پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹
ص ۹۰۵-۸۸۹
DOI: 10.22059/jurbangeo.2021.314285.1411

ارزیابی کارایی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ با هدف شناسایی تغییرات کاربری مناطق شهری (مطالعهٔ موردی: شهر قزوین)

امید عسگری– دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه تهران، تهران، ایران
سارا عطارچی*– استادیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه تهران، تهران، ایران
نجمه نیسانی سامانی– دانشیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴ تأیید مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۷

چکیده

در چند دههٔ اخیر، مناطق شهری به‌دلیل رشد سریع جمعیت و افزایش شهرنشینی دستخوش تغییرات زیادی شده است. استفاده از تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی بالا یکی از روش های کارآمد در مطالعه و شناسایی این تغییرات است. دسترسی به این تصاویر به‌دلیل هزینهٔ فراوان بسیار محدود است؛ از این‌رو تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک متوسط نظیر سنتینل به‌دلیل دسترس‌پذیری بالا در کاربردهای شهری بسیار استفاده شده است. شناسایی دقیق تغییرات شهر با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نیازمند دسترسی به داده‌های زمینی صحیح برای تفکیک کلاس‌های مختلف پوشش زمین است. عملیات برداشت اطلاعات زمینی، پرهزینه و زمان‌بر است و برای تصاویر مربوط به زمان‌های گذشته امکان‌پذیر نیست. اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه که داده‌های مربوط به یک دورهٔ زمانی را جمع‌آوری می کند، می‌تواند یکی از منابع دادهٔ حقایق زمینی باشد. با استفاده از نمونه های تعلیمی حاصل از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه، فرایند پردازش تصاویر ماهواره ای با سرعت بیشتری انجام می‌شود. در این پژوهش، کارایی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه به عنوان نمونه‌های تعلیمی در طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ برای شناسایی تغییرات کاربری شهر قزوین در سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ بررسی شده است. بدین‌منظور صحت طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ با نمونه‌های تعلیمی حاصل از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه با صحت طبقه‌بندی تصاویر مذکور با استفاده از نمونه‌های تعلیمی به‌دست‌آمده از تصاویر گوگل‌ارث و به‌کمک آزمون آماری t مقایسه شده است. نتایج آزمون t با سطح اطمینان ۹۵ درصد، برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ نشان می‌دهد اختلاف معناداری میان نمونه‌های تعلیمی گوگل‌ارث و اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ وجود ندارد؛ بنابراین اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه کارایی مناسبی به عنوان نمونه‌های تعلیمی در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در مناطق شهری دارند.

واژه‌های کلیدی: اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲، شهر قزوین، طبقه‌بندی کاربری اراضی شهری.

* نویسندهٔ مسئول
Email: satarchi@ut.ac.ir

مقدمه

کاربری اراضی شهرها همواره در حال تغییر است (محمداسماعیل، ۱۳۸۹). افزایش جمعیت شهرها در اثر مهاجرت از روستا به شهر و به‌تبع آن گسترش شتابان شهرنشینی، مهم‌ترین عامل تغییرات کاربری اراضی در شهرهاست (حسینعلی و همکاران، ۱۳۹۱). آگاهی از نسبت کاربری‌ها در یک محیط شهری، نحوهٔ تغییرات آن در گذر زمان و پیش‌بینی میزان تغییرات در سال‌های آتی گام مهمی برای برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش میزان تخریب منابع و استفاده بهینهٔ از منابع در توسعهٔ پایدار محیط شهری است (Zhou et al., 2020). درواقع با پایش تغییرات کاربری اراضی شهری این امکان در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان شهری قرار می‌گیرد که تغییرات آتی را پیش‌بینی کنند و با برنامه‌ریزی صحیح اقدامات لازم را صورت دهند. علاوه‌براین، شهروندان نیز با دسترسی به اطلاعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات آینده در محیط شهری، با تدبیر و آگاهی بهتر می‌توانند اقدام به سرمایه‌گذاری و توسعه مسکن کنند (Reba and Seto, 2020).

امروزه به‌کمک تصاویر چندزمانهٔ سنجش‌ازدور و طبقه‌بندی آن‌ها طی سال‌های مختلف می‌توان به پایش تغییرات کاربری اراضی و مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات در سال‌های آتی اقدام کرد (Woodcock et al., 2020). به‌کمک طبقه‌بندی، کلاس‌های کاربری اراضی در تصاویر ماهواره‌ای شناسایی می‌شوند. شناسایی تغییرات کاربری اراضی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا به‌دلیل هزینهٔ فراوانی که دارد بسیار محدود است (Xin et al., 2020). از این‌رو تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک متوسط، مانند سنتینل ۲ به‌دلیل رایگان‌بودن و دسترس‌پذیری بالا در کاربردهای شهری بسیار استفاده شده‌اند (Misra et al., 2020). بسیاری از الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر برای شناسایی کلاس‌های پوشش زمین در تصاویر ماهواره‌ای، نیازمند نمونهٔ تعلیمی است. فرایند دریافت نمونه‌های تعلیمی برچسب‌دار[1] معمولاً زمان‌بر و پرهزینه است و با مشکلاتی مواجه است. این محدودیت در طبقه‌بندی تصاویر مربوط به زمان‌های گذشته، بیشتر است. یک راه جایگزین برای مقابله با این مشکل، استفاده از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه (VGI)[2] است (Johnson et al., 2017).

درواقع اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه که داده‌های مربوط به یک دورهٔ زمانی را جمع‌آوری کرده‌اند، می‌تواند به عنوان یکی از منابع دادهٔ حقایق زمینی کاربرد داشته باشد. علاوه‌براین، استفاده از این اطلاعات برای تولید نمونه‌های تعلیمی می‌تواند سبب سریع‌ترشدن فرایند پردازش تصاویر شود؛ به‌ویژه زمانی که حجم تصاویر استفاده‌شده فراوان و برداشت نمونه‌های تعلیمی به روش‌های سنتی زمان‌بر است.

این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی VGI در طبقه‌بندی تصاویر چندزمانهٔ سنتینل ۲ برای تفکیک کاربری اراضی شهری صورت گرفته است. براساس بررسی‌های انجام‌شده، تاکنون در هیچ مطالعه‌ای از VGI به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی برچسب‌دار برای طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ استفاده نشده است. با به‌کارگیری این روش برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، پژوهشگر بدون صرف زمان برای تولید نمونه‌های تعلیمی به‌صورت سنتی می‌تواند پردازش تصاویر ماهواره‌ای در سری‌های زمانی مختلف را با سرعت بیشتری انجام دهد. به همین منظور تصاویر ماهواره سنتینل ۲ برای قسمت‌های

1. Labelled Training Samples
2. Volunteered Geographic Information

شمال شرقی شهر قزوین در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ به‌صورت نظارت‌شده با نمونه‌های تعلیمی حاصل از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه طبقه‌بندی شده است. به‌منظور ارزیابی صحت نمونه‌های تعلیمی به‌دست‌آمده از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه، تصاویر مذکور بار دیگر با نمونه‌های تعلیمی حاصل از گوگل‌ارث طبقه‌بندی شدند. درنهایت صحت طبقه‌بندی به‌دست‌آمده از نمونه‌های تعلیمی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه با صحت طبقه‌بندی به‌دست‌آمده از نمونه‌های تعلیمی گوگل‌ارث مقایسه شد.

