

تهیه نقشه بلوک‌های ساختمانی شهری در سامانه گوگل ارث انجین از طریق آموزش طبقه‌بندی کننده تعمیم‌پذیر

علیرضا طاهری دهکردی^۱ سید محمد میلاد شهابی^۲

محمد جواد ولدان زوج^۳ محمود رضا صاحبی^۴

علیرضا صفدری نژاد^۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۸

چکیده

امروزه فناوری سنجش از دور جایگاهی ویژه در کاربردهای مختلف مدیریت شهری پیدا کرده است. در این بین، نقشه‌ی ساختارهای شهری نظیر بلوک‌های ساختمانی، عموماً در مدیریت بحران، طراحی شهری و مطالعات مربوط به توسعه‌ی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه تولید نقشه بلوک‌های ساختمانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و ۲ دنبال شده است. روش پیشنهادی این مقاله متکی بر استفاده از طبقه‌بندی کننده آموزش یافته تعمیم‌پذیر می‌باشد. به نحوی که در ابتدا، طبقه‌بندی کننده مورد نظر با استفاده از نمونه‌های آموزشی به دست آمده از یک فرآیند پالایشی سختگیرانه نوین توسط محصولات سنجش از دوری و مکانی مختلف، در سال ۲۰۱۵، آموزش می‌یابد. سپس این طبقه‌بندی کننده به منظور تولید نقشه بلوک‌های ساختمانی در مقاطع زمانی مشابه سه سال هدف (۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰) به کار گرفته می‌شود. به دلیل تنوع بافت و تراکم بلوک‌های ساختمانی در کلان‌شهر تهران، روش پیشنهاد شده در این منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین با توجه به وسعت منطقه مطالعاتی، فراهم بودن تصاویر ماهواره‌ای رایگان بدون نیاز به اخذ و امکان اجرای عملیات مختلف پردازشی به صورت برخط، از سامانه گوگل ارث انجین در پژوهش حاضر استفاده شده است. سه روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی، کمترین فاصله با معیار فاصله مایلانابیس و ماشین بردار پشتیبان در این فرآیند مورد بررسی قرار می‌گیرند. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، از نمونه‌های مرجع به دست آمده از تفسیر بصری تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (گوگل ارث) در هر سه سال هدف استفاده شده است. نتایج به دست آمده عملکرد بهتر روش جنگل تصادفی در هر سه سال هدف با دقت کلی بالای ۹۳ درصد را نسبت به دو روش دیگر نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، بلوک‌های ساختمانی، طبقه‌بندی کننده تعمیم‌پذیر، گوگل ارث انجین، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (نویسنده مسئول) alireza.tahery@email.kntu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی milad.shahabi@gmail.com

۳- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی valadanouz@kntu.ac.ir

۴- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی sahebi@kntu.ac.ir

۵- استادیار گروه ژئودزی و مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تفرش safdarinezhad@tafreshu.ac.ir

۱- مقدمه

طی سه دهه اخیر، با گسترش تصاویر ماهواره‌ای مکان‌مبنا، فناوری سنجش‌ازدور جایگاهی ویژه در کاربردهای مختلف مدیریت شهری پیدا کرده است. تولید نقشه‌های وضع موجود از ساختارهای شهری، بررسی وضعیت اتلاف انرژی، شناسایی جزایر حرارتی، پایش پوشش گیاهی درون شهری و ارزیابی میزان آلودگی هوا، تنها نمونه‌ای از حوزه‌های مرتبط با مدیریت شهری بوده که فناوری سنجش‌ازدور، زمینه‌ی اندازه‌گیری غیرمستقیم کمیات مرتبط با آن‌ها را فراهم آورده است (Xiao et al, 2009). در این بین، نقشه‌ی ساختارهای شهری نظیر بلوک‌های ساختمانی، عموماً در مدیریت بحران، طراحی شهری و مطالعات مربوط به توسعه‌ی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. بلوک‌های ساختمانی شهری محدوده‌هایی از شهر محسوب شده که با عوارضی همچون فضای باز، زمین بایر، خیابان‌های اصلی و یا فضای سبز محصور هستند. این محدوده‌ها شامل مناطق مسکونی، تجاری و اداری شهر بوده که جزئی از رخنمون شهرها را در تصاویر هوایی و فضایی تشکیل می‌دهند. تغییر در تعداد، جانمایی و وسعت این بلوک‌ها را می‌توان مستقیماً متأثر از روند گسترش یا تغییرات کالبدی شهر تصور نمود که طراحان و مدیران شهری به نقشه‌ی به‌روز آن‌ها در تصمیم‌گیری و اجرای طرح‌های آتی نیازمندند.

روش‌های عمده‌ی توسعه داده‌شده به‌منظور استخراج نقشه بلوک‌های ساختمانی، به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند (He et al, 2010): ۱- روش‌های مبتنی بر آستانه‌گذاری عددی و ۲- روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی نظارت شده. به‌دلیل عدم تعمیم‌پذیری و تأثیر مستقیم نتایج از مقدار آستانه تعیین‌شده در روش‌های دسته اول، روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر ماهواره‌ای به‌طور گسترده‌تری در این حوزه به‌کار گرفته می‌شوند. در مطالعات دسته دوم، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به‌عنوان طبقه‌بندی‌کننده‌های نظارت‌شده در مطالعات مختلفی پیگیری شده است (Zakeri et al, 2017; Corbane

et al, 2020; Protopapadakis et al, 2021). همچنین از انواع مختلف

تصاویر ماهواره‌ای با قدرت‌های تفکیک مکانی متنوع، در کاربردهای مدیریت شهری و تولید نقشه‌های مختلف ساختارهای شهری استفاده شده است. تصاویر اخذ شده از نور سطح زمین در شب، تصاویر رادار با روزنه‌ی مجازی و همچنین تصاویر چندطیفی بازتابی و حرارتی، از جمله داده‌های استفاده شده در این حوزه به‌شمار می‌روند (Gaughan et al, 2013; Potere et al, 2009; Gamba & Herold, 2009; Schneider et al, 2010; Sarvestani et al, 2011; Goldblatt et al, 2016)

با شروع اخذ داده‌های ماهواره‌های رایگان مادیس و لندست، تحقیقات متعددی در این زمینه آغاز گردید. طی این تحقیقات نقشه ساختارهای شهری در قالب نقشه‌های پوشش زمینی دو کلاسی و چند کلاسی تولید گردیدند. در (Gamba & Herold, 2009) و (Schneider et al, 2010)، به‌ترتیب گامبا و اشنایدر به‌مرور خلاصه‌ای از فعالیت‌های انجام‌شده در این حوزه پرداخته‌اند. همچنین به‌منظور استخراج بلوک‌های ساختمانی شهر آنتالیا، در (Kaynarca et al, 2018) از تصویر چندطیفی سنجنده غیر رایگان گکترک-۱۲ و تصویر راداری سنجنده سنتینل-۱ استفاده شده است. در مطالعه مذکور از ترکیب نقشه طبقه‌بندی حاصل از تصاویر چندطیفی و نقشه خوشه‌بندی حاصل از تصاویر راداری به‌منظور تولید نقشه بلوک‌های ساختمانی در یک سال مشخص استفاده شده است.

در (Zakeri et al, 2017) نیز ذاکری و همکاران با استفاده از تصاویر راداری اقدام به تولید نقشه شهری تهران نمودند. در تحقیق مذکور از ویژگی‌های بافتی بهینه انتخاب شده به کمک تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۲ به‌عنوان مجموعه ویژگی‌های ورودی دو طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان و بیشترین شباهت استفاده شد. در مطالعه مذکور، داده‌های واقعیت زمینی به‌دست آمده از تفسیر بصری تصاویر لندست مورد استفاده قرار گرفت. در (Chini et al, 2018) با استفاده از

1- GOKTURK-2

2- Principal component analysis

طبقه‌بندی‌کننده تعمیم‌پذیر انجام پذیرفته است. به نحوی که ابتدا داده‌های آموزشی برای آموزش طبقه‌بندی‌کننده از یک فرآیند پالایشی سختگیرانه نوین استخراج می‌گردند. این فرآیند با استفاده از محصولات سنجش‌ازدوری و مکانی مختلف، نمونه‌های آموزشی مختص به سال ۲۰۱۵ را تولید نموده که در آموزش طبقه‌بندی‌کننده در دو کلاس بلوک‌های ساختمانی و زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌یافته در مقاطع زمانی مشابه سه سال هدف (۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰) به منظور تولید نقشه بلوک‌های ساختمانی به کار گرفته می‌شود. این مورد صرفاً با اجرای پروتکل‌های تدوین شده برای آماده‌سازی مجموعه ویژگی‌های ورودی مشابه، در سال‌های مختلف امکان‌پذیر خواهد بود. لازم به ذکر است از منابع مختلف تصاویر نوری سنتینل-۲، تصاویر رادار با روزه مجازی سنتینل-۱ و مدل رقومی ارتفاعی زمین، به منظور تهیه نقشه بلوک‌های ساختمانی در هر سال استفاده شده است. همچنین روش‌های جنگل تصادفی (RF)^۱، کمترین فاصله (MD)^۲ با معیار فاصله مالهالانوبیس^۳ و ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۴ در این فرآیند مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

به منظور ارزیابی روش ارائه شده، از داده‌های مرجع به دست آمده از تفسیر بصری تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (گوگل‌ارث) در هر سال هدف استفاده خواهد شد. تفاوت فرآیند جمع‌آوری داده‌های آموزشی و ارزیابی، علاوه بر سنجش هر چه بهتر تعمیم‌پذیری طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌یافته در سال‌های هدف، امکان بررسی عملکرد روش پالایشی سختگیرانه ارائه شده به منظور تولید نمونه‌های آموزشی را نیز فراهم می‌کند.

