

آشکارسازی مناطق ساخته‌شده شهری با استفاده از تصاویر مدارهای متفاوت سنتینل ۱، مورد مطالعه: شهر اصفهان

شاهین جعفری - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
سارا عطارچی* - استادیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تأیید مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

چکیده

در چند دهه اخیر مناطق شهری در نتیجه رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، به سرعت گسترش یافته است. اطلاع از روند تغییرات سریع کاربری اراضی، برای برنامه‌ریزان و مدیران شهری ضروری است. تصاویر سنجش‌ازدور، یکی از منابع مطمئن برای استخراج مناطق ساخته‌شده به حساب می‌آیند. از بین انواع مختلف تصاویر سنجش‌ازدور، تصاویر راداری در استخراج مناطق شهری کارایی مناسبی دارند. سنجنده‌های راداری در قطبش‌های مختلف و در مدارهای صعودی و نزولی تصویربرداری می‌کنند. مقادیر ضریب بازپخش در قطبش‌ها و مدارهای برداشت متفاوت، به ویژگی‌های مختلفی از پدیده‌ها وابسته است و امکان شناسایی بهتر پدیده‌ها را فراهم می‌کند. در این مطالعه به بررسی ارزیابی عملکرد تصاویر صعودی و نزولی سنتینل-۱ در دو باند VH و VV، در استخراج مناطق ساخته‌شده شهر اصفهان پرداخته شده است. برای تفکیک مناطق شهری از سایر مناطق، از روش آستانه‌گذاری خودکار اتسو استفاده شد. خروجی به‌دست‌آمده از اعمال مقادیر آستانه، با تصاویر با قدرت تفکیک بالای گوگل ارث مقایسه شد. مقایسه تصاویر برداشت‌شده در دو مدار صعودی و نزولی نشان می‌دهد صرف‌نظر از قطبش، تصاویر نزولی دقت بالاتری نسبت به تصاویر صعودی داشته‌اند، صحت کلی باندهای VH و VV به ترتیب برای تصاویر نزولی برابر ۹۰ و ۸۷ درصد و برای تصاویر صعودی ۸۸ و ۸۴ بوده است. همچنین تصاویر باند VV در هر دو مدار تصویربرداری در مقایسه با باند VH کارایی بهتری در استخراج مناطق ساخته‌شده داشته است. براساس نتایج تحقیق، تصاویر نزولی باند VV سنتینل-۱ با صحت کلی ۹۰ درصد، بالاترین دقت را در مقایسه با سایر تصاویر در استخراج مناطق ساخته‌شده شهر اصفهان دارند.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی، تصاویر رادار، سنجش‌ازدور، شهر اصفهان، مناطق ساخته‌شده شهری.

مقدمه

شهرنشینی به دلیل رشد سریع جمعیت و مهاجرت از مناطق روستایی به مناطق شهری^۱ به منظور بهره‌مندی از فرصت‌های شغلی، روند صعودی داشته است (Kaya et al., 2012a; Sekertekin et al., 2018; Sekertekin et al., 2016). این رشد سریع سبب تغییرات کاربری اراضی نظیر کاهش زمین‌های کشاورزی و اراضی دارای پوشش گیاهی و افزایش مناطق ساخته‌شده شده است. این تغییرات مشکلاتی نظیر توزیع نامتعادل منابع، آلودگی هوا، ازدحام جمعیت (Lagarias, 2012)، تشدید اثر جزیره گرمایی شهری (Adamowski and Prokoph, 2013)، اثر گلخانه‌ای (Hoornweg et al., 2011)، کاهش کیفیت آب (Kaya et al., 2012b) و افزایش ریسک سیلاب شهری را در پی داشته است. به همین دلیل برنامه‌ریزان و مدیران نیاز به دانستن گستره مناطق ساخته‌شده^۲ و جهت گسترش آن‌ها دارند تا برای رسیدن به توسعه پایدار شهری بهتر برنامه‌ریزی کنند.

کارایی تصاویر سنجش‌ازدوری متفاوت، در استخراج مناطق شهری و بررسی تغییرات شهرها اثبات شده است. در بیشتر مطالعات از انواع تصاویر نوری^۳ بهره گرفته شده است؛ زیرا بیشتر در دسترس هستند و پردازش آسان‌تری دارند (Deng and Wu, 2013). توسعه سنجنده‌های راداری و قابلیت منحصر به فرد این تصاویر، استفاده از آن‌ها را در مطالعات شهری گسترش داده است (Azmedroub et al., 2016). کاربرد این تصاویر به‌ویژه بعد از آغاز مأموریت سنتینل-۱^۴ و سیاست ارائه رایگان تصاویر آن بسیار فراگیر شد. بسیاری از سنجنده‌های سار (SAR)^۵ در حالت تک‌قطبی فعالیت می‌کنند، اما اطلاعات به‌دست آمده از آن‌ها محدود است و اغلب تفکیک عوارض سطح زمین در آن‌ها به‌سختی صورت می‌گیرد (Roychowdhury, 2016, 789). سنجنده‌های دوقطبی^۶ مانند سنتینل-۱ یا سنجنده‌های تمام‌قطبی در مقایسه با سنجنده‌های تک‌قطبی، در استخراج مناطق ساخته‌شده بهتر عمل می‌کنند. به همین علت از داده‌های قطبی سار (PolSAR)^۷ در مطالعات مربوط به پوشش زمین استفاده می‌شود (Engeset and Weydahl, 1998; Haas and Ban, 2017; Khosravi et al, 2017; Amani et al. 2017; Mahdavi et al. 2017b; Roychowdhury, 2016; Whelen and Siqueira 2018; Xu et al., 2019). از زمان آغاز فعالیت سنتینل-۱، تصاویر آن به دلیل اینکه از شرایط آب‌وهوایی تأثیر نمی‌پذیرند و دوقطبی هستند، در مطالعات طبقه‌بندی پوشش زمین (Son et al., 2018; Dostálová et al., 2018) و نگاشت خاک (Taghadosi et al., 2019) بسیار استفاده شده‌اند. همچنین استفاده هم‌زمان از چند داده، ترکیب تصاویر یا تصاویر چند زمانی^۸، سبب افزایش اطلاعات در مقایسه باحالتی می‌شود که داده‌ها فقط از یک سنجنده یا فقط در یک‌زمان خاص اخذ شوند، به همین علت به چنین رویکردهایی در چند سال اخیر توجه صورت گرفته است (Amani et al., 2017; Mahdavi et al., 2017b; Simone et al., 2002).

1. Urban areas
2. Built-up
3. Optical
4. Sentinel 1
5. Synthetic aperture radar (SAR)
6. Dual-polarized
7. Polarimetric synthetic aperture radar (PolSAR)
8. Multi-temporal

تصویربرداری سنجنده‌های راداری در دو مدار صعودی^۱ و نزولی^۲ از زمین سبب می‌شود تا اطلاعات از دست‌رفته در خط دید سنسور در مدارهای مختلف بازبایی شود. استفاده از تصاویر سار با مدارهای مختلف صعودی و نزولی موجب می‌شود از یک منطقه، بازپخش‌های^۳ مختلف ثبت شود (Rignot et al., 1994; Engeset and Weydahl, 1998). این ویژگی سنجنده‌های سار که می‌توانند از دو مدار صعودی و نزولی تصویربرداری کنند در مطالعات مختلفی استفاده شده است. وود^۴ و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای به منظور برآورد اثرات شب‌نم بر میزان بازپخش راداری از تصاویر با مدارهای صعودی و نزولی استفاده کردند. آن‌ها تفاوت بین میزان بازپخش در جفت تصاویر صعودی و نزولی را به حضور شب‌نم و تغییرات زاویه فرود نسبت دادند. ریگنوت^۵ و همکاران (۱۹۹۴) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ERS-1^۶، با بررسی تفاوت بین دو تصویر به دست‌آمده در روز و شب که به ترتیب در حالت‌های نزولی و صعودی اخذ شده بودند، به ارزیابی یک مکان جنگلی در نزدیکی چشمه‌های آبگرم^۷ مانلی^۸، در آلاسکا پرداختند و نتیجه گرفتند تصاویر نزولی دارای مقدار بازپخش بالاتری هستند. سیدین^۹ و همکاران (۲۰۲۰) به مطالعه ارزیابی استفاده تصاویر صعودی و نزولی در طبقه‌بندی مناطق شهری و کشاورزی پرداختند. در این مطالعه از تصاویر صعودی و نزولی سنتینل-۱^{۱۰} و روش طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان^{۱۱} استفاده کردند. نتیجه این مطالعه نشان داد استفاده از ترکیب مدارهای صعودی و نزولی در طبقه‌بندی سبب افزایش دقت به میزان ۴ درصد در مقایسه با استفاده از مدارها به صورت مستقل شده است. به طور کلی می‌توان گفت در تمام مطالعات مرتبط، به استفاده از تصاویر دو مدار تأکید شده است؛ زیرا دقت طبقه‌بندی را افزایش می‌دهد (Solari et al., 2019; Holobăcă et al., 2019; Mahdavi et al., 2019). تفاوت بین میزان بازپخش در تصاویر یک منطقه در مدارهای مختلف، به عواملی مانند جهت دید^{۱۱}، میزان تبخیر و تعرق^{۱۲}، دما و محتوای آب گیاهان بستگی دارد (Mahdavi et al., 2017b). تغییر در زاویه دید، میزان سختی هدف را تغییر می‌دهد؛ زیرا خط دید سنجنده را تغییر می‌دهد (Richards, 2009). با تغییر زاویه دید سنجنده، میزان بازپخش نیز تغییر می‌کند (Henderson and Lewis, 1998)؛ بنابراین در مناطقی که تغییرات توپوگرافی زیاد است نظیر مناطق کوهستانی نوع مداری که تصویر در آن اخذ شده است، مهم است و باید در نظر گرفته شود (Mahdavi et al., 2019). علاوه بر این، تصاویر صعودی و نزولی در ساعات متفاوتی از روز برداشت می‌شود. بدیهی است برخی از ویژگی‌های پدیده‌ها نظیر دما و محتوای آب در ساعات متفاوت شبانه‌روز تغییر می‌کند و در نتیجه میزان بازپخش متفاوتی خواهند داشت که بر تفکیک‌پذیری پدیده‌ها تأثیر می‌گذارد. ثابت دی‌الکتریک^{۱۳} با میزان تبخیر و تعرق رابطه معکوس دارد و در روز متغیر

1. Ascending orbit
2. Descending orbit
3. Backscatter
4. Wood
5. Rignot
6. European remote-sensing satellite-1 (ERS-1)
7. Hot springs
8. Manley
9. Sayedain
10. Support vector machine (SVM)
11. Look direction
12. Evapotranspiration
13. Dielectric constant

است (McDonald et al., 1992). با افزایش میزان تبخیر و تعرق، محتوای آب و ثابت دی‌الکتریک کاهش می‌یابد. بعد از سپیده‌دم، تبخیر و تعرق تا ظهر افزایش و سپس کاهش می‌یابد (McDonald et al., 1991). براساس نتایج، مقدار بازپخش سار از یک هدف خاص در فاصله زمانی بین صبح تا ظهر تغییر می‌کند و بسته به نوع پوشش زمین می‌تواند تا ۶ دسی‌بل^۱ متفاوت باشد (McDonald et al., 1992).