پیشینهٔ پژوهش

اگرچه VGI منبعی غنی از اطلاعات است و در بسیاری از مطالعات شهری از جمله شناسایی تغییرات کاربری اراضی، اطلاعات باارزشی ارائه می‌دهد، در مطالعات اندکی، برای شناسایی تغییرات کاربری اراضی از آن استفاده شده است. در ادامه به برخی از پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه اشاره شده است. در مطالعه‌ای از داده‌های OSM[1] برای طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده شد. در این پژوهش، داده‌های پوشش زمینی Corine به‌عنوان پایگاه دادهٔ مرجع، برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی OSM استفاده شد. کلاس‌های بررسی‌شده به پنج گروه، مناطق انسان‌ساخت، زمین‌های کشاورزی، اراضی جنگلی، تالاب‌ها و محدوده‌های آبی دسته‌بندی شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد ۷۶/۷ درصد داده‌های OSM با پایگاه داده مرجع تطابق دارد. همچنین داده‌های OSM مربوط به مناطق انسان‌ساخت و محدوده‌های آبی صحت بیشتری از دیگر کلاس‌ها داشتند (Estima and Painho, 2013). در مطالعهٔ دیگری قابلیت استفاده از VGI برای صحت‌سنجی نقشه‌های پوشش زمین بررسی شده است. صحت کلی[2] حاصل از طبقه‌بندی پوشش زمین با استفاده از اطلاعات داوطلبان، بیش از ۸۳ درصد بوده است. اطلاعات ثبت‌شده از سوی شهروندان در مناطق شهری صحت بالاتری از سایر مناطق داشت. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد، استفاده از VGI به‌عنوان منبع داده مرجع برای تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی، به‌ویژه در مناطق شهری که داده‌های VGI پوشش بیشتری دارند، می‌تواند اطلاعات باارزشی ارائه دهد (Fonte et al., 2015).

در پژوهشی دیگر، به‌منظور پایش تغییرات کاربری اراضی از ترکیب داده‌های جغرافیایی جمع‌سپاری و تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه استفاده شد. این پژوهش با این هدف صورت گرفت که آیا VGI به‌منزلهٔ یک منبع داده برچسب‌دار می‌تواند برای طبقه‌بندی تغییرات کاربری اراضی و تهیهٔ نقشهٔ این کاربری استفاده شود. برای این منظور تصاویر ماهوارهٔ لندست و داده‌های SAR[3] برای سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ پردازش شدند. در این مطالعه، از داده‌های OSM به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی برای طبقه‌بندی نظارت‌شدهٔ تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. صحت کلی به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی ۹۰/۲ درصد است. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد، ترکیب VGI و تصاویر ماهواره‌ای برای پایش تغییرات کاربری اراضی، نتایج قابل‌قبولی را ارائه می‌دهد (Johnson et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر، برای شناسایی و طبقه‌بندی کاربری اراضی در شهرهای نیویورک و سان‌فرانسیسکو، از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه استفاده شد.

1. Openstreetmap
2. Overall Accuracy
3. Synthetic Aperture Radar

کلاس‌های بررسی‌شده در این پژوهش شامل، مناطق مسکونی، خدماتی، تفریحی، دانشگاهی و ورزشی هستند که با استفاده از الگوریتم‌های جنگل تصادفی و رگرسیون لجستیک پردازش شدند. نتایج نشان می‌دهد، بیش از ۹۰ درصد اطلاعات به‌دست‌آمده از VGI، به‌درستی توانسته است کاربری‌ها را در محدودهٔ مورد مطالعه طبقه‌بندی کند (Terroso-Saenz and Munoz, 2020). در پژوهشی دیگر، برای شناسایی و صحت‌سنجی تغییرات کاربری اراضی از VGI استفاده شده است. در این پژوهش، با توجه به میزان آشنایی شهروندان با GIS[1] داوطلبان به شش گروه دسته‌بندی شدند. نتایج نشان می‌دهد، اطلاعات ثبت‌شده از سوی داوطلبانی که دانش کافی از GIS و نحوهٔ تولید داده‌های مکانی دارند، صحت بالاتری از اطلاعات ثبت‌شده توسط سایر داوطلبان دارد. کلاس‌های بررسی‌شده شامل سه کلاس مناطق مسکونی، صنعتی و زیرساختی[2] است. صحت کلی به‌دست‌آمده برای هریک از کلاس‌های مذکور به‌ترتیب، ۸۵، ۷۵ و ۵۷ درصد است؛ بنابراین اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه توانسته بود تغییرات را در مناطق مسکونی در مقایسه با سایر مناطق به‌خوبی شناسایی کند و نتایج پذیرفته‌تری ارائه دهد (Olteanu-Raimond et al., 2020).

مبانی نظری

پایش تغییرات کاربری اراضی یکی از مسائل مهم در حیطهٔ مدیریت و برنامه‌ریزی شهری است. پوشش اراضی در بسیاری از کشورها به‌دلیل شهرنشینی به‌سرعت در حال تغییر است. در این میان، به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی مؤثر در این مناطق، به نقشه‌های پوشش اراضی به‌روز نیاز است تا تغییرات کاربری اراضی در مناطق شهری نشان داده شود (Johnson and Iizuka, 2016). در دهه‌های اخیر، داده‌های ماهواره‌ای به‌دلیل پیشرفت در سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی جایگزین روش‌های سنتی در تهیهٔ نقشه‌های کاربری اراضی شده است (Li et al., 2020).

امروزه با توجه به فعالیت ماهواره‌های مختلف، دیدگاه‌ها دربارهٔ تحلیل مسائل علمی، دقیق‌تر و متنوع‌تر شده است. تکنیک‌های سنجش‌ازدور به‌مثابهٔ ابزاری، کاربران را در تحلیل مسائل مختلف در زمینه‌های گوناگون یاری می‌رساند، داده‌های فضایی را تجزیه و تحلیل می‌کند و پیش‌بینی‌های مختلف را نشان می‌دهد. در گذشته، فرایند کسب اطلاعات دربارهٔ مسائل گوناگون شهری، پیچیده، پرهزینه و با خطراتی همراه بوده است، همچنین بیشتر اطلاعات به‌دست‌آمده، صحت چندان معتبری نداشته است؛ درحالی‌که امروزه کسب اطلاعات به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای، با فرایندی سریع، مطمئن و با قابلیت‌های پردازش رقومی همراه است که نقش بسیار مهمی را در برنامه‌ریزی‌های شهری ایفا می‌کند. اگرچه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سری‌های زمانی مختلف از دقت و صحت بالایی برخوردار است، به‌دلیل نبود نیروی متخصص و زمان‌بربودن تولید نمونه‌های تعلیمی، با محدودیت‌هایی مواجه است (Flanagin and Metzger, 2008). به عبارت دیگر، استفاده از برچسب‌های اشتباه[3] برای هر کلاس در نمونه‌های تعلیمی می‌تواند بر صحت طبقه‌بندی تأثیرگذار باشد؛ بنابراین فرایند دریافت نمونه‌های تعلیمی باکیفیت برای طبقه‌بندی پوشش زمین با روش‌های سنتی، زمان‌بر، دشوار و پرهزینه است؛ به‌ویژه اگر برای جمع‌آوری نمونه‌ها به بررسی میدانی نیاز باشد (Johnson and

1. Geographic Information System
2. Infrastructure
3. Labeling Errors

Iizuka, 2016). امروزه به‌منظور حل این مسئله می‌توان از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه استفاده کرد. درواقع به‌کارگیری اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه می‌تواند منبعی مفید از اطلاعات برچسب‌دار برای پایش تغییرات کاربری اراضی باشد (Johnson et al., 2017). اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه را برای اولین بار گودچایلد در سال ۲۰۰۷ مطرح کرد. اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه ابزاری برای ایجاد، گردآوری و انتشار داده‌های جغرافیایی به‌شمار می‌آید که به‌صورت داوطلبانه توسط مردم ارائه شده است (Goodchild, 2007). بنا به این تعریف، VGI اطلاعاتی را شامل می‌شود که کاربران و مشارکت‌کنندگان غیرمتخصص به‌صورت داوطلبانه تهیه و جمع‌آوری کرده‌اند. سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در سال‌های اخیر پدیدهٔ جدیدی را در تولید مشارکتی داده‌های مکانی تعریف کرده است که منبع اطلاعاتی جدیدی تلقی می‌شوند (Goodchild, 2007).

سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی تحت وب با فراهم‌کردن ابزارهای مکانی مختلف، مزایای قابل‌توجهی برای شناسایی مسائل و مشکلات موجود در شهر، ارائهٔ راهکارهای سودمند به‌منظور بهبود مشکلات شهری، مسئولیت‌پذیری و تعامل شهروندان با محیط پیرامونی خود، استخراج الگوهای مکانی–زمانی و تهیهٔ انواع نقشه‌ها، فراهم‌کردن اطلاعات لازم برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های کارا، با کیفیت و به‌موقع در حوزهٔ شهری، تعامل و همکاری با سازمان‌ها در مدیریت بحران‌های شهری هستند (جلوخانی‌نیارکی, ۱۳۹۵). از سال ۲۰۰۷ به بعد، استفاده از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه به‌تدریج افزایش یافت و پایگاه دادهٔ گسترده‌ای را در استفاده از این منبع اطلاعاتی به وجود آورد.

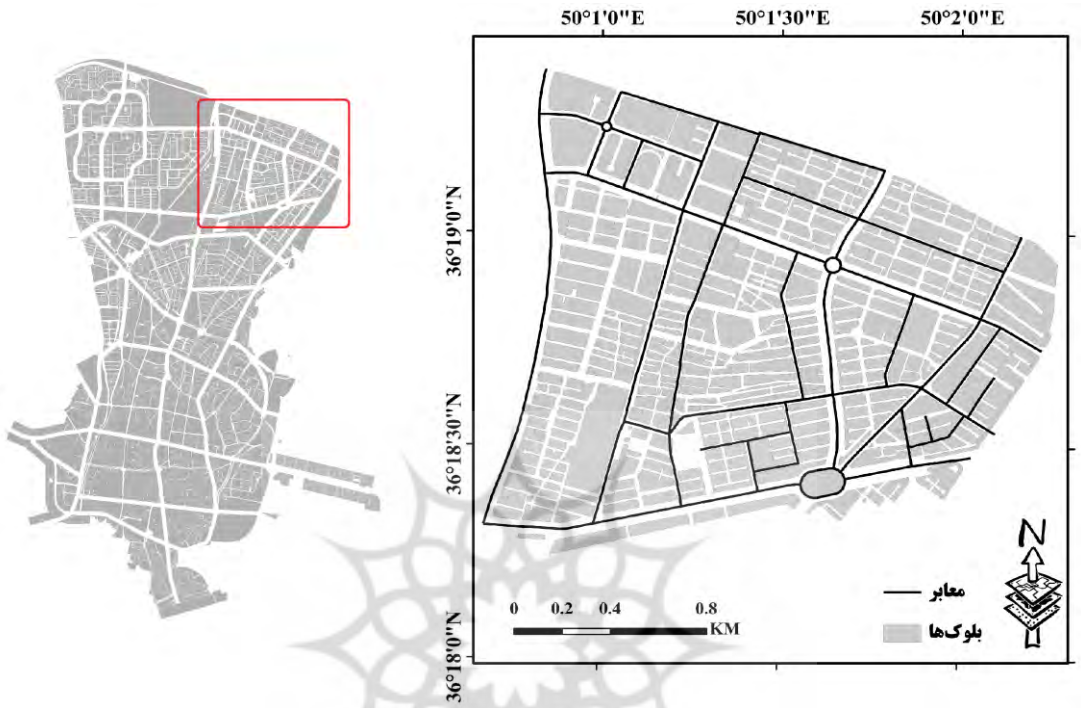
نمونهٔ مکانی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در طرح OSM دیده می‌شود که از اطلاعات سیستم تعیین موقعیت جهانی و الگوی رقومی خیابان‌ها استفاده می‌کند تا نقشهٔ خیابان‌ها را به‌صورت رایگان در سراسر جهان تهیه کند (Schelhorn et al., 2014). به عبارت دیگر، OSM یک پروژهٔ VGI متن باز[1] است که با هدف جمع‌آوری پایگاه دادهٔ رایگان از اطلاعات جغرافیایی در سراسر دنیا به‌وجود آمد. از ویژگی‌های آن می‌توان به یک سرور اصلی که برای نگهداری داده‌ها به‌کار برده می‌شود، تعدادی مشارکت‌کننده که به‌منزلهٔ حسگرهای جغرافیایی عمل می‌کنند و شبکه‌ای که برای ویرایش اطلاعات استفاده می‌شود، نام برد (Koukoletsos et al., 2012). این پروژه را استیوکاست[2] در آگوست ۲۰۰۴ در لندن آغاز کرد. او به‌منظور حل مشکلی که کاربران در دریافت، پردازش و توزیع داده‌های جغرافیایی با منابع OS[3] یا NMA[4] روبه‌رو بودند، این پایگاه دادهٔ رایگان را فراهم کرد (Chilton, 2009).

معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

شهر قزوین مرکز استان و مرکز شهرستان، با مساحت ۳۰ کیلومترمربع در شمال شرقی استان قزوین واقع شده است. این شهر در دو دههٔ گذشته، با رشد شتابان شهرنشینی مواجه بوده است که سبب بروز پیامدهای منفی و نامطلوبی مانند تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی به اراضی ساخته‌شده و از بین رفتن اراضی کشاورزی مرغوب شده است؛ از این‌رو آگاهی از الگوی تغییرات کاربری اراضی در برنامه‌ریزی‌های آیندهٔ شهر ضروری است. محدودهٔ مورد مطالعه در این پژوهش، ناحیهٔ

1. Open Source
2. Steve Coast
3. Ordnance Survey
4. National Mapping Agreement

پونک در شمال شرقی منطقهٔ ۳ شهر قزوین بود. مختصات این منطقه شامل ۵۰ درجه و ۰ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۲ دقیقه و ۷ ثانیهٔ طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۲۶ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۶ ثانیهٔ عرض شمالی است. مساحت محدودهٔ مورد مطالعه ۳/۵ کیلومترمربع است.

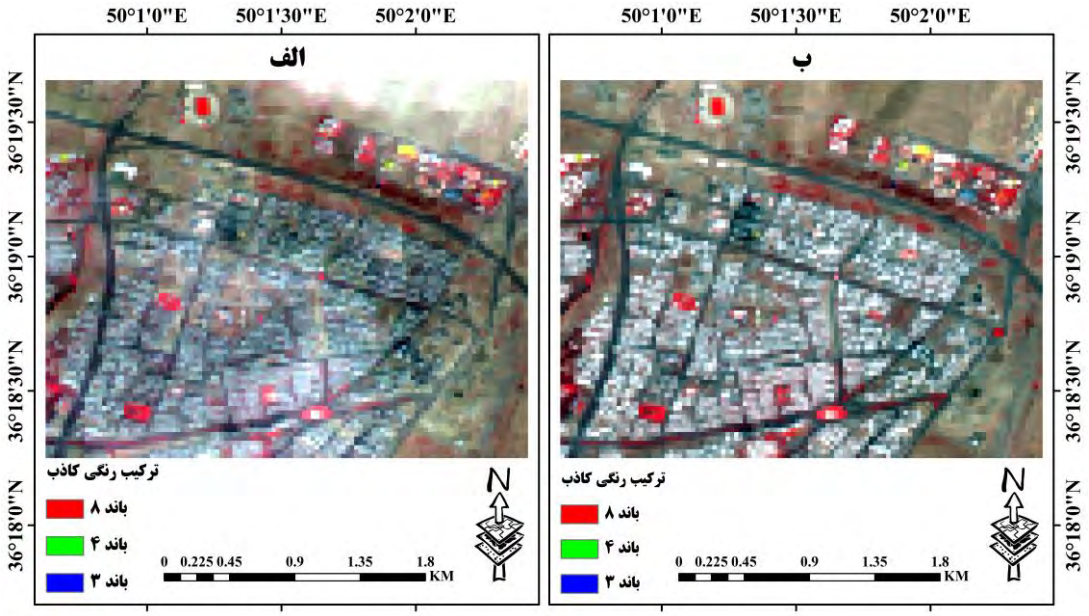


شکل ۱. محدودهٔ مورد مطالعه (در سمت چپ موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه در شهر قزوین مشاهده می‌شود)