به طور کلی ویژگی‌های اصلی این تحقیق را می‌توان در سه مورد زیر خلاصه نمود:

۱- توسعه یک روش تهیه نقشه بلوک‌های ساختمانی

1- Random Forest

2- Minimum Distance

3- Mahalanobis Distance

4- Support Vector Machine

سری زمانی تصاویر راداری سنتینل-۱ و یک روش آستانه‌یابی خودکار نقشه بلوک‌های ساختمانی تولید گردیده است. در این مطالعه، به منظور حذف دو منبع خطای اصلی در بافت کوهستانی و پوشش گیاهی به ترتیب از ویژگی‌های مدل رقومی ارتفاعی و نقشه همدوسی تداخل‌سنجی استفاده شده است. در (Deepthi et al, 2018) نیز، دیپ‌ثی و همکاران تولید نقشه بلوک‌های ساختمانی طی یک فرآیند سلسله مراتبی را پیگیری نمودند که در آن استفاده توأمان از تصاویر نوری و راداری پیشنهاد گردید. در عمده مطالعات مورد بررسی، از داده‌های آموزشی به دست آمده از تفاسیر بصری عامل خبره به منظور آموزش طبقه‌بندی‌کننده استفاده شده است. همچنین، آموزش و به کارگیری طبقه‌بندی‌کننده مورد استفاده، تنها برای یک سال مشخص انجام پذیرفته است. حجم بالای داده‌های سنجش‌ازدوری و محدودیت‌های پردازشی به عنوان یک چالش کلیدی در اجرایی ساختن ایده‌ها و کاربردهای سنجش‌ازدوری محسوب می‌شود. این محدودیت با توسعه‌ی سامانه‌های پردازشی برخط نظیر گوگل‌ارث‌انجین تا حدودی رو به خاتمه است (Gorelick et al, 2017). این سامانه امکان دسترسی ساده به منابع مختلف داده‌های سنجش‌ازدوری و همچنین محصولات ماهواره‌ای و مکانی رایگان را با اعمال سطوح اولیه از پیش پردازش‌های رادیومتریکی و هندسی فراهم آورده است. از این سامانه تا کنون در کاربردهای مختلف نظیر تولید نقشه‌های جهانی مناطق شهری (Liu et al, 2018) و تولید نقشه‌های پوشش زمینی چندکلاسه (Li et al, 2020) استفاده شده است. آرزویی که بتوان حجم بالایی از داده را با سرعت و فارغ از انجام پیش‌پردازش‌های طاقت‌فرسا صرفاً با چند دستور در محیط‌های وب به انجام رساند؛ واقعیتی است که محقق شده است. همچنین هر روز بر گستره‌ی توانایی‌های این سامانه افزوده شده و استفاده از آن در بین متخصصین رشته‌های مختلف رواج بیشتری پیدا می‌کند. در این مطالعه تهیه نقشه بلوک‌های ساختمانی کلان‌شهر تهران در سه سال مختلف در بستر گوگل‌ارث‌انجین با استفاده از آموزش یک

نقاط مختلف از نتایج مستقیم آن است. کلان‌شهر تهران ۲۲ منطقه مختلف را شامل می‌شود که با جمعیت ساکن حدود ۱۰ میلیون نفر به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران شناخته شده است. تهران به علت تمرکز امکانات سیاسی، رفاهی و اجتماعی، شدیدتر از سایر شهرهای ایران دچار گسترش و شهری‌سازی بدون برنامه و نامنظم شده که نتیجه آن تغییرات بلوک‌های ساختمانی و ساخت‌وسازهای حاشیه‌ای است. به دلیل تنوع بالا در ساختار بلوک‌های شهری از نظر بافت، تراکم افقی و عمودی و جنس‌های مختلف سقف‌ها، در این مطالعه تولید نقشه‌های بلوک ساختمانی شهر تهران در دستور کار قرار گرفته است. در نگاره ۱ موقعیت تقریبی ۲۲ منطقه کلان‌شهر تهران و مدل رقومی ارتفاعی این شهر نمایش داده شده است.

۲-۲- روش‌شناسی تحقیق

در مطالعه حاضر، تهیه نقشه باینری بلوک‌های ساختمانی شهری به وسیله طبقه‌بندی نظارت‌شده دنبال شده است. به منظور طراحی روش، دو هدف اصلی در نظر گرفته شده است: ۱- استفاده حداکثری از محصولات سنجش‌ازدوری و مکانی رایگان، برای آماده‌سازی داده‌های

شهری بر مبنای استفاده همزمان از منابع مختلف داده‌های سنجش‌ازدوری و مکانی در گوگل ارث‌انجین به سبب امکان دسترسی ساده و همچنین ظرفیت‌های پردازشی متنوع.

۲- توسعه یک فرآیند پالایشی سختگیرانه نوین به منظور جمع‌آوری داده‌های آموزشی مورد نیاز طبقه‌بندی‌کننده بدون نیاز به تفاسیر بصری.

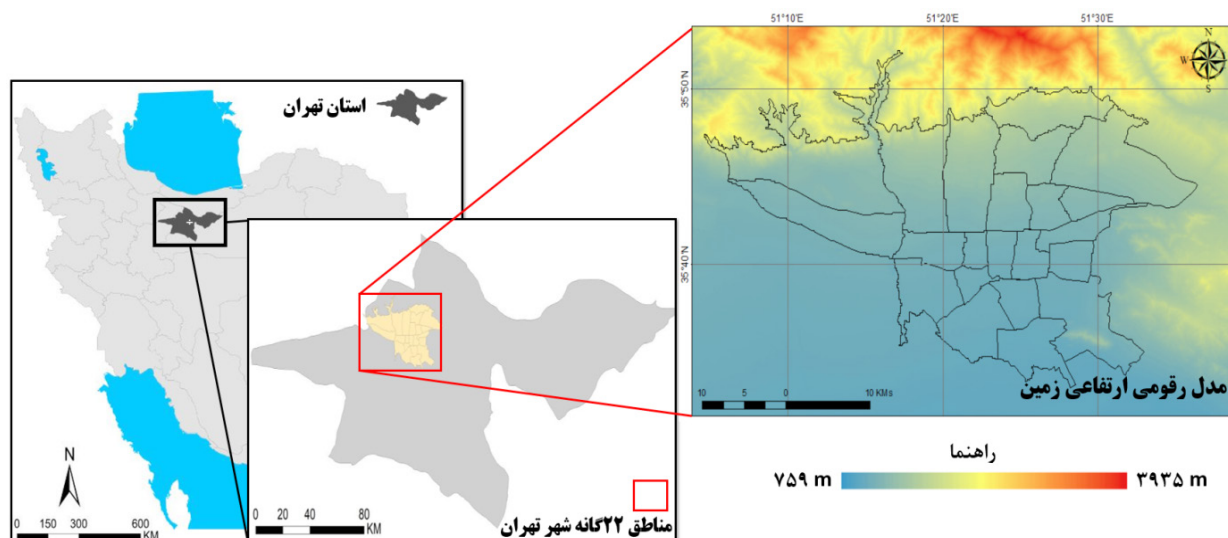
۳- بررسی تعمیم‌پذیری طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌یافته برای تهیه نقشه بلوک‌های ساختمانی در سه سال هدف.

مطالعه کنونی در ۳ بخش مختلف دیگر تدوین شده است. در بخش بعدی با عنوان مواد و روش‌ها، علاوه بر معرفی منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده، در قسمت روش‌شناسی تحقیق، جزئیات روش ارائه شده و نحوه ارزیابی دقت شرح داده می‌شود. در ادامه، به ارزیابی و ارائه نتایج به دست آمده پرداخته می‌شود. در بخش پایانی نیز نتیجه‌گیری نهایی مطالعه مطرح شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- منطقه مطالعاتی

ایران همانند سایر کشورهای در حال توسعه با رشد جمعیت مواجه بوده که توسعه بلوک‌های ساختمانی در



نگاره ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (زمین)

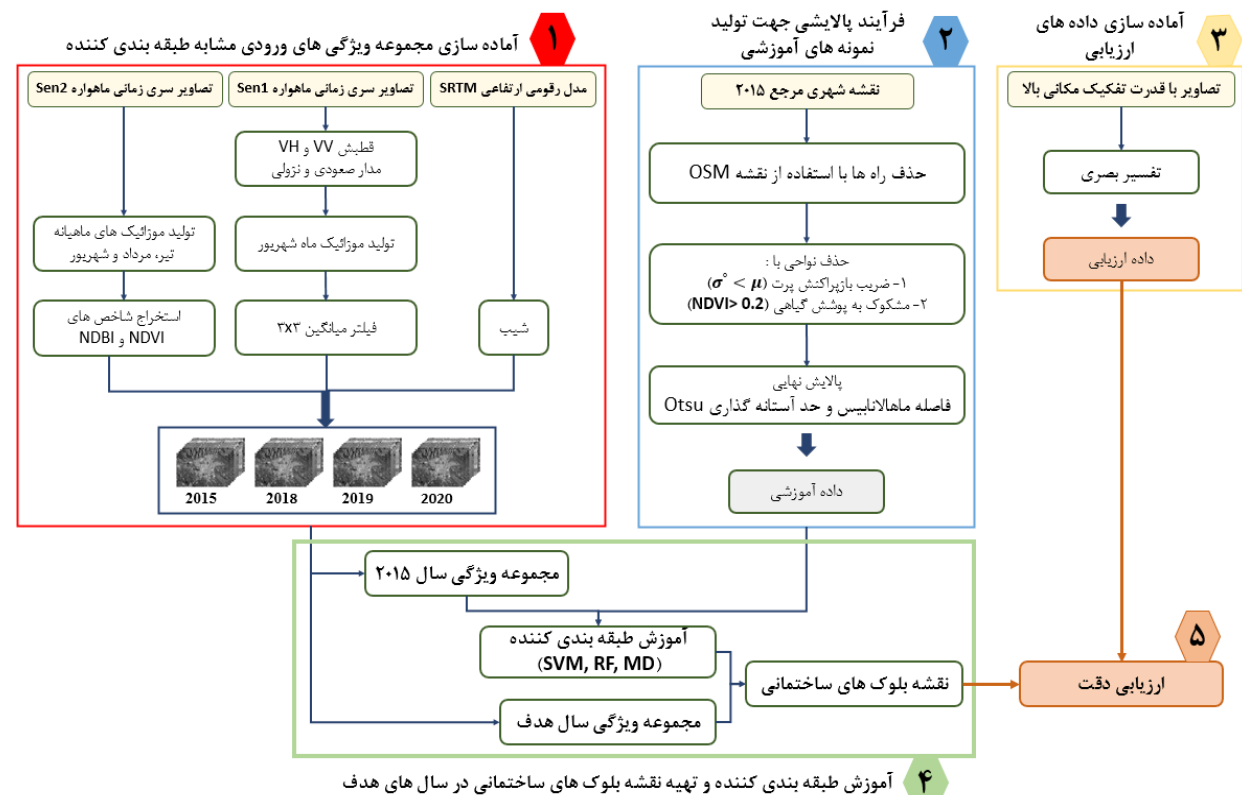
تهیه نقشه بلوک‌های ساختمانی شهری در سامانه گوگل ارث انجین ... / ۱۱

آموزشی طی یک فرآیند پالایشی سختگیرانه نوین و ۲- تولید داده‌های آموزشی طی یک فرآیند پالایشی سختگیرانه با استفاده از محصولات سنجنش‌ازدوری و مکانی سال ۲۰۱۵،
۳- آماده‌سازی داده‌های ارزیابی حاصل از تفسیر بصری تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (Google Earth) در هر سه سال هدف،
۴- آموزش طبقه‌بندی‌کننده در سال متناظر داده‌های آموزشی (۲۰۱۵) و تولید نقشه بلوک‌های ساختمانی در سال‌های هدف،
۵- ارزیابی دقت. در ادامه، به تفصیل هر یک از مراحل نامبرده شده شرح داده می‌شوند.

