

استخراج ساختمان‌ها در نواحی شهری

مبتنی بر داده‌های سری زمانی راداری و اپتیکی

با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین

هادی فرهادی^۱

طیبه مناقبی^۲

حمید عبادی^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۲۸

چکیده

استخراج اطلاعات دقیق مربوط به موقعیت، تراکم و توزیع ساختمان‌ها در محدوده شهری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است که در کاربردهای مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سنجش از دور یکی از کارآمدترین تکنولوژی‌های تهیه نقشه است که در مناطق وسیع، با سرعت بالا، هزینه مقرون به صرفه و با به‌کارگیری داده‌های به‌روز مورد استفاده قرار می‌گیرد. تاکنون روش‌ها و داده‌های متعددی برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته است. در این راستا، در تحقیق حاضر از یک روش نیمه‌خودکار به‌منظور تهیه نقشه محدوده شهری و ساختمان‌های شهر تبریز و از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و ۲ در سامانه گوگل ارث انجین استفاده شد. برای این منظور، بعد از فراخوانی تصاویر و اعمال پیش‌پردازش‌های لازم در موتور مجازی، نقشه مناطق شهری اولیه و ساختمان‌هایی با پتانسیل بالا از تصاویر سنتینل-۱ تولید شد. در مرحله بعد، به‌منظور حذف ویژگی‌های مزاحم و استخراج مناطق شهری ثانویه، شاخص‌های طیفی از تصاویر سنتینل-۲ استخراج شد. سپس برای آستانه‌گذاری ویژگی‌ها از آستانه‌گذاری هیستوگرام به روش تک مدی استفاده شد. در نهایت، با ادغام نقشه ساختمان‌های با پتانسیل بالا و نقشه مناطق شهری ثانویه، نقشه نهایی تولید و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل، نشان‌دهنده صحت کلی ۹۰/۱۱ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۰۳ می‌باشد. براساس مقایسه‌های کمی و کیفی انجام شده، روش پیشنهادی از عملکرد مطلوبی برخوردار می‌باشد. از مهم‌ترین مزایای روش پیشنهادی می‌توان به رایگان بودن داده‌ها و متن‌باز بودن سامانه گوگل ارث انجین اشاره کرد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده همزمان از داده‌های سنجش از دور راداری و اپتیکی در محیط سامانه گوگل ارث انجین، پتانسیل بسیار بالایی در متمایز کردن ویژگی‌ها و تهیه نقشه ساختمان‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، توسعه فیزیکی شهری، سنتینل-۱ و ۲، آستانه‌گذاری، شاخص‌های طیفی، گوگل ارث انجین

۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران (نویسنده مسئول) Hadifarhadi18@gmail.com

۲- دکتری سنجش از دور، پژوهشگاه فضایی ایران tb.managhebi@gmail.com

۳- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران ebadi@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

و اراضی شهری که به عنوان اراضی نفوذناپذیر تعریف می شوند، می تواند بسیار مفید و حائز اهمیت باشد (Arnold Jr & Gibbons, 1996). مناطق نفوذناپذیر شامل مناطقی از قبیل جاده ها، ساختمان ها، مناطق مسکونی و بخش هایی است که از مواد غیرقابل نفوذ در برابر آب تشکیل شده است. به عنوان مثال، از کوچک ترین آپارتمان تا بزرگ ترین واحدهای تجاری و تفریحی به عنوان مناطق نفوذناپذیر در نظر گرفته می شود.

با توجه به ماهیت اراضی غیرقابل نفوذ و شرایط حاکم بر آن، در زمان بارندگی هیچ نوع نفوذ در عارضه ای وجود نداشته و این مسئله منجر به جاری شدن سیلاب در معابر و محیط های شهری می شود. علاوه بر این، توسعه شهری و افزایش محدوده آن منجر به ایجاد جزیره حرارتی وسیع، افزایش دما، آلودگی هوا و بسیاری از ناهنجاری ها می شود. بنابراین با بررسی این مناطق در دوره های مختلف می توان به منظور توسعه شهری و میزان توزیع عناصر موجود در آن را مورد مطالعه قرار داد.

کسب اطلاعات در این زمینه در جلوگیری از ساخت و سازهای متراکم، ایجاد زیرساخت های متناسب با نوع تراکم ساختمان ها و همچنین به روزرسانی مناطق در مقیاس متوسط می تواند بسیار مفید باشد. تهیه نقشه به روش نقشه برداری زمینی در یک منطقه ی بسیار وسیع علاوه بر زمان بر بودن و هزینه ی بسیار بالای آن با مشکل عدم دسترسی به برخی مناطق و ساختمان ها مواجه است. از این رو سنجش از دور در این مواقع، به عنوان یک راه حل کلیدی پیشنهاد می شود. در واقع سنجش از دور به منظور تهیه نقشه شهری با وسعت بالا، در زمان کمتر و هزینه مقرون به صرفه می تواند مورد استفاده قرار بگیرد که در این صورت مشکل دسترسی به منطقه نیز برطرف می شود.

در دهه های اخیر به دلیل پیشرفت های روزافزون در فناوری سنجش از دور، استفاده از تصاویر ماهواره ای جایگزین روش های سنتی و بازدیدهای میدانی برای تهیه نقشه زمین های ساخته شده شهری شده است. در حالت

امروزه شهرنشینی و گسترش آن به دلیل مهاجرت مردم از مناطق روستایی به شهرها در جهت تغییر موقعیت شغلی و امرار معاش به یک معضل جهانی تبدیل شده و همواره در حال گسترش است. با توجه به داده های آماری ارائه شده، در سال ۱۹۵۰ حدود ۳۰ درصد جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می کردند. براساس پیش بینی های انجام شده، این آمار در سال ۲۰۵۰ به ۶۶ درصد خواهد رسید (Spence et al., 2008). این افزایش منجر به ایجاد مشکلاتی از قبیل گسترش ساخت و سازهای عمودی و آسمان خراش ها، افزایش محدوده شهری و توسعه فیزیکی آن، آلودگی هوا، افزایش ترافیک، توزیع انرژی و از همه مهم تر تغییر کاربری اراضی از قبیل مراتع و زمین های کشاورزی به مناطق شهری خواهد شد.

شهرنشینی در کشوری مانند ایران به دلیل مشکلات اقتصادی و تورم افسار گسیخته امری اجتناب ناپذیر است. چرا که در نواحی روستایی مردم با مشکل عدم وجود شغل مواجه هستند. با این حال به دست آوردن اطلاعات دقیق و به روز در مورد مناطق ساخته شده و در حال ساخت برای تهیه برنامه های جامع و کاربردی دقیق، فراهم کردن امکانات مورد نیاز اولیه، امکان سنجی توسعه شهری، مکان یابی محل مناسب جهت دفع و دفن زباله های شهری، احداث کاربری های مختلف از قبیل پارک و فضای سبز و بسیاری از موارد دیگر ضروری و غیر قابل اجتناب است. عوامل مذکور، انگیزه زیادی را در محققان فعال در زمینه ی اطلاعات مکانی برای ارائه ی روش های بهینه و مطلوب به منظور بررسی عناصر شهری و گسترش محدوده آن ایجاد کرده است (Bouziani et al., 2010).

عناصر شهری مانند ساختمان ها به عنوان مهم ترین عارضه شهری از جنبه های گوناگون، کانون توجه بسیاری از پژوهشگران حوزه استخراج و به هنگام سازی این عارضه در پایگاه داده می باشد (Teo & Shih, 2013). به دست آوردن اطلاعاتی در خصوص توزیع و گسترش مناطق مسکونی

علاوه بر این، امکان استفاده از تکنیک سعی و خطا برای رسیدن به مقدار بهینه نیز فراهم می‌شود.

روش‌ها و داده‌های متنوعی برای تهیه نقشه‌ی شهری وجود دارد و در سال‌های سپری شده مطالعات متعددی در این زمینه صورت گرفته است. در حالت کلی روش‌ها و استراتژی استخراج مناطق ساخته‌شده از تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به دو گروه تقسیم‌بندی کرد: تکنیک‌های مبتنی بر طبقه‌بندی تصاویر چندطیفی مانند یادگیری نظارت شده، بدون نظارت و روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین (Bramhe et al., 2018; Forget et al., 2017; Hegazy & Kaloop, 2015; Ndehedehe et al., 2013; Rawat & Kumar, 2015; J. Zhang et al., 2014) تکنیک‌های مبتنی بر شاخص‌های تفاضلی، تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی و دیگر شاخص‌های استخراج مناطق ساخته شده (He et al., 2010; L. Li et al., 2018; Valdiviezo-N et al., 2018; Xu, 2007; Zha et al., 2003) با توجه به مطالعات انجام شده و براساس نتایج (Xu, 2007)، روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی به دلیل تداخل‌های طیفی در مناطق مسکونی نسبت به سایر مناطق ممکن است نتایج رضایت‌بخشی نداشته باشد و معمولاً دقت زیر ۸۰ درصد حاصل می‌شود. براین اساس پژوهش‌های متعددی با استفاده از شاخص‌های طیفی برای استخراج مناطق ساخته شده صورت گرفته که به صورت خودکار و نیمه‌خودکار می‌باشد (Deng et al., 2012; D. Liu et al., 2020; Vigneshwaran & Kumar, 2018; Zha et al., 2003)

(Zha et al., 2003) یک شاخص طیفی به نام NDBI^۱ ارائه دادند که برای استخراج زمین‌های شهری ساخته‌شده به صورت خودکار مورد استفاده قرار گرفت. آن‌ها از باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز کوتاه استفاده کردند و در نهایت با توجه به ارزیابی‌های انجام شده، صحت کلی ۹۲/۶ درصد حاصل شد. (Deng et al., 2012) یک شاخص ترکیبی بیوفیزیکی برای استخراج محیط‌های شهری ارائه دادند که در آن از شاخص‌های طیفی متعددی استفاده شد. هدف این مطالعه جلوگیری از محاسبات

کلی، سنجنده‌های سنجنش از دوری به دو دسته اپتیک و راداری تقسیم می‌شوند. سنجنده‌های اپتیک سنجنده‌هایی هستند که از خورشید به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند. بنابراین، این سنجنده‌ها وابستگی زیادی به پارامترهای مرتبط با خورشید مانند زاویه‌ی ارتفاعی، وضعیت اتمسفری و طول موج‌های ارسالی آن دارند. در مقابل سنجنده‌های راداری وجود دارد که منبع انرژی را با خود حمل کرده و به خورشید وابسته نمی‌باشد، در نتیجه مستقل از اتمسفر است. سیستم‌های سنجنش از دور اپتیک و راداری با قدرت تفکیک مکانی متوسط تا بالا، اطلاعات خوبی را با قدرت تفکیک زمانی مناسبی ارائه می‌دهد که باتوجه به نوع کاربردها متفاوت می‌باشد. از این رو سنجنش از دور و سیستم‌های مورد استفاده در آن‌ها می‌توانند اطلاعات بسیار مفیدی را در کاربردهای مختلف از جمله تهیه نقشه شهری ارائه دهند.

علاوه بر در دسترس بودن داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی مناسب، روش‌ها و ابزارهای متفاوت برای استخراج و طبقه‌بندی عناصر شهری مانند روش یادگیری ماشین (Sun et al., 2011; C. Zhang et al., 2018; J. Zhang et al., 2014) طبقه‌بندی شیء‌گرا (Chen et al., 2015; C. Liu et al., 2013; Wang et al., 2015) ترکیب‌های باندی (Civco et al., 2002; G. Li et al., 2013) و تحلیل‌های رگرسیونی (Yang et al., 2003) منجر به انجام مطالعات گسترده شهری شده است. با وجود اینکه سنجنش از دور نسبت به روش‌های سنتی مانند نقشه‌برداری زمینی در بحث زمان، سرعت و هزینه، به منظور تهیه نقشه از برتری بالایی برخوردار می‌باشد، با این حال روش‌های مذکور نیازمند به کارگیری سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری قدرتمند و کاربردی است که تحلیل‌های پیچیده‌ای را شامل می‌شوند (Deng & Wu, 2012). در این میان، استفاده از داده‌ها و تصاویر تحت وب^۱ راه‌حلی است که می‌توان به منظور رفع مشکلات مذکور از آن استفاده کرد. در این حالت، مطالعات با دقت و سرعت بالا و بدون نیاز به سیستم سخت‌افزاری و نرم‌افزاری قوی قابل انجام است (Hansen & Loveland, 2012).