داده‌های مورد استفاده

داده‌های سنجش‌ازدور به‌دلیل برخورداری از ویژگی‌هایی مانند دید همه‌جانبه، قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دسترسی آسان، امکانات گسترده‌ای را در نگاشت نقشه‌های شهری و پایش تغییرات کاربری اراضی فراهم کرده است. برای این منظور، پژوهش حاضر در بستر کدنویسی گوگل‌ارث انجین[1]، تصاویر سنجندهٔ MSI[2] ماهوارهٔ سنتینل ۲ را در ۲۱ مرداد ۱۳۹۴ و ۸ دی ۱۳۹۷ تهیه و طبقه‌بندی کرد (شکل ۲). با استفاده از سامانهٔ گوگل‌ارث انجین، تصاویر نیازی به پیش‌پردازش اولیه ندارند و به‌صورت داده‌های بایگانی‌شده از سایت زمین‌شناسی آمریکا[3] به‌صورت رایگان دریافت می‌شوند؛ بنابراین با استفاده از این سامانه، طبقه‌بندی و پایش تغییرات کاربری اراضی به سهولت و با سرعت بالا انجام می‌شود (Zurqani et al., 2018).

1. Google Earth Engine
2. Multispectral Instrument
3. Https://Earthexplorer.Usgs.Gov/



شکل ۲. تصویر چندطیفی ماهوارهٔ سنتینل ۲ برای سال‌های ۱۳۹۴ (الف) و ۱۳۹۷ (ب)

روش پژوهش

برای انجام این پژوهش و به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه، ابتدا سامانه‌ای طراحی و اجرا شد تا شهروندان بتوانند نمونه‌های تعلیمی را ترسیم و اطلاعات مربوط را در سامانه بارگذاری کنند. سپس به‌منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی در محدودهٔ مورد مطالعه، تصاویر سنتینل ۲ برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ در سامانهٔ آنلاین گوگل‌ارث انجین با نمونه‌های تعلیمی به‌دست‌آمده از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه پردازش شد. کلاس‌های بررسی‌شده برای پردازش و طبقه‌بندی تصاویر شامل سه گروه مناطق ساخته‌شده، اراضی بایر و پارک‌ها و فضاهای سبز هستند. سپس به‌منظور ارزیابی کارایی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و پایش تغییرات شهری، بار دیگر تصاویر مربوط با نمونه‌های تعلیمی حاصل از گوگل‌ارث پردازش و طبقه‌بندی شدند. درنهایت صحت طبقه‌بندی به‌دست‌آمده از نمونه‌های تعلیمی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه با صحت طبقه‌بندی نمونه‌های تعلیمی گوگل‌ارث مقایسه شد. برای این منظور، از آزمون t برای ارزیابی نتایج تصاویر طبقه‌بندی‌شده با نمونه‌های تعلیمی حاصل از VGI و گوگل‌ارث استفاده شد (شکل ۳).

طبقه‌بندی تصاویر

در این مطالعه، برای طبقه‌بندی تصویر از روش ماشین بردار پشتیبان[1] استفاده شد. این روش آماری غیرپارامتریک، روشی نظارت‌شده است که اولین بار وَپنیک[2] آن را در سال ۱۹۹۸ معرفی کرد. این روش یک طبقه‌بندی‌کنندهٔ دودویی است که با تعیین یک صفحهٔ تفکیک‌کنندهٔ بهینه در فضای ویژگی نمونهٔ تعلیمی، کلاس‌های مختلف را با حداکثر جدایی میان آن‌ها تفکیک می‌کند. فراصفحه‌ای که حداکثر حاشیه را بین دو کلاس فراهم می‌کند، فراصفحهٔ بهینه و داده‌های نزدیک

1. Support Vector Machine
2. Vladimir Vapnik

به فراصفحه، بردار پشتیبان نامیده می‌شوند. از جمله قابلیت‌های ماشین بردار پشتیبان، توانایی غلبه بر مشکل توزیع غیرخطی نمونهٔ تعلیمی است. در این حالت، با استفاده از توابع کرنل، داده‌ها به فضایی با بعد بزرگ‌تر انتقال می‌یابند که در آن تفکیک‌پذیری بهتر انجام می‌شود (نجفی و همکاران، ۱۳۹۶).

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

برای بیان و ارزیابی صحت طبقه‌بندی از ماتریس خطا[1] استفاده شد. این ماتریس روابط میان داده‌های یک منبع مشخص با نتایج مربوط به طبقه‌بندی خودکار را به‌صورت طبقه‌طبقه مقایسه می‌کند. همچنین مربع‌شکل است و تعداد سطر و ستون آن با تعداد طبقاتی که صحت طبقه‌بندی آن‌ها ارزیابی می‌شود، برابر است (لیسند و کیفر، ۱۳۸۷). در این ماتریس، میزان صحت طبقه‌بندی پیکسل‌هایی که به‌عنوان نمونه‌های اعتبارسنجی تعریف شده‌اند، تعیین می‌شود.

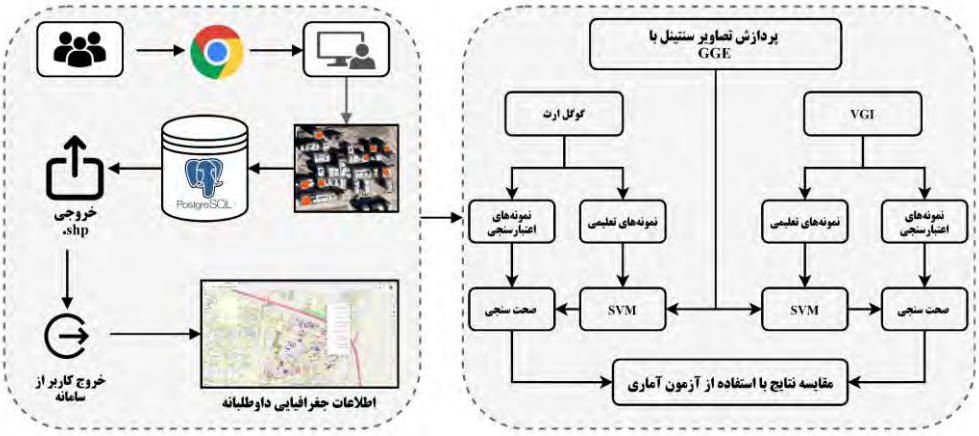
طراحی سامانه

به‌منظور جمع‌آوری نمونه‌های تعلیمی داوطلبان سامانه‌ای تحت وب طراحی شد تا کاربران بعد از ثبت اطلاعات شخصی و اطلاعات مربوط به کاربری، عوارض مربوط را ترسیم کنند. برای جمع‌آوری داده‌های جغرافیایی داوطلبانه، علاوه‌بر طراحی سامانه می‌توان از سامانه‌های آنلاین از جمله OSM نیز استفاده کرد، اما از آنجا که چنین سامانه‌هایی به‌صورت نقشه تهیه شده‌اند، عارضه‌های شهری قابل‌مشاهده و تفکیک نیستند و کاربران به‌خوبی نمی‌توانند ساختمان‌های مربوط را شناسایی کنند؛ از این‌رو ترسیم عوارض با خطا و مشکلات زیادی مواجه می‌شود؛ بنابراین برای جلوگیری از چنین خطاهایی، در این مطالعه، سامانه‌ای طراحی شد که از تصاویر ماهواره‌ای به‌منزلهٔ نقشهٔ پایه، استفاده کرد.

