^۱ Credibility

- [1] Cooper, A., S. Coetzee, and D. Kourie, Volunteered geographical information—the challenges. 2012, PoPositionIT.
- [2] Sieber, R., Public participation geographic information systems: A literature review and framework. *Annals of the association of American Geographers*, 2006. 96(3): p. 491-507.
- [3] Peng, Z.-R. and M.-H. Tsou, Internet GIS: distributed geographic information services for the internet and wireless networks. 2003: John Wiley & Sons.
- [4] Goodchild, M.F., Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 2007. 69(4): p. 211-221.
- [5] Wang, M., et al., Quality analysis of open street map data. *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 2013. 2: p. W1.
- [6] Flanagan, A.J. and M.J. Metzger, The credibility of volunteered geographic information. *GeoJournal*, 2008. 72(3-4): p. 137-148.
- [7] Cooper, A.K., S.M. Coetzee, and D.G. Kourie, Perceptions of virtual globes, volunteered geographical information and spatial data infrastructures. 2010.
- [8] Rahmatizadeh, S., A. Rajabifard, and M. Kalantari, A conceptual framework for utilising VGI in land administration. *Land Use Policy*, 2016. 56: p. 81-89.
- [9] Neis, P., D. Zielstra, and A. Zipf, The street network evolution of crowdsourced maps: OpenStreetMap in Germany 2007–2011. *Future Internet*, 2012. 4(1): p. 1-21.
- [10] Fonte, C.C., et al., Assessing VGI data quality. *Mapping and the citizen sensor*, 2017: p. 137-163.
- [11] Haklay, M., How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets. *Environment and planning B: Planning and design*, 2010. 37(4): p. 682-703.
- [12] Wang, M., et al., Quality analysis of open street map data. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 2013. 2: p. W1.
- [13] Siebritz, L.-A., Assessing the accuracy of openstreetmap data in south africa for the purpose of integrating it with authoritative data. 2014, University of Cape Town.
- [14] Brovelli, M.A., et al., Positional accuracy assessment of the OpenStreetMap buildings layer through automatic homologous pairs detection: The method and a case study. 2016.
- [15] Brovelli, M.A. and G. Zamboni, A new method for the assessment of spatial accuracy and completeness of OpenStreetMap building footprints. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2018. 7(8): p. 289.
- [16] Lin, W., When Web 2.0 meets public participation GIS (PPGIS): VGI and spaces of participatory mapping in China, in *Crowdsourcing geographic knowledge*. 2013, Springer. p. 83-103.
- [17] OSM_Statistics. [cited Accessed May 5th, 2020]; Available from: https://www.openstreetmap.org/stats/data_stats.html.
- [18] Fast, V. and C. Rinner, A systems perspective on volunteered geographic information. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2014. 3(4): p. 1278-1292.
- [19] Koukoletsos, T., A Framework for Quality Evaluation of VGI linear datasets. 2012, UCL (University College London).
- [20] Chilton, S. Crowdsourcing is radically changing the geodata landscape: case study of OpenStreetMap. in *Proceedings of the UK 24th International Cartography Conference*. 2009.
- [21] Aubrecht, C., et al., VGDI—Advancing the Concept: Volunteered Geo-Dynamic Information and its Benefits for Population Dynamics Modeling. *Transactions in GIS*, 2017. 21(2): p. 253-276.
- [22] Capineri, C., The nature of volunteered geographic information. *European handbook of crowdsourced geographic information*, 2016: p. 15.
- [23] de Sousa Câmara, J.H., et al. Quality Attributes and Methods for VGI. in *International Conference on Computational Science and Its Applications*. 2016. Springer.
- [24] Malarvizhi, K., S.V. Kumar, and P. Porchelvan, Use of high resolution google earth satellite imagery in landuse map preparation for urban related applications. *Procedia Technology*, 2016. 24: p. 1835-1842.
- [25] Hecht, R., C. Kunze, and S. Hahmann, Measuring completeness of building footprints in OpenStreetMap over space and time. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2013. 2(4): p. 1066-1091.

- [26] Girres, J.-F. and G. Touya, Elements of quality assessment of French OpenStreetMap data.
- [27] Goodchild, M.F. and G.J. Hunter, A simple positional accuracy measure for linear features. International journal of geographical information science, 1997. 11(3): p. 299-306.
- [28] Al-Bakri, M., Analysing Building Shapes Quality of Collaborative Mapping. Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences, 2017. 24(2): p. 93-107.