روش ارائه شده در این تحقیق ۵ مرحله کلی را شامل می‌شود که در نگاره ۲ قابل مشاهده است:

۱-۲-۲- آماده‌سازی مجموعه ویژگی‌های ورودی مشابه طبقه‌بندی‌کننده
در این مطالعه از سه منبع داده اصلی برای تولید ویژگی‌های ورودی به طبقه‌بندی‌کننده در هر سال استفاده

۱- آماده‌سازی مجموعه ویژگی‌های ورودی مشابه طبقه‌بندی‌کننده در سال تولید داده‌های آموزشی (۲۰۱۵) و سه سال هدف (۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰) برای بررسی تعمیم‌پذیری طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌یافته،



نگاره ۲: روندنمای کلی

جدول ۱: اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲

ماهواره	نوع قطبش	محدوده طول موجی	قدرت تفکیک مکانی (متر)	قدرت تفکیک زمانی (روز)
سنتینل-۱	عمودی-عمودی عمودی-افقی	باند C امواج مایکروویو	۱۰	۱۲
ماهواره	تعداد باندهای طیفی	محدوده طول موجی	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک زمانی (روز)
سنتینل-۲	۱۳	مرئی تا مادون قرمز	۴ باند ۱۰ متری، ۶ باند ۲۰ متری و ۳ باند ۶۰ متری	۵

از تصاویر راداری در دو قطبش^۳ عمودی - عمودی (VV) و عمودی - افقی (VH) به‌طور همزمان استفاده شده است. از آنجایی که مقدار انرژی برگشتی ثبت شده در تصاویر راداری وابسته به موقعیت قرارگیری عارضه به خط دید سکوی ماهواره است، از هر دو مدار صعودی^۴ و نزولی^۵ استفاده شده است (Chini & et al, 2018).

محدوده زمانی ابتدا تا انتهای شهریورماه به‌منظور فراخوانی تصاویر سنتینل-۱ و سنتینل-۲ در هر سال انتخاب شده است. به سبب تنوع درون کلاسی بالای هر دو کلاس مورد نظر به‌خصوص کلاس زمینه، از تصاویر سنتینل-۲ موجود در بازه زمانی ابتدا تا انتهای دو ماه تیر و مرداد نیز استفاده شده است. محدوده زمانی مورد استفاده به‌نحوی انتخاب شده است که تمایز کافی میان عوارض مختلف سطح زمین را تا حد زیادی فراهم آورد. همانطور که اشاره شد، در این مطالعه از طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌یافته برای تولید نقشه بلوک‌های ساختمانی در مقاطع زمانی مشابه سال‌های مختلف استفاده می‌شود.

به‌منظور حفظ تعمیم‌پذیری طبقه‌بندی‌کننده که مستلزم شباهت ویژگی‌های ورودی سال هدف با ویژگی‌های مورد استفاده در آموزش می‌باشد، از تصاویر موجود در بازه‌های زمانی یکسان در هر سال استفاده می‌شود. همچنین تلاش شده تا با استفاده حداکثری از پتانسیل تصاویر ماهواره‌ای

شده است. تصاویر ماهواره‌ای سنتینل به‌عنوان تصاویر ماهواره‌ای سنجش‌ازدوری در این مطالعه به‌کار گرفته می‌شوند، به‌نحوی که از تصاویر سطح C پروژه سنتینل-۲ به‌عنوان تصاویر نوری و از تصاویر سطح GRD^۱ ماهواره سنتینل-۱ به‌عنوان تصاویر رادار با روزنه مجازی استفاده شده است. در دسترس بودن این تصاویر به‌صورت رایگان در سامانه گوگل ارث‌انجین از ویژگی‌های مهم آن‌ها می‌باشد. همچنین قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب و امکان استفاده از سری‌های زمانی برای جداسازی هر چه بهتر کلاس‌های هدف، این دو منبع داده را در کاربردهای مختلف از جمله استخراج بلوک‌های ساختمانی مناسب می‌سازد. اطلاعات تصاویر سنتینل-۱ و ۲ مورد استفاده در جدول ۱، در اختیار گذاشته شده است. لازم به ذکر است، پیش‌پردازش‌های مربوط به تصاویر راداری برای تبدیل مقادیر انرژی ثبت‌شده در تصویر به ضرائب بازپراکنش سطح در سامانه گوگل ارث‌انجین به‌طور خودکار انجام پذیرفته است (Filipponi & Federico, 2019; Gorelick & et al, 2017).

از ویژگی شیب مستخرج از مدل رقومی ارتفاعی منطقه مطالعاتی نیز به‌عنوان یک ویژگی دیگر ورودی طبقه‌بندی‌کننده استفاده شده است. مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده از تصاویر راداری باند C ماهواره SRTM^۲ با روش تداخل‌سنجی راداری تک‌گذر در قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تولید شده است (Van Zyl & Jakob J, 2001).

3- Polarization

4- Ascending

5- Descending

1- Ground Range Detected

2- Shuttle Radar Topographic Mission

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (...)

تهیه نقشه بلوک‌های ساختمانی شهری در سامانه گوگل‌ارث‌انجین ... / ۱۳

دقت و توانایی طبقه‌بندی‌کننده در تفکیک دو کلاس هدف گردد. در همین راستا دو ویژگی شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI)^۱، شاخص تفاضل عوارض شهری نرمال شده (NDBI)^۲ از ۳ موزاییک تصاویر سنتینل-۲ محاسبه می‌شوند.

شاخص NDVI (Tucker & Compton J, 1978) بیان‌کننده رابطه نور مرئی قرمز (که معمولاً توسط کلروفیل گیاهان جذب می‌گردد) و مادون قرمز نزدیک (که توسط ساختارهای مزوفیلی برگ بازپراکنش می‌گردد) است و از رابطه (۱) پیروی می‌کند. باندهای ۴ و ۸ در تصاویر نوری سنتینل متناظر با این دو طول موج است.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

رابطه (۱)

شاخص NDBI (Zha et al, 2003) بیان‌کننده رابطه بین طول‌موج مادون قرمز متوسط و مادون قرمز است و از رابطه (۲) پیروی می‌کند. باندهای ۱۱ و ۸ در تصاویر نوری سنتینل متناظر با این دو طول موج است.

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR}$$

رابطه (۲)

به‌طور خلاصه ۱۱ ویژگی مختلف تولید شده، آماده ورود به طبقه‌بندی‌کننده می‌باشند:

- ۱- شاخص NDVI در سه زمان تیر، مرداد، شهریور (۳ ویژگی)،
- ۲- شاخص NDBI در سه زمان تیر، مرداد، شهریور (۳ ویژگی)،
- ۳- بازپراکنش سطح در قطبش VV تصاویر راداری در دو مدار صعودی و نزولی (۲ ویژگی)،
- ۴- بازپراکنش سطح در قطبش VH تصاویر راداری در دو مدار صعودی و نزولی (۲ ویژگی) و
- ۵- ویژگی شیب مدل رقومی ارتفاعی (۱ ویژگی).

لازم به ذکر است به‌منظور بررسی اثر ویژگی شیب مدل رقومی ارتفاعی و قطبش تصاویر راداری در دقت نتایج

رایگان و گوگل‌ارث‌انجین، میانه‌ی مقاطع زمانی یک ماهه به‌عنوان مقادیر ثبت شده در تصاویر نوری و راداری برای هر مکان انتخاب گردد. این مورد علاوه بر این‌که سبب متأثر بودن تصاویر تولیدشده از پدیده‌های پایدار سطح می‌گردد، اثرپذیری کمتری از نویز و شرایط ناپایدار خواهد داشت (Carrasco et al, 2019).

همچنین این روش، به نوعی یک پیش‌پردازش مناسب برای تصاویر ماهواره‌ای نیز می‌باشد. از آنجایی که اثر اسپکل خود را به‌صورت خیلی روشن یا خیلی تیره در تصویر نشان می‌دهد و همچنین توجه به ماهیت ایستای بلوک‌های ساختمانی و عوارض شهری، انتخاب مقادیر میانه موجود در بازه زمانی یک ماهه منجر به کاهش این اثر می‌گردد. همچنین در مورد تصاویر نوری، در عین حذف نویزهای احتمالی ناشی از اتمسفر و سایر خطاهای احتمالی سنجنده، امکان تولید موزائیک‌های تصویری ماهیانه بدون ابر از منطقه مطالعاتی را فراهم می‌نماید. به‌کارگیری چنین تکنیک‌هایی صرفاً با در دست بودن سامانه‌های ابری نظیر گوگل‌ارث‌انجین میسر خواهد بود.

در مجموع حدود ۷۰ تصویر از سامانه گوگل‌ارث‌انجین با سرعت بالا در هر سال فراخوانی می‌شود که در تولید ۷ موزائیک تصویری مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- ۱- سه موزائیک از تصاویر سنتینل-۲ در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور،
- ۲- دو موزائیک از تصاویر راداری سنتینل-۱ در ماه شهریور با قطبش VV در دو مدار صعودی و نزولی و
- ۳- دو موزائیک از تصاویر راداری سنتینل-۱ در ماه شهریور با قطبش VH در دو مدار صعودی و نزولی.

لازم به ذکر است یک فیلتر میانگین ۳x۳ نیز به‌منظور کاهش بیشتر اثر اسپکل روی هر موزاییک تصاویر راداری اعمال می‌شود. به سبب تنوع درون‌کلاسی بالای هر دو کلاس زمینه و بلوک‌های ساختمانی، استفاده از شاخص‌های مستخرج از تصاویر نوری به جای باندهای تصویری، علاوه بر کاهش حجم و زمان محاسبات، می‌تواند منجر به افزایش

1- Normalized Difference Vegetation Index

2- Normalized Difference Built-up Index

شهری و آب متناظر با سال ۲۰۱۵ تولید شده و با نام «نقشه مرجع شهری سال ۲۰۱۵» در این تحقیق شناخته شده است. باتوجه به بررسی‌های صورت گرفته، سایر عوارض درون شهری نظیر پوشش‌های گیاهی، خاک لخت و راه‌ها در کلاس ساختمانی این نقشه مرجع حضور داشته و به‌منظور تولید داده‌های آموزشی از کلاس بلوک‌های ساختمانی به‌صورت مستقیم مناسب نمی‌باشد که در نگاره ۳ نمونه‌ای از آن نشان داده شده است. در این نگاره، سمت چپ تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (Google Earth) و تصاویر سمت راست، نقشه شهری مرجع اولیه بدون انجام هرگونه فرآیند پالایشی را نشان می‌دهند.