آزمون آماری T-test

آزمون t نوعی از آمار استنباطی است که برای مشخص‌کردن تفاوت‌های معنادار بین میانگین‌های دو مجموعه داده استفاده می‌شود (Investopedia, 2020). برای این منظور، در این مطالعه برای پاسخ به این سؤال که آیا میان نتایج حاصل از داده‌های گوگل‌ارث و داده‌های جغرافیایی داوطلبانه خطای نامعینی وجود دارد یا نه، از آزمون آماری t با سطح اطمینان ۰/۰۵ (۹۵ درصد) استفاده شده است. نتایج این آزمون با استفاده از مقدار P-value تفسیر می‌شود؛ به‌طوری‌که اگر این عدد از سطح اطمینان کمتر باشد، به این معناست که واریانس دو مجموعه داده یکسان نیست و فرضیهٔ تهی رد می‌شود، اما اگر سطح اطمینان از مقدار P-value بیشتر باشد، نشان می‌دهد که هر دو مجموعهٔ داده دارای همگنی معناداری هستند؛ بنابراین دیگر نمی‌توان فرضیهٔ تهی را رد کرد (Investopedia, 2020). علاوه‌براین، در آزمون t به‌منظور مشخص‌کردن تفاوت‌های میان دو مجموعه داده می‌توان از مقادیر مربوط به t Stat وt Critical two-tail استفاده کرد؛ به‌طوری‌که اگر مقدار t Stat از مقدار t Critical two-tail کوچک‌تر باشد؛ یعنی بین دو مجموعه داده خطای نامعینی وجود ندارد و هر دو مجموعه داده، همگنی معناداری دارند، اما اگر مقدار t Stat از مقدار t Critical two-tail بیشتر باشد، نشان‌دهندهٔ این است که بین میانگین‌های دو مجموعه داده، تفاوت‌های معناداری وجود دارد و با یکدیگر ناهمگن هستند (Investopedia, 2020).

1. Confusion Matrix



شکل ۳. مدل مفهومی پژوهش

یافته‌های پژوهش

در این مطالعه، به‌منظور گردآوری نمونه‌های تعلیمی VGI، یک سیستم تحت وب با زبان برنامه‌نویسی پایتون و فریم‌ورک جنگو (Django) طراحی و اجرا شد. جنگو از معماری سه‌لایهٔ MVT[1] استفاده می‌کند. این معماری نوع تغییر داده‌شدهٔ MVC[2] برای فریم‌ورک جنگو است و شباهت بسیاری به آن دارد (Investopedia, 2020). به‌منظور ذخیرهٔ نمونه‌های تعلیمی VGI، یک پایگاه دادهٔ مکانی نیاز است که برای این منظور، از سیستم PostgreSQL استفاده شد. همچنین برای ثبت آسان اطلاعات داوطلبان از نقشه‌های پایه‌ای OSM و Bing Satellite استفاده شد تا کاربران به‌کمک آن بتوانند مکان دقیق نمونه‌های تعلیمی را مشخص و نشانه‌گذاری کنند (شکل ۴).

شکل ۴. معماری برنامهٔ وب GIS

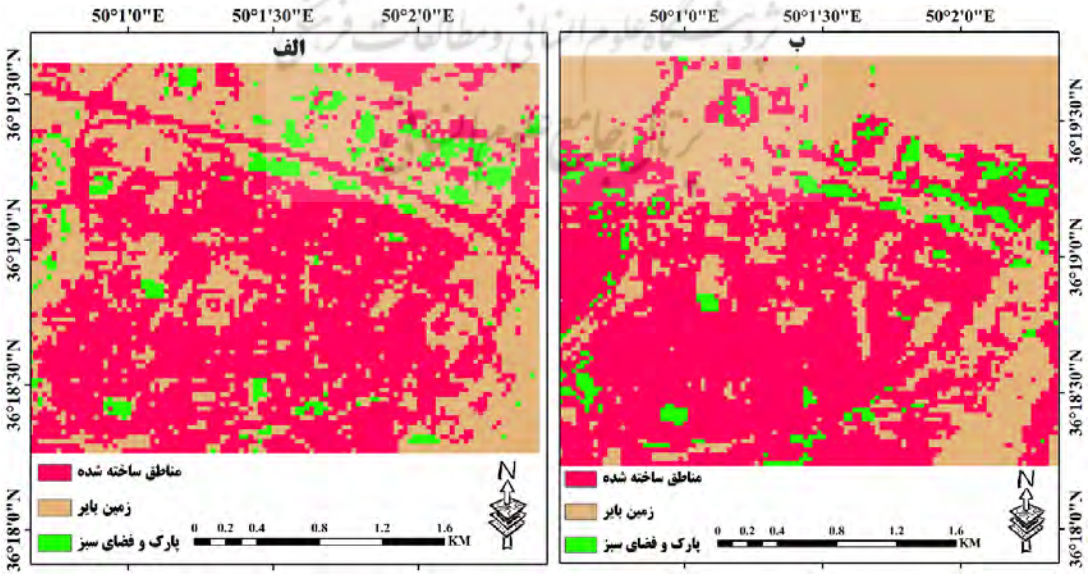
1. Model Template View
2. Model View Controller

در این مطالعه، ۲۵۰ نفر از شهروندان به‌صورت داوطلبانه مشارکت داشتند. هر شهروند به‌عنوان یک کاربر به‌صورت داوطلبانه، اطلاعات مکانی و توصیفی نمونه‌های تعلیمی را ثبت کرد. اطلاعات مکانی شامل موقعیت مکانی نمونه‌های تعلیمی است که موقعیت دقیق آن روی نقشهٔ پایه مشخص و به‌صورت نقطه‌ای و سطحی ترسیم شده است. اطلاعات توصیفی شامل، نام کاربری، شناسهٔ کاربری، سن، تحصیلات، جنسیت، نوع کاربری فعلی، نوع کاربری قبلی، سال تغییر کاربری و آدرس عارضه ترسیم شده است. براساس مشارکت شهروندان، در این مطالعه ۲۵۰ نمونهٔ تعلیمی حاصل از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه، به‌منظور پردازش و طبقه‌بندی تصاویر مربوط استفاده شد. همچنین به‌منظور ارزیابی کارایی نمونه‌های تعلیمی حاصل از VGI، تعداد ۲۵۰ نمونهٔ تعلیمی از تصاویر گوگل‌ارث به‌دست آمد تا صحت طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ در استفاده از نمونه‌های تعلیمی VGI و گوگل‌ارث بررسی شود. در ادامه به اجرای نتایج طبقه‌بندی و ارزیابی آن‌ها پرداخته شده است.

طبقه‌بندی پیکسل مبنا براساس نمونه‌های تعلیمی حاصل از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه

نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ برای سال ۱۳۹۴ نشان می‌دهد، در طبقه‌بندی براساس نمونهٔ تعلیمی حاصل از VGI، تعداد ۱۴۸ پیکسل (۹۳/۰۸ درصد) به‌درستی به‌منزلهٔ مناطق ساخته‌شده طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین ۳۶ پیکسل (۳۷/۵ درصد) و ۴ پیکسل (۱۰۰ درصد) به‌ترتیب با زمین بایر و فضاهای سبز تطابق دارند و در کلاس‌های کاملاً درست طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۱).

نتایج طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ برای سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد، در طبقه‌بندی براساس نمونهٔ تعلیمی حاصل از VGI، تعداد ۲۰۹ پیکسل (۹۸/۵ درصد) به‌درستی به‌عنوان مناطق ساخته‌شده طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین ۷ پیکسل (۲۱/۲ درصد) و ۵ پیکسل (۱۰۰ درصد) به‌ترتیب با زمین بایر و فضاهای سبز تطابق دارند و در کلاس‌های کاملاً درست طبقه‌بندی شده‌اند (شکل ۵) (جدول ۱).