هدف از این تحقیق، بررسی توانایی تصاویر صعودی و نزولی سنتینل-۱ در دو باند VV^2 و VH^3 در شناسایی مناطق ساخته‌شده شهر اصفهان با استفاده از آستانه‌گذاری خودکار اتسو^۴ است. منطقه مورد مطالعه شهر اصفهان است که دارای انواع کلاس‌های کاربری زمین شامل پوشش گیاهی، مناطق آبی و مناطق ساخته‌شده با تراکم‌های متفاوت در مرکز و حاشیه شهر است. شهر اصفهان طی چندین سال اخیر (۱۳۳۵-۱۳۹۰) نزدیک ۷/۵ برابر افزایش جمعیت داشته است (مرکز آمار ایران، ۱۳۳۵ و ۱۳۹۰). افزایش جمعیت در این شهر سبب افزایش مناطق ساخته‌شده شهری شده است. افزایش مناطق ساخته‌شده سبب تخریب باغ‌ها و مزارع کشاورزی و پیدایش مناطق حاشیه‌نشین در اطراف شهر اصفهان شده است (زیاری و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۱۲). آگاهی از توزیع مناطق ساخته‌شده، برای بررسی میزان و روند تغییرات کاربری اراضی در شهر توریستی و صنعتی اصفهان که از مراکز مهم جمعیتی کشور به‌شمار می‌آید، برای برنامه‌ریزان شهری ضروری است. در این تحقیق، تصاویر سری زمانی ۱ ساله سنتینل-۱ در پلتفرم گوگل ارث انجین^۵ اخذ و پردازش شد. با استفاده از روش آستانه‌گذاری خودکار اتسو، آستانه مناسب برای تفکیک مناطق شهری از سایر کاربری‌ها تعیین شد. بعد از اعمال آستانه، مناطق شهری استخراج و سپس صحت خروجی به‌دست‌آمده از طریق مقایسه با تصاویر گوگل ارث^۶ ارزیابی شد. نوآوری این مقاله در بررسی اثر مدار اخذ تصویر (صعودی یا نزولی بودن) و همچنین توانایی باندهای پلاریمتریک سنتینل-۱ و روش آستانه‌گذاری خودکار اتسو برای تفکیک مناطق ساخته‌شده از سایر کاربری‌ها در شهر اصفهان است.

مبانی نظری

مناطق ساخته‌شده شهری مناطقی هستند که از نظر قانونی به شهر تعلق دارند و به‌طور کلی تحت ساخت‌وساز قرار گرفته‌اند، همچنین امکانات شهری در این مناطق به‌صورت عمومی در دسترس افراد هستند (Ma et al., 2019). محیط شهر یک محیط پویا است که در آن ساخت‌وساز و در برخی اوقات تخریب روی می‌دهد (Kraff et al., 2020). یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که در چند دهه اخیر بسیاری از کشورها با آن مواجه شده‌اند، افزایش جمعیت و در پی آن افزایش شدید مناطق ساخته‌شده شهری است (Falah et al., 2020: 235) که طی سالیان اخیر به یک موضوع مهارناپذیر تبدیل شده است (Angel et al., 2011). علاوه بر رشد جمعیت، مهاجرت از روستا به شهر، تغییرات اقلیمی، بحران‌های اقتصادی

1. Decibel
2. Vertical vertical (VV)
3. Vertical horizontal (VH)
4. Otsu's thresholding method
5. Google Earth Engine (GEE)
6. Google Earth

و جنگ از مهم‌ترین عوامل رشد شهرها به‌شمار می‌آید (Kraff et al., 2020). براساس تخمین، حدود ۶۶ درصد از جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ در مناطق شهری زندگی خواهند کرد (Grimm et al., 2008; Cao et al., 2018) و بیشتر این افزایش جمعیت شهرها در کشورهای درحال توسعه خواهد بود. این رشد سریع، همچنین سبب گسترش سکونت‌گاه‌های غیررسمی در محدوده شهرها شده است (Castles et al., 2013). در حال حاضر تعداد جمعیت ساکن در شهرها، بیش از نصف جمعیت جهان است. توسعه فیزیکی شهرها موجب تغییرات کاربری اراضی نظیر تبدیل اراضی حاصلخیز کشاورزی به نواحی شهری (Yar and Huafu, 2019) شده است که شدت آن در نواحی پیشرفته و درحال توسعه به‌مراتب زیادتر است. این امر سبب افزایش آلودگی شهری، مجموعه‌ای از مشکلات اقتصادی-اجتماعی و اکولوژیکی، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، تغییرات ژئومورفولوژیکی سطح زمین و بسیاری از مشکلات دیگر شده است (Salazar et al., 2015, Lu et al., 2016, Mohapatra et al., 2014). همچنین توسعه سریع مناطق ساخته‌شده - که در بسیاری از موارد از طرح‌های مدیریتی شهرها تبعیت نکرده است - کارکردهای حیاتی شهرها را با بحران مواجه کرده است. به همین دلیل، بررسی مناطق شهری و تغییرات آن اهمیت فراوانی دارد (Zhang et al., 2014; Liu et al., 2017; Inkoom et al., 2016; Chen et al., 2017). آگاهی از موقعیت مناطق ساخته‌شده برای مدیران و برنامه‌ریزان ضروری است؛ زیرا نشان‌دهنده گستره شهر است. نیازهای شهروندان باید در محدوده شهر پاسخ داده شود. چنانچه گسترش مناطق ساخته‌شده با طرح‌های مدیریت شهری انطباق نداشته باشد، کارکردهای اصلی شهرها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین سرعت و جهت تغییرات مناطق ساخته‌شده باید با منابع موجود و خدمات قابل‌ارائه شهر تناسب داشته باشد. در کشور ایران نرخ رشد شهرنشینی دارای روند کاملاً صعودی و افزایش ۴۳ درصدی جمعیت شهرنشین از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵ گویای این امر است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). نتیجه افزایش جمعیت، افزایش مناطق ساخته‌شده است. با استفاده از روش نقشه‌برداری زمینی می‌توان گستره مناطق شهری را مطالعه و اندازه‌گیری کرد. این روش دقیق است، ولی بسیار زمان‌بر و پرهزینه است. علاوه بر این، در این روش امکان اخذ داده‌های مربوط به زمان گذشته وجود ندارد. همچنین روش‌های نقشه‌برداری زمینی عمدتاً محدود به یک‌زمان خاص است و امکان برداشت‌های دوره‌ای متناوب و منظم میسر نیست. این مسئله در شهرهای کشورهای درحال توسعه که رشد شتابان شهری را تجربه می‌کنند، سبب محدودیت در شناسایی تغییرات می‌شود. پایش تغییرات نیازمند برداشت‌های دوره‌ای و منظم است. شناسایی سرعت و روند تغییرات کنونی می‌تواند در پیش‌بینی روند تغییرات آینده و برنامه‌ریزی مناسب برای این تغییرات استفاده شود. برای همین منظور، استفاده از سنجش‌ازدور برای استخراج مناطق ساخته‌شده شهری با دقت مناسب و با صرف زمان کمتر و همچنین قابلیت برداشت‌های متوالی و منظم امکان‌پذیر است (Xiang et al., 2016). برای مطالعه مناطق ساخته‌شده شهری می‌توان از سنجنده‌های نوری و راداری استفاده کرد. این سنجنده‌ها هرکدام دارای معایب و مزایایی هستند. تصاویر نوری به‌دلیل آرسپوی طولانی و سادگی در پردازش‌ها، در مطالعات زیادی استفاده شده‌اند (Weng, 2012; Hu and Weng, 2011). مناطق ساخته‌شده شهری دارای تنوع زیادی است. ساختمان‌ها، خیابان‌ها و پارکینگ‌ها (Zhang et al., 2014; Deng and Wu, 2013) و همچنین هرکدام از این عوارض نیز در اندازه، تراکم و مواد تشکیل‌دهنده متفاوت است؛ برای مثال، ساختمان‌های شهری شامل ساختمان‌های مسکونی و تجاری می‌شود. در نمای ساختمان‌های تجاری، عموماً از فلز و