(X. Zhang et al., 2020) اقدام به تهیه نقشه مناطق غیرقابل نفوذ کردند که در آن از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۱ در محیط سامانه GEE استفاده کردند. هدف از این مطالعه تولید نقشه جهانی سطوح نفوذناپذیر بود. در این مطالعه ابتدا نمونه‌های آموزشی از مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر مربوط به محصول پوشش زمینی سنجنده مادیس جمع‌آوری شد و سپس به منظور تولید نقشه سطوح نفوذناپذیر از الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد. به منظور ارزیابی نتایج حاصل از نمونه‌های آموزشی جمع‌آوری شده و محصولات سطوح نفوذناپذیر موجود استفاده شد که نتایج حاصل نشان‌دهنده صحت کلی ۹۶/۶ و ضریب کاپا ۰/۹۰۳ بود.

با بررسی‌های انجام شده در مطالعات پیشین، در اکثر موارد ترکیب داده‌های رادار و اپتیک در کنار شاخص‌های طیفی مورد استفاده قرار نگرفته و یا از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی پایین استفاده شده است. از طرفی، روش‌های مورد استفاده در مطالعات مذکور برپایه الگوریتم‌های طبقه‌بندی و روش‌های یادگیری ماشین بوده که این امر نیازمند سیستم سخت‌افزاری و نرم‌افزاری قوی بود. این درحالی است که در تحقیق حاضر علاوه بر تلفیق داده‌های رادار و اپتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا در سطح تصمیم و به‌کارگیری شاخص‌های طیفی، در فرآیند اجرای روش پیشنهادی از سامانه GEE استفاده خواهد شد که در کمترین زمان ممکن و با سرعت پردازش بسیار بالا، نقشه منطقه مورد مطالعه تولید می‌شود. نقشه تولید شده با استفاده از نمونه‌های آموزشی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای موجود در گوگل ارث با قدرت تفکیک مکانی بالا مورد مقایسه و ارزیابی قرار خواهد گرفت که دارای دقت بالایی است. این درحالی است که در مطالعات پیشین به منظور ارزیابی دقت نتایج از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی پایین و یا از داده‌های OSM استفاده شده است. علاوه بر این، روش پیشنهادی استراتژی مناسبی در استخراج ساختمان‌های در حال ساخت نسبت به دیگر روش‌های مشابه خواهد داشت.

پیچیده در استخراج مناطق شهری بود. در تحقیق دیگری که توسط (Vigneshwaran et al., 2018) انجام شد، استخراج مناطق ساخته شده مورد بررسی قرار گرفت که در آن از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و گوگل ارث استفاده کردند. در این تحقیق از شاخص NDI^۱ استفاده شد و نتایج حاصل با روش پس‌استخراج^۲ با استفاده از تصاویر گوگل ارث بهبود داده شد. نتایج نشان‌دهنده صحت کلی ۹۰ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۸۵ بود. استفاده از داده‌های رایگان و متن‌باز^۳ از مزایای این تحقیق بود. علاوه بر این، تحقیقات متعددی در سامانه مجازی پردازش تصاویر ماهواره‌ای (GEE)^۴ نیز انجام شده است.

(Sun et al., 2019) تهیه نقشه زمین‌های شهری را مورد بررسی قرار دادند که در آن از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱۰۲ در محیط سامانه GEE استفاده کردند. در تحقیق مذکور از تلفیق داده‌های SAR^۵ و اپتیک به منظور تهیه نقشه‌ی شهری استفاده شد. این روش در مدت زمان کم و با سرعت بالا در محیط GEE انجام شد و در نهایت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان‌دهنده دقت بالای به‌کارگیری همزمان داده‌های اپتیک و رادار بود که منجر به صحت کلی ۸۸ درصد شد. (D. Liu et al., 2020) به تهیه نقشه‌ی سالیانه زمین‌های شهری پرداختند که در آن از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست و داده‌های OSM^۶ در محیط GEE استفاده کردند. در تحقیق فوق یک روش نیمه اتوماتیک برای استخراج مناطق شهری ارائه شد که در آن استخراج مناطق شهری براساس شاخص‌های طیفی و ویژگی بافت انجام شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نمونه‌های آموزشی مستقل، صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه شد که به ترتیب برابر با ۹۸ تا ۹۹ درصد و ۰/۶۵ تا ۰/۸۵ در مناطق مختلف حاصل شد.

1- Normalized Difference Index

2- Post- Extraction

3- Open Source

4- Google Earth Engine

5- Synthetic Aperture Radar

6- Open Street Map

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()

استخراج ساختمان‌ها در نواحی شهری مبتنی بر داده‌های سری زمانی راداری و ... / ۴۷

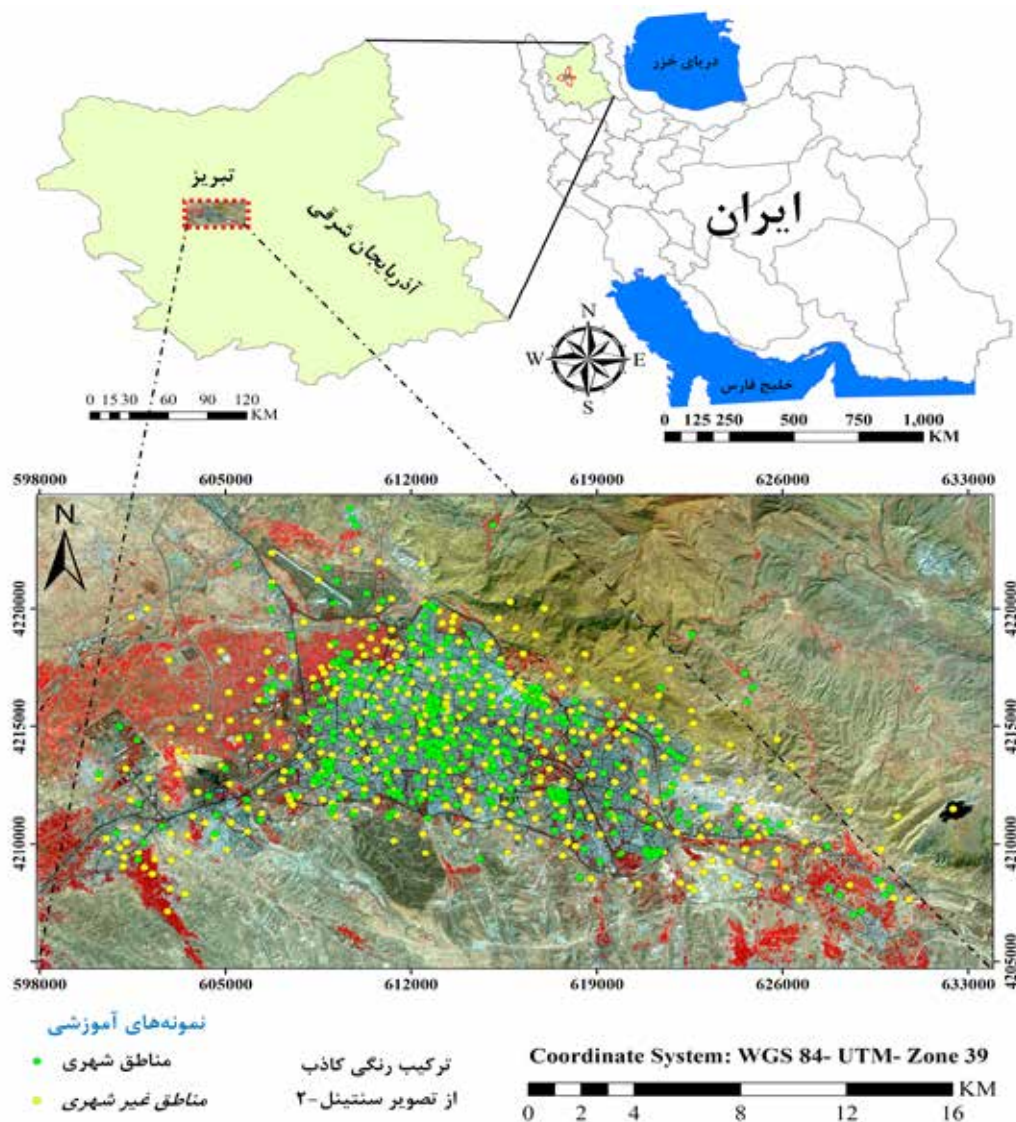
بنابراین، هدف از تحقیق حاضر شناسایی محدوده شهری و ساختمان‌ها با استفاده از داده‌های SAR و تصاویر سنتینل-۲ بوده که در آن یک روش ترکیبی پیشنهاد شده است. از مزایای این تحقیق نسبت به دیگر مطالعات انجام شده، استفاده همزمان از داده‌های راداری و اپتیکی و به‌کارگیری شاخص‌های طیفی کاربردی در جهت استخراج دقیق مناطق مسکونی است. در ادامه ابتدا به معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده اشاره شده و سپس روش پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش بعدی نتایج حاصل

۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده در تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در تحقیق حاضر، بخشی از شهر تبریز در استان آذربایجان شرقی است که در شمال غرب ایران واقع شده است (نگاره ۱). در سال‌های اخیر، شهرستان تبریز به دلیل مهاجرپذیر بودن از توسعه فیزیکی بسیار بالایی

در بخش بعدی نتایج حاصل



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه با نمونه‌های آموزشی برای ارزیابی دقت

جدول ۱: مشخصات مربوط به نوع و تعداد داده مورد استفاده

ردیف	نوع داده	تاریخ - زمان اول	تاریخ - زمان دوم	تعداد
۱	سنتینل-۱	۰۱-۰۱-۲۰۱۹	۰۱-۱۲-۲۰۲۰	۲۳۰
۲	سنتینل-۲	۰۱-۰۱-۲۰۱۹	۰۱-۱۲-۲۰۲۰	۲۵۶
۳	مدل رقومی ارتفاعی SRTM ^۱	۲۰۰۰-۲-۱۱		۱

برخوردار بوده و از این رو، تهیه نقشه گسترش شهری در این منطقه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متری می‌باشد. در انتخاب تصاویر سنتینل-۲ سعی بر این شد که پوشش ابر زیر ۱۰ درصد باشد.

۲-۲- داده‌ها و پیش پردازش

مشخصات مربوط به باندهای تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در جدول ۲ ارائه شده است. مدل رقومی ارتفاعی (DEM)^۸ مورد استفاده در تحقیق حاضر، مربوط به ماهواره SRTM^۹ و محصول SRTM-1 Arc-Second Global می‌باشد که دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری می‌باشد.

مشخصات مربوط به داده‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. سنتینل-۱، یک ماهواره راداری است و در نتیجه در هر شرایط آب و هوایی و در طول شبانه‌روز قابلیت تصویربرداری از مناطق مختلف سطح زمین را دارد. داده‌های ماهواره‌ای سنتینل-۱ در باند C، با قدرت تفکیک مکانی ۲۰×۵ متر قابل دسترس است.

جدول ۲: مشخصات مربوط به باندهای ماهواره سنتینل-۲

شماره	نام باند (محدوده طیفی)	قدرت تفکیک مکانی (متر)	میانگین طول موج (نانومتر)
۱	Coastal Aerosol	۶۰	۴۴۳
۲	Blue	۱۰	۴۹۰
۳	Green	۱۰	۵۶۰
۴	Red	۱۰	۶۶۵
۵	Vegetation Red EDG	۲۰	۷۰۵
۶	Vegetation Red EDG	۲۰	۷۴۰
۷	Vegetation Red EDG	۲۰	۷۸۳
۸	NIR	۱۰	۸۴۲
۸a	Narrow NIR	۲۰	۸۶۵
۹	Water vapor	۶۰	۹۴۵
۱۰	Cirrus	۶۰	۱۳۷۵
۱۱	SWIR	۲۰	۱۶۱۰
۱۲	MIR	۲۰	۲۱۹۰
TCI	RGB	۱۰	

سنتینل-۱ محصولات متنوعی دارد که در مطالعه حاضر از محصول GRD^۱ با حد تفکیک مکانی ۵ متر و تعداد ۲۳۰ صحنه تصویر استفاده شده است. داده‌های این محموله در ایران شامل دو قطبش^۳ VV و HV است که در تحقیق حاضر از قطبش VV استفاده شد. پیش‌پردازش‌های ضروری از جمله کالیبراسیون رادیومتریکی، حذف نویز حرارتی، اسپیکل^۴ و تصحیح هندسی در سامانه GEE از قبل انجام شده است (<https://developers.google.com/earth-engine/sentinel1>). بعد از اعمال پیش‌پردازش‌های ضروری، تصویر در واحد سیگما نات^۵ (σ^0)، به واحد دسی بل (DB) تبدیل شد.

در مقابل، سنتینل-۲ ماهواره‌ای اپتیکی است که دارای ۱۳ باند طیفی در محدوده مرئی^۶، مادون قرمز نزدیک (NIR)^۷ و مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR) با قدرت

1- Shuttle Radar Topography Mission

2- Ground Range Detected

3- Polarization

4- Speckle

5- Visible

6- Near Infrared

7- Short- Wave Infrared

8- Digital Elevation Model

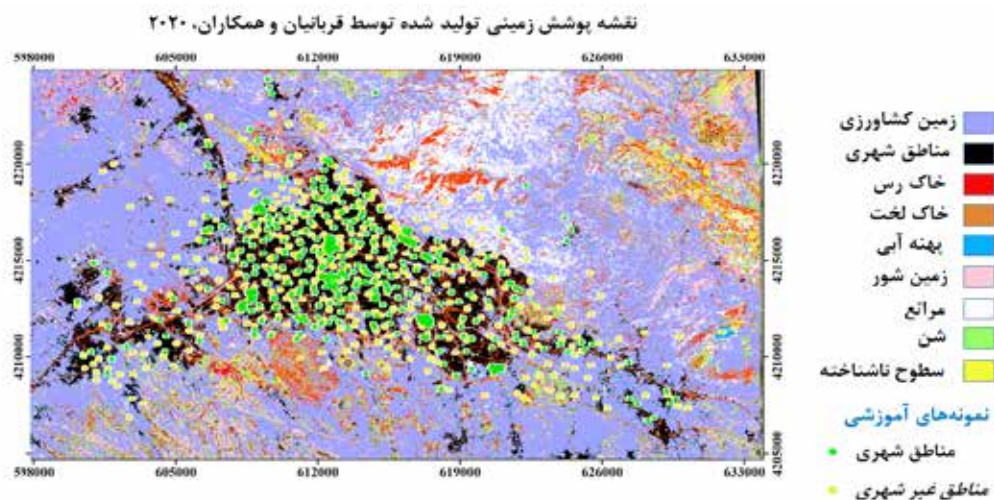
9- Shuttle Radar Topography Mission

(Ghorbanian et al., 2020). بر این اساس، منطقه مورد مطالعه

دارای ۹ کلاس مختلف شامل مناطق شهری، پهنه‌های آبی، زمین شور، خاک لخت، خاک رس، پوشش گیاهی، مزارع و زمین‌های کشاورزی، مراتع و مناطق ناشناخته می‌باشد که به همراه برخی از پوشش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در نگاره ۲ نشان داده شده است. نمونه‌های آموزشی با استفاده

۳-۲- نمونه‌های آموزشی برای ارزیابی

براساس مطالعه انجام شده توسط قربانیان و همکاران در سال ۲۰۲۰، که نقشه پوشش زمینی ایران را در سامانه GEE تولید کردند، کل ایران به ۱۳ کلاس مختلف طبقه‌بندی شد که به‌عنوان یک محصول در این سامانه قرار گرفت و به‌صورت رایگان از این سامانه قابل دریافت است



نگاره ۲: انواع پوشش‌های زمینی در منطقه مورد مطالعه؛ مناطق شهری، غیر شهری، ترکیب شهری و غیر شهری

، $GNDVI^4$ و $RDVI^9$ نیز از تصاویر سنتینل-۲ استخراج شدند که به منظور ماسک مناطق حاوی آب، پوشش گیاهی و خاک‌های مشابه با مناطق مسکونی به کار گرفته شدند. برای ماسک این مناطق نیز از آستانه‌گذاری هیستوگرام به روش تک‌مدی^{۱۰} در محیط سامانه GEE استفاده گردید. بعد از محاسبه شاخص‌های طیفی مقدار حداکثر پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی با استفاده از تابع حداکثر (Max) در محیط GEE تولید شد. منظور از پوشش گیاهی و پهنه آبی حداکثر، مقادیر حداکثر این شاخص‌ها در تصاویر سری زمانی مربوط به سنتینل-۲ است. این به این معنی است که در مناطقی که پوشش گیاهی و پهنه آبی وجود دارد، آن مناطق جزء اراضی شهری و مناطق مسکونی نیست. همچنین از مدل رقومی ارتفاعی مربوط به منطقه مورد مطالعه، برای تولید نقشه شیب (Slop) و ماسک آن در منطقه استفاده شد. براین اساس، تمام ماسک‌ها با یکدیگر جمع شده و در مرحله بعد نقشه ثانویه محدوده شهری (SUA) از طریق ماسک پارامترهای مزاحم از قبیل پوشش گیاهی، پهنه‌های آبی، خاک و مناطقی با شیب بالا یا مناطق کوهستانی با استفاده از یک تابع کاهنده^{۱۱} از نقشه PUA به دست آمد. در نهایت، با ادغام نقشه PB^{12} و نقشه SUA، نقشه نهایی ساختمان‌ها تولید و با استفاده از نمونه‌های جمع‌آوری شده از تصاویر موجود در گوگل ارث و با معیارهای ارزیابی دقت مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه جزئیات روش پیشنهادی ارائه شده است.

۳-۱- استخراج شاخص‌های طیفی

• استخراج پهنه‌های آبی حداکثر با شاخص NDWI

در فرآیند شناسایی و استخراج یک کلاس از تصاویر سنجش از دوری، ممکن است کلاس‌های دیگری مانند پهنه‌های آبی منجر به شناسایی اشتباه آن کلاس شود.

از تصاویر موجود در گوگل ارث در دو کلاس مناطق شهری-مسکونی (ساختمانی) و غیر مسکونی (پوشش گیاهی، خاک، آب جاده و غیره) تهیه شد. تعداد نمونه‌ها براساس BPT^۱ انتخاب شد (Jensen, 1996). بر این اساس برای هر کلاس ۴۰۰ نمونه اخذ شد که نحوه توزیع آن‌ها در نگاره^۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در فرآیند نمونه‌برداری سعی بر این شد که از تمام کلاس‌های نشان داده شده در نگاره^۲ نمونه‌برداری انجام شود.

۳-۲ روش پیشنهادی

همانطور که ذکر شد، این مقاله با هدف استخراج محدوده زمین‌های شهری و تهیه نقشه مناطق مسکونی با استفاده از داده‌های اپتیک و راداری تنظیم شد که برای این منظور یک روش ترکیبی در محیط سامانه GEE ارائه شد. مراحل پیاده‌سازی روش پیشنهادی در فلوچارت نگاره^۳ ارائه شده است.

باتوجه به فلوچارت نگاره^۳، بعد از فراخوانی داده‌های سری زمانی مربوط به تصاویر سنتینل-۱ در محیط سامانه GEE و اعمال پیش‌پردازش‌های لازم بر روی آن‌ها، میانگین تصاویر (σ^{mean}) به دلیل حجم بسیار بالای آن (۲۳۰ تصویر) و بهبود مناطق شهری محاسبه شد. براساس این تصویر، محدوده اولیه شهری (PUA)^۴ با استفاده از آستانه‌گذاری هیستوگرام به روش Unimodal و ساختمان‌های با پتانسیل بالا (PB)^۵ با استفاده از آستانه‌گذاری تجربی از هیستوگرام تصویر σ^{mean} استخراج شد. در مرحله بعد، پس از فراخوانی تصاویر سنتینل-۲ (۲۵۶ تصویر)، شاخص‌های طیفی NDBI و BuEI^۶ برای تهیه نقشه مناطق مسکونی (ساختمان) از تصاویر اپتیک استخراج شدند. سپس شاخص‌های طیفی $SoEI^7$ ، $NDWI^8$ ، $NDVI^9$

1- Binomial Probability Theory

2- Potential Urban Area

3- Building Under Construction

4- Built-up Extraction Index

5- Soil Extraction Index

6- Normalized Difference Water Index

7- Normalized Difference Vegetation Index

8- Green Normalized Difference Vegetation Index

9- Renormalized Difference Vegetation Index

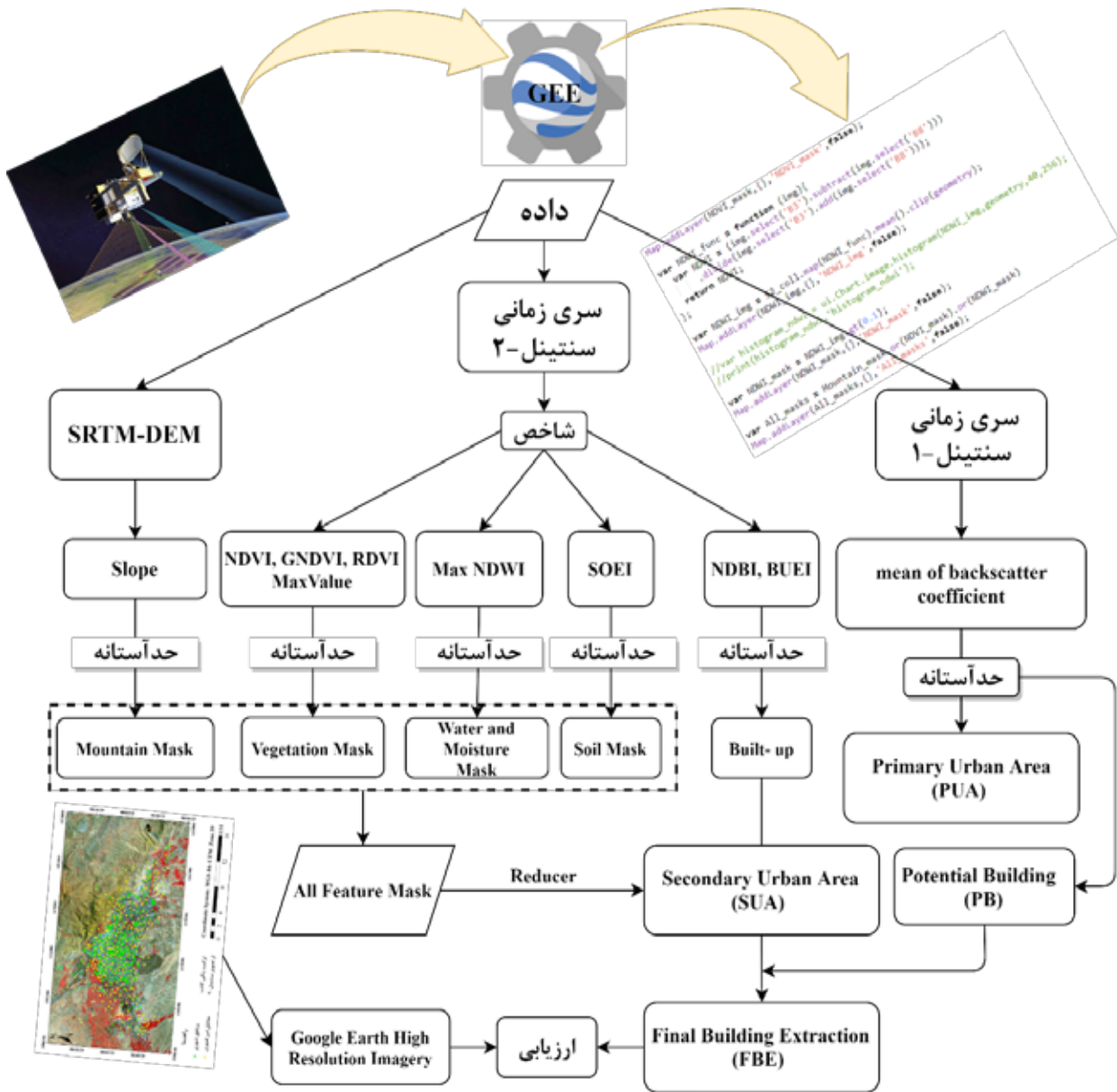
10- Unimodal

11- Reducer

12- Potential Building

()

51 / .



نگاره ۳: روندنمای پیاده‌سازی روش پیشنهادی

(McFeeters, 1996) برای تعیین خصوصیات آب با استفاده از باند سبز و باند مادون قرمز نزدیک (NIR)، مربوط به ماهواره لندست TM^۴، (باند ۲ و باند ۴) معرفی شده است که در آن با استفاده از یک حدآستانه صفر بر روی تصویر به‌دست آمده از شاخص، مقادیر مثبت به‌عنوان سطوح آبی و مقادیر منفی به‌عنوان مناطق غیر آبی طبقه‌بندی شدند. این

به‌منظور برون رفت از این مسئله و کاهش خطا‌های متعددی وجود دارد که از آن جمله ماسک کردن عوارضی است که احتمال خطا را بالا می‌برند.

در تحقیق حاضر برای جداسازی پهنه‌های آبی از سایر عوارض نظیر خاک، پوشش گیاهی و مناطق مسکونی از شاخص NDWI¹ استفاده شده است. این شاخص توسط

شاخص از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$NDWI = G - NIR / G + NIR \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، G باند انعکاسی سبز، NIR^۱ باند انعکاسی مادون قرمز و NDWI یک شاخص آبی تفاضلی نرمال شده است، که مقدار آن بین ۱ و -۱ متغیر بوده و مقادیر بین صفر تا یک به عنوان مناطق آبی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، با استفاده از حداکثر مقدار این شاخص (رابطه ۲)، مناطق آبی با اطمینان بالایی، از سایر مناطق موجود در تصویر جدا شد.

$$NDWI_{Max} = \max(NDWI)_j^i \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲)، i و j بیانگر اولین تا آخرین تصویر در بازه زمانی مورد نظر است.

• استخراج پوشش گیاهی حداکثر با شاخص NDVI، GNDVI، RDVI

پوشش گیاهی یکی دیگر از کلاس‌هایی است که در شناسایی مناطق شهری و عوارض ساختمانی می‌تواند مشکل‌ساز باشد که بایستی در فرآیند انجام محاسبات ماسک شود. برای استخراج میزان پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های طیفی تاکنون روش‌های متعددی ارائه شده است (Chen et al., 2015; Xian & Homer, 2010) که در آن هر کدام از شاخص‌ها دارای عملکرد متفاوتی در مناطق مختلف می‌باشند. در تحقیق حاضر به منظور استخراج دقیق مناطق دارای پوشش گیاهی از سه شاخص NDVI، GNDVI، RDVI استفاده شد که با استفاده از روابط (۳-۵) قابل محاسبه است.

$$NDVI = NIR - R / NIR + R \Rightarrow NDVI_{Max} = \max(NDVI)_j^i \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$GNDVI = NIR - G / NIR + G \Rightarrow GNDVI_{Max} = \max(GNDVI)_j^i \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$RDVI = NIR - R / (NIR + R)^{1/2} \Rightarrow RDVI_{Max} = \max(RDVI)_j^i \quad \text{رابطه (۵)}$$

در روابط ۳ تا ۵، NDVI شاخص پوشش گیاهی تفاضلی

نرمال شده (Goward et al., 1991; Huang et al., 2017) GNDVI شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده سبز (Gitelson et al., 1996) RDVI شاخص پوشش گیاهی تفاضلی عادی (Zhao et al., 2005)، NIR میزان انعکاس‌های باند مادون قرمز نزدیک، R میزان انعکاس‌های باند قرمز و G میزان انعکاس‌های باند سبز تصویر سنتینل-۲ می‌باشد. همچنین، در روابط بالا، i و j بیانگر اولین تا آخرین تصویر در بازه زمانی مورد نظر است. با استفاده از این شاخص‌ها، مقادیر پوشش گیاهی در بازه‌های متفاوتی به صورت دقیق قابل استخراج بوده و به منظور بهبود نتایج استخراج مناطق مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مقادیر شاخص‌های پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، بین +۱ و -۱ متغیر می‌باشد که در آن مقادیر بالای ۰/۲ تا +۱ به صورت تجربی به عنوان پوشش گیاهی طبقه‌بندی می‌شود (Goward et al., 1991). بنابراین، با استفاده از حداکثر مقدار این شاخص‌ها و براساس آستانه‌گذاری هیستوگرام به روش تک‌مدی، مناطق دارای پوشش گیاهی با اطمینان بالایی از سایر مناطق موجود در تصویر جدا شد که به عنوان یک ویژگی ماسک در نظر گرفته می‌شود.

• استخراج شاخص SoEI

شاخص دیگری که به منظور ماسک عوارض مزاحم استخراج شد، شاخص SoEI است که برای ماسک مناطق خاکی مشابه با مناطق مسکونی در تصاویر سنتینل-۲ استفاده می‌شود. در واقع، باتوجه به خصوصیات تصاویر اپتیک، عوارض موجود در منطقه مورد مطالعه مانند خاک ممکن است انعکاسی مشابه با انعکاس مناطق مسکونی داشته باشد. در واقع در این حالت، مناطق غیرمسکونی به عنوان مناطق مسکونی در تصویر ظاهر می‌شود. در چنین شرایطی، عارضه مذکور در باندهای مختلف به خوبی از هم جدا می‌شوند. لذا با یک ترکیب بهینه از شاخص‌های طیفی می‌توان این عوارض را از عوارض دیگر متمایز کرد. شاخص SoEI اثر

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (...)

استخراج ساختمان‌ها در نواحی شهری مبتنی بر داده‌های سری زمانی راداری و ... / ۵۳

اولیه استفاده شد (Feyisa et al., 2016; J. Zhang et al., 2014). در واقع این شاخص‌ها از تفاوت نرمال شده بین باندهای حاصل می‌شوند که نحوه استخراج شاخص‌های مذکور در روابط (۷) و (۸) ارائه شده است.

$$NDBI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$$

رابطه (۷)

$$BuEI = 1.25 \times (SWIR - NIR)$$

$$+ (2.5 \times Blue - MIR) - 0.25 \times Red$$

رابطه (۸)

در روابط فوق NDBI و BuEI شاخص‌های استخراج ساختمان، SWIR، NIR، Blue، MIR و Red به ترتیب بیانگر باندهای انعکاسی در محدوده باند مادون قرمز کوتاه، باند مادون قرمز نزدیک، باند آبی، باند مادون قرمز میانی و باند قرمز می‌باشند.

• استخراج تصویر mean: σ^0

در تحقیق حاضر با توجه به تعداد بسیار زیاد تصاویر مربوط به ماهواره سنتینل-۱ و بهبود استخراج مناطق اولیه شهری، میانگین تصاویر سنتینل-۱ در سامانه GEE محاسبه شد.

۳-۲- روش تعیین حدآستانه

یکی از مهم‌ترین مراحل در جهت پیاده‌سازی روش پیشنهادی، تعیین آستانه مناسب برای استخراج ویژگی‌های موردنظر می‌باشد. به عبارت دیگر، شاخص‌ها و پارامترهای استخراج شده بایستی با یک حدآستانه بهینه از دیگر ویژگی‌های موجود متمایز شوند.

در تحقیق حاضر برای آستانه‌گذاری ویژگی‌ها از آستانه‌گذاری هیستوگرام به روش تک‌مدی استفاده شد که یک روش خودکار به منظور تعیین حدآستانه در پردازش تصاویر رقومی می‌باشد (Rosin, 2001). براین اساس در تحقیق حاضر، حد آستانه بهینه برای تمامی ویژگی‌ها از این طریق محاسبه شده و به شاخص‌ها و معیارهای مختلف اعمال

خاک‌های مشابه با مناطق مسکونی را به صورت قابل توجهی کاهش می‌دهد (Feyisa et al., 2016). این شاخص از رابطه (۶) قابل محاسبه می‌باشد.

$$SoEI = (0.03 \times Green - 0.11 \times Blue)$$

$$+ (1.56 \times Red + 1.1 \times NIR)$$

$$+ (1.37 \times MIR - 0.61 \times SWIR)$$

رابطه (۶)

در رابطه فوق SoEI بیانگر شاخص استخراج خاک و باندهای انعکاسی Green، Blue، NIR، Red، MIR و SWIR به ترتیب بیانگر باندهای انعکاسی در محدوده باند سبز، آبی، قرمز، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی و مادون قرمز کوتاه می‌باشد.

• استخراج شیب از مدل رقومی ارتفاعی SRTM

با توجه به حساسیت داده‌های راداری به هندسه عوارض، بازپراکنش از مناطق کوهستانی و مناطق شهری به سمت سنجنده، شباهت بسیار زیادی با یکدیگر دارند که این امر منجر به انتخاب مناطق کوهستانی (مناطق با شیب بالا) به عنوان مناطق مسکونی می‌شود (Ban et al., 2015). به منظور جلوگیری از وقوع این اشتباه، مناطق کوهستانی و شیب منطقه از داده‌های مربوط به مدل رقومی ارتفاعی SRTM استخراج شد که به عنوان ماسک در نتیجه نهایی به کار گرفته می‌شود.

براساس مطالعات انجام شده (Ban et al., 2015) مقدار شیب بهینه برای استخراج مناطق کوهستانی ۱۵ درجه در نظر گرفته می‌شود. با این حال در تحقیق حاضر به منظور استخراج مناطق کوهستانی و تعیین شیب بهینه نیز از آستانه‌گذاری هیستوگرام به روش تک‌مدی استفاده شد.

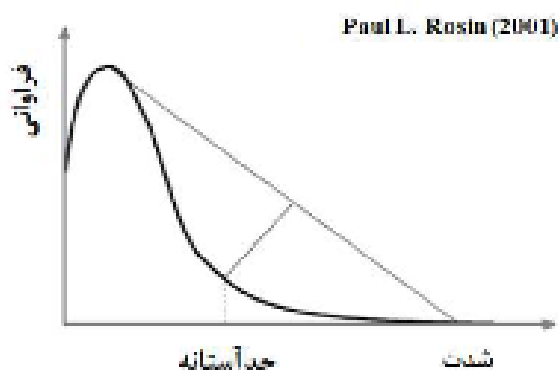
• استخراج شاخص‌های NDBI^۱ و BuEI^۲

به منظور استخراج ساختمان‌ها از تصاویر اپتیکی شاخص‌های طیفی متعددی ارائه شده که در این تحقیق، از شاخص‌های NDBI و BuEI برای استخراج مناطق مسکونی

1- Normalized Difference Build-up Index

2- Build-up Extraction Index

شد. در نگاره ۴ نمایی از این روش نشان داده شده است.



نگاره ۴: فرآیند تعیین حد آستانه در ویژگی‌های تک مدی

پوشش گیاهی، آب، خاک و مناطق کوهستانی می‌باشد. با وجود ماسک نقشه‌ها، عوارضی همچون پل‌ها و خیابان‌ها باز هم در نقشه PUA وجود خواهند داشت که مربوط به عوارض غیرساختمانی هستند. به منظور حل این مشکل از یک مقدار حد آستانه تجربی استفاده شد که در آن علاوه بر حذف خیابان‌ها و پل‌ها، ساختمان‌هایی که از طریق شاخص‌های طیفی به درستی شناسایی نشده‌اند، توسط تصاویر $\sigma^{\circ mean}$ استخراج می‌شوند. براین اساس، در روش پیشنهادی دو نقشه بسیار مفید از محدوده کلی شهری شامل ساختمان‌ها، راه‌ها، سازه‌های بتنی و مناطق نفوذناپذیر و نیز نقشه ساختمان‌ها در منطقه مورد مطالعه تولید شد.

۳-۴- ارزیابی صحت

ارائه نتایج حاصل از یک روش بدون ارزیابی صحت آن فاقد ارزش خواهد بود، به این دلیل که اغلب روش‌های ارائه شده دارای خطاهایی هستند که باید به نحوی از مقدار این خطا آگاه شد تا بتوان در تصمیم‌گیری‌ها به یک مقدار مشخص به داده‌ها اطمینان کرد.

روش‌های متنوعی برای اعتبارسنجی و ارزیابی نتایج وجود دارد که از تفسیر بصری تا روش‌های کمی دقیق را شامل می‌شود. در تحقیق حاضر به منظور اعتبارسنجی نقشه تولید شده از روش پیشنهادی از تصاویر موجود در گوگل ارث استفاده شد که دارای قدرت تفکیک مکانی بسیار بالایی می‌باشند. با توجه به اینکه این تصاویر قدرت تفکیک مکانی بسیار بالایی دارند، نتایج اعتبارسنجی بسیار قابل اطمینان خواهد بود. براین اساس، نمونه‌برداری با استفاده از تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث در دو کلاس مناطق مسکونی (ساختمان) و مناطق غیرمسکونی انجام شد. نحوه انتخاب نمونه‌ها به صورت تصادفی صورت گرفت و برای هر کدام از کلاس‌های مسکونی و غیرمسکونی ۴۰۰ نقطه جمع‌آوری شد. در مجموع از ۸۰۰ نقطه تست برای ارزیابی نتایج حاصل از روش پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. برای ارزیابی صحت نتایج حاصل، از معیارهای

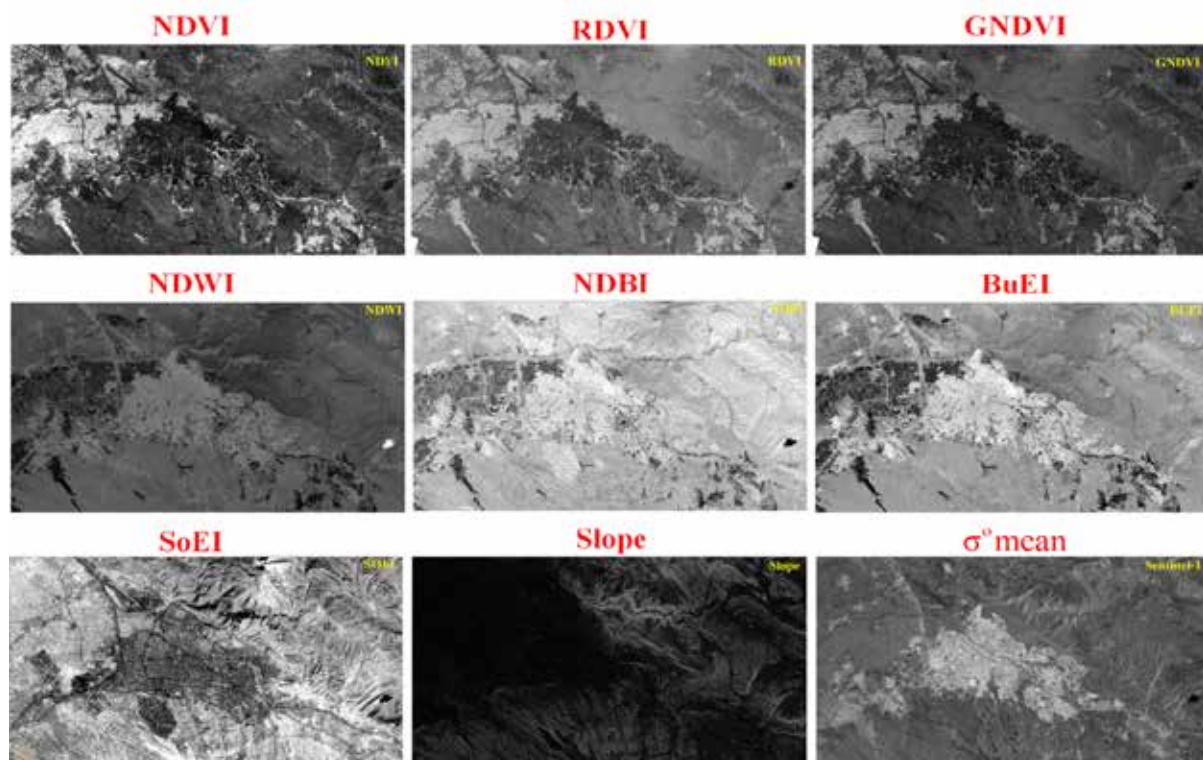
۳-۳- تولید نقشه PUA، PB، SUA و FBE

نقشه PUA که بیانگر محدوده شهری اولیه است از تصاویر $\sigma^{\circ mean}$ ، با استفاده از رابطه (۹) استخراج شد. در این رابطه T مقدار حد آستانه تعیین شده براساس آنالیز هیستوگرام می‌باشد.

$$PUA = \sigma^{\circ mean} > T \quad \text{رابطه (۹)}$$

این نقشه شامل تمامی ویژگی‌های شهری نفوذناپذیر مانند خیابان‌ها، ساختمان‌ها، پل‌ها، بدنه‌های سد، و تمامی سازه‌های بتنی است. همچنین، این نقشه علاوه بر عوارض بشرساخت ممکن است حاوی عوارض طبیعی مانند کوهستان، پوشش گیاهی و آب نیز باشد. از آنجا که هدف اصلی این تحقیق استخراج ساختمان است، لذا بایستی تمامی ویژگی‌های طبیعی مانند کوهستان، آب، پوشش گیاهی و ویژگی‌های مصنوعی مانند خیابان‌ها، پل‌ها، بدنه سد از این نقشه حذف (ماسک) شود. به منظور ایجاد نقشه SUA که بیانگر محدوده شهری ثانویه است، نقشه حاصل از آستانه‌گذاری شاخص‌های NDBI و BuEI با یکدیگر جمع شده و سپس نتیجه حاصل با نقشه PUA تلفیق می‌شود.

در نهایت با تفریق عوارض مزاحم مانند پوشش گیاهی، آب، خاک و کوهستان از نتیجه حاصل، نقشه SUA تولید می‌شود که نشان‌دهنده مناطق شهری ثانویه بدون



نگاره ۵: ویژگی‌ها و شاخص‌های طیفی استخراج شده

صحت کلی (OA)^۱، ضریب کاپا (KC)^۲، صحت کاربر (UA)^۳ و صحت تولیدکننده (PA)^۴ حاصل از ماتریس ابهام^۵ استفاده شد. علاوه بر این، مقایسه‌ای بین روش ارائه شده توسط (Sun et al., 2019) و نقشه تولید شده توسط (Ghorbanian et al., 2020) با روش پیشنهادی ارائه شده در تحقیق حاضر صورت گرفت.

۴- نتایج و بحث

۴-۲- نتایج آستانه‌گذاری و تهیه ویژگی ماسک
به‌منظور تهیه نقشه مناطق شهری و ساختمان‌ها از شاخص‌ها و ویژگی‌های متعددی استفاده شد که برای هر کدام از آن‌ها متناسب با منطقه مورد مطالعه، آستانه بهینه‌ای تعیین شد. نتایج حاصل از آستانه‌گذاری هیستوگرام به روش Unimodal در نگاره ۶ نشان داده شده است. با توجه به نگاره ۶، مقادیر حدآستانه برای شاخص‌های NDVI، RDVI و GNDVI به‌ترتیب برابر با ۰/۴۶، ۰/۴۲ و ۰/۶۴ تعیین شد که برای ماسک پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند. علاوه بر این، برای ماسک پهنه‌های آبی و مناطق خاکی مشابه با مناطق شهری از شاخص NDWI و SoEI استفاده شد که مقادیر آستانه براساس هیستوگرام به‌ترتیب برابر با ۰/۱ و ۰/۴۷ تعیین شد. همچنین برای ماسک مناطق

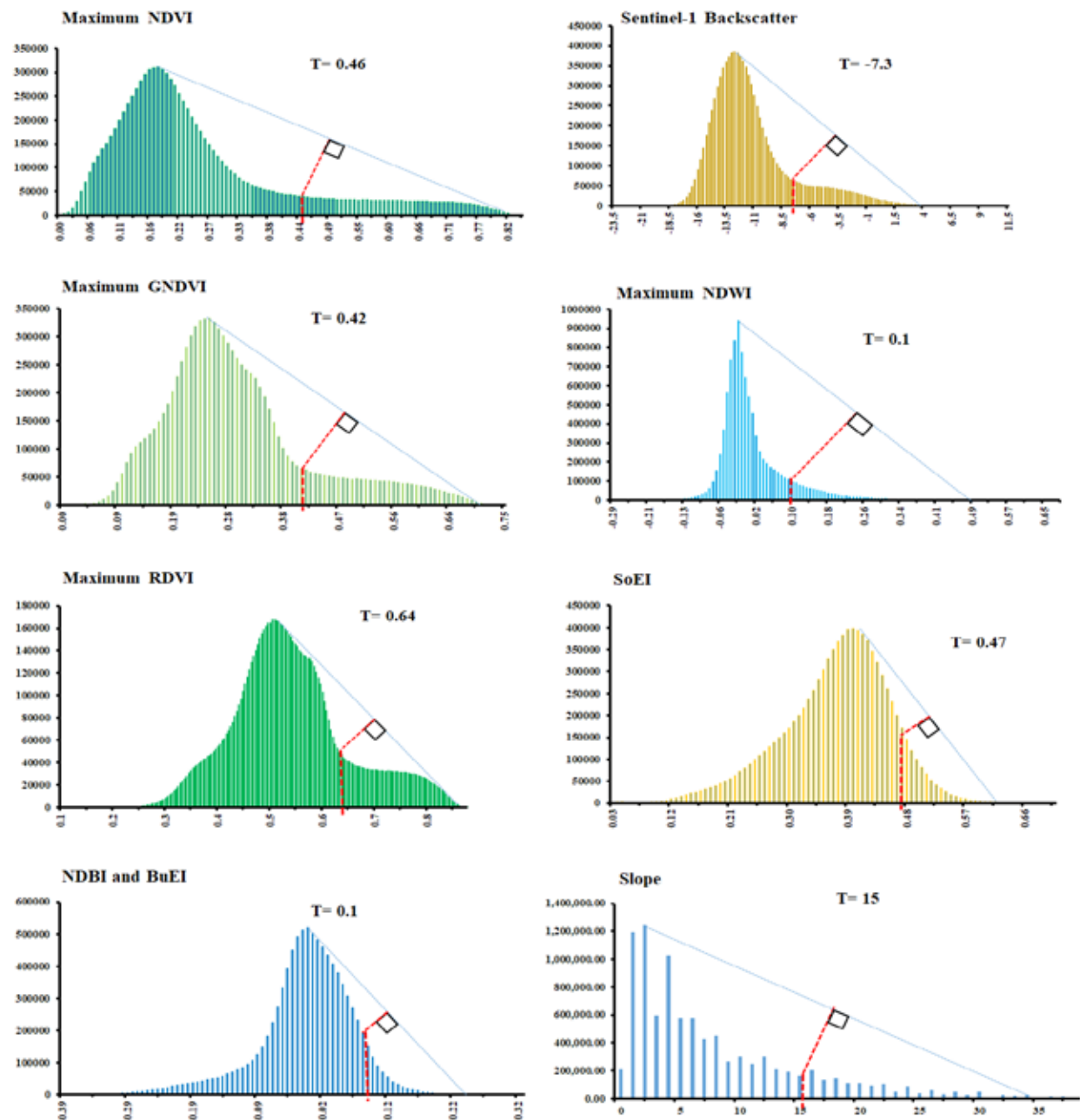
در این بخش از تحقیق، ابتدا نتایج حاصل از استخراج و ماسک شاخص‌های طیفی بعد از اعمال آستانه بهینه بر روی هر کدام از ویژگی‌ها ارائه شده و سپس نتایج حاصل از روش پیشنهادی برای تولید نقشه مناطق شهری و ساختمان‌ها ارائه می‌شود. در نهایت نتایج حاصل به‌صورت کمی و کیفی مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

- 1- Overall Accuracy
- 2- Kappa Coefficient
- 3- User Accuracy
- ۴- Producer Accuracy
- 5- Confusion Matrix

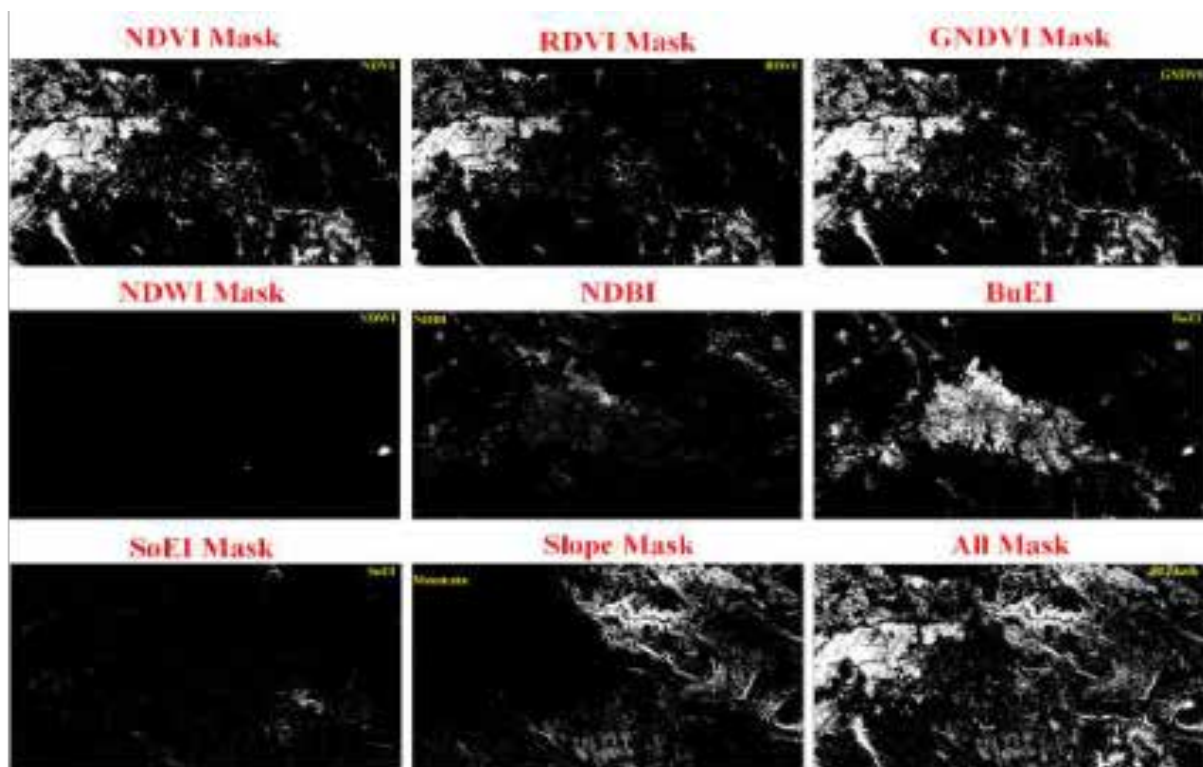
کوهستانی مقادیر حد آستانه برای ویژگی Slop برابر با ۱۵ درجه در نظر گرفته شد. مقادیر حد آستانه برای استخراج مناطق شهری اولیه (PUA) از تصاویر سنتینل-۱ برابر با ۰/۷- و از تصاویر سنتینل-۲ برای شاخص NDBI و BuEI برابر با ۰/۱ در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از اعمال آستانه‌های تعیین شده برای ماسک و استخراج ویژگی‌ها

۳-۴- تهیه نقشه SUA، PUA، PB و FBE

بعد از اعمال آستانه بهینه به تصویر σ^0_{mean} ، نقشه PUA تولید شد که بیانگر محدوده شهری اولیه است. نتایج



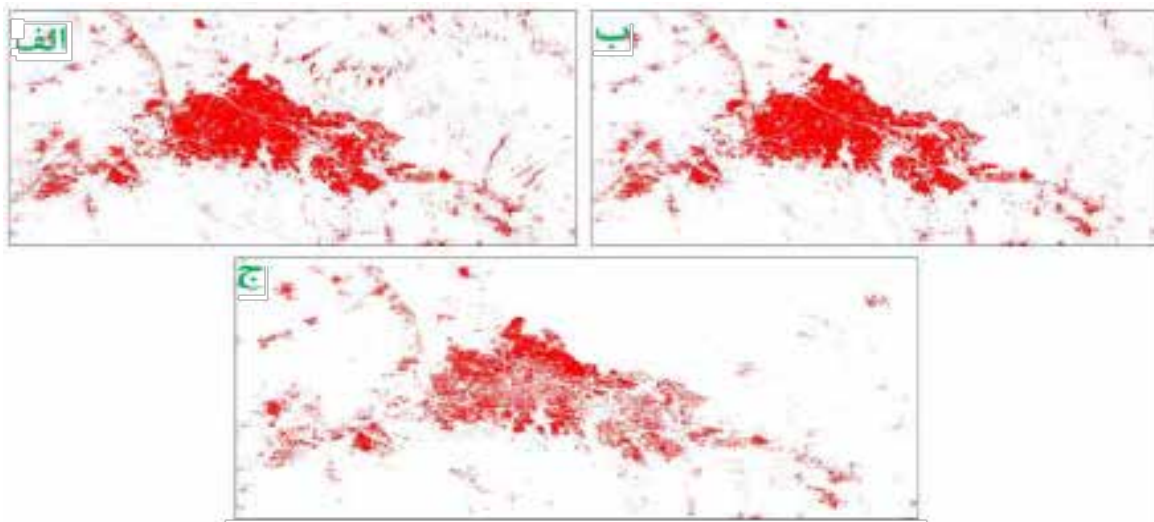
نگاره ۶: آستانه‌های تعیین شده به منظور استخراج و ماسک ویژگی‌ها



نگاره ۷: نتایج حاصل از اعمال آستانه‌های تعیین شده به منظور استخراج و ماسک ویژگی‌ها

طریق آستانه‌گذاری تصویر σ^{mean} حاصل شد که مقدار آستانه برابر با ۲ در نظر گرفته شد. بنابراین در فرآیند تولید نقشه ساختمان‌ها، به جای نقشه PUA از نقشه PB استفاده شد. در نگاره ۸ که نقشه‌ها از نوع باینری هستند، اراضی شهری و مناطق مسکونی با رنگ قرمز و سایر ویژگی‌ها با رنگ سفید به عنوان پس زمینه نشان داده شده است. میزان تفاوت در این نقشه‌ها بیانگر تأثیر استفاده همزمان از داده‌های راداری و اپتیکی در جداسازی عوارض مختلف از محیط‌های شهری و مناطق مسکونی است. این نقشه‌ها اطلاعات بسیار مفیدی را در رابطه با توزیع مناطق مسکونی و مرز بین بخش‌های مختلف شهری در مقیاس وسیع ارائه می‌دهند که در کاربردهای مختلف مطالعات شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به نگاره (۸-الف) و نگاره (۸-ب)، منطقه مورد مطالعه از تراکم بسیار بالای اراضی شهری برخوردار است. همانطور که در این نگاره نشان داده شده است، بخش شرقی شهر تبریز از تراکم اراضی

حاصل از این نقشه در نگاره (۸-الف) نشان داده شده است. در مرحله‌ی بعدی، با تجمیع شاخص‌های NDBI و BuEI و سپس تلفیق نتیجه حاصل با نقشه PUA، نقشه SUA حاصل شد که در آن برخلاف نقشه PUA، تمامی عوارض مزاحم ماسک شده است. نتیجه حاصل از نقشه SUA به صورت نگاره (۸-ب) می‌باشد. هر دو نقشه PUA و SUA بیانگر تمامی عوارض شهری مانند خیابان‌ها، ساختمان‌ها، پل‌ها، بدنه‌های سد، و تمامی سازه‌های بتنی هستند. با این تفاوت که نقشه PUA از تصاویر راداری تولید شده و شامل عوارض و ویژگی‌های مزاحم می‌باشد. در حالی که در نقشه SUA با تلفیق تصاویر راداری و شاخص‌های طیفی، تمامی عوارض مزاحم نیز در آن ماسک شده است. این نقشه بیانگر مناطق شهری ثانویه است که شامل اراضی و ویژگی‌های شهری است. در نهایت، نقشه نهایی ساختمان‌ها (FBE)، از تلفیق نقشه SUA و PB در محیط GEE حاصل شد که به صورت نگاره (۸-ج) می‌باشد. لازم به ذکر است که نقشه PB از



نگاره ۸: نقشه‌های نهایی تولیدشده برای اراضی شهری و مناطق مسکونی. (الف) PUA؛ (ب) SUA؛ (ج) FBE

شهری بسیار بالایی برخوردار است. اما در نگاره (۸-ج) که نشان‌دهنده ساختمان و تراکم آن‌ها می‌باشد، بخش شمال غرب تبریز از تراکم ساختمانی بسیار بالایی برخوردار است. همچنین، براساس نگاره (۸-ج) بخش غربی منطقه مورد مطالعه از تراکم ساختمانی پایین برخوردار است. علاوه بر این، در حاشیه شهر تبریز به دلیل وجود شهرک‌های صنعتی و سطح اقتصادی آن‌ها، مناطق مسکونی با تراکم بالایی وجود دارد. بنابراین، این مناطق از پتانسیل زیادی در توسعه و ساخت‌وسازهای شهری برخوردار می‌باشد.

۴-۴- ارزیابی صحت و مقایسه نقشه‌ها

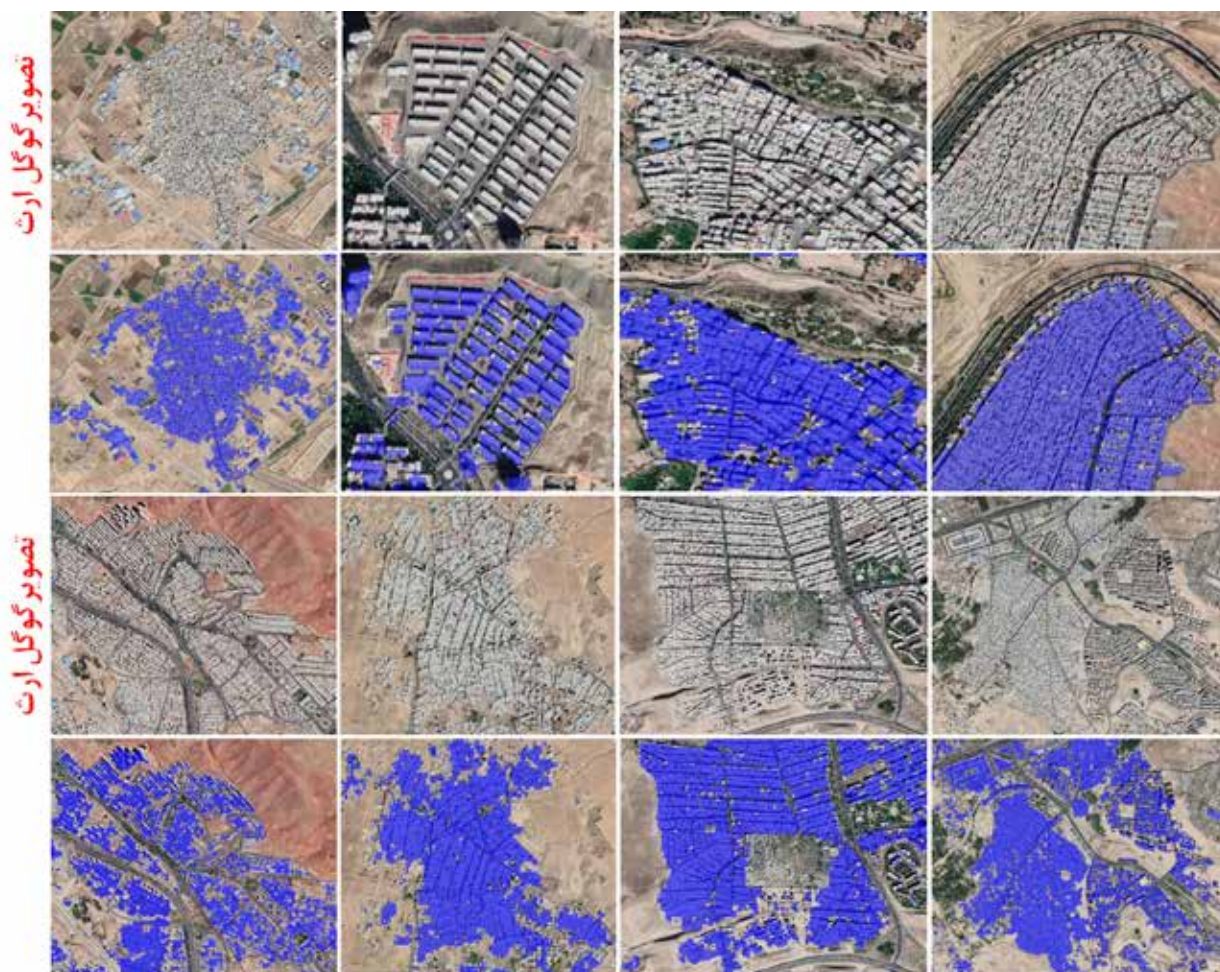
ارزیابی صحت از نظر آماری با استفاده از نمونه‌های آموزشی مستقل و ماتریس ابهام برای اطمینان از نقشه حاصل انجام شد. براین اساس، معیارهای صحت‌سنجی

جدول ۳: نتایج حاصل از صحت‌سنجی نقشه‌های حاصل از روش پیشنهادی و دیگر روش‌ها

نقشه	کلاس	OA (%)	KC	UA (%)	PA (%)
نقشه حاصل از روش پیشنهادی	شهری-مسکونی	۹۰/۱۱	۰/۸۰۳	۹۵/۸۶	۹۶/۲۲
	غیرشهری			۸۵/۴۶	۸۴/۲۲
نقشه حاصل از روش قربانیان و همکاران (۲۰۲۰)	شهری-مسکونی	۸۵/۱۷	۰/۷۰	۸۴/۸۹	۸۴/۸۹
	غیرشهری			۸۵/۴۴	۸۵/۴۴
نقشه حاصل از روش Sun و همکاران (۲۰۱۹)	شهری-مسکونی	۸۶/۴۰	۰/۷۳	۸۹/۹۵	۹۰/۴۳
	غیرشهری			۸۳/۲۹	۸۲/۵۲

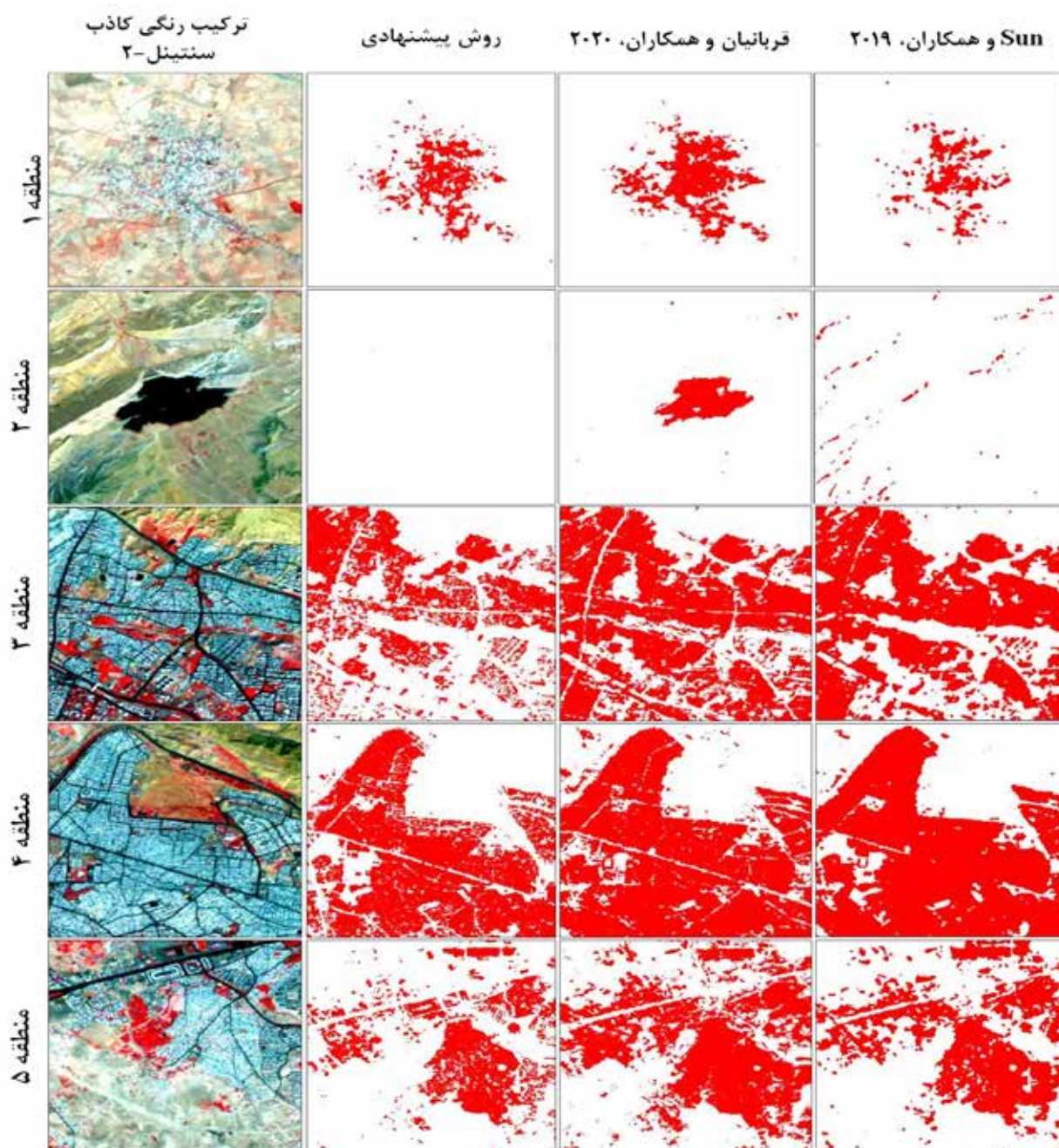
شده‌اند که در مقایسه با تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا دارای دقت بالایی می‌باشد. با توجه به بررسی‌های انجام شده از نظر بصری، تمامی ساختمان‌های موجود در مناطق شهری که دارای طول و عرض بزرگ‌تر از ۱۰ متر هستند، با استفاده از روش پیشنهادی ارائه شده در این تحقیق قابل استخراج بوده و نتایج قابل قبولی در تفکیک ویژگی‌های مختلف ارائه می‌دهد. در این روش، ویژگی‌های مزاحم مانند پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی با دقت بسیار بالایی از فرآیند شناسایی ساختمان حذف شده و باعث افزایش و بهبود دقت در منطقه مورد مطالعه شد. علاوه بر این، با مقایسه نقشه تولید شده از روش پیشنهادی، نقشه حاصل از روش (Ghorbanian et al., 2020) و همچنین (Sun et al.,

شهری و غیرشهری به ترتیب برابر با ۹۵/۸۶ و ۸۵/۴۶ درصد به دست آمد که در مقایسه با روش‌های دیگر از دقت مناسبی برخوردار بود. همچنین، مقادیر PA نیز تعیین شد که برای روش پیشنهادی در مناطق شهری و غیرشهری به ترتیب صحت ۹۶/۲۲ و ۸۴/۲۲ درصد حاصل شد. با این وجود مقدار PA در روش (Ghorbanian et al., 2020) برای مناطق غیرشهری بهتر از روش پیشنهادی به دست آمد. علاوه بر ارزیابی‌های کمی، تفسیر بصری و ارزیابی کیفی از عملکرد روش پیشنهادی در استخراج مناطق شهری و ساختمان‌ها انجام شد که در نگاره ۹ ارائه شده است. همانطور که در نگاره ۹ نشان داده شده است، ساختمان‌ها و مناطق مسکونی به طور مطلوبی از تلفیق تصاویر راداری و اپتیکی استخراج



مناطق مسکونی و ساختمان‌های استخراج شده با استفاده از روش پیشنهادی

نگاره ۹: عملکرد روش پیشنهادی در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه



نگاره ۱۰: مقایسه ساختمان‌های شناسایی شده توسط روش پیشنهادی و دیگر روش‌ها

بهبود قابل توجهی در استخراج مناطق شهری و ساختمان‌ها مشاهده شد. چند مورد از مقایسه‌های انجام شده، بین نتایج حاصل از روش‌های مختلف در نگاره ۱۰ ارائه شده است. در نگاره ۱۰، به مقایسه بخش‌هایی از مناطق شهری و ساختمانی استخراج شده توسط روش پیشنهادی و روش‌های دیگر پرداخته شده است. این بخش‌ها شامل مناطق شهری متراکم و غیرمتراکم همراه با پوشش‌های زمینی متفاوت است که عملکرد هر کدام از روش‌ها در استخراج دقیق مناطق شهری و مسکونی مورد مقایسه قرار گرفته است. روش پیشنهادی در مقایسه با دیگر روش‌ها در تمامی مناطق، عملکرد مناسبی در استخراج ساختمان‌ها و جداسازی آن از سایر عوارض ارائه داده است. به عنوان مثال

(2019)، بهبود قابل توجهی در استخراج مناطق شهری و ساختمان‌ها مشاهده شد. چند مورد از مقایسه‌های انجام شده، بین نتایج حاصل از روش‌های مختلف در نگاره ۱۰ ارائه شده است. در نگاره ۱۰، به مقایسه بخش‌هایی از مناطق شهری و ساختمانی استخراج شده توسط روش پیشنهادی و روش‌های دیگر پرداخته شده است. این بخش‌ها شامل

مرحله بعد به منظور حذف ویژگی‌های مزاحم و استخراج مناطق شهری ثانویه (SUA) ویژگی‌ها و شاخص‌های طیفی متعددی از تصاویر سنتینل-۲ استخراج شده و مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از مدل رقومی ارتفاعی مربوط به منطقه مورد مطالعه، برای تولید نقشه شیب (Slop) و ماسک آن در منطقه استفاده شد. برای آستانه‌گذاری شاخص‌ها و ویژگی‌ها از آستانه‌گذاری هیستوگرام به روش Unimodal در محیط سامانه GEE استفاده شد. در نهایت، با ادغام نقشه PB و نقشه SUA، نقشه نهایی تولید شده و با استفاده از نمونه‌های جمع‌آوری شده از تصاویر موجود در گوگل ارث، مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج حاصل، نقشه نهایی ساختمان‌ها با صحت کلی ۹۰/۱۱ درصد و ضریب کاپا برابر با ۰/۸۰۳ تولید شد که نسبت به روش‌های دیگر از صحت بالایی برخوردار بود. علاوه بر این، براساس تفاسیر بصری و مقایسه‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه، روش پیشنهادی از عملکرد بسیار مطلوبی در بخش‌های مختلف برخوردار بود. از مهم‌ترین مزایای روش پیشنهادی می‌توان به رایگان بودن داده‌ها و سامانه مورد استفاده در آن اشاره کرد. به این صورت که، روش ارائه شده در تحقیق حاضر علاوه بر عدم نیاز به دانلود حجم وسیعی از داده‌ها، توانایی از بین بردن بسیاری از محدودیت‌های روش‌های سنتی مانند روش‌های طبقه‌بندی و نیاز آن‌ها به نقاط آموزشی زیاد را دارد. همچنین، در روش پیشنهادی از الگوریتم‌های سنگین و پیچیده‌ای برای استخراج نقشه ساختمان‌ها استفاده نشده که این امر یک مسئله مهم در بحث هزینه محاسباتی است. با این وجود، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط سامانه GEE، نیازی به وجود سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری قوی نیست که این امر یکی از مهم‌ترین مزایای تحقیق حاضر به‌شمار می‌رود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که ادغام داده‌های سنجش از دور راداری و اپتیکی و به‌کارگیری آن‌ها به صورت سری زمانی در محیط سامانه GEE، پتانسیل بسیار بالایی در تفکیک ویژگی‌های متفاوت و استخراج نقشه ساختمان‌ها در مدت زمان کم را دارد.

در منطقه ۲ پهنه آبی در نقشه حاصل از روش قربانیان و همکاران به عنوان محدوده شهری و مسکونی در نظر گرفته شده است در حالی که روش پیشنهادی ارائه شده مناطق را به درستی تشخیص داده است. در همین منطقه، در نقشه حاصل از روش (Sun et al., 2019) یک سری عوارض پراکنده دیگر به عنوان مناطق شهری شناسایی شده‌اند. همانطور که در تمام مناطق ملاحظه می‌شود، تراکم ساختمان‌ها در روش پیشنهادی با دقت بسیار بالایی نشان داده شده است در حالی که در دو روش دیگر تمام مناطق به صورت کاملاً متراکم ظاهر شده‌اند. دلیل این امر این است که در نقشه حاصل از روش‌های مذکور، ویژگی‌هایی مانند خیابان‌ها، سطوح بتنی و پوشش‌های مزاحم وجود دارد. این در حالی است که نقشه حاصل از روش پیشنهادی، فقط شامل ساختمان می‌باشد. علاوه بر این، روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر عملکرد بهتری در استخراج ساختمان‌ها و مناطق مسکونی دارد که در مقایسه‌های کمی نیز نشان داده شد.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به تنوع طیفی و وجود عوارض متنوع در محیط‌های شهری، تهیه نقشه مربوط به آن در یک محدوده وسیع بسیار سخت و چالش‌برانگیز است. در این راستا، در تحقیق حاضر یک روش نیمه خودکار بسیار سریع برای تهیه نقشه محدوده شهری و استخراج ساختمان‌ها در شهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و ۲ به صورت سری زمانی در سامانه GEE ارائه شد. برای این منظور، در ابتدا داده‌های سری زمانی مربوط به تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و ۲ در محیط سامانه GEE فراخوانی شدند. بعد از فراخوانی و اعمال پیش‌پردازش‌های لازم بر روی داده‌ها، برای تصاویر سنتینل-۱ میانگین آن‌ها ($\sigma^{\circ}mean$) محاسبه شد. سپس با استفاده از این تصویر، مناطق شهری اولیه (PUA) براساس آستانه‌گذاری هیستوگرام به روش Unimodal و ساختمان‌هایی با پتانسیل بالا (PB) با استفاده از آستانه‌گذاری تجربی از هیستوگرام تصویر $\sigma^{\circ}mean$ استخراج شد. در

Improved land cover map of Iran using Sentinel imagery within Google Earth Engine and a novel automatic workflow for land cover classification using migrated training samples. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167, 276-288.

11- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289-298.

12- Goward, S. N., Markham, B., Dye, D. G., Dulaney, W., & Yang, J. (1991). Normalized difference vegetation index measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer. *Remote Sensing of Environment*, 35(2-3), 257-277.

13- Hansen, M. C., & Loveland, T. R. (2012). A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 122, 66-74.

14- He, C., Shi, P., Xie, D., & Zhao, Y. (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.

15- Hegazy, I. R., & Kaloop, M. R. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 117-124.

16- Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., Gong, P., Yang, J., Bai, Y., & Zheng, Y. (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 202, 166-176.

17- Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*: Prentice-Hall Inc.

18- Li, G., Lu, D., Moran, E., & Hetrick, S. (2013). Mapping impervious surface area in the Brazilian Amazon using Landsat Imagery. *GIScience & remote sensing*, 50(2), 172-183.

19- Li, L., Zhou, H., Wen, Q., Chen, T., Guan, F., Ren, B., Yu, H., & Wang, Z. (2018). Automatic Extraction of urban Built-up area based on object-oriented method and remote sensing data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42(3).

20- Liu, C., Shao, Z., Chen, M., & Luo, H. (2013).

۶- منابع و مآخذ

1- Arnold Jr, C. L., & Gibbons, C. J. (1996). Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American planning Association*, 62(2), 243-258.

2- Ban, Y., Jacob, A., & Gamba, P. (2015). Spaceborne SAR data for global urban mapping at 30 m resolution using a robust urban extractor. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103, 28-37.

3- Bouziani, M., Goïta, K., & He, D.-C. (2010). Automatic change detection of buildings in urban environment from very high spatial resolution images using existing geodatabase and prior knowledge. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 143-153.

4- Bramhe, V., Ghosh, S., & Garg, P. (2018). Extraction of Built-up areas using Convolutional Neural Networks and transfer learning from Sentinel-2 Satellite Images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42(3).

5- Chen, J., Chen, J., Liao, A., Cao, X., Chen, L., Chen, X., He, C., Han, G., Peng, S., & Lu, M. (2015). Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103, 7-27.

6- Civco, D. L., Hurd, J. D., Wilson, E. H., Arnold, C. L., & Prisloe Jr, M. P. (2002). Quantifying and describing urbanizing landscapes in the Northeast United States. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68(10).

7- Deng, C., & Wu, C. (2012). BCI: A biophysical composition index for remote sensing of urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 127, 247-259.

8- Feyisa, G. L., Meilby, H., Jenerette, G. D., & Pauliet, S. (2016). Locally optimized separability enhancement indices for urban land cover mapping: Exploring thermal environmental consequences of rapid urbanization in Addis Ababa, Ethiopia. *Remote Sensing of Environment*, 175, 14-31.

9- Forget, Y., Linard, C., & Gilbert, M. (2017). Automated supervised classification of Ouagadougou built-up areas in Landsat scenes using OpenStreetMap. Paper presented at the 2017 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE).

10- Ghorbanian, A., Kakooei, M., Amani, M., Mahdavi, S., Mohammadzadeh, A., & Hasanlou, M. (2020).

of Built-up area using Highresolution Sentinel-2A and Google Satellite Imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.

32- Wang, Z., Gang, C., Li, X., Chen, Y., & Li, J. (2015). Application of a normalized difference impervious index (NDII) to extract urban impervious surface features based on Landsat TM images. *International journal of remote sensing*, 36(4), 1055-1069.

33- Xian, G., & Homer, C. (2010). Updating the 2001 National Land Cover Database impervious surface products to 2006 using Landsat imagery change detection methods. *Remote Sensing of Environment*, 114(8), 1676-1686.

34- Xu, H. (2007). Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematicoriented index combination technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(12), 1381-1391.

35- Yang, L., Huang, C., Homer, C. G., Wylie, B. K., & Coan, M. J. (2003). An approach for mapping large-area impervious surfaces: synergistic use of Landsat-7 ETM+ and high spatial resolution imagery. *Canadian journal of remote sensing*, 29(2), 230-240.

36- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International journal of remote sensing*, 24(3), 583-594.

37- Zhang, C., Sargent, I., Pan, X., Li, H., Gardiner, A., Hare, J., & Atkinson, P. M. (2018). An object-based convolutional neural network (OCNN) for urban land use classification. *Remote Sensing of Environment*, 216, 57-70.

38- Zhang, J., Li, P., & Wang, J. (2014). Urban built-up area extraction from Landsat TM/ETM+ images using spectral information and multivariate texture. *Remote Sensing*, 6(8), 7339-7359.

39- Zhang, X., Liu, L., Wu, C., Chen, X., Gao, Y., Xie, S., & Zhang, B. (2020). Development of a global 30 m impervious surface map using multisource and multitemporal remote sensing datasets with the Google Earth Engine platform. *Earth System Science Data*, 12(3), 1625-1648.

40- Zhao, D., Li, J., & Qi, J. (2005). Identification of red and NIR spectral regions and vegetative indices for discrimination of cotton nitrogen stress and growth stage. *Computers and Electronics in Agriculture*, 48(2), 155-169.

MNDISI: a multi-source composition index for impervious surface area estimation at the individual city scale. *Remote Sensing Letters*, 4(8), 803-812.

21- Liu, D., Chen, N., Zhang, X., Wang, C., & Du, W. (2020). Annual large-scale urban land mapping based on Landsat time series in Google Earth Engine and OpenStreetMap data: A case study in the middle Yangtze River basin. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 159, 337-351.

22- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.

23- Ndehedehe, C. E., Oludiji, S. M., & Asuquo, I. (2013). Supervised learning methods in the mapping of built up areas from Landsat-based satellite imagery in part of Uyo Metropolis. *New York Science Journal*, 6(9), 45-52.

24- Rawat, J., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 77-84.

25- Rosin, P. L. (2001). Unimodal thresholding. *Pattern recognition*, 34(11), 2083-2096.

26- Spence, M., Annez, P. C., & Buckley, R. M. (2008). *Urbanization and growth: World Bank Publications*.

27- Sun, Z., Guo, H., Li, X., Lu, L., & Du, X. (2011). Estimating urban impervious surfaces from Landsat-5 TM imagery using multilayer perceptron neural network and support vector machine. *Journal of Applied Remote Sensing*, 5(1), 053501.

28- Sun, Z., Xu, R., Du, W., Wang, L., & Lu, D. (2019). High-resolution urban land mapping in China from sentinel 1A/2 imagery based on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11(7), 752.

29- Teo, T.-A., & Shih, T.-Y. (2013). Lidar-based change detection and change-type determination in urban areas. *International journal of remote sensing*, 34(3), 968-981.

30- Valdiviezo-N, J. C., Téllez-Quinones, A., Salazar-Garibay, A., & López-Caloca, A. A. (2018). Built-up index methods and their applications for urban extraction from Sentinel 2A satellite data: discussion. *JOSA A*, 35(1), 35-44.

31- Vigneshwaran, S., & Kumar, S. V. (2018). Extraction