شکل ۵. تصویر طبقه‌بندی‌شدهٔ ماهوارهٔ سنتینل ۲ با نمونه‌های تعلیمی VGI برای سال‌های ۱۳۹۴(الف) و ۱۳۹۷(ب)

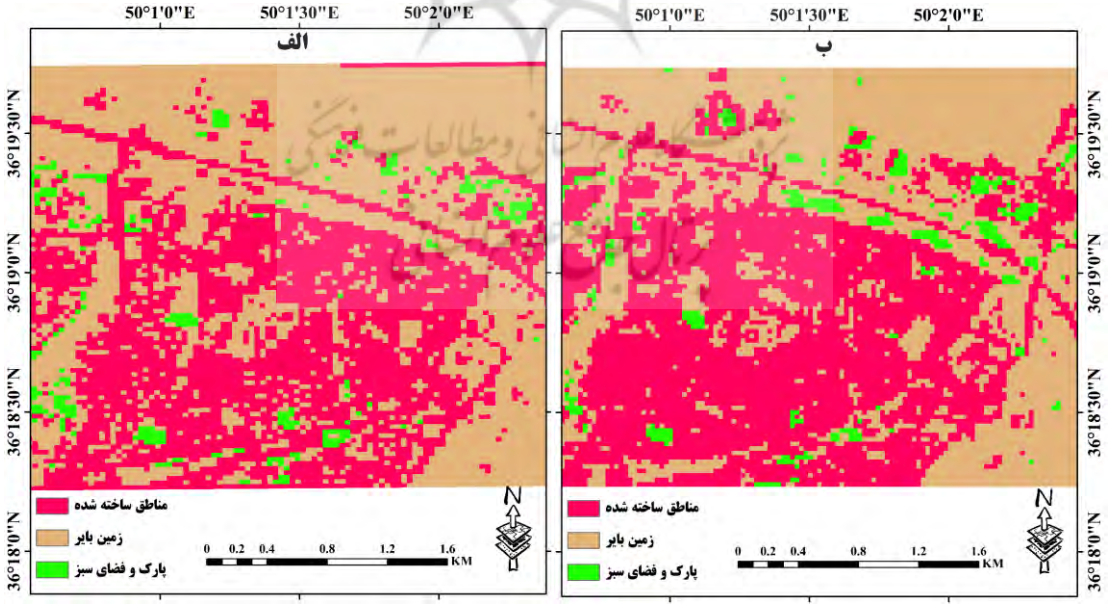
جدول ۱. ماتریس خطای طبقه‌بندی تصویر سنتینل ۲ با نمونه‌های تعلیمی VGI برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷

سال	نوع کاربری	مناطق ساخته‌شده	زمین بایر	پارک و فضای سبز	جمع	درصد
	مناطق ساخته‌شده	۱۴۸	۱۱	۰	۱۵۹	۹۳/۰۸
	زمین بایر	۶۰	۳۶	۰	۹۶	۳۷/۵
۱۳۹۴	پارک و فضای سبز	۰	۰	۴	۴	۱۰۰
	صحت کلی		۷۲ درصد			
	مناطق ساخته‌شده	۲۰۹	۳	۰	۲۱۲	۹۸/۵
	زمین بایر	۲۶	۷	۰	۳۳	۲۱/۲
۱۳۹۷	پارک و فضای سبز	۰	۰	۵	۵	۱۰۰
	صحت کلی		۸۸ درصد			

طبقه‌بندی پیکسل مبنا براساس نمونه‌های تعلیمی حاصل از گوگل‌ارث

نتایج به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ براساس نمونهٔ تعلیمی حاصل از گوگل ارث برای سال ۱۳۹۴ نشان می‌دهد، تعداد ۱۴۳ پیکسل (۹۵/۳ درصد) به‌درستی به‌عنوان مناطق ساخته‌شده طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین ۶۴ پیکسل (۶۷/۲ درصد) و ۵ پیکسل (۱۰۰ درصد) به‌ترتیب با زمین بایر و فضاهای سبز تطابق دارند و در کلاس‌های کاملاً درست طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۲).

همچنین براساس خروجی طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ با توجه به نمونهٔ تعلیمی گوگل‌ارث در سال ۱۳۹۷، تعداد ۲۰۵ پیکسل (۹۶/۷ درصد) به‌درستی به‌عنوان مناطق ساخته‌شده طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین ۲۰ پیکسل (۶۰/۶ درصد) و ۵ پیکسل (۱۰۰ درصد) به‌ترتیب با زمین بایر و فضاهای سبز تطابق دارند و در کلاس‌های کاملاً درست طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۲).



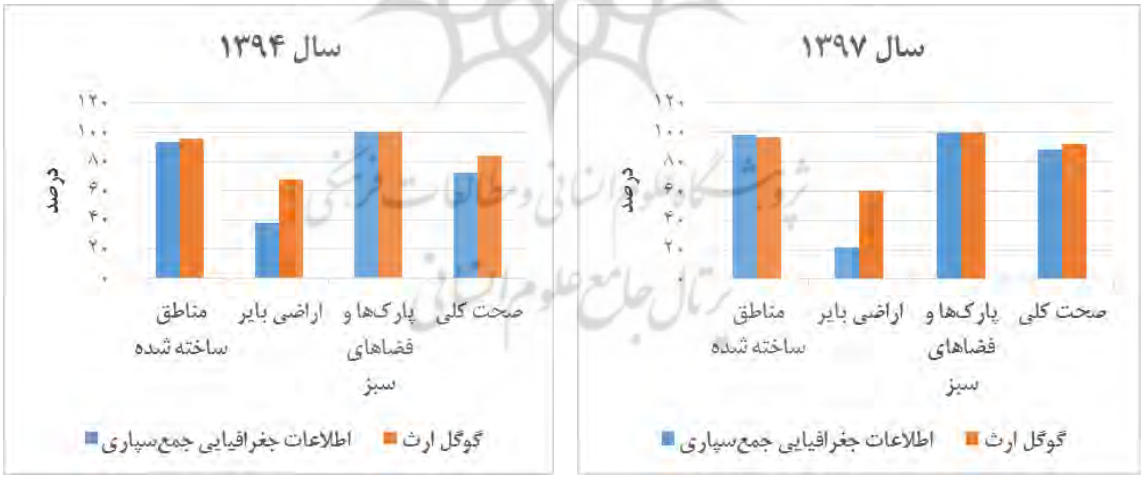
شکل ۶. تصویر طبقه‌بندی‌شدهٔ ماهوارهٔ سنتینل ۲ با نمونه‌های تعلیمی گوگل‌ارث برای سال‌های ۱۳۹۴(الف) و ۱۳۹۷(ب)

جدول ۲. ماتریس خطای طبقه‌بندی تصویر سنتینل ۲ با نمونه‌های تعلیمی گوگل‌ارث برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷

سال	نوع کاربری	مناطق ساخته‌شده	زمین بایر	پارک و فضای سبز	جمع	درصد
	مناطق ساخته‌شده	۱۴۳	۷	۰	۱۵۰	۹۵/۳
	زمین بایر	۳۱	۶۴	۰	۹۵	۶۷/۳
۱۳۹۴	پارک و فضای سبز	۰	۰	۵	۵	۱۰۰
	صحت کلی		۸۴ درصد			
	مناطق ساخته‌شده	۲۰۵	۷	۰	۲۱۲	۹۶/۷
	زمین بایر	۱۳	۲۰	۰	۳۳	۶۰/۶
۱۳۹۷	پارک و فضای سبز	۰	۰	۵	۵	۱۰۰
	صحت کلی		۹۲ درصد			

یافته‌های پژوهش

نتایج به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ با نمونه‌های تعلیمی حاصل از گوگل‌ارث و اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه نشان می‌دهد، اختلاف چندانی میان نمونه‌های تعلیمی گوگل‌ارث و اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ وجود ندارد. با توجه به صحت کلی به‌دست‌آمده برای سال ۱۳۹۴، تعداد ۸۴ درصد از نمونه‌های تعلیمی حاصل از گوگل‌ارث و ۷۲ درصد از نمونه‌های تعلیمی حاصل از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در کلاس‌های مناسب طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین صحت کلی به‌دست‌آمده از پردازش تصویر سنتینل ۲ برای سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد، ۹۲ درصد از نمونه‌های تعلیمی گوگل ارث و ۸۸ درصد از نمونه‌های تعلیمی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در کلاس صحیح قرار گرفته‌اند.