به سبب وجود عوارض مختلف شهری در نقشه مرجع مورد استفاده، تولید داده‌های آموزشی متناظر با دو کلاس زمینه و بلوک‌های ساختمانی طی یک فرآیند پالایشی سختگیرانه انجام پذیرفته است. همانطور که در نگاره ۲ قابل ملاحظه است، این فرآیند در ۴ گام مختلف انجام شده که در ادامه هر یک از مراحل مورد نظر شرح داده خواهد شد. لازم به ذکر است داده‌های آموزشی برای سال ۲۰۱۵ تولید شده و طبقه‌بندی‌کننده با مجموعه ویژگی‌های متناظر تصاویر سال ۲۰۱۵ آموزش می‌بیند. پیش‌بینی طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌یافته روی مجموعه ویژگی سال‌های هدف (۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰)، نقشه بلوک‌های ساختمانی را تولید می‌نماید.

گام اول- حذف نواحی متناظر راه‌ها به کمک نقشه مکانی OSM که به‌صورت رایگان در دسترس عموم قرار گرفته است. **گام دوم-** از آنجایی که عوارض ساختمانی عمدتاً در تصاویر راداری بازتاب قوی‌تری نسبت به سایر عوارض دارند (Chini et al., 2018) حذف اولیه برخی مناطق که مقادیر بازپراکنش آن‌ها از رابطه‌ی (۳) پیروی می‌کند، صورت می‌پذیرد.

$$\mu > \sigma^2$$

رابطه (۳)

لازم به ذکر است در رابطه (۳)، μ میانگین ضریب بازپراکنش

به‌دست آمده، ترکیبات مختلفی از ویژگی‌های مطرح شده مورد استفاده و بررسی قرار خواهند گرفت که در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲: مجموعه ویژگی‌های مختلف ورودی طبقه‌بندی‌کننده

شماره	مجموعه ویژگی‌های ورودی	تعداد ویژگی‌ها
۱	۳ شاخص NDVI، ۳ شاخص NDBI، ۲ قطبش VH، ۲ قطبش VV، شیب	۱۱
۲	۳ شاخص NDVI، ۳ شاخص NDBI، ۲ قطبش VH، ۲ قطبش VV	۱۰
۳	۳ شاخص NDVI، ۳ شاخص NDBI، ۲ قطبش VV، شیب	۹
۴	۳ شاخص NDVI، ۳ شاخص NDBI، شیب	۷

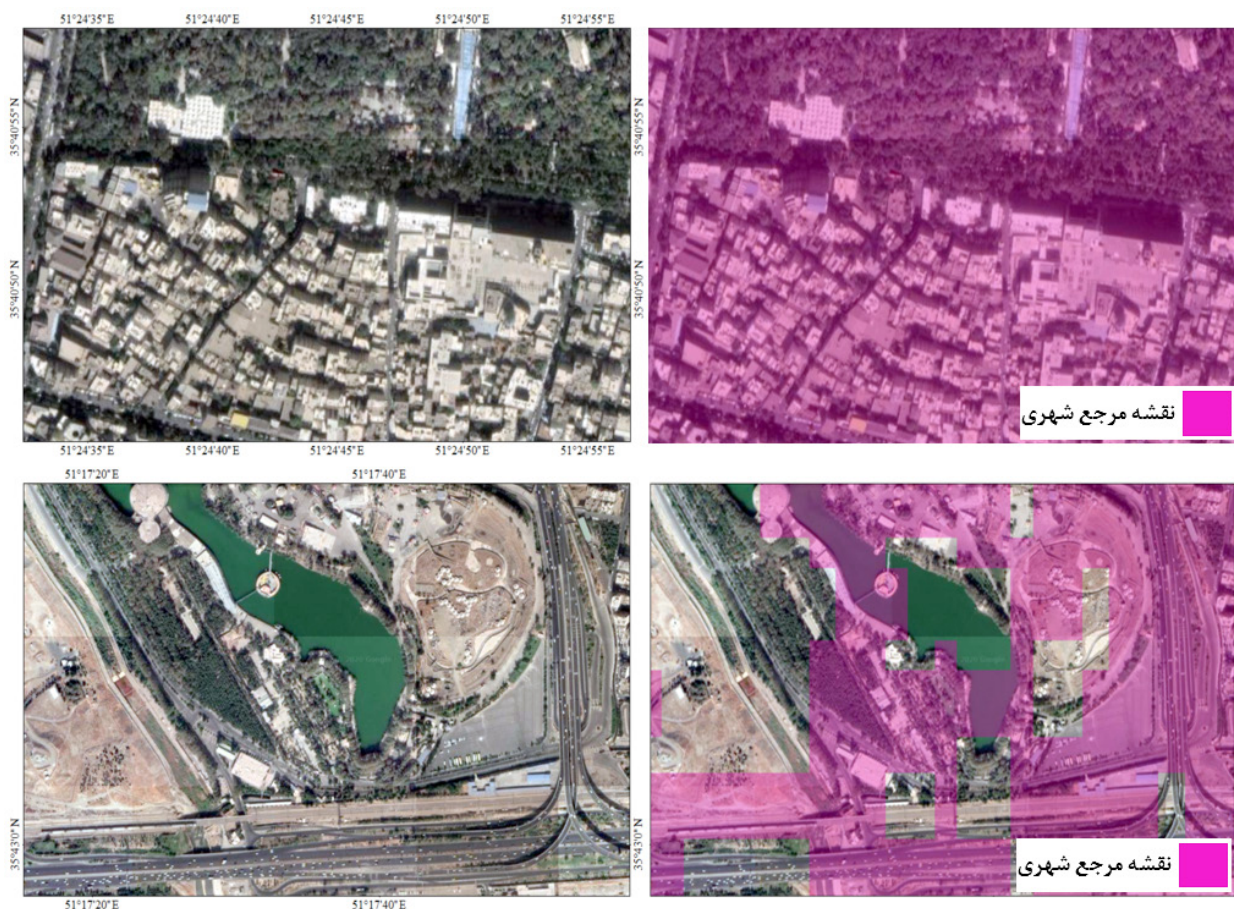
۲-۲-۲- فرآیند پالایشی جهت تولید نمونه‌های آموزشی

امروزه نقشه‌های پوشش‌زمینی مرجع فراوانی در مقیاس جهانی تولید شده و در اختیار عموم قرار گرفته است (Pesaresi et al, 2016). در تولید این نقشه‌های مرجع از تصاویر ماهواره‌های مختلفی نظیر Spot-Vegetation (Bartholome et al, 2005)، MERIS (Bontemps et al, 2011) و MODIS (Schneider et al, 2010) استفاده شده است. قدرت تفکیک مکانی عمده محصولات تولید شده بیش از ۲۵۰ متر می‌باشد. این قدرت تفکیک مکانی پایین در قیاس با ابعاد عوارض شهری و بلوک‌های ساختمانی، منجر به عدم در نظرگیری اطلاعات جزئی شده و عملاً در تصمیم‌گیری‌های شهری کمک شایانی نمی‌کنند (Pesaresi et al, 2016). مرکز فضایی آلمان به کمک تصاویر با قطبش افقی - افقی زوج ماهواره راداری مأموریت تاندم، نقش‌های پوششی از سطح زمین با قدرت تفکیک مکانی ۵۰ متر در مقیاس جهانی تولید نموده و آن‌را به‌صورت رایگان در اختیار عموم قرار داده است (Martone et al, 2018).

نقشه مذکور در چهار کلاس جنگل، غیرجنگل، عوارض

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

تهیه نقشه بلوک‌های ساختمانی شهری در سامانه گوگل ارث انجین ... / ۱۵



نگاره ۳: حضور سایر عوارض درون شهری در کلاس شهری نقشه مرجع اولیه

Chandra, 1936) انجام می‌پذیرد. به نحوی که پس از محاسبه این فاصله و اعمال یک حد آستانه خودکار، نواحی با رفتار طیفی متفاوت از مناطق شهری باقیمانده کنار گذاشته می‌شوند. حد آستانه انتخاب شده از الگوریتم آستانه‌گذاری خودکار (Otsu & Nobuyuki, 1979) استخراج شده است. با انجام فرآیند سختگیرانه مطرح شده، امکان اخذ داده‌های آموزشی از کلاس بلوک‌های ساختمانی بدون نیاز به داده واقعیت زمینی یا تفاسیر بصری فراهم می‌گردد. لازم به ذکر است، نمونه‌های آموزشی کلاس زمینه از کلاس غیرشهری نقشه مرجع اولیه به دست می‌آیند. از هر کلاس ده هزار نمونه به صورت تصادفی و با توزیع یکسان در کل منطقه، به عنوان داده آموزشی در طبقه‌بندی کننده استفاده می‌شوند.

مناطق متناظر با نقشه شهری خام اولیه و مقدار σ^2 ضریب بازپراکنش ناحیه مربوطه در تصاویر راداری با قطبش VV هم در مدار صعودی و هم در مدار نزولی می‌باشند. گام سوم- از مناطق باقیمانده، نواحی که حداقل در یکی از بازه‌های یک ماهه مذکور مقدار NDVI بیشتر از یک حد آستانه مشخص دارند حذف می‌گردند. این مناطق را می‌توان به پوشش‌های گیاهی و زراعی درون و برون شهری نسبت داد. لازم به ذکر است این مقدار حد آستانه برابر ۰/۲ در نظر گرفته شده که از تفسیر تجربی مقادیر NDVI مناطق شهری و غیرشهری به دست آمده است. این مورد به حذف پوشش گیاهی درون شهری و برون شهری احتمالی منجر می‌شود. گام چهارم- پالایش نهایی مناطق باقیمانده شهری به کمک فاصله ماهالانابیس (J. A. Richards, 1999; Mahalanobis &)

۲-۲-۳- داده‌های ارزیابی

داده‌های ارزیابی در دو کلاس بلوک‌های ساختمانی و زمینه نیز از تفسیر بصری تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (Google Earth) برای هر سه سال ۲۰۱۸، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ فراهم می‌شوند. به علت روند متفاوت آماده‌سازی داده‌های آموزشی از ارزیابی، نتایج حاصل از ارزیابی نتایج می‌تواند علاوه بر سنجش روش ارائه شده در تولید داده‌های آموزشی، تعمیم‌پذیری طبقه‌بندی‌کننده در سال‌های مختلف را نیز به خوبی مورد ارزیابی قرار دهند. تعداد نمونه‌های ارزیابی از هر دو کلاس بلوک ساختمانی و زمینه برای سه سال هدف در جدول ۳ مشخص شده است. فرآیند جمع‌آوری داده‌های ارزیابی به نحوی انجام شده است تا نمونه‌های مرجع از توزیع خوبی در سطح منطقه مطالعاتی برخوردار باشند. همچنین هر سه مجموعه داده ارزیابی کاملاً به صورت مستقل از یکدیگر آماده‌سازی شده است تا به خوبی خاصیت تعمیم‌پذیری روش ارائه شده در هر سال را مورد ارزیابی قرار دهند.