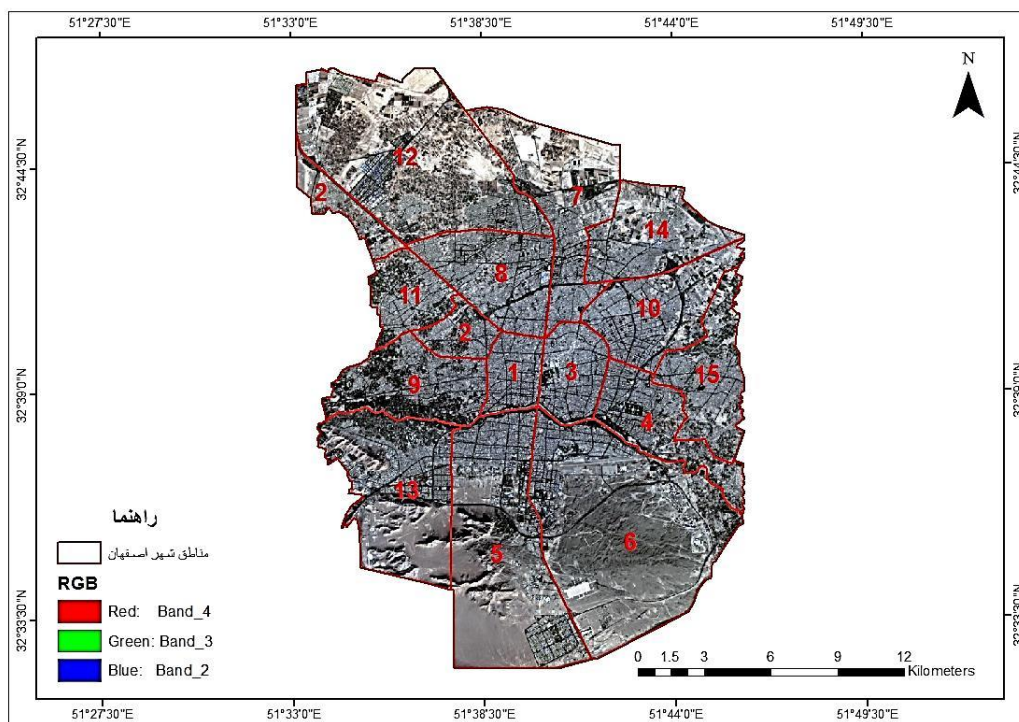
شیشه استفاده می‌شود که با ساختمان‌های مسکونی متفاوت است. ساختمان‌های مسکونی ممکن است به صورت ساختمان‌های تک خانوار یا ساختمان‌های دارای ارتفاع متوسط یا برج‌های بلند باشد. تراکم ساختمان‌ها در همه جای شهر یکسان نیست و در نتیجه واکنش متفاوتی در انواع متفاوت تصاویر سنجش‌ازدوری از خود نشان می‌دهند. خیابان‌ها و پارکینگ‌ها نیز دارای عرض‌های متفاوت است و با مواد مختلف پوشیده شده‌اند. همچنین وجود سکونت‌گاه‌های غیررسمی در مرز مناطق شهری و یا در اطراف آن، استخراج این مناطق با استفاده از تصاویر سنجش‌ازدوری را با پیچیدگی همراه می‌کند. در نتیجه تنوع عوارض شهری زیاد و تفکیک و طبقه‌بندی آن‌ها دشوار است. در واقع تفکیک مناطق شهری فقط با استفاده از مقادیر بازتاب طیفی ممکن نیست و با استفاده از اطلاعات به دست آمده از انواع مختلف تصاویر سنجش‌ازدوری که در شرایط متفاوت اخذ شده‌اند و بهتر می‌توان عوارض متفاوت را در این محیط پیچیده شناسایی کرد (Deng and Wu, 2013; عطارچی، ۱۳۹۸، ۸۳۸). سنجنده‌های راداری به دلیل اینکه می‌توانند در تمام طول شبانه‌روز و بدون تأثیرپذیری از هر شرایط آب‌وهوایی داده اخذ کنند، (Cao et al., 2018) برای انجام مطالعات نسبت به سنجنده‌های نوری از کارایی بیشتری برخوردار هستند. علاوه بر این، میزان بازپخش پدیده‌ها در طول موج‌های راداری به اندازه، حجم، جهت و ویژگی‌های سطح پدیده‌ها بستگی دارد و در نتیجه می‌توانند در شناسایی پدیده‌هایی مؤثر باشند که در تصاویر نوری از بازتاب طیفی یکسانی برخوردار هستند. پرتوهای ارسالی از سنجنده‌های راداری دارای خاصیت قطبش هستند (عطارچی، ۱۳۹۸: ۸۳۹). با استفاده از قطبش‌های متفاوت، امکان شناسایی بهتر پدیده‌های متنوع سطح زمین وجود دارد (Guo et al., 2014; عطارچی، ۱۳۹۸: ۸۳۹). تصاویر راداری در مدارهای مختلف و به صورت‌های صعودی و نزولی برداشت می‌شوند. در مدار نزولی حرکت سنجنده و اخذ تصویر از شمال به سمت جنوب و زاویه دید آن به سمت غرب است. در مدار صعودی، تصویربرداری از جنوب به شمال است و زاویه دید سنجنده به سمت شرق است (Mora et al., 2016). تصاویر راداری که از یک منطقه یکسان، اما در مدارهای مختلف صعودی و نزولی اخذ می‌شوند، دارای مقادیر متفاوت ضریب بازپخش هستند؛ زیرا زاویه دید و زمان تصویربرداری آن تغییر می‌کند. با تغییر در زاویه دید میزان زبری عوارض و تغییر می‌کند (Richards, 2009). همچنین میزان دما، تبخیر و تعرق و محتوی آب گیاهان در ساعات مختلف برداشت نزولی و صعودی متفاوت است (Mahdavi et al., 2017a). در واقع استفاده از تصاویر در مدارهای مختلف می‌تواند سبب افزایش اطلاعات در مورد پدیده‌ها شود و به تشخیص و تفکیک عوارض کمک کند (Mahdavi et al., 2019; Sayedain et al., 2020).

در بیشتر موارد، مناطق ساخته‌شده با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی از تصاویر سنجش‌ازدوری استخراج می‌شود. این روش‌ها نیازمند برداشت نمونه‌های آموزشی به وسیله کاربر هستند که امری زمان‌بر است و همچنین تا حدودی سبب ایجاد خطا در فرایند طبقه‌بندی می‌شود. برای حل این مشکل، در این تحقیق از یک روش مبتنی بر آستانه‌گذاری اتوماتیک استفاده شده است. روش مورد استفاده، روش آستانه‌گذاری خودکار اتسو (Otsu, 1979) است که مناطق ساخته‌شده را بدون دخالت کاربر و بدون نیاز به اطلاعات، از سایر مناطق به صورت خودکار استخراج می‌کند. روش آستانه‌گذاری اتسو در مطالعات برای شناسایی و استخراج پدیده‌ها با استفاده از هیستوگرام تصویر و تبدیل آن به تصویر باینری استفاده می‌شود و دارای دقت استخراج مناسبی است (Lv et al., 2019; Lamphar, 2020). با در نظر گرفتن حجم

و تعداد زیاد تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از پلتفرم‌های مناسب برای اخذ و پردازش تصاویر ضروری است. گوگل ارث انجین یک بستر ابری است که داده‌های جغرافیایی را پردازش و تجزیه و تحلیل می‌کند (Wang et al., 2020). این پلتفرم با استفاده از الگوریتم‌های مناسبی که دارد و همچنین پشتیبانی از انواع داده‌های سنجنش از دوری می‌تواند به پردازش تصویر بپردازد (Gorelick et al., 2017). براساس همین ویژگی‌ها، امکان مطالعه در انواع مقیاس‌ها و در بازه‌های زمانی طولانی میسر می‌شود (Huang et al., 2017; Xiong et al., 2017).

منطقه مورد مطالعه

شهر اصفهان در محدوده بین طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاعی بین ۱۵۵۰ تا ۱۶۵۰ متر دارد. این شهر در بخش شمالی و جنوبی به اراضی بیابانی و در بخش‌های غربی و شرقی به اراضی کشاورزی منتهی می‌شود (سفیانیان، ۱۳۸۸: ۱۵۵). برای نمایش منطقه مورد مطالعه از تصویر لندست ۸ استفاده شد (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه شهر اصفهان (لندست ۸، تاریخ ۲۰۲۰/۳/۱۱)

داده‌های مورد استفاده

برای انجام این تحقیق از تصاویر سنتینل ۱- (جدول ۱) در محدوده باند C در پلتفرم گوگل ارث انجین استفاده شده است. بازه زمانی دریافت تصاویر از اول سال ۲۰۱۹ تا آخر سال ۲۰۱۹ به مدت یک سال است. علت استفاده از تصاویر

برداشت‌شده در یک سال، محاسبه مقادیر میانگین ضریب بازپخش در یک سال با هدف کاهش اثر اسپیکل است. این تصاویر در حالت GRD^۱ است و در دو باند قطبی (VH و VV) و به‌صورت صعودی و نزولی برداشت شده‌اند. زمان اخذ تصاویر صعودی در حدود ساعت ۱۴:۳۰ و زمان اخذ تصاویر نزولی در حدود ۲:۳۰ بامداد است. برای این کار از مدل رقومی زمین^۲ ۳۰ متری استفاده شد. یکی از محدودیت‌های تصاویر راداری، وجود پیکسل‌های سایه‌وسفید است که به این نوع پیکسل‌ها لکه‌های راداری می‌گویند. برای کاهش این لکه‌ها، از میانگین‌گیری تصاویر استفاده شده است (Chini et al., 2018a: 8133). برای ازبین‌بردن خطای هندسی ناشی از توپوگرافی در مناطق دارای اختلاف ارتفاع زیاد، با استفاده از مدل رقومی زمین، مناطق با شیب بالای ۱۵ درجه ماسک شد.

جدول ۱. تعداد تصاویر مورد استفاده و زمان اخذ تصاویر

نوع	VV	VH	زمان
صعودی	۳۱	۳۱	۱۴:۳۵-۱۴:۳۴
نزولی	۵۶	۵۶	۰۲:۳۹-۰۲:۲۳

روش پژوهش

استخراج مناطق ساخته‌شده

با استفاده از تصاویر راداری، مناطق ساخته‌شده شهری در قطبش‌های مختلف و در دو مدار صعودی و نزولی قابل استخراج است. ویژگی برداشت تصاویر در قطبش‌های مختلف می‌تواند سبب شناسایی پدیده‌هایی شوند که دارای بازپخش‌های مختلف در باندهای متفاوت پلاریمتریک هستند. (Chini et al., 2018b: 3). در این مطالعه، هدف مقایسه تصاویر صعودی و نزولی سنتینل-۱ در دو باند VH و VV است. برای همین منظور از سری زمانی تصاویر سنتینل-۱ در پلتفرم گوگل ارث انجین برای استخراج مناطق ساخته‌شده شهری استفاده شد (شکل ۲). گوگل ارث انجین پلتفرم بسیار کارایی است که می‌توان با استفاده از آن تصاویر ماهواره‌ای را سریع‌تر و به‌صورت رایگان اخذ و پردازش کرد. گوگل ارث انجین مبتنی بر محاسبات ابری است که پردازش‌های خود را روی داده‌های موجود در پایگاه داده انجام می‌دهد (Shelestov et al., 2017). برای استخراج مناطق شهری، از روش آستانه‌گذاری خودکار اتسو استفاده شد. بعد از تعیین آستانه و اعمال آن روی تصویر، مناطق شهری استخراج شد. از فیلتر اکثریت^۳ برای پس‌پردازش خروجی استفاده شد (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۳). اعمال فیلتر اکثریت سبب انسجام مکانی بالاتر و کاهش نویز تصویر خروجی می‌شود. ابعاد ۳×۳ برای ابعاد کرنل^۴ در نظر گرفته شد.

تعیین حد آستانه

آستانه‌گذاری یکی از روش‌های مناسب برای تفکیک مناطق ساخته‌شده از مناطق ساخته نشده است. با اعمال حد آستانه روی یک تصویر، تصویری باینری به‌دست می‌آید که دو منطقه مجزا را از هم تفکیک می‌کند (Sezgin and Sankur, 2004).

1. Ground range detected
2. Digital elevation model (DEM)
3. Majority filter
4. Kernel

روش‌های مختلفی برای آستانه‌گذاری وجود دارد که یکی از این روش‌ها، روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی^۱ هست که در این نوع آستانه‌گذاری درجات خاکستری به دو بخش پس‌زمینه^۲ و پیش‌زمینه^۳ خوشه‌بندی می‌شود. روش‌های آستانه‌گذاری خوشه‌بندی به چند نوع تقسیم می‌شوند؛ مانند اتسو، حداکثر آستانه خطا^۴ و انتخاب ایدئال^۵ (حاجی علی و همکاران، ۱۳۹۸: ۸). روش‌های آستانه‌گذاری خودکار، بدون دخالت کاربر و با سرعت زیاد پردازش را انجام می‌دهند. آستانه‌گذاری مورد استفاده، روش آستانه‌گذاری اتسو هست که یکی از پرکاربردترین روش‌های آستانه‌گذاری خودکار محسوب می‌شود که به وسیله اتسو در سال ۱۹۷۹ طراحی شده است و از اطلاعات هیستوگرام تصویر برای تعیین آستانه استفاده می‌کند (Otsu, 1979).

صحت‌سنجی و آنالیز حساسیت

برای ارزیابی صحت خروجی به دست آمده، مقایسه آن با داده‌های میدانی یا تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر ضروری است. در روش‌های میدانی، نقاط با دقت بالا برداشت می‌شوند، اما این روش‌ها زمان‌بر و پرهزینه است. در مطالعات سنجش‌ازدوری در صورت در دسترس نبودن داده‌های میدانی، می‌توان از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، در همان بازه زمانی استفاده کرد. یکی از مهم‌ترین منابع در این زمینه که هم دارای دقت بالا و هم دارای آرشیو زمانی مناسب است، گوگل ارث است. از طریق این سامانه می‌توان به سری زمانی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا از منطقه مورد مطالعه دسترسی پیدا کرد و از این تصاویر در بحث‌های ارزیابی نتایج و برداشت نمونه‌های ارزیابی استفاده کرد. برای همین منظور، نمونه‌های اعتبارسنجی از گوگل ارث برداشت شد (شکل ۲). همچنین در مناطق مختلف تصویر خروجی آستانه‌گذاری با این تصاویر مقایسه شد تا نشان داده شود کدام مناطق شهری بهتر استخراج شده‌اند. بعد از انتخاب داده‌های ارزیابی، برای صحت‌سنجی خروجی پردازش، ماتریس خطا^۶ محاسبه شد و از طریق ماتریس خطا پارامترهای صحت کلی، ضریب کاپا، صحت کاربر^۷ و صحت تولیدکننده^۸ استخراج شد (Lu et al., 2004: 2391). همچنین دقت^۹، یادآوری^{۱۰} و F-Measure محاسبه شد. برای محاسبه این پارامترها از یک ماتریس (جدول ۲) استفاده می‌شود که دارای ۴ سنجه زیر است (Powers, 2020).

۱. TPrate (مثبت واقعی): درصدی از نمونه‌های مثبت که درست طبقه‌بندی شده‌اند.
۲. FPrate (مثبت کاذب): درصدی از نمونه‌های مثبت که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند.
۳. TNrate (منفی درست): درصدی از نمونه‌های منفی که درست طبقه‌بندی شده‌اند.

1. Clustering
2. Foreground
3. Background
4. Maximum error threshold
5. The ideal choice
6. Error matrix
7. User's accuracy
8. Producer accuracy
9. Precision
10. Recall

۴. FNrate (منفی کاذب): درصدی از نمونه‌های منفی که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۲. ماتریس خطا

واقعی		پیش‌بینی	
		۱	۰
۱	TP (مثبت واقعی)	۱	۰
۰	TN (منفی واقعی)	۰	۱
	FN (مثبت کاذب)		
	TN (منفی واقعی)		

از این ماتریس پارامترهای زیر استخراج می‌شود:

دقت از طریق نسبت نمونه‌های با برچسب‌گذاری^۱ درست به تعداد کل نمونه‌های طبقه‌بندی شده و از طریق رابطه زیر

به دست می‌آید.

$$\text{دقت} = \frac{TP}{TP+FP} \quad \text{رابطه (۱)}$$

یادآوری، کامل بودن نتایج طبقه‌بندی‌کننده را ارزیابی می‌کند و از نسبت تعداد کل نمونه‌های دارای برچسب مثبت

به کل نمونه‌هایی است که واقعاً مثبت هستند، به دست می‌آید (رابطه ۲).

$$\text{یادآوری} = \frac{TP}{TP+FN} \quad \text{رابطه (۲)}$$

F-measure میانگین هارمونیک^۲ دقت و یادآوری است که به دلیل بهینه‌سازی^۳ سیستم نسبت به دقت و یادآوری

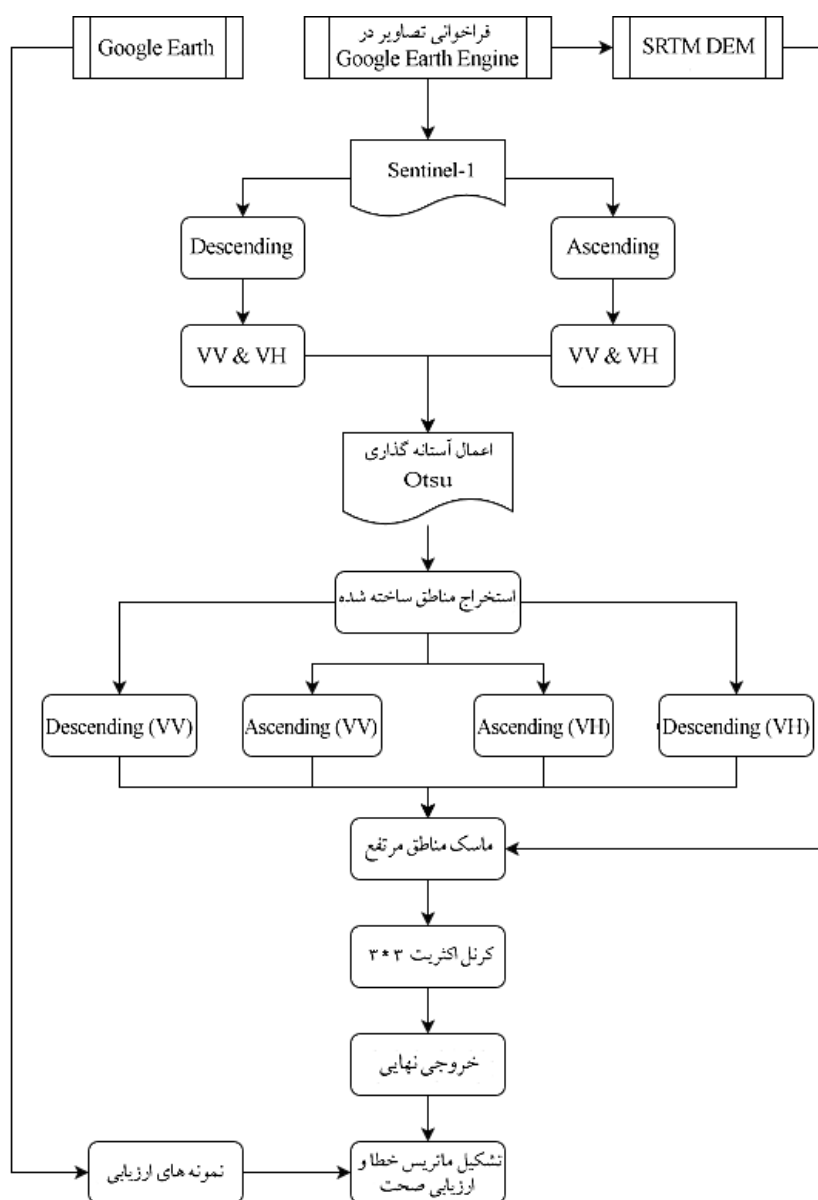
استفاده می‌شود و روی نتیجه نهایی تأثیر بسزایی دارد که از طریق رابطه زیر به دست می‌آید (Tripathy et al., 2016):

(14).

$$F = \frac{2PR}{P+R} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه ۳، P بیانگر دقت و R هم بیانگر یادآوری است.

1. Labeling
2. Harmonic
3. Optimization



شکل ۲. مراحل انجام کار

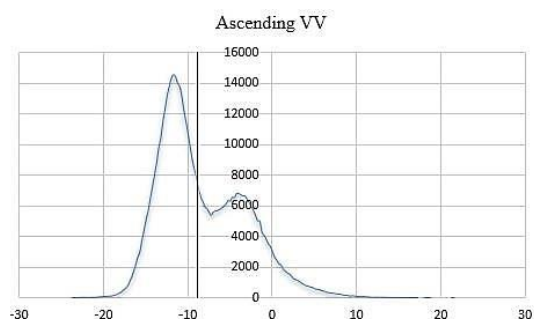
یافته‌های پژوهش

حد آستانه استخراج شده برای تصاویر در جدول ۳ آمده است. نتایج استخراج شده برای تصاویر صعودی و نزولی باند VV عدد ۹/۱۱۵- دسی‌بل (شکل‌های ۳ و ۴) و برای تصاویر صعودی و نزولی باند VH به ترتیب ۱۷/۰۱۳- و ۱۷/۰۲۵- دسی‌بل (شکل‌های ۵ و ۶) است. پدیده‌های مشابه در باندهای هم‌قطب^۱ در مقایسه با باندهای غیرهم‌قطب^۲، میزان بازپخش بالاتری دارند و به همین علت سطح آستانه به دست آمده در این باندها بزرگ‌تر است.

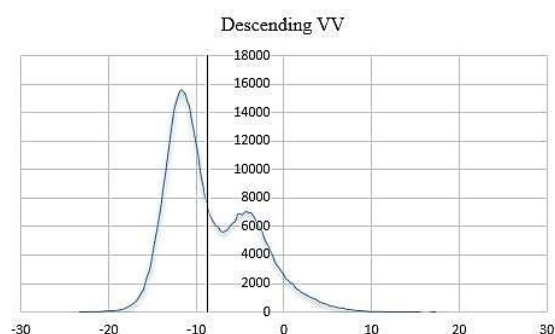
1. Co-polarized
2. Cross-polarized

جدول ۳. مقادیر بازپخش حد آستانه اتسو (دسی‌بل)

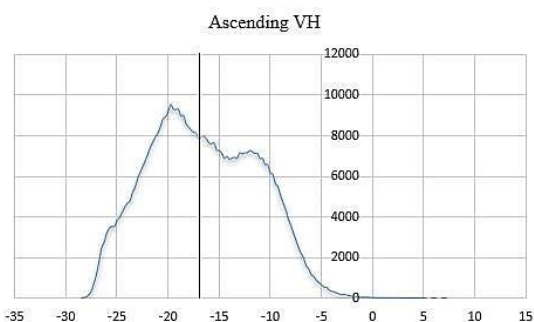
Des(VH)	Asc(VH)	Des(VV)	Asc(VV)	نتایج
-۱۷/۰۲۵	-۱۷/۰۱۳	-۹/۱۱۵	-۹/۱۱۵	آستانه اتسو



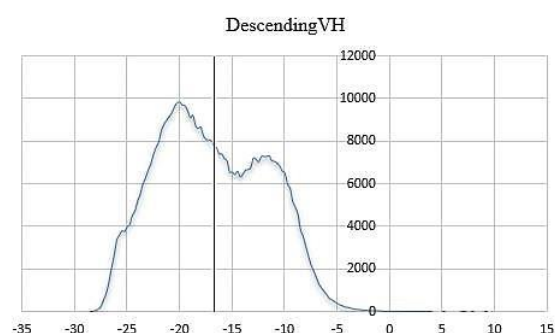
شکل ۴. حد آستانه اتسو روی هیستوگرام AscVV



شکل ۳. حد آستانه اتسو روی هیستوگرام DesVV



شکل ۶. حد آستانه اتسو روی هیستوگرام AscVH



شکل ۵. حد آستانه اتسو روی هیستوگرام DesVH

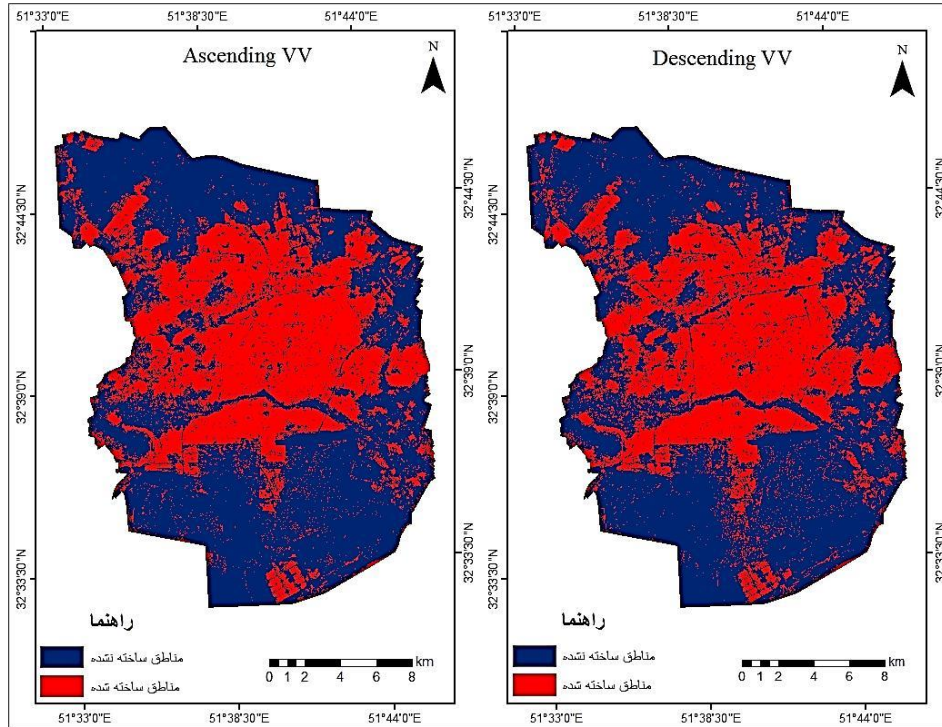
برای به‌دست‌آوردن بهترین باند برای استخراج مناطق ساخته‌شده، اقدام به ارزیابی نتایج با استفاده از داده‌های

اعتبارسنجی شد (جدول ۴).

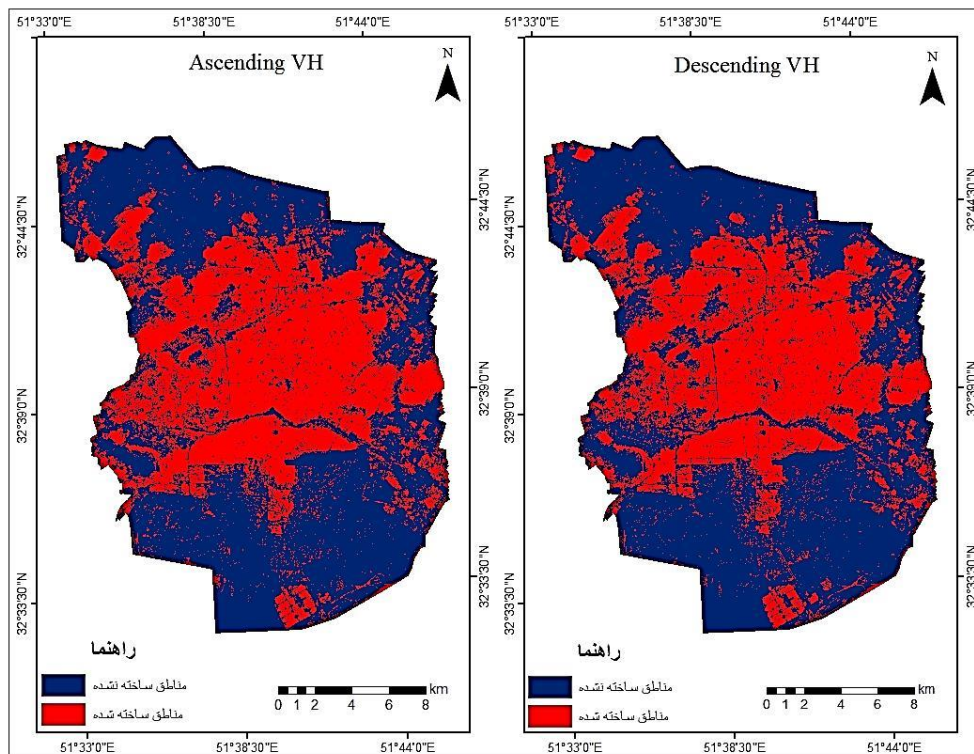
جدول ۴. ارزیابی نتایج

Des(VH)	Asc(VH)	Des(VV)	Asc(VV)	کلاس	نتایج (درصد)
۸۷	۸۴	۹۰	۸۸		صحت کلی
۷۳	۶۸	۷۹	۷۷		ضریب کاپا
۹۶	۹۷	۹۶	۹۶	مناطق ساخته‌شده	صحت کاربر
۸۱	۷۷	۸۶	۸۴	مناطق ساخته‌نشده	
۷۵	۷۱	۸۹	۷۸	مناطق ساخته‌شده	صحت تولیدکننده
۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	مناطق ساخته‌نشده	
۹۶	۹۷	۹۶	۹۶	مناطق ساخته‌شده	یادآوری
۸۱	۷۷	۸۶	۸۴	مناطق ساخته‌نشده	
۷۵	۷۱	۸۱	۷۸	مناطق ساخته‌شده	دقت
۹۷	۹۷	۹۶	۹۷	مناطق ساخته‌نشده	
۸۴	۸۱	۸۷	۸۶	مناطق ساخته‌شده	F- Measure
۸۸	۸۵	۹۰	۹۰	مناطق ساخته‌نشده	

در شکل های ۷ و ۸ خروجی نهایی استخراج مناطق ساخته شده و ساخته نشده برای شهر اصفهان آمده است.



شکل ۷. خروجی نهایی تصاویر صعودی و نزولی برای باند VV



شکل ۸. خروجی نهایی تصاویر صعودی و نزولی برای باند VH

بعد از استخراج مناطق ساخته‌شده با استفاده از گوگل ارث، اقدام به برداشت نمونه‌های ارزیابی شد. این نقاط وارد ماتریس خطا شد و از این ماتریس پارامترهای ارزیابی به‌دست آمد. صحت کلی، ضریب کاپا، صحت تولیدکننده و صحت کاربر در جدول ۴ آمده است. با بررسی همین جدول می‌توان نتیجه گرفت که باند ۷۷ در دو تصویر صعودی و نزولی دارای صحت کلی بالاتر از ۸۸ درصد هستند و نسبت به باند VH از صحت بالاتری برخوردارند. صحت کلی برای باند ۷۷ تصویر نزولی ۹۰ درصد و ضریب کاپا برای همین تصویر ۷۹ درصد است که نسبت به بقیه تصاویر از صحت بالاتری برخوردار است. صحت کاربر برای همین تصویر برای هر دو کلاس مناطق ساخته‌شده و مناطق ساخته‌نشده به ترتیب ۹۶ و ۸۶ درصد و صحت تولیدکننده برای مناطق ساخته‌شده ۸۹ درصد و برای مناطق ساخته‌نشده ۹۷ درصد است.

سرانجام با نتایج ماتریس خطا، اقدام به آنالیز حساسیت شد و پارامترهای دقت به‌عنوان دقت شناسایی عوارض و پارامتر یادآوری به‌عنوان ارزیابی نتایج و درنهایت F-Measure به‌عنوان میانگین هارمونیک دقت و یادآوری محاسبه شدند. نتایج نشان می‌دهد دقت باند ۷۷ در دو تصویر صعودی و نزولی برای مناطق ساخته‌شده به ترتیب بین ۷۸ و ۸۱ درصد و برای مناطق ساخته‌نشده دارای دقتی به ترتیب بین ۹۷ و ۹۶ درصد است؛ درحالی‌که برای باند VH در دو تصویر صعودی و نزولی در مناطق ساخته‌شده، دقت به ترتیب بین ۷۱ و ۷۵ درصد و برای مناطق ساخته‌نشده عدد ۹۷ درصد به‌دست آمد که نشان از دقت شناسایی در باند ۷۷ و به‌خصوص تصویر نزولی باند ۷۷ است.

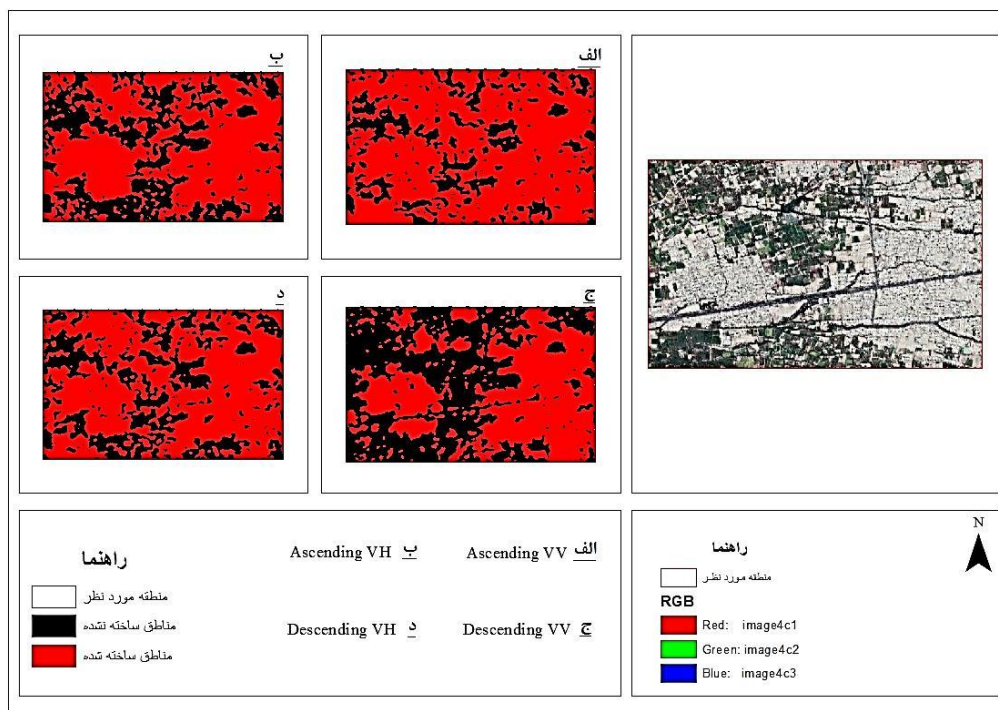
همچنین برای پارامتر یادآوری به‌عنوان ارزیابی‌کننده نتیجه شناسایی، برای مناطق ساخته‌شده در باند ۷۷ در دو تصویر صعودی و نزولی مقدار ۹۶ درصد و برای مناطق ساخته‌نشده ۸۴ و ۸۶ درصد به‌دست آمد؛ درحالی‌که همین پارامتر در دو تصویر صعودی و نزولی باند VH برای مناطق ساخته‌شده مقادیر ۹۶ و ۹۷ درصد و برای مناطق ساخته‌نشده ۷۷ و ۸۱ درصد به‌دست آمد که این پارامتر هم نشان از صحت بالای باند ۷۷ و تصویر نزولی همین باند است.

درنهایت پارامتر F-Measure که میانگین هارمونیک دقت و یادآوری است. در دو تصویر صعودی و نزولی باند ۷۷ برای مناطق ساخته‌شده مقادیر ۸۶ و ۸۷ درصد و برای مناطق ساخته‌نشده مقدار ۹۰ درصد را نشان داد؛ درحالی‌که این پارامتر برای تصاویر صعودی و نزولی باند VH برای مناطق ساخته‌شده مقادیر ۸۱ و ۸۴ درصد و برای مناطق ساخته‌نشده برابر با ۸۵ و ۸۸ درصد است. درمجموع صحت موردانتظار به‌دست آمده و تصویر نزولی باند ۷۷ دارای دقت بهتری نسبت به بقیه تصاویر است.

بحث

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد باند ۷۷ در مقایسه با باند VH، برای استخراج مناطق ساخته‌شده بهتر عمل می‌کند. همچنین مقایسه کارایی تصاویر اخذشده در دو باند صعودی و نزولی نشان می‌دهد تصاویری که در مدار نزولی برداشت شده‌اند، با دقت بالاتری مناطق ساخته‌شده را از سایر کاربری‌ها تفکیک می‌کنند. همچنین دقت بالا در استخراج مناطق ساخته‌شده، این نکته را تأیید می‌کند که روش آستانه‌گذاری اتوماتیک اتسو، روش مناسبی در تفکیک مناطق ساخته‌شده از سایر کاربری‌ها از تصاویر راداری است. در مطالعات مشابه نظیر مطالعه چینی و همکاران که با استفاده از ضریب بازپخش و انسجام چندزمانی تصاویر ستینل-۱ به استخراج مناطق ساخته‌شده شهری پرداختند، دقت مشابهی به‌دست

آمده است. در این مطالعه برای تفکیک مناطق ساخته‌شده از سایر کاربری‌ها، حد آستانه در هر دو قطبش تعیین شد. همچنان از انسجام چندزمانی تصاویر برای بهبود صحت استخراج استفاده کردند. مقایسه نتایج این مطالعه با نقشه‌های جهانی مناطق شهری (GUF^۱) نشان داد صحت روش مورد استفاده ۹۲ درصد بوده است (Chini et al., 2018). همچنین عزیزی‌مند و همکاران در مطالعه‌ای برای شناسایی تغییرات اراضی ساخته‌شده با استفاده از تصاویر سنجنش‌ازدور، روش آستانه‌گذاری اتسو را به کار بردند. در این مطالعه از تصاویر اپتیک و شاخص‌های طیفی برای تشخیص تغییرات اراضی ساخته‌شده شهر تهران استفاده شد. براساس نتایج این تحقیق شاخص VbSWIR1-BI^۲ با صحت کلی ۹۲/۸۸ در تصویر لندست ۷ و صحت کلی ۹۲/۶۸ در تصویر لندست ۸ صحت بالاتری نسبت به سایر شاخص‌ها در استخراج مناطق ساخته‌شده دارد و روش آستانه‌گذاری اتسو، روش مناسبی برای استخراج مناطق ساخته‌شده به‌شمار می‌آید (عزیزی‌مند و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعه تحقیقات مشابه نشان می‌دهد صحت خروجی به‌دست‌آمده با مطالعات پیشین منطبق است.

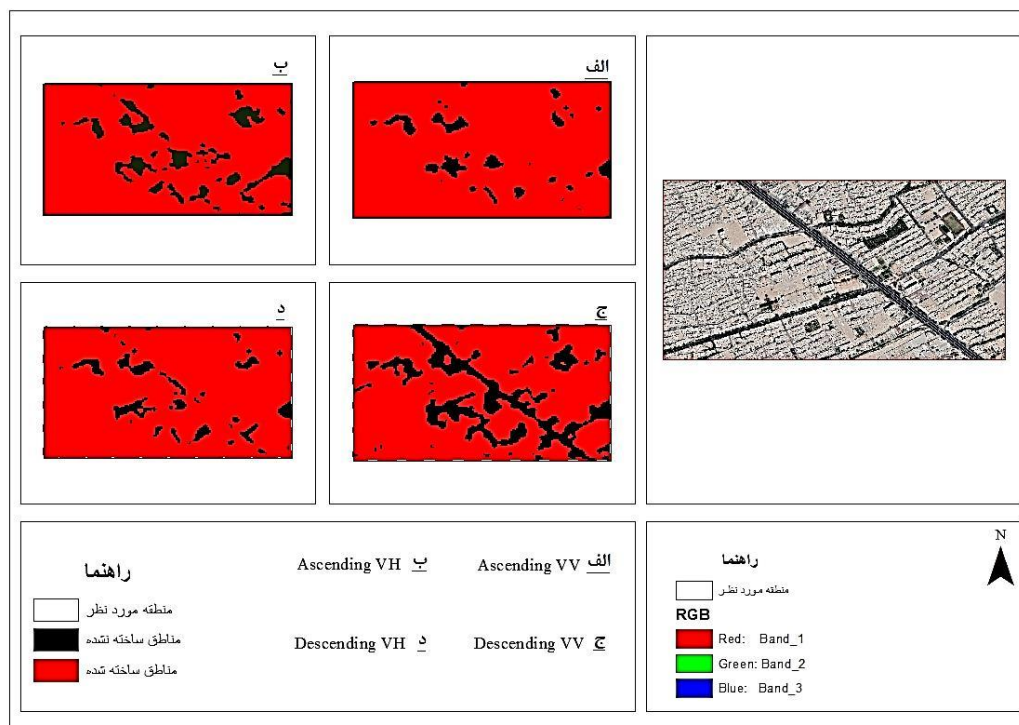


شکل ۹. ارزیابی خروجی (مناطق که پوشش گیاهی و مناطق ساخته‌شده حضور دارند)

به‌منظور بررسی بیشتر، در مناطق خاصی از منطقه مورد مطالعه که پیچیدگی و ناهمگنی بیشتر وجود داشت، خروجی‌های به‌دست‌آمده ارزیابی کیفی شد. این مناطق شامل ۱. مجاورت پوشش گیاهی با مناطق ساخته‌شده (شکل ۹)، ۲. وجود جاده با جهات متفاوت (شکل ۱۰)، ۳. مجاورت جاده و مناطق ساخته‌شده (شکل ۱۱) و ۴. مناطق ساخته‌شده پراکنده (شکل ۱۲). براساس شکل ۹، مشخص می‌شود در مناطقی که پوشش گیاهی و مناطق ساخته‌شده حضور دارند، تصویر نزولی باند VV با بیشترین دقت مناطق را استخراج کرده‌اند و نویز کمتری نسبت به سه خروجی دیگر دارد. تصویر

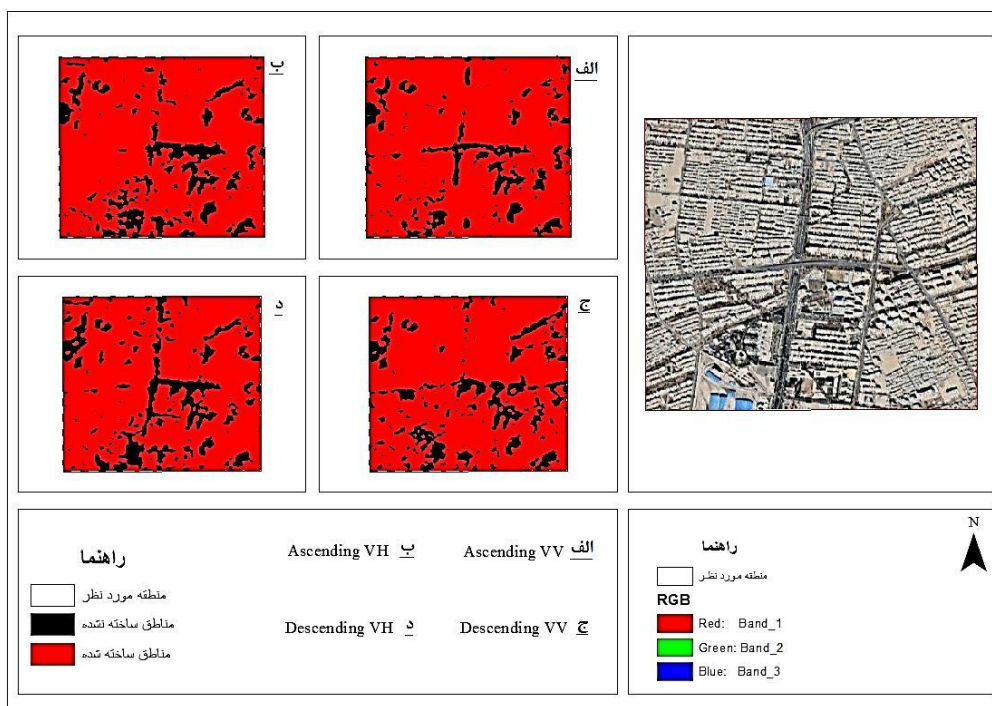
1. Global urban footprint
2. Visible blue based built-up index (VbSWIR1-BI)

نزولی باند VH و تصویر صعودی باند VV از کمترین صحت در این منطقه برخوردار هستند و بیشتر مناطق پوشش گیاهی را به‌عنوان مناطق ساخته‌شده استخراج کرده‌اند.



شکل ۱۰. ارزیابی خروجی (جاده‌ها با امتدادهای متفاوت)

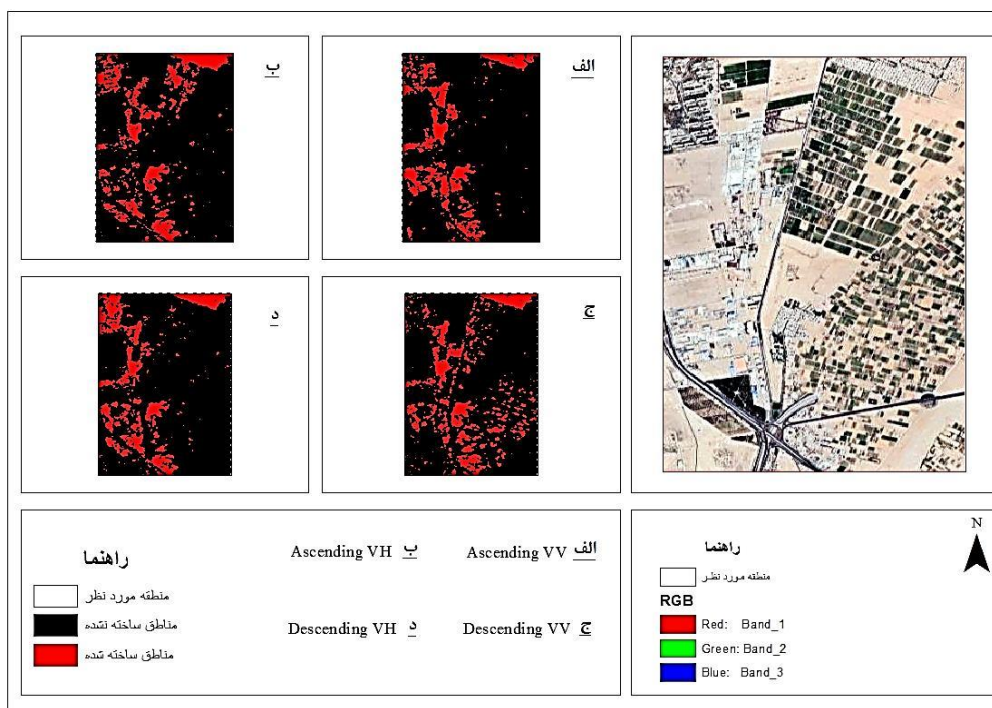
در این منطقه تفاوت توانایی هر یک از تصاویر در استخراج جاده‌ها بررسی شده است (شکل ۱۰). در این بخش تصویر یک جاده با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی و همچنین یک جاده با امتداد شرقی-غربی در تصویر قابل مشاهده است. تصاویر نزولی در دو باند VV و VH دارای دقت بهتری در استخراج این جاده‌ها هستند و دو تصویر صعودی در دو باند از دقت کمتری برخوردار هستند. به‌صورت دقیق‌تر باند VV تصویر نزولی دارای بیشترین دقت در استخراج جاده در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۱۱. ارزیابی خروجی (مناطق که جاده و مناطق ساخته شده حضور دارند)

در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود تفکیک جاده‌هایی که با امتداد شمالی-جنوبی هستند و همچنین مناطقی که دارای پیچیدگی در تصویر هستند و ترکیبی از جاده و مناطق ساخته شده در یک منطقه نسبتاً کوچک قرار دارند، دارای دقت کمتری است، در عین حال شناسایی این نوع جاده‌ها در تصویر نزولی باند VH نسبت به بقیه تصاویر از دقت بهتری برخوردار است.

بر اساس نتایج، در قسمت‌هایی که دارای مناطق ساخته شده به صورت پراکنده مانند شکل ۱۲ هستند، خروجی‌ها متفاوت‌اند. با مقایسه خروجی‌ها با تصویر گوگل ارث مشخص می‌شود که تصویر صعودی در باند VV نسبت به بقیه تصاویر با دقت بهتری مناطق ساخته شده را استخراج کرده است. به جز تصویر صعودی باند VV، مناطق ساخته نشده در این منطقه در سه تصویر دیگر به اشتباه به عنوان مناطق ساخته شده استخراج شده است. همچنین در بقیه قسمت‌ها هم به جز تصویر صعودی باند VV بقیه تصاویر دارای خطا هستند و قسمت‌های پوشش گیاهی یا خاک لخت را به اشتباه، به عنوان مناطق ساخته شده شناسایی کرده‌اند.



شکل ۱۲. ارزیابی خروجی (مناطق ساخته‌شده به صورت پراکنده)

نتیجه‌گیری

گستره مناطق ساخته‌شده شهری، نشان‌دهنده وسعت شهر و آگاهی از آن برای برنامه‌ریزان و مدیران ضروری است. تصاویر سنجش‌ازدوری، منبع مناسبی برای استخراج مناطق شهری است. از بین انواع متفاوت تصاویر، تصاویر سار با امکان فعالیت در تمام شرایط جوی و تصویربرداری در باندهای مختلف قطبی و در مدارهای متفاوت، اطلاعات باارزش و زیادی از سطح زمین جمع‌آوری می‌کنند که در شناسایی مناطق ساخته‌شده شهری بسیار مفید است. با در نظر گرفتن تأثیر مدارهای حرکت سنجنده در میزان ضریب بازپخش، این مطالعه به ارزیابی عملکرد تصاویر اخذشده در مدارهای متفاوت سنتینل-۱ در استخراج مناطق ساخته‌شده شهری اصفهان پرداخته است. دسترسی کامل و رایگان به آرشیو تصاویر راداری سنتینل-۱ از آغاز مأموریت آن سبب شده است تا این تصاویر کاربرد کم‌نظیری در مطالعه سطح زمین داشته باشند. برای استخراج مناطق ساخته‌شده از سایر کاربری‌ها، از روش آستانه‌گذاری خودکار اتسو در گوگل ارث انجین استفاده شد. مقایسه خروجی این روش با تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای گوگل ارث نشان داد تصاویر صعودی و نزولی باند VV در مقایسه با تصاویر باند VH دارای صحت بالاتری برای استخراج مناطق ساخته‌شده هستند. با بررسی جزئیات تصاویر مشخص شد تصویر نزولی باند VV در مناطقی که دارای ترکیبی از مناطق ساخته‌شده و پوشش گیاهی هستند و همچنین در استخراج خطوط در امتدادهای شمال غربی-جنوب شرقی و خطوط شرقی-غربی بهتر عمل می‌کند. تصویر نزولی باند VH در استخراج جاده‌های شمالی-جنوبی کارا تر هستند. در نهایت تصویر صعودی باند VV در قسمت‌هایی بهتر نتیجه داده است که دارای مناطق ساخته‌شده پراکنده هستند. براساس این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت

پلتفرم گوگل ارث انجین می‌تواند بستری مناسب برای مطالعات سنجش‌ازدور مانند استخراج مناطق ساخته‌شده شهری باشد و در بررسی سری زمانی می‌تواند در کمترین زمان اقدام به پردازش تصاویر کند. از بین دو باند پلاریمتریک تصاویر سنتینل-۱، باند ۷۷ نزولی باند مناسب‌تری برای استخراج مناطق ساخته شده است. همچنین روش آستانه‌گذاری خودکار اتسو می‌تواند در به‌دست‌آوردن آستانه تصاویر سنتینل-۱ استفاده شود. نتایج نشان داد پیچیدگی چشم‌اندازهای شهری، کارایی باندهای قطبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نوع بافت، شکل و ساختار و طریقه در کنار هم قرارگرفتن کاربری‌های متفاوت، روی دقت خروجی تأثیرگذار است. بر این اساس پیشنهاد می‌شود این بررسی در شهرهای دارای بافت، شکل و ساختار متفاوت انجام شود تا مشخص شود کدام باند و نوع تصویر راداری برای چه قسمت‌هایی از شهر در استخراج مناطق ساخته‌شده بهتر عمل کند.

منابع

- حاجی علی، مژگان، مقدس‌نژاد، فریدون و ذاکری، حمزه (۱۳۹۸). ارائه شاخصی جدید به منظور ارزیابی خودکار توزیع یکنواخت اندود سطحی و نفوذی روسازی راه‌ها. *نشریه مهندسی عمران/میرکبیر*، ۵۷-۴۰.
- زیاری، کرامت‌اله، پوراحمد، احمد و قهرائی، حسین (۱۳۹۸). سیاست‌های زمین‌شهری و تأثیر آن در توسعه فیزیکی شهر اصفهان. *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، ۱(۵۱)، ۲۱۱-۲۲۷.
- سفیانیان، علیرضا (۱۳۸۸). بررسی تغییرات کاربری اراضی محدوده شهر اصفهان با استفاده از تکنیک آشکارسازی برداری تغییرات طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۷. *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۱۳(۴۹)، ۱۵۳-۱۶۴.
- عزى‌مند، کیوان، عبداللهی کاکرودی، عطاءاله و کیاورز مقدم، مجید (۱۳۹۶). طبقه‌بندی و شناسایی تغییرات اراضی ساخته‌شده با استفاده از تصاویر سنجش‌ازدور. *نشریه پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۵(۳)، ۴۴۵-۴۶۸.
- عطارچی، سارا (۱۳۹۸). کارایی شاخص‌های راداری در استخراج سطوح نفوذناپذیر شهری با استفاده از تصویر رادار تمام پلاریمتریک. *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۷(۴)، ۸۳۷-۸۵۴.
- فاطمی، سیدباقر، مباشری، محمدرضا و آبکار، علی‌اکبر (۱۳۹۳). تأثیر استفاده از اطلاعات همسایگی مکانی در دقت خوشه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای. *نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۳(۴)، ۷۷-۸۹.
- مرکز آمار ایران (۱۳۳۵). *نتایج تفصیلی سرشماری عمومی و نفوس و مسکن*.
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۰). *نتایج تفصیلی سرشماری عمومی و نفوس و مسکن*.
- Adamowski, J., & Prokoph, A. (2013). Assessing the Impacts of the Urban Heat Island Effect on Streamflow Patterns in Ottawa, Canada. *Journal of Hydrology*, 496, 225-237.
- Amani, M., Salehi, B., Mahdavi, S., Granger, J. E., Brisco, B., & Hanson, A. (2017). Wetland Classification Using Multi-Source and Multi-Temporal Optical Remote Sensing Data in Newfoundland and Labrador, Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 43(4), 360-373.
- Angel, S., Parent, J., Civco, D. L., Blei, A., & Potere, D. (2011). The Dimensions of Global Urban Expansion: Estimates and Projections for All Countries, 2000–2050. *Progress in Planning*, 75(2), 53-107.
- Attarchi, S. (2019). Efficiency Evaluation of SAR-Derived Indices in Urban Impervious Surfaces Extraction Using Full Polarimetric Image. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 7(4), 837-854. (In Persian)
- Azmedroub, B., Ouarzeddine, M., & Souissi, B. (2016). Extraction of Urban Areas from Polarimetric SAR Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(6), 2583-2591.
- Cao, H., Zhang, H., Wang, C., & Zhang, B. (2018). Operational Built-Up Areas Extraction for Cities in China Using Sentinel-1 SAR Data. *Remote Sensing*, 10(6), 874.

- Castles, S., De Haas, H., & Miller, M. J. (2013). The Age of Migration: International Population Movements in the Modern World. *Macmillan International Higher Education*.
- Chen, Y., Li, X., Liu, X., Ai, B., & Li, S. (2016). Capturing the Varying Effects of Driving Forces over Time for the Simulation of Urban Growth by Using Survival Analysis and Cellular Automata. *Landscape And Urban Planning*, 152, 59-71.
- Chini, M., Pelich, R., Hostache, R., Matgen, P., & Lopez-Martinez, C. (2018a). Polarimetric and Multitemporal Information Extracted from Sentinel-1 SAR Data to Map Buildings. *Paper Presented at the IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
- Chini, M., Pelich, R., Hostache, R., Matgen, P., & Lopez-Martinez, C. (2018b). Towards a 20 m Global Building Map from Sentinel-1 SAR Data. *Remote Sensing*, 10(11), 1833.
- Deng, C., & Wu, C. (2013). Examining the Impacts of Urban Biophysical Compositions on Surface Urban Heat Island: A Spectral Unmixing and Thermal Mixing Approach. *Remote Sensing of Environment*, 131, 262-274.
- Dostálová, A., Wagner, W., Milenković, M., & Hollaus, M. (2018). Annual Seasonality in Sentinel-1 Signal for Forest Mapping and Forest Type Classification. *International Journal of Remote Sensing*, 39(21), 7738-7760.
- Engeset, R. V., & Weydahl, D. J. (1998). Analysis of Glaciers and Geomorphology on Svalbard Using Multitemporal ERS-1 SAR Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(6), 1879-1887.
- Ezimand, K., Abdollahi Kakroodi, A., Kiavarz Moghaddam, M. (2017). Classification and Change Detection of Urban Built-up Lands Using Remote Sensing Images. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 5(3), 445-468. (In Persian)
- Falah, N., Karimi, A., & Harandi, A. T. (2020). Urban Growth Modeling Using Cellular Automata Model and AHP (Case Study: Qazvin City). *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(1), 235-248.
- Fatemi, S. B., Mobasheri, M. R., Abkar, A. A. (2014). A Comparative Study of Few Satellite Image Clustering Methods Based on Spatial Neighborhood Information. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 3(4), 77-90. (In Persian)
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global Change and the Ecology of Cities. *Science*, 319(5864), 756-760.
- Guo, H., Yang, H., Sun, Z., Li, X., & Wang, C. (2014). Synergistic Use of Optical and PolSAR Imagery for Urban Impervious Surface Estimation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 80(1), 91-102.

- Haas, J., & Ban, Y. (2017). Sentinel-1A SAR and Sentinel-2A MSI Data Fusion for Urban Ecosystem Service Mapping. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, 41-53.
- Hajiali, M., Moghaddasnezhad, F., Zakeri, H. (2021). Providing Criterion to Automatic Evaluation of the Accuracy of Distribution of Tack Coat and Prime Coat Pavement Roads. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(3), 40-57. (In Persian)
- Henderson, F. M., & Lewis, A. J. (1998). *Principles and Applications of Imaging Radar*. Manual of Remote Sensing: Vol. 2.
- Holobacă, I.-H., Ivan, K., & Alexe, M. (2019). Extracting Built-Up Areas from Sentinel-1 Imagery Using Land-Cover Classification and Texture Analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 40(20), 8054-8069.
- Hoorweg, D., Sugar, L., & Trejos Gómez, C. L. (2011). Cities and Greenhouse Gas Emissions: Moving Forward. *Environment and Urbanization*, 23(1), 207-227.
- Hu, X., & Weng, Q. (2011). Estimating Impervious Surfaces from Medium Spatial Resolution Imagery: a Comparison between Fuzzy Classification and LSMA. *International Journal of Remote Sensing*, 32(20), 5645-5663.
- Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C.,... 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.
- Inkoom, J. N., Nyarko, B. K., & Antwi, K. B. (2017). Explicit Modeling of Spatial Growth Patterns in Shama, Ghana: An Agent-Based Approach. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 1(1-2), 7.
- Kaya, S., Basar, U. G., Karaca, M., & Seker, D. Z. (2012a). Assessment of Urban Heat Islands Using Remotely Sensed Data. *Ekoloji*, 21(84), 107-113.
- Kaya, S., Seker, D. Z., & Tanik, A. (2012b). Analysis of Urbanized Areas Using VIS Components Model. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(11), 3243-3248.
- Khosravi, I., Safari, A., Homayouni, S., & McNairn, H. (2017). Enhanced Decision Tree Ensembles for Land-Cover Mapping from Fully Polarimetric SAR Data. *International Journal of Remote Sensing*, 38(23), 7138-7160.
- Kraff, N. J., Wurm, M., & Taubenböck, H. (2020). The Dynamics of poor Urban Areas- Analyzing Morphologic Transformations across the Globe Using Earth Observation Data. *Cities*, 107, 102905.
- Lamphar, H. A. S. (2020). Spatio-Temporal Association of Light Pollution and Urban Sprawl Using Remote Sensing Imagery and GIS: A Simple Method Based in Otsu's Algorithm. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 251, 107060.
- Lagarias, A. (2012). Urban Sprawl Simulation Linking Macro-Scale Processes to Micro-Dynamics through Cellular Automata, an Application in Thessaloniki, Greece. *Applied Geography*, 34, 146-160.

- Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y.,... Pei, F. (2017). A Future Land Use Simulation Model (FLUS) for Simulating Multiple Land Use Scenarios by Coupling Human and Natural Effects. *Landscape and Urban Planning*, 168, 94-116.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2401.
- Lu, Y., Coops, N. C., & Hermosilla, T. (2016). Regional Assessment of Pan-Pacific Urban Environments over 25 Years Using Annual Gap Free Landsat Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 50, 198-210.
- Lv, Z. Y., Liu, T. F., Zhang, P., Benediktsson, J. A., Lei, T., & Zhang, X. (2019). Novel Adaptive Histogram Trend Similarity Approach for Land Cover Change Detection by Using Bitemporal Very-High-Resolution Remote Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(12), 9554-9574.
- Ma, X., Li, C., Tong, X., & Liu, S. (2019). A new fusion approach for extracting urban built-up Areas from Multisource Remotely Sensed Data. *Remote Sensing*, 11(21), 2516.
- Mahdavi, S., Amani, M., & Maghsoudi, Y. (2019). The Effects of Orbit Type on Synthetic Aperture RADAR (SAR) backscatter. *Remote sensing letters*, 10(2), 120-128.
- Mahdavi, S., Maghsoudi, Y., & Amani, M. (2017a). Effects of Changing Environmental Conditions on Synthetic Aperture Radar Backscattering Coefficient, Scattering Mechanisms, and Class Separability in a Forest Area. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(3), 036015.
- Mahdavi, S., Salehi, B., Amani, M., Granger, J. E., Brisco, B., Huang, W., & Hanson, A. (2017b). Object-based Classification of Wetlands in Newfoundland and Labrador Using Multi-Temporal PolSAR Data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 43(5), 432-450.
- Mcdonald, K. C., Dobson, M. C., & Ulaby, F. T. (1991). Modeling Multi-Frequency Diurnal Backscatter from a Walnut Orchard. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 29(6), 852.
- Mcdonald, K. C., Zimmermann, R., Way, J., & Oren, R. (1992). An investigation of the Relationship between Tree Water Potential and Dielectric Constant. IGARSS '92; *Proceedings of the 12th Annual International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Houston, TX, May 26-29, 1992. Vol. 1.
- Mohapatra, S. N., Pani, P., & Sharma, M. (2014). Rapid Urban Expansion and Its Implications on Geomorphology: A Remote Sensing and GIS Based Study. *Geography Journal*, 2014.
- Mora, O., Ordoqui, P., Iglesias, R., & Blanco, P. (2016). Earthquake rapid mapping using ascending and descending Sentinel-1 TOPSAR interferograms. *Procedia Computer Science*, 100, 1135-1140.
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 9(1), 62-66.

- Powers, D. M. (2020). Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. arXiv preprint arXiv:2010.16061.
- Richards, J. A. (2009). *Remote sensing with imaging radar* (Vol. 1): Springer.
- Rignot, E., Way, J. B., McDonald, K., Viereck, L., Williams, C., Adams, P.,... Shi, J. (1994). Monitoring of environmental conditions in taiga forests using ERS-1 SAR. *Remote Sensing of environment*, 49(2), 145-154.
- Roychowdhury, K. (2016). Comparison between Spectral, Spatial and Polarimetric Classification of Urban and Periurban Landcover Using Temporal Sentinel-1 Images. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 789.
- Salazar, A., Baldi, G., Hirota, M., Syktus, J., & McAlpine, C. (2015). Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. *Global and Planetary Change*, 128, 103-119.
- Sayedain, S. A., Maghsoudi, Y., & Eini-Zinab, S. (2020). Assessing the use of cross-orbit Sentinel-1 images in land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 41(20), 7801-7819.
- Sekertekin, A., Abdikan, S., & Marangoz, A. M. (2018). The acquisition of impervious surface area from LANDSAT 8 satellite sensor data using urban indices: a comparative analysis. *Environmental monitoring and assessment*, 190(7), 381.
- Sekertekin, A., Kutoglu, S. H., & Kaya, S. (2016). Evaluation of spatio-temporal variability in Land Surface Temperature: A case study of Zonguldak, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 188(1), 30.
- Sezgin, M., & Sankur, B. (2004). Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic imaging*, 13(1), 146-166.
- Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A., & Skakun, S. (2017). Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *frontiers in Earth Science*, 5, 17.
- Simone, G., Farina, A., Morabito, F. C., Serpico, S. B., & Bruzzone, L. (2002). Image fusion techniques for remote sensing applications. *Information fusion*, 3(1), 3-15.
- Soffianian, A. (2009). A Study on Land Use Change in Isfahan. *Journal of Water and Soil Science*, 13(49), 153-164. (In Persian)
- Solari, L., Del Soldato, M., Montalti, R., Bianchini, S., Raspini, F., Thuegaz, P.,... Casagli, N. (2019). A Sentinel-1 based hot-spot analysis: landslide mapping in north-western Italy. *International Journal of Remote Sensing*, 40(20), 7898-7921.
- Son, N.-T., Chen, C.-F., Chen, C.-R., & Minh, V.-Q. (2018). Assessment of Sentinel-1A data for rice crop classification using random forests and support vector machines. *Geocarto International*, 33(6), 587-601.

- Statistical Center of Iran (1956). Detailed Results of the General Census and Population and Housing. (*In Persian*)
- Statistical Center of Iran (2011). Detailed Results of the General Census and Population and Housing. (*In Persian*)
- Taghadosi, M. M., Hasanlou, M., & Eftekhari, K. (2019). Soil Salinity Mapping Using Dual-Polarized SAR Sentinel-1 Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 40(1), 237-252.
- Tripathy, A., Agrawal, A., & Rath, S. K. (2016). Classification of Sentiment Reviews Using N-Gram Machine Learning Approach. *Expert Systems with Applications*, 57, 117-126.
- Wang, Y., Li, Z., Zeng, C., Xia, G.-S., & Shen, H. (2020). An urban Water Extraction Method Combining Deep Learning and Google Earth Engine. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 768-781.
- Weng, Q. (2012). Remote Sensing of Impervious Surfaces in the Urban Areas: Requirements, Methods, and Trends. *Remote Sensing of Environment*, 117, 34-49.
- Whelen, T., & Siqueira, P. (2018). Time-series Classification of Sentinel-1 Agricultural Data over North Dakota. *Remote Sensing Letters*, 9(5), 411-420.
- Wood, D., McNairn, H., Brown, R., & Dixon, R. (2002). The Effect of Dew on the Use of RADARSAT-1 for Crop Monitoring: Choosing between Ascending and Descending Orbits. *Remote Sensing of Environment*, 80(2), 241-247.
- Xiang, D., Tang, T., Hu, C., Fan, Q., & Su, Y. (2016). Built-up Area Extraction from PolSAR Imagery with Model-Based Decomposition and Polarimetric Coherence. *Remote Sensing*, 8(8), 685.
- Xiong, J., Thenkabail, P. S., Gumma, M. K., Teluguntla, P., Poehnelt, J., Congalton, R. G.,... Thau, D. (2017). Automated cropland mapping of continental Africa using Google Earth Engine cloud computing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 126, 225-244.
- Xu, S., Qi, Z., Li, X., & Yeh, A. G.-O. (2019). Investigation of the effect of the incidence angle on land cover classification using fully polarimetric SAR images. *International Journal of Remote Sensing*, 40(4), 1576-1593.
- Yar, P., & Huaifu, J. (2019). Horizontal Development of Built-Up Area and Its Impacts on the Agricultural Land of Peshawar City District (1991–2014). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(9), 1537-1545.
- Zhang, J., Pu, R., Yuan, L., Wang, J., Huang, W., & Yang, G. (2014). Monitoring Powdery Mildew of Winter Wheat by Using Moderate Resolution Multi-Temporal Satellite Imagery. *PloS one*, 9(4), e93107.
- Zheng, X., Ye, H., & Tang, Y. (2017). Image Bi-Level Thresholding Based On Gray Level-Local Variance Histogram. *Entropy*, 19(5), 191.

Ziari, K., Pourahmad, A., Ghahraei, H. (2019). Urban Land Policies and Their Effects on the Physical Development of Isfahan City, Iran. *Human Geography Research*, 1(51), 211-227. (In Persian)