شکل ۷. مقایسه صحت نمونه‌های تعلیمی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه با گوگل ارث برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷

آزمون آماری T-test

نتایج حاصل از آزمون t برای سال ۱۳۹۴، گویای این مطلب است که مقدار P-value برابر با ۰/۶۶ است که از سطح اطمینان ۰/۰۵ بیشتر است؛ بنابراین فرضیهٔ تهی و یکسان‌بودن واریانس دو مجموعهٔ داده رد نمی‌شود. همچنین با توجه

به مقدار t Stat که از مقدار t Critical two-tail کمتر است، می‌توان گفت تفاوت‌های معناداری میان دو مجموعه داده حاصل از گوگل‌ارث و داده‌های جغرافیایی داوطلبانه وجود ندارد (جدول ۳).

جدول ۳. آزمون t دو جامعهٔ مستقل با واریانس‌های نابرابر برای سال ۱۳۹۴

	اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه	گوگل‌ارث
میانگین	۷۶/۸	۸۷/۵
واریانس	۱۱۷۳/۸	۳۱۲/۵
مشاهدات	۳	۳
t Stat	−۰/۴۷	
P(T<=t) two-tail	۰/۶۶	
t Critical two-tail	۳/۱۸۲	

نتایج حاصل از آزمون t برای سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد، مقدار P-value برابر با ۰/۶۹ و از سطح اطمینان ۰/۰۵ بیشتر است. براین‌اساس، فرضیهٔ تهی و یکسان‌بودن واریانس دو مجموعهٔ داده رد نمی‌شود. همچنین کمتربودن مقدار t Stat از مقدار t Critical two-tail بیانگر این مطلب است که تفاوت‌های معناداری بین دو مجموعه دادهٔ حاصل از گوگل‌ارث و داده‌های جغرافیایی داوطلبانه وجود ندارد (جدول ۴).

جدول ۴. آزمون t دو جامعهٔ مستقل با واریانس‌های نابرابر برای سال ۱۳۹۷

	اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه	گوگل‌ارث
میانگین	۷۳	۸۵/۳
واریانس	۲۰۲۹	۴۸۵/۳
مشاهدات	۳	۳
t Stat	−۰/۴۲	
P(T<=t) two-tail	۰/۶۹	
t Critical two-tail	۳/۱۸۲	

به‌طورکلی نتایج آزمون t با سطح اطمینان ۹۵ درصد (۰/۰۵)، برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ نشان می‌دهد، تفاوت معناداری بین مجموعه دادهٔ حاصل از تصاویر گوگل‌ارث و اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه وجود ندارد.

بحث و نتیجه‌گیری

الگوی کاربری اراضی به‌دلیل افزایش فعالیت‌ها و دخل و تصرف‌های بشر در زمین به‌منظور تأمین نیازهای مختلف، همواره در حال تغییر است. آگاهی از نحوهٔ تغییرات کاربری‌ها با گذر زمان در محیط شهری یکی از موارد مهم در برنامه‌ریزی شهری است (Malarvizhi et al., 2016). امروزه تصاویر ماهواره امکان پایش تغییرات کاربری اراضی را فراهم کرده‌اند (Woodcock et al., 2020). در این پژوهش، برای شناسایی تغییرات کاربری اراضی شهر قزوین در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ از تصاویر ماهوارهٔ سنتینل ۲ استفاده شد. شناسایی دقیق تغییرات کاربری‌ها در محیط شهری به میزان صحت نمونهٔ تعلیمی بستگی دارد. فرایند دریافت اطلاعات زمینی پرهزینه و زمان‌بر است. همچنین برای پایش

تغییرات کاربری‌ها در سری‌های زمانی گذشته، برداشت اطلاعات زمینی امکان‌پذیر نیست. برای حل این مشکل می‌توان از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه به‌منزلهٔ یکی از منابع دادهٔ حقایق زمینی استفاده کرد. در مطالعهٔ حاضر، میزان صحت و کارایی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی در طبقه‌بندی تصاویر چندزمانهٔ سنتینل ۲ بررسی شدند. برای این منظور، ابتدا تصاویر بررسی‌شده به روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و با نمونه‌های تعلیمی به‌دست‌آمده از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه طبقه‌بندی شدند. سپس برای ارزیابی صحت نمونه‌های تعلیمی حاصل از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه در پایش تغییرات شهری، تصاویر مذکور بار دیگر با نمونه‌های تعلیمی حاصل از گوگل‌ارث پردازش شدند. درنهایت صحت طبقه‌بندی به‌دست‌آمده از نمونه‌های تعلیمی اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه با صحت طبقه‌بندی به‌دست‌آمده از نمونه‌های تعلیمی گوگل‌ارث مقایسه شد. نتایج ارزیابی ماتریس خطای حاصل از طبقه‌بندی با نمونه‌های تعلیمی VGI و گوگل‌ارث نشان می‌دهد، میزان صحت کلی در هر دو نمونهٔ تعلیمی، مقدار قابل‌قبولی داشته است. همچنین هر دو نمونهٔ تعلیمی VGI و گوگل‌ارث در مطالعات مربوط به طبقه‌بندی کاربری اراضی در محیط شهری کارایی مشابهی دارند. صحت کلی طبقه‌بندی تصاویر مربوط با نمونه‌های تعلیمی حاصل از اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه، برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ به‌ترتیب ۷۲ درصد و ۸۸ درصد بوده است. درمقابل، صحت کلی به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ با نمونه‌های تعلیمی گوگل‌ارث برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ به‌ترتیب ۸۴ درصد و ۹۲ درصد بوده است. درنهایت برای مشخص‌کردن تفاوت‌های معنادار میان میانگین‌های دو مجموعه داده، از آزمون آماری t استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون t با سطح اطمینان ۹۵ درصد، برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ نشان می‌دهد، تفاوت معناداری بین مجموعه دادهٔ حاصل از تصاویر گوگل ارث و اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه وجود ندارد.

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت، استفاده از نمونه‌های تعلیمی VGI نتایج مطلوبی را در پایش تغییرات کاربری اراضی ارائه داده است. مزایای بسیاری دربارهٔ استفاده از VGI به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی وجود دارد که می‌توان به سریع‌تربودن فرایند پردازش تصاویر و سهولت روند جمع‌آوری نمونه‌های تعلیمی اشاره کرد؛ به‌ویژه زمانی که حجم تصاویر استفاده‌شده بسیار است و امکان برداشت نمونه‌های تعلیمی به‌صورت سنتی وجود ندارد. در کنار این مزایا، برخی محدودیت‌ها در استفاده از VGI در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد که می‌توان به آگاهی‌نداشتن بسیاری از شهروندان از ماهیت VGI و نحوهٔ مشارکت در آن اشاره کرد.

با توجه به این موضوع که بیشتر شهروندان دانش چندانی دربارهٔ اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه و نحوهٔ مشارکت در آن ندارند، پیشنهاد می‌شود، به‌منظور افزایش آگاهی و ترویج مشارکت داوطلبانهٔ شهروندان، در مطالعات و پژوهش‌های آتی مدت‌زمان بیشتری برای معرفی و آشناسازی این فناوری برای اقشار مختلف مردم درنظر گرفته شود. آشنایی بیشتر شهروندان با امکانات ارائه‌شده این سامانه‌ها و اهمیت مشارکت‌ها آن‌ها می‌تواند روند جمع‌آوری داده‌های مکانی را تسریع بخشد و راهگشای حل بسیاری از چالش‌های مربوط به محیط‌های شهری باشد.

منابع

لیسند، توماس و کیفر، رالف (۱۳۸۷). سنجش از دور و تفسیر تصاویر ماهواره ای، ترجمهٔ جعفر اولادی قادیکلایی، بابلسر: انتشارات دانشگاه مازندران.

جلوخانی نیارکی، محمدرضا (۱۳۹۵). «طراحی و پیاده‌سازی سامانهٔ پایش محیط‌زیست شهروندمحور مبتنی بر وب GIS»، اولین کنفرانس ملی فناوری اطلاعات و مدیریت شهری، تهران.