جدول ۳: تعداد نمونه‌های ارزیابی در سال‌های مختلف

سال هدف	تعداد نمونه‌های ارزیابی	
	بلوک‌های ساختمانی	زمینه
۲۰۱۸	۹۲۵۳	۱۰۸۲۶
۲۰۱۹	۹۵۵۶	۱۰۲۶۴
۲۰۲۰	۹۱۹۵	۱۰۰۹۳

۲-۲-۴- آموزش طبقه‌بندی‌کننده و تهیه نقشه بلوک‌های

ساختمانی در سال‌های هدف

همانطور که اشاره شد، داده آموزشی تهیه شده مربوط به سال ۲۰۱۵ است. آموزش طبقه‌بندی‌کننده روی مجموعه داده سال ۲۰۱۵ انجام می‌پذیرد. پیش‌بینی طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌دیده در سال‌های هدف (۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰) روی مجموعه ویژگی‌های مشابه، نقشه بلوک‌های ساختمانی را به دست می‌دهد. در این فرآیند عملکرد سه روش طبقه‌بندی نظارت‌شده جنگل تصادفی (RF)، (Pal & Mahesh)

(2005)، کمترین فاصله (MD) (J. A. Richards, 1999) با معیار فاصله ماهالانایس و ماشین بردار پشتیبان^۱ (SVM) (Hsu et al, 2003) مورد بررسی قرار خواهد گرفت. طبقه‌بندی‌کننده جنگل تصادفی از یکی از انواع روش‌های تجمیعی^۲ بوده که به واسطه استفاده تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری ساده، هر نمونه را به کلاس‌های مورد بررسی نسبت می‌دهد. هر درخت تصمیم‌گیری به واسطه انتخاب تصادفی تعدادی از نمونه‌های آموزشی ایجاد می‌شود. هر گره^۳ در درخت‌های تصمیم‌گیری، توسط تعداد مشخصی انشعاب از ویژگی‌ها به گره پایینی متصل شده تا نهایتاً کلاس نمونه مجهول توسط هر درخت مشخص شود. این تعداد انشعاب در هر گره توسط کاربر تعیین می‌گردد. سپس از روش رأی‌گیری اکثریت^۴ روی نتایج خروجی درخت‌های مورد استفاده، کلاس نمونه تعیین می‌شود. لازم به ذکر است، تعداد درخت‌های تصمیم‌گیری، دیگر پارامتر ورودی این روش می‌باشد (Pal & Mahesh, 2005).

در روش MD، کلاس نمونه مجهول، مشابه با نمونه‌ای خواهد بود که کمترین فاصله از آن را اختیار کرده است. به عبارت بهتر، کلاس نمونه مجهول، کلاس نزدیک‌ترین نمونه مرجع به آن می‌باشد. معیار فاصله در این مطالعه، معیار فاصله ماهالانایس در نظر گرفته شده است. فاصله اقلیدسی حالت خاصی از فاصله ماهالانایس می‌باشد. در این معیار برخلاف فاصله اقلیدسی، همبستگی بین متغیرها نیز در نظر گرفته می‌شود و به تصمیم‌گیری صحیح‌تر منجر می‌شود (J. A. Richards, 1999).

روش SVM، از جمله روش‌های غیرپارامتریک آماری برای طبقه‌بندی می‌باشد. این روش، از طریق تعریف یک ابرصفحه بین داده‌های آموزشی، امکان طبقه‌بندی نمونه‌های مختلف را فراهم می‌آورد. ساده‌ترین نوع SVM، نوع خطی آن بوده که در مسائل پیچیده، دقت قابل‌قبولی به دست

1- Support Vector Machine

2- Ensemble

3- Node

4- Majority Voting

جدول ۴: ماتریس ابهام طبقه‌بندی

		کلاس واقعی		
		بلوک‌های ساختمانی	زمینه	مجموع
پیش‌بینی	بلوک‌های ساختمانی	p_{11}	p_{21}	p_{+1}
	زمینه	p_{12}	p_{22}	p_{+2}
	مجموع	p_{1+}	p_{2+}	N

با استفاده از معیارهای مختلف دقت، ارزیابی نتایج ارائه شده انجام می‌پذیرد. این معیارها به ترتیب دقت کلی^۴ (OA)، دقت کاربر^۵ (UA)، دقت تولیدکننده^۶ (PA) و همچنین امتیاز F (F-Score) می‌باشند. روابط ریاضی معیارهای مورد استفاده در مجموعه روابط (۴) ارائه شده است.

$$\text{User accuracy} = \frac{P_{kk}}{P_{k+}} \quad \text{Producer accuracy} = \frac{P_{kk}}{P_{+k}}$$

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\sum_{k=1}^n P_{kk}}{N} \quad F\text{-score} = 2 \times \frac{UA \times PA}{UA + PA}$$

مجموعه روابط (۴)

۳- ارائه و بررسی نتایج

در نگاره ۴ نتیجه فرآیند پالایشی شرح داده شده برای قسمتی از منطقه مطالعاتی نشان داده شده است. نگاره ۴- الف یک تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (Google Earth) در سال ۲۰۱۵ از منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. در نگاره ۴- ب، نقشه مرجع شهری اولیه بدون انجام هیچگونه عملیات پردازشی نشان داده شده است. نگاره ۴- ج، نقشه اولیه تولیدشده از فرآیند پالایشی مطرح شده را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، روش پالایشی سختگیرانه توانسته است مناطق متناظر با بلوک‌های

نمی‌دهد. لذا از روش تعیین نوع کرنل به منظور تغییر بعد فضای داده‌های موردنظر استفاده شده تا تفکیک پذیری کلاس‌ها حاصل شود (Hsu et al, 2003).

نوع کرنل توسط کاربر معرفی می‌شود. همچنین از یک ضریب هزینه^۱ (C) برای جریمه نمونه‌های آموزشی، استفاده می‌شود. مقادیر کوچک C، امکان وجود خطا در تعیین کلاس نمونه‌های آموزشی را باعث می‌شود. در حالی که مقادیر بزرگ آن، با ایجاد یک مرز پیچیده، خطای موجود در نمونه‌های آموزشی را به حداقل می‌رساند. پیاده‌سازی هر سه طبقه‌بندی‌کننده و فرآیند آموزش و ارزیابی آن‌ها در سامانه گوگل ارث انجین انجام پذیرفته است. همچنین تعیین پارامترهای بهینه دو روش RF و SVM از طریق جست‌وجوی شبکه‌ای^۲ بر مبنای دقت کلی به دست آمده است.

در روش جنگل تصادفی، تعداد درخت ۳۰۰ و تعداد ۲ ویژگی در هر انشعاب تعیین شده است. همچنین در روش ماشین بردار پشتیبان نوع کرنل تابع پایه شعاعی^۳ و مقدار پارامتر (C) یک در نظر گرفته شده است.

۲-۲-۵- ارزیابی دقت

به منظور ارزیابی دقت نتایج به دست آمده، از عملکرد طبقه‌بندی‌کننده در تشخیص صحیح داده‌های ارزیابی دو کلاس بلوک‌های ساختمانی و زمینه استفاده شده است. بنابراین ماتریس ابهام طبقه‌بندی‌کننده و معیارهای دقت، سنجش عملکرد روش ارائه شده را برعهده خواهند داشت. از آنجایی که نقشه تولید شده از دو کلاس بلوک‌های ساختمانی و زمینه برخوردار است، ماتریس ابهام نتایج حاصل از طبقه‌بندی به فرم جدول ۴ خواهد بود. در این جدول P_{ij} تعداد نمونه‌های متعلق به کلاس j می‌باشند در حالی که به کلاس i نسبت داده شده‌اند. N نیز تعداد کل نمونه‌های ارزیابی است.

4- Overall Accuracy

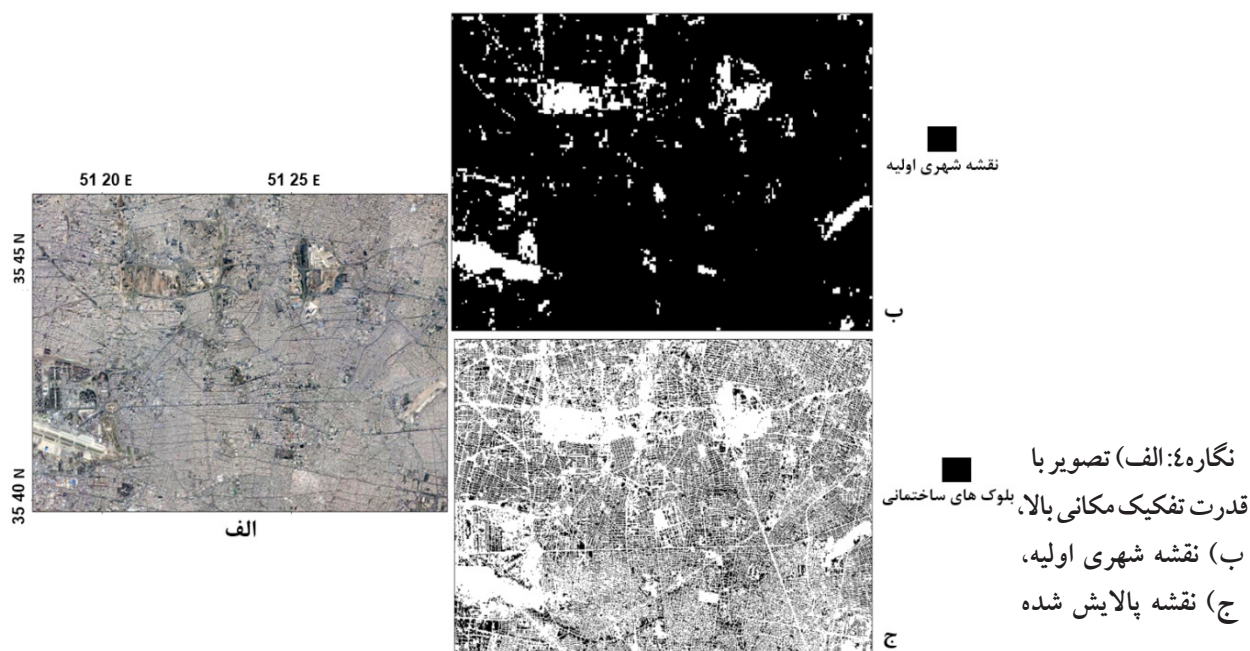
5- User Accuracy

6- Producer Accuracy

1- Cost

2- Grid Search

3- Radial Based Function



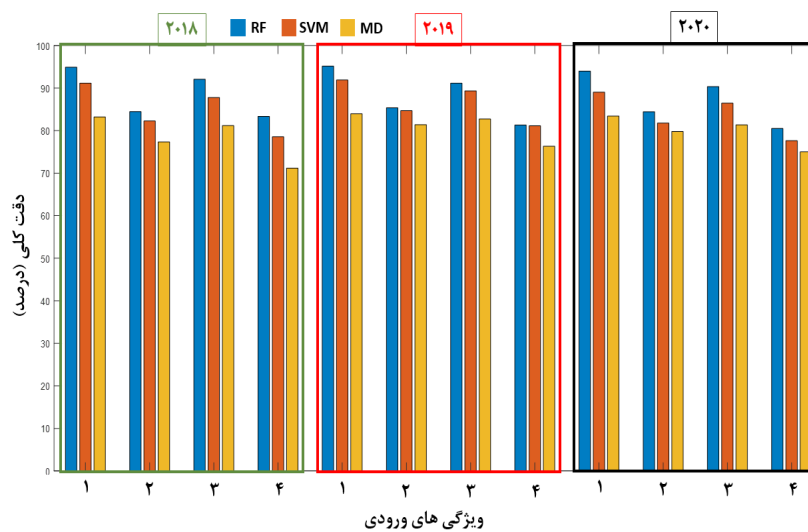
سنجش قرار می گیرد. در نگاره ۵ نتایج به دست آمده با استفاده از معیار دقت کلی طبقه بندی در سه سال هدف برای مجموعه ویژگی های مختلف ارائه شده است. همانطور که مشخص است، در هر سه سال هدف، روش جنگل تصادفی به ازای ورودی های مختلف بهترین عملکرد را از خود نشان داده است. طبقه بندی کننده های SVM و MD نیز به ترتیب در رتبه های بعدی قرار می گیرند. به ازای ویژگی های ورودی مختلف، مجموعه ویژگی (۱) در هر طبقه بندی کننده بهترین دقت کلی را به دست داده است. به عبارت بهتر حضور همزمان دو قطبش VH و VV به همراه ویژگی شیب در کنار دو شاخص NDVI و NDBI در معیار دقت کلی بهترین دقت کلی طبقه بندی را حاصل نموده است. پس از آن به ترتیب مجموعه ویژگی های (۳) و (۲) بالاترین دقت های کلی را به دست آورده اند. وجود ویژگی شیب نسبت به ویژگی VH تصاویر راداری، تأثیر بیشتری در نتایج خروجی از خود نشان داده است. مجموعه ویژگی (۴) نیز در هر سال به ازای هر طبقه بندی کننده کمترین دقت را به دست آورده است.

ساختمانی را حفظ نماید. در ادامه به بررسی صحت و دقت نقشه بلوک های ساختمانی به دست آمده در سه سال هدف پرداخته می شود.

ارزیابی روش ارائه شده به چهار منظور صورت می پذیرد:

- ۱- بررسی تعمیم پذیری زمانی روش ارائه شده و
- ۲- بررسی عملکرد مناسب یا نامناسب فرآیند پالایشی سختگیرانه در تولید داده های آموزشی،
- ۳- بررسی عملکرد سه روش طبقه بندی نظارت شده RF، SVM و MD و

۴- بررسی تأثیر برخی از ویژگی های ورودی در نتایج نهایی. ارزیابی دقت با استفاده از داده های ارزیابی شرح داده شده صورت پذیرفته است. نتایج کمی به دست آمده در معیارهای مختلف در هر سال می تواند در سنجش تعمیم پذیری زمانی روش ارائه شده استفاده گردد. همچنین، تفاوت روند جمع آوری داده های آموزشی و ارزیابی، امکان سنجش فرآیند ارائه شده در تولید داده های آموزشی را نیز فراهم می آورد. به طور همزمان عملکرد طبقه بندی کننده های مورد نظر و تأثیر برخی از ویژگی های ورودی (جدول ۲) در نتایج نهایی نیز با استفاده از معیارهای مختلف، مورد



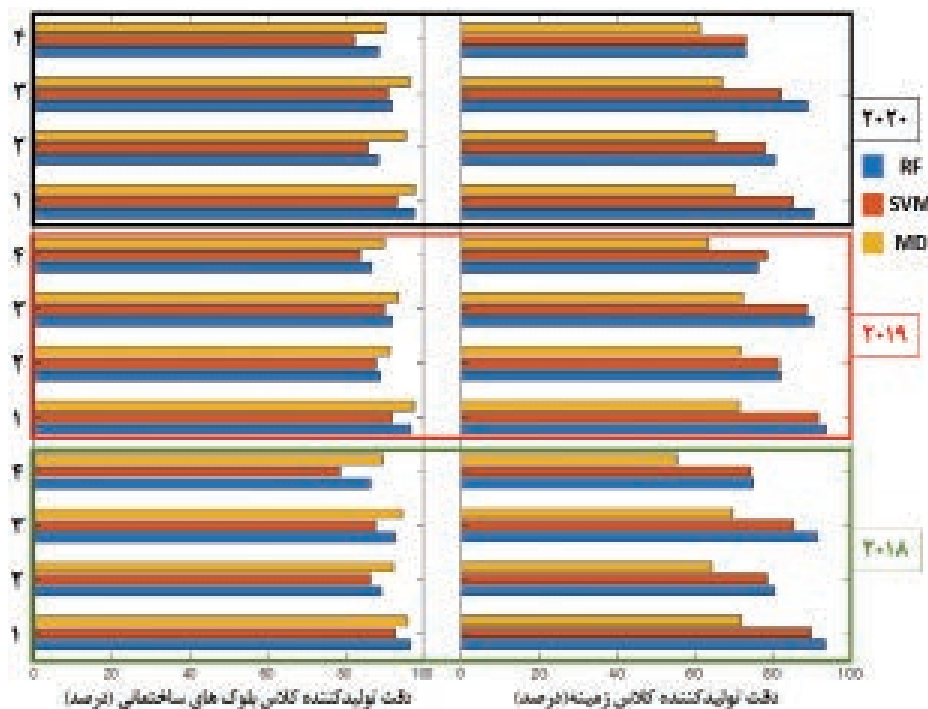
نگاره ۵: ارزیابی نتایج به‌دست آمده با استفاده از معیار دقت کلی

است. در مورد کلاس زمینه روش RF عملکرد مطلوبی از خود نشان داده است. به‌طور کلی می‌توان گفت روش RF بهترین عملکرد را در تشخیص همزمان کلاس بلوک‌های ساختمانی و زمینه از خود نشان داده است.

مشابه با معیار دقت کلی، مجموعه ویژگی (۱) بالاترین دقت کاربر دو کلاس مدنظر را در هر سال به‌دست آورده است. لازم به ذکر است همانگونه که در معیار دقت کلی اشاره شد، وجود ویژگی شیب به جای ویژگی VH، در کنار ویژگی VV افزایش دقت کلی طبقه‌بندی را به همراه داشت. این مورد در معیار دقت کاربر دو کلاس مورد نظر نیز خود را به‌خوبی نشان داده است. همانطور که مشخص است، استفاده از ویژگی شیب (حالت ۳) افزایش مؤثر بیش از ۱۰ درصدی در دقت کاربر کلاس زمینه نسبت به استفاده از ویژگی VH (حالت ۲) را نشان می‌دهد. این مورد در کلاس بلوک‌های ساختمانی افزایش حدود ۵ درصدی را نشان می‌دهد. در حالت استفاده از مجموعه ویژگی (۱) دقت کاربر هر دو کلاس در طبقه‌بندی‌کننده RF مقدار بالای ۹۰ درصد را به‌دست آورده است. نتایج کمی قابل قبول از حیث دقت کاربر هر کلاس نیز، تعمیم‌پذیری زمانی طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌دیده را نشان می‌دهد. همچنین روش ارائه شده به‌منظور جمع‌آوری داده‌های آموزشی نیز عملکرد مناسبی از خود نشان داده است.

به عبارتی عدم حضور ویژگی متناظر تصاویر راداری، موجب کاهش قابل توجه دقت کلی طبقه‌بندی بلوک‌های ساختمانی شده است. لازم به ذکر است حضور ویژگی VH تصاویر راداری در کنار ویژگی VV تصاویر راداری (مقایسه بین ویژگی‌های ۱ و ۳)، افزایش دقت کلی را به ارمغان می‌آورد. همچنین نتایج کمی به‌دست آمده و دقت‌های کلی بالای ۸۰ درصد در عمده حالت‌های مورد بررسی، دو نتیجه مختلف را نشان می‌دهد. اول این که طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌یافته در معیار دقت کلی قابلیت تعمیم‌پذیری زمانی مناسبی از خود نشان داده و در سال‌های هدف دقت‌های قابل قبولی به‌دست داده است. دوم این که با توجه به فرآیند مختلف جمع‌آوری داده‌های آموزشی و ارزیابی، روش پالایشی سختگیرانه به‌منظور تولید داده‌های آموزشی عملکرد مناسبی از خود به نمایش گذاشته است.

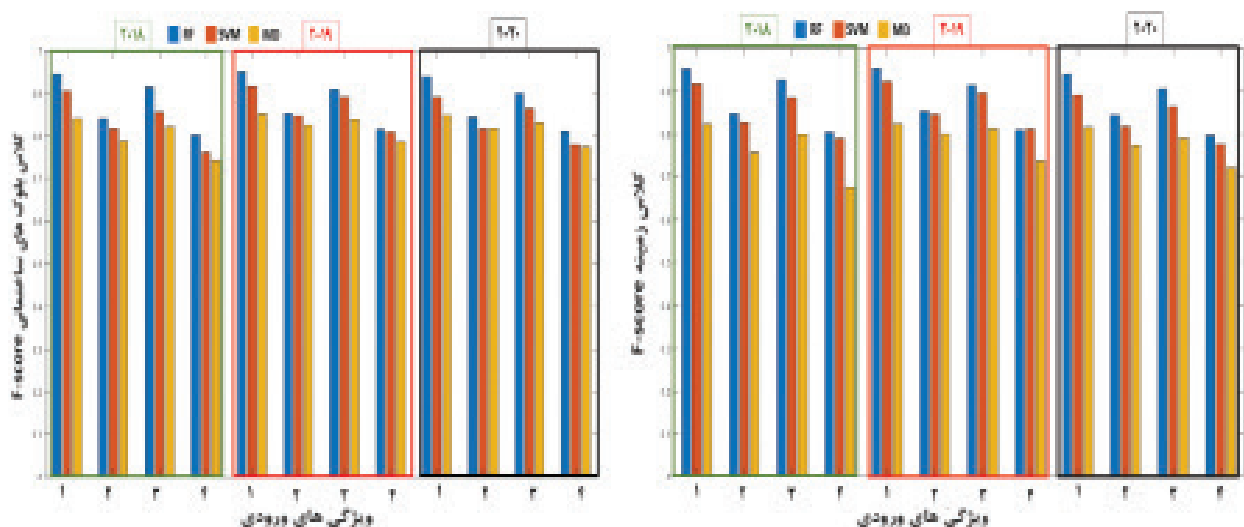
نتایج به‌دست آمده از منظر دقت کاربر دو کلاس بلوک‌های ساختمانی و زمینه نیز در نگاره ۶ مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که مشخص است در هر سه سال، طبقه‌بندی‌کننده MD، از بهترین دقت تشخیص در کلاس بلوک‌های ساختمانی نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است. دو طبقه‌بندی‌کننده RF و SVM نیز به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند. اما در مورد کلاس زمینه، روش MD عملکرد ضعیفی نسبت به دو روش دیگر از خود نشان داده



نگاره ۶: دقت کاربر دو کلاس زمینه و بلوک‌های ساختمانی

هر سه سال هدف از خود نشان داده است. در این پارامتر نیز بهترین دقت به دست آمده مربوط به مجموعه ویژگی (۱) می‌باشد. از نتایج کمی مناسب این معیار نیز دو نتیجه کلی قابلیت تعمیم‌پذیری زمانی طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌یافته و عملکرد مناسب روش پالایشی سختگیرانه به منظور تولید داده‌های آموزشی، قابل درک است.

بررسی عملکرد روش ارائه شده با استفاده از پارامتر F-score با در نظرگیری همزمان دقت تولیدکننده و کاربر هر دو کلاس مدنظر نیز در نگاره ۷ انجام پذیرفته است. همانطور که مشخص است مشابه با بررسی‌های قبلی، در این معیار در هر دو کلاس بلوک‌های ساختمانی و زمینه، روش RF نسبت به سایر روش‌ها عملکرد مطلوب‌تری را در



نگاره ۷: بررسی F-score کلاس‌های زمینه و بلوک‌های ساختمانی در همه حالات

جدول ۵: ماتریس ابهام طبقه‌بندی سال ۲۰۱۸

RF	کلاس واقعی			
		بلوک‌های ساختمانی	زمینه	مجموع
کلاس پیش‌بینی شده	بلوک‌های ساختمانی	۸۹۵۲	۷۲۲	۹۶۷۴
	زمینه	۳۰۱	۱۰۱۰۴	۱۰۴۰۵
	مجموع	۹۲۵۳	۱۰۸۲۶	۲۰۰۷۹
SVM	کلاس واقعی			
		بلوک‌های ساختمانی	زمینه	مجموع
کلاس پیش‌بینی شده	بلوک‌های ساختمانی	۸۵۹۰	۱۱۱۴	۹۷۰۴
	زمینه	۶۶۳	۹۷۱۲	۱۰۳۷۵
	مجموع	۹۲۵۳	۱۰۸۲۶	۲۰۰۷۹
MD	کلاس واقعی			
		بلوک‌های ساختمانی	زمینه	مجموع
کلاس پیش‌بینی شده	بلوک‌های ساختمانی	۸۸۹۲	۳۰۱۱	۱۱۹۰۳
	زمینه	۳۶۱	۷۸۱۵	۸۱۷۶
	مجموع	۹۲۵۳	۱۰۸۲۶	۲۰۰۷۹

۳-۱- بحث

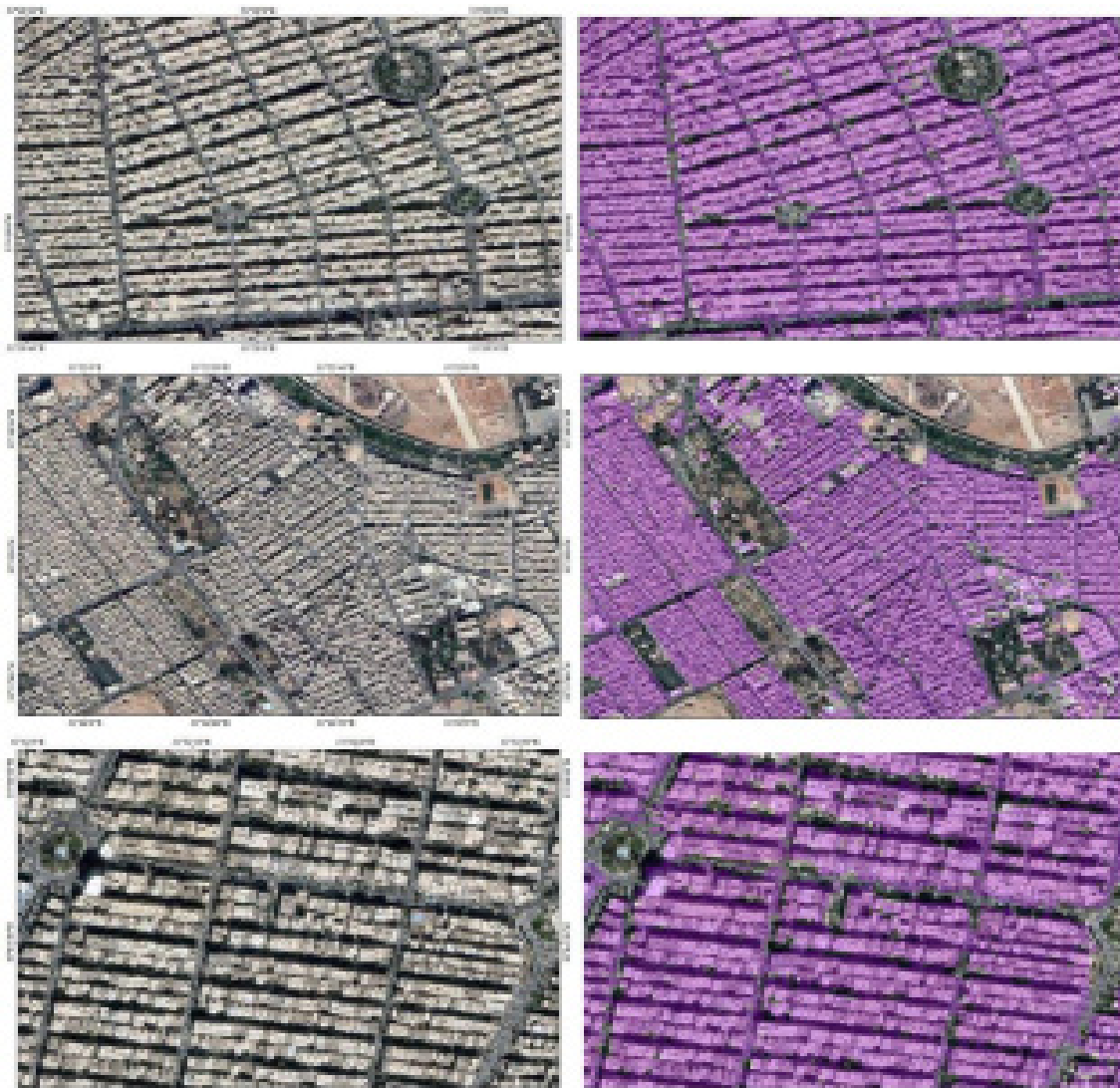
در این قسمت نتایج به‌دست آمده پژوهش کنونی با برخی از مطالعات مشابه سال‌های اخیر مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در جدول ۶، خلاصه‌ای از مطالعات مورد بررسی و دقت نهایی به‌دست آمده در این مطالعات نمایش داده شده است.

جدول ۶: مقایسه نتایج با سایر پژوهش‌های مشابه

مطالعه	دقت کلی (درصد)
(Qiu et al, 2020)	۹۰
(Li et al, 2019)	۸۴
(Grippa et al., 2018)	۸۴
(Luo et al., 2019)	۸۹/۲
(Zong et al., 20)	۸۳/۷۵
پژوهش کنونی	۹۳

همچنین ماتریس ابهام سه روش مورد استفاده در سال ۲۰۱۸، به‌ازای مجموعه ویژگی‌های (۱) در جدول ۵ نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است، طبقه‌بندی‌کننده آموزش یافته قابلیت تعمیم‌پذیری زمانی خود را به‌خوبی حفظ کرده است. همچنین از نتایج کمی به‌دست آمده، قابل قبول بودن روش ارائه شده به‌منظور تولید داده‌های آموزشی قابل درک است.

در نگاره ۸ نقشه بلوک‌های ساختمانی در سال ۲۰۲۰ حاصل از روش جنگل تصادفی و مجموعه ویژگی‌های (۱)، نشان داده شده است. همانطور که در صحنه‌های مختلف این شکل مشخص است، روش ارائه شده به‌خوبی توانسته است بلوک‌های ساختمانی را استخراج نماید. همچنین روش ارائه شده به‌خوبی توانایی تفکیک بین پوشش گیاهی، خاک لخت درون شهری و سایر عوارض شهری با عوارض ساختمانی را داشته است.



نگاره ۸: ارزیابی بصری نقشه بلوک‌های ساختمانی تولیدشده

است. هر دو مطالعه مذکور از شبکه‌های عمیق با توانایی استخراج ویژگی‌های سطح بالا استفاده نموده‌اند. حال آنکه در این مقاله، روش پیشنهادی با به‌کارگیری منابع مختلف داده‌های سنجش‌ازدوری، به دقت ۹۳ درصد رسیده است. از طرفی در (Grippa et al., 2018)، به ارائه یک روش نوین برای تولید نقشه‌های پوشش زمینی با تأکید بر استخراج بلوک‌های ساختمانی شهری با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده RF پرداخته شده است. روش ارائه شده در تحقیق مذکور موفق به کسب دقت کلی ۸۴ درصد شده است. همچنین در (Luo et al., 2019)، لو و همکاران از تلفیق اطلاعات حاصل از

در (Qiu et al, 2020) تنها با استفاده از ۱۰ باند با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ و ۲۰ متری تصاویر نوری سنتینل-۲ و به‌کارگیری یک شبکه عصبی پیچشی عمیق، تولید نقشه ساختمان‌ها در ۱۱ منطقه مطالعاتی مختلف دنبال شده است. میانگین دقت نهایی برآورد شده برای مناطق مطالعاتی این تحقیق حدود ۹۰ درصد تخمین زده شده است. همچنین در (Li et al, 2019)، تولید نقشه تغییرات ساختمانی با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و به‌کارگیری یک شبکه عمیق Unet انجام پذیرفته است. میانگین دقت‌های کلی در هر سه منطقه مطالعاتی مورد ارزیابی، حدود ۸۴ درصد به‌دست آمده

با استفاده از مجموعه ویژگی‌های ورودی یکسان در مقاطع زمانی مشابه سه سال هدف ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰، نقشه بلوک‌های ساختمانی را تولید می‌نماید.

از تصاویر راداری و نوری سنتینل-۱ و ۲ به همراه مدل رقومی ارتفاعی برای تولید مجموعه ویژگی‌های مشابه ورودی طبقه‌بندی‌کننده در هر سال استفاده شده است. به‌منظور تولید موزاییک‌های تصویری از منطقه مطالعاتی، از میانه مقادیر تصاویر موجود در بازه‌های زمانی یک ماهه استفاده گردید. داده‌های ارزیابی مورد نیاز از تفسیر بصری تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (گوگل ارث) در هر سال هدف به‌دست آمدند. تفاوت روند جمع‌آوری داده‌های آموزشی و ارزیابی، علاوه بر بررسی تعمیم‌پذیری زمانی طبقه‌بندی‌کننده آموزش دیده، عملکرد روش ارائه شده در تولید داده‌های آموزشی را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد. سه طبقه‌بندی‌کننده جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و کمترین فاصله در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین این بررسی به‌ازای حالت‌های مختلف از ویژگی‌های ورودی انجام پذیرفت.

طی بررسی‌های به‌عمل آمده، وجود ویژگی شیب نسبت به ویژگی VH تصاویر راداری، افزایش دقت طبقه‌بندی را به دنبال دارد. حال آنکه عدم حضور ویژگی VV، منجر به کاهش دقت قابل توجه تشخیص هر دو کلاس زمینه و بلوک‌های ساختمانی شده است. از نظر تعمیم‌پذیری زمانی طبقه‌بندی‌کننده آموزش دیده، روش جنگل تصادفی به‌عنوان بهترین روش در هر سه سال مطرح شده است. همچنین این روش در حالت استفاده از بهترین مجموعه ویژگی ورودی، دقت کلی بالای ۹۳ درصد را در هر سه سال ثبت نموده است. نتایج کمی به‌دست آمده کارایی روش ارائه شده جمع‌آوری داده‌های آموزشی بدون نیاز به عملیات‌های میدانی و تفاسیر بصری را اثبات می‌نمایند. همچنین طبقه‌بندی‌کننده آموزش دیده به‌خوبی تعمیم‌پذیری زمانی خود را حفظ نموده و نقشه بلوک‌های ساختمانی را با دقت قابل قبولی در مقاطع زمانی مشابه سال‌های مختلف تولید نموده است.

نقشه OSM با تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای ماهواره گائوفن-۲ و بهره‌گیری از طبقه‌بندی‌کننده RF، نقشه پوشش زمینی پنج منطقه شهری پیچیده در چین را تولید نمودند. روش ارائه شده در این مطالعه، به‌طور میانگین به دقت کلی ۸۹/۲ درصد رسید. زنگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ نیز، اقدام به تولید نقشه ساختمانی یک منطقه مطالعاتی واقع در لائزو نمودند (Zong et al., 2020). در مطالعه مذکور، از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و ۲ به همراه داده‌های حاصل از نقشه‌های OSM و تصاویر اخذ شده در شب استفاده شد. در نهایت دقت کلی مطالعه مذکور با به‌کارگیری روش RF به‌عنوان طبقه‌بندی‌کننده، ۸۳/۷۵ درصد تخمین زده شد. همان‌طور که مشخص است، روش ارائه شده در این مطالعه توانسته به‌خوبی دقت بالاتری از مطالعات مورد بررسی مشابه با پژوهش کنونی به‌دست آورد.

۴- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، فناوری سنجش‌ازدور جایگاهی ویژه در کاربردهای مختلف مدیریت شهری پیدا کرده است. در این بین نقشه ساختارهای شهری نظیر بلوک‌های ساختمانی، عموماً در مدیریت بحران، طراحی شهری و مطالعات مربوط به توسعه‌ی شهری به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه تولید نقشه بلوک‌های ساختمانی کلان‌شهر تهران در بستر پردازشی گوگل ارث انجین انجام پذیرفته است. روش ارائه شده متکی بر استفاده از طبقه‌بندی‌کننده آموزش دیده می‌باشد. به نحوی که داده‌های آموزشی مورد نیاز طی یک فرآیند پالایشی سختگیرانه بدون نیاز به داده‌های واقعیت زمینی و تفاسیر بصری، با استفاده حداکثری از محصولات سنجش‌ازدوری و مکانی رایگان مهیا می‌شوند. از آنجایی که محصولات مورد استفاده در تولید داده‌های آموزشی مربوط به سال ۲۰۱۵ می‌باشند، طبقه‌بندی‌کننده مورد نظر با استفاده از مجموعه ویژگی‌های تولید شده از تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده در همین سال، آموزش می‌یابد. استفاده از طبقه‌بندی‌کننده آموزش دیده شده

sensing of Environment.

منابع و مأخذ

12- Grippa, T., Georganos, S., Zarougui, S., Bognounou, P., Diboulo, E., Forget, Y., ... & Wolff, E. (2018). Mapping urban land use at street block level using openstreetmap, remote sensing data, and spatial metrics. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(7), 246.

13- He, Chunyang, & et al. (2010). Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*, 1.4, 213-221.

14- Hsu, Chih-Wei, Chih-Chung Chang, & Chih-Jen Lin. (2003). A practical guide to support vector classification.

15- Kaynarca, Mustafa, & Nusret Demir. (2018). Detection of Urban Buildings by Using Multispectral Gokturk-2 and Sentinel 1A Synthetic Aperture Radar Images. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings.*, 2.

16- Li, Lu, & et al. (2019). Residual Unet for Urban Building Change Detection with Sentinel-1 SAR Data. *IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE.*

17- Liu, X., Hu, G., Chen, Y., Li, X., Xu, X., Li, S., ... & Wang, S. (2018). High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. *Remote sensing of environment*, 209, 227-239

18- Li, Q., Qiu, C., Ma, L., Schmitt, M., & Zhu, X. X. (2020). Mapping the land cover of Africa at 10 m resolution from multi-source remote sensing data with Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(4), 602.

19- Luo, N., Wan, T., Hao, H., & Lu, Q. (2019). Fusing high-spatial-resolution remotely sensed imagery and OpenStreetMap data for land cover classification over urban areas. *Remote Sensing*, 11(1), 88.

20- Mahalanobis, & Chandra, P. (1936). On the generalized distance in statistics. *National Institute of Science of India.*

21- Martone, Michele, & et al. (2018). The global forest/non-forest map from TanDEM-X interferometric SAR

1- Bartholome, Etienne, & Allan S. Belward. (2005). GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing.*

2- Bontemps, Sophie, & et al. (n.d.). GLOBCOVER 2009-Products description and validation report. 2011: URL: http://ionia1.esrin.esa.int/docs/GLOBCOVER2009_Validation_Report_2_2.

3- Carrasco, Luis, & et al. (2019). Evaluating combinations of temporally aggregated Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 for land cover mapping with Google Earth Engine. *Remote Sensing.*

4- Chini, Marco, & et al. (2018). Towards a 20 m global building map from sentinel-1 sar data. *Remote Sensing.*

5- Corbane, C., Syrris, V., Sabo, F., Politis, P., Melchiorri, M., Pesaresi, M., ... & Kemper, T. (2020). Convolutional neural networks for global human settlements mapping from Sentinel-2 satellite imagery. *Neural Computing and Applications*, 1-24.

6- Deepthi, R., S. Ravindranath, & K. G. Raj. (2018). EXTRACTION OF URBAN FOOTPRINT OF BENGALURU CITY USING MICROWAVE REMOTE SENSING. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences.*

7- Filippini, & Federico. (2019). Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings.*

8- Gamba, Paolo, & Martin Herold. (2009). *Global mapping of human settlement: experiences, datasets, and prospects.* CRC Press.

9- Gaughan, Andrea E, & et al. (2013). High resolution population distribution maps for Southeast Asia in 2010 and 2015. *PloS one.*

10- Goldblatt, Ran, & et al. (2016). Detecting the boundaries of urban areas in india: A dataset for pixel-based image classification in google earth engine. *Remote Sensing.*

11- Gorelick, Noel, & et al. (2017). *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.* Remote

management in China. 2009 Joint Urban Remote Sensing Event, IEEE(IEEE).

34- Zakeri, H., Fumio Yamazaki, & Wen Liu. (2017). Texture analysis and land cover classification of Tehran using polarimetric synthetic aperture radar imagery. Applied Sciences.

35- Zha, Yong, Jay Gao, & Shaoxiang Ni. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. International journal of remote sensing.

36- Zong, L., He, S., Lian, J., Bie, Q., Wang, X., Dong, J., & Xie, Y. (2020). Detailed Mapping of Urban Land Use Based on Multi-Source Data: A Case Study of Lanzhou. Remote Sensing, 12(12), 1987.

data. Remote sensing of environment.

22- Otsu, & Nobuyuki. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics.

23- Pal, & Mahesh. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. International Journal of Remote Sensing.

24- Pesaresi, Martino, & et al. (2016). Assessment of the added-value of Sentinel-2 for detecting built-up areas. Remote Sensing.

25- Potere, David, & et al. (2009). Mapping urban areas on a global scale: which of the eight maps now available is more accurate? International Journal of Remote Sensing.

26- Protopapadakis, E., Doulamis, A., Doulamis, N., & Maltezos, E. (2021). Stacked autoencoders driven by semi-supervised learning for building extraction from near infrared remote sensing imagery. Remote Sensing, 13(3), 371.

27- Qiu, Chunping, & et al. (2020). A framework for large-scale mapping of human settlement extent from Sentinel-2 images via fully convolutional neural networks. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 163, 152-170.

28- Richards, John A, & J. A. Richards. (1999). Remote sensing digital image analysis. Springer.

29- Sarvestani, Mahdi Sabet, Ab Latif Ibrahim, & Pavlos Kanaroglou. (2011). Three decades of urban growth in the city of Shiraz, Iran: A remote sensing and geographic information systems application. Cities.

30- Schneider, & et al. (2010). Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: New methods and datasets based on 'urban ecoregions'. Remote Sensing of Environment.

31- Tucker, & Compton J. (1978). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing OF Environment.

32- Van Zyl, & Jakob J. (2001). The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. Acta Astronautica.

33- Xiao, Yinghui, & Qingming Zhan. (2009). A review of remote sensing applications in urban planning and