حسینعلی، فرهاد، آل‌شیخ، علی‌اصغر و نوریان، فرشاد (۱۳۹۱). «توسعهٔ مدلی عامل‌مبنا برای شبیه‌سازی گسترش کاربری اراضی شهری (منطقهٔ مورد مطالعه: شهر قزوین)»، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، شمارهٔ ۱۴، ۲۱-۲۲.

محمداسماعیل، زهرا (۱۳۸۹). «پایش تغییرات کاربری اراضی کرج با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور»، مجلهٔ پژوهش‌های خاک، شمارهٔ ۱، ۸۲-۸۸.

نجفی، احمد، عزیزی قلاتی، سارا و مختاری، محمدحسین (۱۳۹۶). «کاربرد ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی کاربری اراضی حوزهٔ چشمهٔ کیله-چالکرود»، پژوهشنامهٔ مدیریت حوزهٔ آبخیز، شمارهٔ ۱۵، ۹۲-۱۰۱.

Chilton, S. (2009). Crowdsourcing Is Radically Changing the Geodata Landscape: Case Study of Openstreetmap. *Paper Presented at the Proceedings of the UK 24th International Cartography Conference*, Hendon, London NW4 4BT, UK.

Estima, J., & Painho, M. (2013). Exploratory Analysis of Openstreetmap for Land Use Classification. P*aper Presented at the Proceedings of the Second ACM SIGSPATIAL international Workshop on crowdsourced and Volunteered Geographic Information*, November 2013, Pages 39–46.

Farhad, H. A., AlShiykh, A. S., & Nourian, F. (2012). Development of Factor-Based Model to Simulate Urban Land Use Expansion (Study Area: Qazvin City). *Urban and Regional Studies and Research*, *4*(14), 22-21. *(In Persian)*

Flanagin, A. J., & Metzger, M. J. (2008). The Credibility of Volunteered Geographic Information. *GeoJournal*, *72*(3-4), 137-148.

Fonte, C. C., Bastin, L., See, L., Foody, G., & Lupia, F. (2015). Usability of VGI for Validation of Land Cover Maps. *International Journal of Geographical Information Science*, *29*(7), 1269-1291.

Goodchild, M. F. (2007). Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography. *GeoJournal*, *69*(4), 211-221.

Hossein Ali, F., Ali Asghar, A.-S., & Farshad, N. (2012). Development of Factor-Based Model to Simulate Urban Land Use Expansion (Study Area: Qazvin City). *Urban and Regional Studies and Research*, *4*(14), 22-21. *(In Persian)*

Investopedia. (2020). *What is a T Test*? Retrieved from https://www.investopedia.com/terms/t/t-test.asp.

Jelokhani-Niaraki, M. (2016). Design and Implementation Citizen-Centered Environmental Monitoring System Based on WEB Gis. *Paper Presented at the First National Conference on Information Technology and Urban Management*, Tehran. *(In Persian)*

Johnson, B. A., & Iizuka, K. (2016). Integrating Open StreetMap Crowdsourced Data and Landsat Time-Series Imagery for Rapid Land Use/Land Cover (LULC) Mapping: Case Study of the Laguna De Bay Area of The Philippines. A*pplied Geography*, *67*, 140-149.

Johnson, B. A., Iizuka, K., Bragais, M. A., Endo, I., & Magcale-Macandog, D. B. (2017). Employing Crowdsourced Geographic Data and Multi-Temporal/Multi-Sensor Satellite Imagery to Monitor

Land Cover Change: A Case Study in an Urbanizing Region of the Philippines. *Computers, Environment and Urban Systems*, *64*, 184-193.

Koukoletsos, T., Haklay, M., & Ellul, C. (2012). Assessing Data Completeness of VGI Through an Automated Matching Procedure for Linear Data. *Transactions in GIS*, *16*(4), 477-498.

Li, W., Dong, R., Fu, H., Wang, J., Yu, L., & Gong, P. (2020). Integrating Google Earth imagery with Landsat Data to Improve 30-M Resolution Land Cover Mapping. *Remote Sensing of Environmen*t, *237*, 111563.

Lin, W. (2013). When Web 2.0 Meets Public Participation GIS (PPGIS): VGI and Spaces of Participatory mapping in China. In Book Section (Ed.), *Crowdsourcing Geographic Knowledge* (pp. 83-103), Springer.

Lillesand, T., & Kiefer, R. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation* (J. Oladi Qadiklaei, Tran) Babolsar: Mazandaran University Press. *(In Persian)*

Malarvizhi, K., Kumar, S. V., & Porchelvan, P. (2016). Use of High Resolution Google Earth Satellite Imagery in Landuse Map Preparation for Urban Related Applications. *Procedia Technology*, *24*, 1835-1842.

Misra, M., Kumar, D., & Shekhar, S. (2020). Assessing Machine Learning Based Supervised Classifiers for Built-Up Impervious Surface Area Extraction From Sentinel-2 Images. *Urban Forestry & Urban Greening*, *53*, 126714.

Mohammad Esmaeil, Z. (2010). Monitoring Land Use\ Land Cover Changes in Karaj by Applying Remote Sensing. *Soil and Water Reserch Institut*e, *24*, 81-88. *(In Persian)*

Najafi, A., Qalati, S., & Mokhtari, M. H. (2017). Application of Support Vector Machine in Land Use Classification of Kileh-Chalkroud Basin. *Journal of Watershed Management*, *8*(15), 92-101. *(In Persian)*

Olteanu-Raimond, A.-M., See, L., Schultz, M., Foody, G., Riffler, M., Gasber, T., …, & Liu, L. (2020). Use of automated Change Detection and Vgi Sources for Identifying and Validating Urban Land Use Change. *Remote Sensing*, *12*(7), 1186.

Reba, M., & Seto, K. C. (2020). A Systematic Review and Assessment of Algorithms to Detect, Characterize, and Monitor Urban Land Change. *Remote Sensing of Environment*, *242*, 111739.

Schelhorn, S.-J., Herfort, B., Leiner, R., Zipf, A., & De Albuquerque, J. P. (2014). Identifying Elements at Risk from Openstreetmap: The Case of Flooding. *Paper Presented at the ISCRAM*, GIScience Chair, Heidelberg University, Germany.

Statisticshowto. (2020). Student's T-Test, Retrieved from https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/t-test/.

Terroso-Saenz, F., & Munoz, A. (2020). Land use discovery based on Volunteer Geographic Information classification. Expert Systems with Applications, 140, 112892.

Thomas, M. L., & Ralph, W. K. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation* (J. Oladi Qadiklaei, Tran). Babolsar: Mazandaran University Press. *(In Persian)*

Toronto, U. o. (2020). *The T Test*, Retrieved from https://www.utsc.utoronto.ca/.

tutorialspoint. (2020). *Learn Django*, Retrieved from https://www.tutorialspoint.com/django/django_overview.htm.

Woodcock, C. E., Loveland, T. R., Herold, M., & Bauer, M. E. (2020). Transitioning from Change Detection to Monitoring with Remote Sensing: A Paradigm Shift. *Remote Sensing of Environment*, *238*, 111558.

Xin, H., Ying, W., Jiayi, L., Xiaoyu, C., Yinxia, C., Junfeng, X., & Jianya, G. (2020). High-*Resolution Urban Land-Cover Mapping and Landscape Analysis of the 42 Major Cities in China Using ZY-3 Satellite Images*. Science Bulletin, Volume 65, Issue 12, 30 June 2020, Pages 1039-1048.

Zhou, L., Dang, X., Sun, Q., & Wang, S. (2020). Multi-Scenario Simulation of Urban Land Change in Shanghai by Random Forest and CA-Markov Model. *Sustainable Cities and Society*, *55*, 102045.

Zurqani, H. A., Post, C. J., Mikhailova, E. A., Schlautman, M. A., & Sharp, J. L. (2018). Geospatial analysis of Land Use Change in the Savannah River Basin Using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *69*, 175-185.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی