

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی شهری با آنالیز تصاویر پهپاد و طبقه‌بندی شی‌گرای سلسله مراتبی

امیر حسین بابائی پور^۱، اصغر میلان^{۲*}، سعید صادقیان^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی
a.babaeepour@mail.sbu.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی
a_milan@sbu.ac.ir

^۳ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی
sa_sadeghian@sbu.ac.ir

(دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۴، تصویب: تیر ۱۴۰۴)

چکیده

امروزه با گسترش جمعیت و افزایش شهرنشینی، اهمیت نظارت و ارزیابی دقیق منابع شهری بوسیله آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری اراضی در جهت کنترل و مدیریت جامع آن‌ها بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی پتانسیل و ظرفیت تصاویر پهپاد در آشکارسازی تغییرات بوسیله الگوریتم طبقه‌بندی قانون‌مبنا از یک منطقه شهری انجام شده است. در این پژوهش، از دو سری داده که یکی از آن‌ها، تصاویر اخذ شده توسط پهپاد مدل senseFly eBeeX مربوط سال ۱۴۰۰ از مناطق جنوبی بندر چابهار و دیگری متعلق به تصاویر هوایی دوربین UltraCam XP مربوط به سال ۱۳۹۳ از همان منطقه بوده، بهره گرفته شده است. یکی از نکات مورد توجه در پژوهش حاضر، استفاده از مدل سلسله‌مراتبی است که برای ایجاد آن، تمام کلاس‌ها بر اساس مجموعه‌ای از ویژگی‌های جامع مورد پردازش قرار گرفته و در ادامه بر اساس ماتریس تفکیک‌پذیری اقدام به طراحی مدل سلسله‌مراتبی شد. در ادامه، بر اساس همان ماتریس در هر گره، بهینه‌ترین ویژگی‌ها برای جداسازی کلاس‌ها انتخاب گردید. در طبقه‌بندی شی‌گرا با استفاده از آنالیز قانون‌مبنا اشیا تصویری، استخراج ۵ کلاس کاربری اراضی براساس تعریف قوانین پیرامون محدوده آماری توصیف‌گرهای بهینه صورت پذیرفت. سپس، یک فرایند پس‌پردازشی با استفاده از ویژگی‌های منتخب موجود در ماتریس تفکیک‌پذیری، بمنظور بهبود نتایج طبقه‌بندی اولیه در هر گره پیاده‌سازی گردید. بمنظور ارزیابی کمی و سنجش میزان دقت و صحت روش‌های مورد استفاده، از معیارهای ضریب کاپا و دقت کلی طبقه‌بندی بهره گرفته شده است. یافته‌های کمی تحقیق بیانگر این است که ضریب کاپا و دقت کلی نتایج حاصل از طبقه‌بندی قانون‌مبنا بترتیب ۰/۹۰ و ۹۳/۳۱٪ برای تصویر التراکم و مقادیر آن‌ها برای تصویر ارتوفتو پهپاد ۷۸٪ و ۸۳/۹۶٪ می‌باشد. یافته‌های حاصل از این روش طبقه‌بندی نشان می‌دهد که بیشترین تغییر پوشش زمین مربوط به تبدیل زمین بایر به پوشش گیاهی با ۳۲/۸۴۳٪ بوده است. همچنین، کم‌ترین تغییرات آن به تبدیل ساختمان به جاده با ۲/۳۴٪ اختصاص دارد.

واژگان کلیدی: شناسایی تغییرات، کاربری اراضی، فتوگرامتری پهپاد مینا، طبقه‌بندی، تصاویر با قدرت تفکیک بالا.

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

با گسترش سریع شهرنشینی و تغییرات گسترده در کاربری اراضی شهری، شناسایی و پایش این تغییرات برای مدیریت بهینه شهری و برنامه‌ریزی پایدار اهمیت بسیاری دارد. امروزه استفاده از روش‌ها و داده‌های فتوگرامتری و سنجش از دور در اغلب کاربردهای پایش و آشکارسازی تغییرات پوششی و کاربری زمین، نسبت به روش‌های زمینی و تکنیک‌های قدیمی که عمدتاً زمانبر و هزینه‌بر هستند، بهینه و مقرون به صرفه‌تر می‌باشند. در این راستا، مدیریت فضای شهری با بهره‌گیری از ابزارها و فناوری‌های جدید نظیر پهپادها، و با استفاده از تکنیک‌های تحلیل مکانی مانند فتوگرامتری و مدل‌سازی سه‌بعدی موجب بهبود برنامه‌ریزی برای توسعه محیط شهری شده است [۱]. اخیراً تصاویر پهپادی، بدلیل فراهم نمودن داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا^۱ نقش مهمی در طبقه‌بندی و آشکارسازی کاربری و پوشش زمین و تغییرات آن‌ها ایفا نموده‌اند [۲]. توسعه و پیشرفت فناوری در این زمینه، سبب بهبود در ساختار حسگرهای تعبیه شده در دوربین پهپادها شده و در نتیجه باعث سبک شدن آن‌ها گردیده است. این مسئله باعث ارتقای توانایی پهپادها در حمل انواع دوربین‌های عکسبرداری مانند: دوربین‌های با وضوح فضایی بالا، دوربین‌های چند طیفی، و سنسورهای لیدار^۲ شده است و کارایی آن‌ها را افزایش داده است [۳]. در این راستا، بدیهی است که با افزایش دقت آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی بوسیله فناوری پهپاد، مدیریت و پایش فضای شهری بصورت بهتر و کاراتری انجام می‌پذیرد. از طرف دیگر میزان خطا در دستیابی به دقت بالا در پایش و نظارت گسترده در محیط شهری، به دلیل ماهیت غیرقابل نفوذ و پیچیده سطوح برخی عوارض مانند ساختمان‌ها، چالش برانگیز است [۲]. ظهور تصاویر باتوان تفکیک مکانی بالا، همگام با پیشرفت تحلیل‌های پردازش تصاویر، موجب بهبود چالش‌ها و معضلات مربوط به آشکارسازی تغییرات در مناطق پرتراکم شهری شده است. این امر، بدلیل وجود عوارض هم‌نوع دارای ناهمگونی بافتی و ساختاری و همچنین عوارض مختلف با شباهت طیفی یکسان در آن محیط، اهمیت بسیاری دارد.

در نتیجه، بهره‌گیری از فناوری‌های جدید مانند پهپادهای تصویربرداری، یک رویکرد در حال توسعه با هدف مقابله با این مشکلات شناخته می‌شود [۴]. تشخیص تغییرات در فتوگرامتری و سنجش از دور، فرایند شناسایی تفاوت‌های به‌وجود آمده در یک منطقه شهری یا غیرشهری، در طول یک بازه زمانی مشخص، با استفاده از تحلیل نتایج حاصل از پیاده‌سازی پردازش‌ها و اعمال الگوریتم‌های گوناگون بر روی تصاویر چندزمانه از همان منطقه می‌باشد [۵]. تاکنون روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی برای استخراج تغییرات، توسط محققان ارائه شده است. انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم، بستگی به هدف از تحلیل آشکارسازی تغییرات، نوع عوارض موجود در تصاویر و داده‌ها و همچنین قدرت تفکیک مکانی و طیفی آن‌ها دارد [۶]. ضرورت بررسی نقش تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا بخصوص تصاویر پهپادی در تحلیل‌های دقیق و به‌روز با توجه ظهور سنسورهایی با ارائه تصاویر با سطح بالایی از جزئیات، از مهم‌ترین موارد انجام تحقیق است. همچنین لزوم پایش تغییرات کاربری اراضی به‌منظور مدیریت بهینه شهری با توجه به اهمیت آن، بهبود دقت در فرایند استخراج عوارض شهری با طراحی مدل سلسله مراتبی و بهره‌گیری از طبقه‌بندی شی‌گرا از دیگر ملزومات تحقیق حاضر است. بدین ترتیب، هدف اصلی این پژوهش ارزیابی پتانسیل تصاویر اخذ شده توسط پهپادها برای تشخیص تغییرات کاربری عوارض در مناطق شهری، با توجه به نویت زیادی که در این مناطق وجود دارد، می‌باشد. در نتیجه، بررسی اجرای طبقه‌بندی شی‌گرا با کمک آنالیز قانون مبنا اشیا تصویری و با بهره‌گیری از بهینه‌ترین توصیف‌گرها، از دیگر اهداف موردنظر در این مطالعه می‌باشد. همچنین بررسی رفتار و عملکرد مجموعه‌ای از توصیف‌گرهای هندسی، بافتی، طیفی در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا اخذ شده توسط دو سکوی مختلف از دیگر موارد مورد توجه است.

۲- پیشینه تحقیق

روش‌های تشخیص تغییرات را عمدتاً می‌توان در دسته‌های جبری^۳، تبدیل^۴، طبقه‌بندی^۵، مدل‌های

^۳ Algebraic-Based

^۴ Transformation-Based

^۵ Classification-Based

^۱ Very High Resolution

^۲ Light Detection and Ranging

پیشرفته^۱ و بینایی ماشین^۲ و دانش پایه^۳ تقسیم بندی نمود. این روش ها خود به دو گروه کلی پیکسل مبنا و شی مبنا تقسیم می شوند [۴]. برای انتخاب الگوریتم طبقه بندی مناسب در استخراج تغییرات، تأثیر عوامل نظیر دقت مدنظر و هدف اصلی در پروژه، نوع تصاویر و داده های اخذ شده، ویژگی های منتخب ورودی (از لحاظ طیفی و هندسی و...) و همچنین نوع طبقه بندی کننده ها^۴ باید لحاظ شوند [۷]. روش مرسوم در آشکارسازی تغییرات، روش پیکسل مبنا است [۸]. ویژگی های طیفی، پایه و اساس روش های طبقه بندی پیکسل مبنا هستند که بطور کلی از آن ها، برای استخراج عوارض سطح پایین استفاده می شود. عوارض سطح پایین، به اجزاء ضروری اشیاء موجود در تصویر گفته می شود که می توان آن ها را با برخی از تکنیک های پردازش تصویر ساده، شناسایی و استخراج کرد [۹]. بعد از طبقه بندی تصاویر چندزمانه با استفاده از الگوریتم های طبقه بندی پیکسل مبنا، آشکارسازی تغییرات در کلاس های ایجاد شده موجود در تصاویر با شناسایی پیکسل های تغییر یافته صورت می گیرد. این کار، اساس روش شناسایی تغییرات پیکسل مبنا است [۱۰]. عدم کارایی بالای این روش ها در استخراج اطلاعات و طبقه بندی عوارض تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، یکی از نقاط ضعف آن ها می باشد. همچنین عدم تطابق نتایج طبقه بندی و استخراج تغییرات در برخی نواحی با واقعیت، یکی دیگر از معایب این الگوریتم بیان شده است. تاکنون مطالعات فراوانی، برتری روش های شی مبنا نسبت به روش های نظارت شده و بدون نظارت الگوریتم های پیکسل مبنا در طبقه بندی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (HR)^۵ را، با مقایسه دقت آن ها ثابت کرده اند [۱۱]. الگوریتم های طبقه بندی و آنالیز شی گرا، (OBIA)^۶ عمدتاً از دو فرآیند قطعه بندی و سپس مرحله طبقه بندی براساس قوانین^۷، تشکیل شده اند [۱۲]. در اکثر روش ها و الگوریتم های شی گرا، به طور گسترده، ویژگی های طیفی بکار برده می شود، اما استفاده از ویژگی های هندسی یا ساختاری مانند بافت ها و ویژگی های

مورفولوژیکی، باعث بهبود دقت و نتایج طبقه بندی و به دنبال آن، ارتقای کارآمدی نتایج آشکارسازی تغییرات خواهد شد [۱۳]. در واقع، ادغام ویژگی های طیفی و هندسی در اینگونه روش ها منجر به استخراج اطلاعات مطمئن تر و در نتیجه طبقه بندی دقیق تر پوشش و کاربری زمین می شود [۱۴].

پژوهش های انجام شده در حوزه شناسایی تغییرات را می توان از چند دیدگاه مورد بررسی قرار داد. تمرکز برخی از تحقیقات، بر روی نوع روش های بارسازی تغییرات از منظر فرایندهای پیش از طبقه بندی یا پس از طبقه بندی و همچنین از لحاظ پیکسل مبنا و یا شی گرا بودن آن ها است. در پژوهشی که توسط که کومار و همکاران در سال ۲۰۲۳ صورت گرفت، کارایی الگوریتم های مختلف شی گرا شامل: Support Vector Machine, K-Nearest Neighbor, Random Forest, Decision Tree و Naive Bayes در طبقه بندی و استخراج عوارض شهری، بر روی محصولات بدست آمده از داده های پهپادی، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. برای این کار، ابتدا محصولات بدست آمده از داده های پهپادی به روش چند مقیاسه قطعه بندی شده و درگام بعد استخراج توصیف گرهای طیفی، بافتی و هندسی مناسب انجام گرفت. نتایج مطالعه ای آن ها نشان دهنده برتری دقت الگوریتم K-Nearest Neighbor در استخراج تمام کلاس های مورد نظر به نسبت روش های دیگر بود [۲]. تحقیق دیگری، با هدف ارزیابی عملکرد بکارگیری ویژگی های طیفی و ارتفاعی در تشخیص رانش زمین انجام شد. محققان در این پژوهش، ابتدا به استخراج اطلاعات طیفی و توپوگرافی از تصاویر Landsat 8 و مدل رقومی زمین منطقه مورد مطالعه پرداخته و سپس با استفاده از آن ویژگی ها تصاویر را بروش چندمقیاسه قطعه بندی کردند. در نهایت آن ها از روش FCN^۸ برای استخراج رانش زمین بهره گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که کارایی و دقت مدلی با ترکیب ویژگی های طیفی و ارتفاعی بنسبت مدلی که فقط از ویژگی های طیفی استفاده می کند، دارای دقت و کارایی بهتری است [۷]. در ارتباط با مقایسه دو الگوریتم طبقه بندی شی گرا و پیکسل مبنا، محققان پژوهشی در سال ۲۰۲۵ در این زمینه ارائه دادند. آن ها اثرگذاری دو الگوریتم مذکور را طبقه بندی عوارض یک منطقه زراعی با بهره گیری از شبکه

۱ Advanced Modeling

۲ Computer Vision

۳ Knowledge Driven

۴ Classifiers

۵ High Reslolution

۶ Object Based Image Analysis

۷ Rule Based Classification

۸ Fully Conventional Network

ساختمان‌ها از تصاویر پهپاد استخراج و در تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 همان دوره بررسی شد. نتایج نشان داد که روش‌های طبقه‌بندی شی‌گرایی KNN و SVM عملکرد بهتری در تولید نقشه‌های پوشش اراضی دارند [۱۷]. با ورود پهپادها به حوزه کاری فتوگرامتری، در تحقیقات مربوط به بررسی تغییرات کاربری اراضی استفاده از پتانسیل این سری از داده‌ها مورد توجه قرار گرفته است. با این وجود خلاء مطالعاتی در این حوزه مشاهده می‌شود. در اکثر تحقیقات مربوطه در این زمینه، استخراج عوارض برای شناسایی تغییرات بصورت سلسله‌مراتبی انجام نشده است. در این راستا، بهبود آشکارسازی تغییرات بوسیله استخراج عوارض بصورت سلسله‌مراتبی در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، یکی از نکات حائز اهمیت در تحقیق حاضر است. همچنین در راستای پیاده‌سازی آن، از بهینه‌ترین توصیف‌گرها برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش زمین استفاده می‌شود. این امر در مقایسه با پژوهش‌های دیگر که فضای ویژگی معرفی شده در آن‌ها متشکل از تعداد زیادی توصیف‌گر بدون انجام بهینه‌سازی است، یک نوآوری محسوب می‌شود. همچنین، تشکیل یک فضای ویژگی کلی برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی، یکی از نکات قابل بهبود در این زمینه است. بدین ترتیب تشکیل فضای ویژگی برای هر گره مدل سلسله‌مراتبی، باتوجه به خصوصیات عوارض دخیل در آن گره انجام خواهد شد. این مسئله نقش مهمی در بهینه‌سازی آن دارد.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، مطالعه بر روی قسمتی از شهرستان چابهار (نواحی جنوبی و جنوب شرقی) انجام شده است. بندر چابهار-مرکز شهرستان- با وسعتی بالغ بر ۱۱ کیلومتر مربع در ارتفاع ۷ متر از سطح دریا قرار گرفته است و در ۶۰ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. همچنین این شهرستان در زون ۴۱ می‌باشد. شکل (۱) تصویر منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

عصبی DeepVal3 مورد بررسی قرار دادند. در پژوهش فوق، شبکه عصبی DeepVal3 مورد آموزش قرار گرفته و پس از استخراج نمونه‌های آموزشی از تصویر بهبود یافته، منجر به توسعه طبقه‌بندی‌کننده‌ها گردید. همچنین از روش آمار اکثریت منطقه^۱ برای اختصاص ارزش هر کلاس به اشیاء تصویری استفاده شد. نتایج آن‌ها بیانگر برتری نسبی روش شی‌گرا نسبت به روش پیکسل‌منا در استخراج عوارض بود [۱۵]. علاوه بر روش‌های ذکر شده در خصوص به‌کارگیری مستقیم داده‌های رستری در راستای آشکارسازی و استخراج تغییرات، محققان با فرایندهای دیگری با استفاده غیرمستقیم از این نوع داده‌ها و تصاویر، به استخراج تغییرات می‌پردازند. همچنین امروزه بهره‌گیری از الگوریتم‌های نوین یادگیری ماشین^۲ و یادگیری عمیق^۳ جهت استخراج برخی عوارض خاص کاربری و پوشش اراضی و شناسایی تغییرات آن‌ها، مورد توجه بسیاری محققان قرار گرفته است [۱۶]. در پژوهش انجام شده توسط هان و همکاران در سال ۲۰۲۱، پایش میزان پیشرفت ساخت و ساز جاده‌ای براساس تصاویر پهپادی و شبکه عصبی سیامی صورت گرفت. بدین صورت که برای شناسایی میزان تغییرات، تصاویر پهپادی در دو زمان مختلف تهیه شده و سپس بعنوان ورودی به شبکه سیامی وارد شدند. در ادامه پس از استخراج ویژگی‌های متناظر در دو تصویر، مقدار معیار نامشابهتی آن‌ها با استفاده از تابع فاصله اقلیدسی محاسبه تعیین گردید. دقت نتایج کمی حاصل استخراج تغییرات با استفاده از مدل پیشنهادی با سه معیار دقت کلی، دقت پیش‌بینی و دقت بازیابی، ارزیابی گردید که مقادیر آن‌ها به ترتیب ۸۵/۹۸، ۸۹/۷۰ و ۸۲/۵۷ بوده است [۵]. استخراج عوارض ساخت بشر بخصوص ساختمان‌ها در مناطق پرتراکم شهری، هدف مطالعه انجام شده توسط عربی و همکاران در سال ۲۰۲۲ بود. دو هدف اساسی در این پژوهش مورد توجه محققان بوده است: نخست، ارزیابی تصاویر پهپادی، ماهواره‌ای و Google Earth در تهیه نقشه‌های پوشش اراضی با استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی پیکسل‌منا و شی‌منا؛ دوم، امکان‌سنجی شناسایی مناطق ساختمانی جدید و تحلیل دقت آن‌ها با استفاده ترکیبی از این داده‌ها. برای آشکارسازی تغییرات ساختمانی در بازه زمانی یک‌ساله، موقعیت دقیق

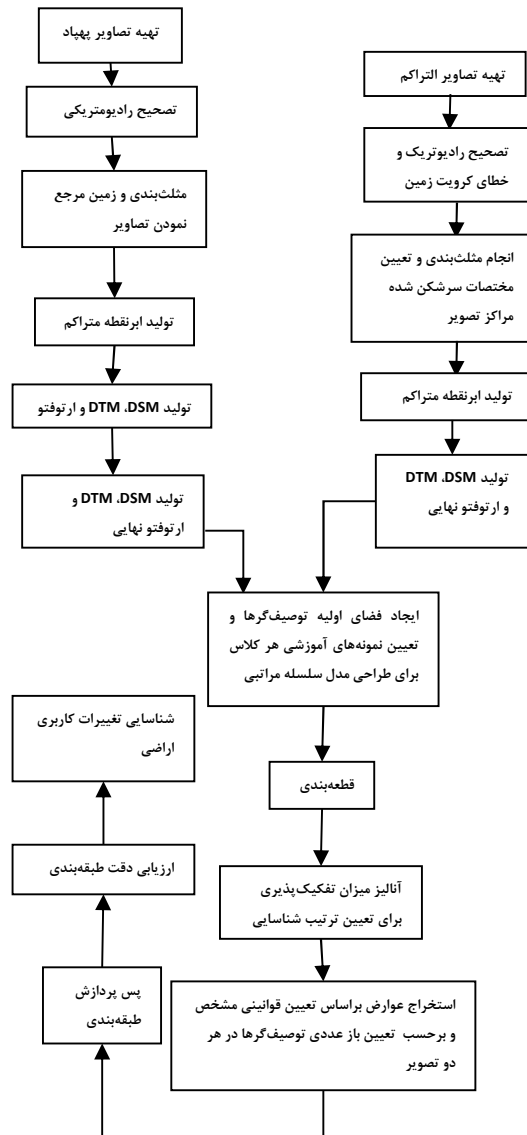
۱ Majority Zonal Statistic

۲ Machine Learning

۳ Deep Learning



شکل ۱- تصویر منطقه مورد مطالعه از ماهواره Airbus گرفته از Google Earth



شکل ۲- مراحل مختلف پیاده‌سازی روش پیشنهادی

طبق شکل (۲)، ابتدا تصاویر پهپادی مورد پیش‌پردازش و تصحیح قرار گرفته و نسبت به هم تناظریابی می‌شوند. در ادامه به منظور زمین مرجع کردن آن‌ها با استفاده از نقاط کنترل زمینی، از مثلت‌بندی به روش سرشکنی باندل بهره گرفته شده است. در گام بعد، از همپوشانی تصاویر تصحیح شده، ابرنقطه متراکم تولید می‌شود که می‌توان از آن، برای دستیابی مدل رقومی سطح (DSM) و همچنین مدل رقومی زمین (DTM) استفاده نمود. بمنظور تولید ارتوموزاییک پهپادی نیز از مش^۴

داده‌های مورد استفاده برای شناسایی تغییرات در این پژوهش، شامل دو سری می‌باشد: اولین سری داده، تعداد ۶ عدد تصویر دوربین هوایی UltraCam XP با پوشش طولی و عرضی بترتیب ۶۰ درصد و ۴۰ درصد با ارتفاع پرواز ۱۰۰۰ متر که در تاریخ دوشنبه، ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۲ اخذ شده است. قابل ذکر است که فاصله نمونه‌برداری زمینی تصاویر هوایی التراکم مورد استفاده در این تحقیق به ۲۰ سانتی متر نمونه برداری مجدد^۱ شده است. دقت حاصل از سرشکنی باندل نقاط کنترل مسطحاتی در حد ۶ سانتی متر نقاط کنترل ارتفاعی در حد ۱۸ سانتی متر برآورد شده است. دومین داده مربوط به ۴۱۰ تصویر پهپاد senseFly eBee X با پوشش طولی و عرضی بترتیب ۸۰ و ۲۰ درصد، اخذ شده توسط دوربین Area X از ارتفاع پرواز ۱۵۰ متری در روز دوشنبه ۱۸ اسفند ۱۴۰۰ است. همچنین دقت سرشکنی باندل نقاط کنترل مسطحاتی در حد ۱/۲۶ سانتی متر و نقاط ارتفاعی ۰/۷۲ سانتی متر است. همچنین فاصله نمونه‌برداری تصاویر پهپاد ۳ سانتی متر می‌باشد.

۲-۳- روش پیشنهادی

در شکل (۲) مراحل مختلف پیاده‌سازی پژوهش نشان داده شده است. که در ادامه توضیحات و جزئیات آن‌ها به طور جداگانه و به تفکیک هر بخش، تشریح خواهد شد.

۲ Digital Surface Model

۳ Digital Terrain Model

۴ Mesh

۱ Resample

حاصل از ابرنقطه متراکم^۱ استفاده گردیده است. پیش‌پردازش تصاویر هوایی التراکم نیز شامل، تصحیحات رادیومتریک، فیلتر نمودن نویز موجود در تصاویر و همچنین تنظیم مقادیر درخشندگی پیکسل‌ها، می‌باشد. در ادامه، تصاویر التراکم با استفاده از روش باندل مثلث‌بندی شده و از پردازش آن‌ها ابرنقاط متراکم تولید، و دنبال آن DSM منطقه ایجاد گردید. به دنبال فیلترگذاری و حذف عوارض مصنوعی و درختان در ابرنقطه DSM، DTM منطقه تولید گردید. در نهایت برای تولید ارتوموزایک حاصل از التراکم، تصاویر مورد تصحیح هندسی قرار گرفت. براساس الگوریتم تحقیق، در ادامه نوبت به مرحله استخراج ویژگی طیفی، بافتی، هندسی مناسب جهت معرفی همه‌ی آن‌ها بمنظور طراحی مدل سلسله مراتبی می‌رسد. در این مدل، تعیین کلاس‌های اصلی براساس شهود بصری عوارض موجود در تصاویر منطقه مورد مطالعه شامل پوشش گیاهی، ساختمان، شبکه راه، پارکینگ و زمین بایر صورت گرفت. بدین منظور، اولین قدم ایجاد اشیا تصویری بوسیله قطعه‌بندی تصاویر است. در این پژوهش، این کار با قطعه‌بندی تصاویر بروش چندمقیاسه صورت می‌پذیرد. روش قطعه‌بندی چندمقیاسه، یک تکنیک ادغام ناحیه از پایین به بالا است که با اشیا تک پیکسلی شروع می‌شود. در این الگوریتم قطعه‌بندی هدف، کمینه کردن ناهمگونی وزنی میان اندازه اشیا تصویری و پارامتر مربوط به ناهمگونی بافت تصویر می‌باشد [۱۸]. تعیین مقادیر وزن این پارامترها و در راس آن‌ها انتخاب عدد مقیاس، نقش حیاتی در دقت قطعه‌بندی و نتیجه دقت طبقه‌بندی شی‌گرا دارد. بهبود فرایند آشکارسازی تغییرات، وابسته به دقت و صحت استخراج عوارض است. عوارض موجود در مناطق شهری، دارای ویژگی‌های طیفی، بافتی و ساختاری گوناگون و پیچیده‌ای هستند؛ همچنین باتوجه به این که تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، تفکیک نمودن اشیا تصویری کلاس مورد نظر در هر گره با بهره‌گیری از یک مدل سلسله مراتبی، بصورت موثرتری صورت می‌پذیرد. هدف از این مدل سلسله مراتبی، طراحی یک دستورالعمل به منظور جداسازی عوارض بصورت دو به دو

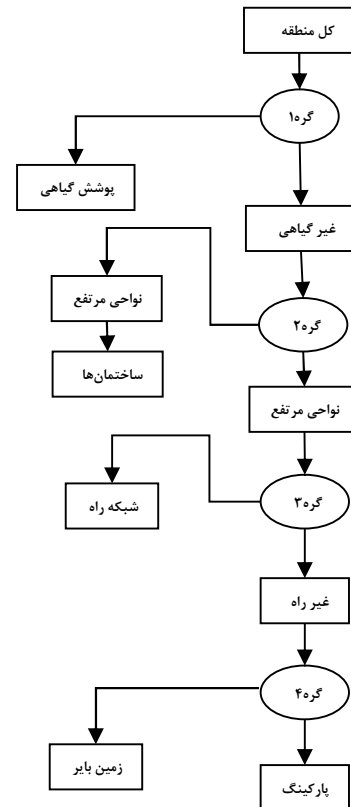
^۱ Dense Point Cloud

و سپس استخراج آن‌ها می‌باشد. قابل ذکر است که این مدل براساس بیش‌ترین میزان تفکیک‌پذیری نمونه‌های آموزشی مربوط به هر کلاس در فضای ویژگی اولیه طراحی شد. بمنظور ارزیابی میزان تفکیک‌پذیری کلاس‌ها با یکدیگر ضروری است تا علاوه بر تعیین داده‌های آموزشی مختص هر کلاس، تشکیل فضای ویژگی با معرفی بانک توصیف‌گرهای اولیه که شامل مجموعه‌ای از توصیف‌گرهای طیفی، بافتی و ساختاری است، انجام شود. بدین ترتیب ابتدا، یک قطعه‌بندی اولیه (سطح صفر) در تصاویر ارتوموزایک التراکم و ارتوفتو پهپادی، بمنظور طراحی مدل سلسله مراتبی انجام گردید. در ادامه نمونه‌های آموزشی برای هر کلاس در تصاویر تعیین شد. بر اساس همین نمونه‌های آموزشی، مقادیر هریک از ویژگی‌های اولیه تعریف شده در بانک توصیف‌گرها برای هر کدام از آن‌ها بطور جداگانه، محاسبه می‌شود. بر مبنای این محاسبه و ارزیابی آن، فضای ویژگی مورد پردازش قرار گرفت. حاصل این عملیات، یک ماتریس تفکیک‌پذیری می‌باشد. ماتریس تفکیک‌پذیری، ناشی از میانگین فواصل ویژگی‌های محاسبه شده هر کلاس از دیگر کلاس‌ها است. به منظور طراحی مدل سلسله مراتبی، استفاده از آنالیز تفکیک‌پذیری SFS^۲ و بر مبنای فاصله اقلیدسی نرمال که قابل استخراج از همین ماتریس تفکیک‌پذیری هستند، گزینه مناسبی بنظر می‌رسد. بنابراین، از همین رویکرد در این مطالعه استفاده شد. الگوریتم SFS یک روش افزایشی (پایین به بالا) برای انتخاب زیرمجموعه‌ای از ویژگی‌ها است. در واقع این فرایند از یک مجموعه ویژگی تهی شروع می‌کند و در هر گام، ویژگی‌ای که بیشترین بهبود در معیار ارزیابی مدل (مانند دقت یا کاهش خطا) ایجاد کند، به مجموعه منتخب، اضافه می‌شود. این فرایند تا زمانی ادامه می‌یابد که افزودن ویژگی جدید دیگر بهبودی در عملکرد مدل ایجاد نکند [۱۹]. طبق توضیحات ارائه شده، شکل (۳)، مدل سلسله مراتبی طراحی شده را نشان می‌دهد.

به تعداد گره‌های حاصل از مدل سلسله مراتبی، به ترتیب سطوح قطعه‌بندی صورت می‌گیرد. در ادامه مدل سلسله مراتبی براساس آنالیز قانون مبنا اشیا تصویری و براساس

^۲ Sequential Forward Selection

توصیف‌گرهای بهینه، پیاده‌سازی شد. فضای ویژگی اولیه، بسیار وسیع است و در صورت استفاده از همه‌ی ویژگی‌های آن، محاسبات بسیار پیچیده شده و پردازش‌ها بسیار زمان‌بر خواهد بود. پس لازم است که از فضای ویژگی بهینه‌ای به‌منظور طبقه‌بندی استفاده شود.



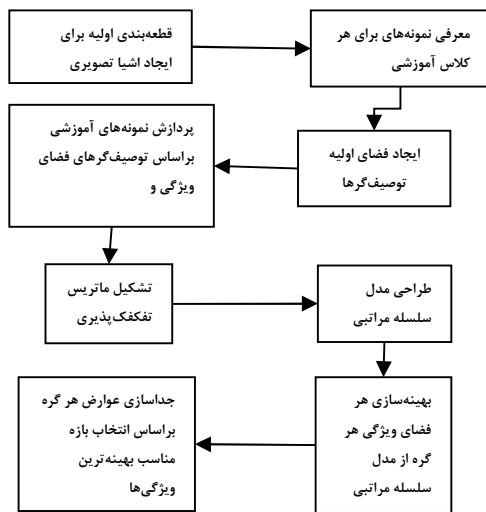
شکل ۳- مدل سلسله‌مراتبی طراحی شده برای منطقه مورد مطالعه

از طرفی، بهینه‌سازی کل فضای ویژگی، گاهی ممکن است که به انتخاب ویژگی‌های مناسب جهت جداسازی کلاس‌های مربوط به هر گره، ختم نشود.

زیرا پردازش‌ها و محاسبات آن نیز بسیار زمان‌بر و پیچیده خواهد بود. در همین راستا، انتخاب توصیف‌گرهایی مطابق با خصوصیات کلاس‌های مربوط به هر گره، موجب بهینه‌سازی بهتر فضای ویژگی و در نهایت، بهبود استخراج عوارض خواهد شد. شکل (۴)، نمودار کلی جریان کاری را در نرم افزار eCognition نشان می‌دهد.

مقادیر وزنی لایه‌های مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصاویر بطور جداگانه و با در نظر گرفتن شهری بودن منطقه مورد مطالعه و بررسی ویژگی‌ها و عوارض موجود در آن، برحسب سعی و خطا و به صورت تجربی صورت گرفت. در این خصوص، مقدار پارامتر مقیاس، به گونه‌ای تعیین شد که

کوچکترین عارضه موجود در تصویر، بعنوان یک شی در نظر گرفته شود.



شکل ۴- نمودار کلی جریان کاری در نرم افزار eCognition

همچنین، در تصویر پهناد با اختصاص مقدار ارزش پایین به پارامتر فشردگی که میزان شباهت یک عارضه به دایره را از لحاظ هندسی، نشان می‌دهد، و همچنین قائل شدن ارزش بالا برای پارامتر شکل^۱، طبقه‌بندی بگونه‌ای انجام گرفت که سایه‌ها بیشترین تاثیر را در تولید اشیا تصویری داشته باشند.

در ادامه، فضای ویژگی در هر گره مدل طراحی شده، تشریح می‌شود.

گره اول: طبق مدل سلسله‌مراتبی پیشنهادی، هدف در این گره، جداسازی منطقه مورد مطالعه به دو کلاس گیاه و غیرگیاه می‌باشد. با توجه به خصوصیات طیفی گیاه در باند قرمز، استفاده از ویژگی‌های طیفی، به‌ویژه، بهره‌گیری شاخص‌های پوشش گیاهی گزینه مناسبی برای استخراج مناطق پوشش گیاهی بنظر می‌رسد. براین اساس، از میان ۱۳ ویژگی طیفی، دو شاخص پوشش گیاهی^۲ CIVE و^۳ GLI (روابط (۱) و (۲)) به عنوان توصیف‌گرهای برگزیده در تصویر پهناد شدند [۲۱، ۲۰]. علت این انتخاب، ایجاد بیشترین میانگین فواصل تفکیک‌پذیری میان مناطق پوشش گیاهی و

۱ Shape

۲ Color Index of Vegetation Extraction

۳ Green Leaf Index

استراتژی اول، اشیا اولیه طبقه‌بندی شده به‌عنوان جاده با استفاده از توصیف‌گر و قوانین مربوطه با هم ادغام^۴ شده و شبکه‌ای از راه‌ها را تشکیل می‌دهند.

ویژگی‌ها و قوانین بکاربرده شده در جهت پس پردازش اشیا تصویری جاده و غیرجاده براساس این طبقه‌بندی اولیه، تعریف می‌گردد. در روش دوم پس از شناسایی اشیا تصویری اولیه جاده، انتخاب ویژگی‌ها و تعریف قوانین در راستای تصحیح و بهبود جداسازی عوارض این گره، برخلاف روش اول بدون ادغام قطعات تصویری جاده اجرا می‌شود. ویژگی اولیه بکاربرده شده در این گره برای تصویر ارتوفتو پهپادی، ویژگی Mean Difference to Scene (Red) و برای تصویر التراکم Neighbor (Red) می‌باشد. استفاده از ویژگی هندسی نسبت طول به عرض^۵ برای تصویر ارتوموزاییک التراکم نیز بخاطر ماهیت هندسی منظم ساختار شبکه جاده مورد توجه بوده و برای استخراج شبکه جاده اولیه مورد استفاده قرار گرفت.

گره چهارم: با توجه به هدف‌گذاری مدل سلسه مراتبی در این گره که تفکیک نواحی زمین بایر از مناطق پارکینگ است، نمونه‌های آموزشی برای هر دو کلاس معین می‌شود. با بررسی نتایج بهینه‌سازی فضای ویژگی در گره سوم و همچنین ارزیابی برخی از مطالعات دیگر انجام شده در این زمینه، در نهایت، از توصیف‌گر NDI^۶ در راستای طبقه‌بندی این گره در ارتوفتو پهپادی و همچنین از توصیف‌گر NDGR^۷ برای تصویر ارتوموزاییک التراکم استفاده گردید [۲۳، ۲۲].

$$NDI = (((G - R) / (G + R)) + 1) \times 128 \quad (۵)$$

$$NDGR = (Green - Red) / (Green + Red) \quad (۶)$$

در هر گره پس از انتخاب بهینه‌ترین توصیف‌گر جهت جداسازی عوارض، لازم است تا انتخاب محدوده عددی مناسب آن تعیین شود. این بازه باید بگونه انتخاب گردد که بوسیله توصیف‌گر مربوطه، تفکیک عوارض به بهترین نحو ممکن صورت پذیرد. در این راستا، با تغییر مقادیر حد بالا و پایین محدوده هر ویژگی بصورت آزمون و خطا، تفکیک

غیرپوشش گیاهی توسط این دو ویژگی در ماتریس تفکیک پذیری است.

$$CIVE = 0.441 \times R - 0.881 \times G + 0.385 \times B + 18.78745 \quad (۱)$$

$$GLI = \frac{G - R}{G + R} \quad (۲)$$

همچنین شاخص‌های NDVI^۱ در معادله (۳) و IPVI^۲ در معادله (۴) برای استخراج فضای سبز در تصویر ارتوموزاییک التراکم مورد استفاده قرار گرفته است.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (۳)$$

$$IPVI = \frac{NIR}{NIR + Red} \quad (۴)$$

گره دوم: هدف فرایند در این گره، تفکیک نواحی مسطح از نواحی مرتفع است. در این خصوص، فرایندکاری از طبقه‌بندی اشیا غیرگیاهی شناسایی شده در گره قبلی در تصاویر شروع می‌شود. لازم به ذکر است جهت ایجاد اشیا تصویری جدید، از ادغام اشیا تصویری تشکیل شده در گره قبلی، استفاده شده است. همچنین در منطقه مورد مطالعه بعثت وجود عوارض مرتفع با مشخصات هندسی و طیفی مختلف، بدیهی است که نمی‌توان همه‌ی ساختمان‌ها را در یک شی قرار داد. بنابراین در اینگونه موارد می‌بایست پایین‌ترین سطح مقیاس ممکن را برای این عوارض در نظر گرفت. در ادامه، ویژگی‌هایی که باعث ایجاد بالاترین مقدار تفکیک‌پذیری بین نمونه‌های آموزشی کلاس‌های مناطق مسطح و مناطق مرتفع شده‌اند، شناسایی می‌شوند. سپس، از آن ویژگی‌ها برای استخراج این دو کلاس استفاده می‌شود. بدین ترتیب شاخص مدل رقومی سطح نرمال شده (NDSM^۳) برای استخراج عوارض مرتفع در تصاویر ارتوموزاییک التراکم و ارتوفتو پهپادی انتخاب شده است.

گره سوم: این گره به منظور جداسازی شبکه راه از عوارض غیرراهی، در تصاویر ارتوموزاییک التراکم و ارتوفتو پهپادی ایجاد شده است. به‌منظور استخراج جاده، دو استراتژی در این مطالعه، برای هر دو تصویر مدنظر است. در

۴ Merge

۵ Length/Width

۶ Normilize Difference Index

۷ Normalize Difference Green Red

۱ Normalize Difference Vegetation Index

۲ Infrared Percentage Vegetation Index

۳ Normalized Digital Surface Model

عوارض با کمترین خطا انجام گرفت. بدین ترتیب پس از تعیین هر محدوده جدید، نتایج بدست آمده بصورت بصری تفسیر شده به این مرحله تا جایی ادامه یافت که تغییر بازه منجر به بهبود طبقه‌بندی در هر گره نشود.

جداول (۱) و (۲) محدوده عددی ویژگی‌های بکاربرده شده برای جداسازی عوارض در هر گره برای تصویر پهباد و تصویر هوایی التراکم را نشان می‌دهد.

جدول ۱- بازه توصیف‌گرهای مربوط به تفکیک اولیه کلاس‌های هر گره برای تصویر التراکم

Contrast to Neighbor Pixels Red	NDGR	Redness	$\frac{Length}{Width}$	NDSM	NDVI	توصیفگر کلاس
					$0.9 < X < 1/51$	پوشش گیاهی
				$1 < X < 12$		نواحی مرتفع
$-1.0770 < X < 0$						راه (روش اول)
		$0.1 < X < 0.9$	$3 < X < 5.0/29$			راه (روش دوم)
	$-0.1 < X < 0.1990$					زمین بایر

جدول ۲- بازه توصیف‌گرهای مربوط به تفکیک اولیه کلاس‌های هر گره برای تصویر پهباد

NDI	Mean Diff Scene Red	NDSM	GLI	CIVE	توصیفگر کلاس
			$200 < X < 330$	$-49 < X < 14$	پوشش گیاهی
		$1 < X < 24$			نواحی مرتفع
	$-131 < X < 6$				راه (روش اول)
	$-131 < X < 6$				راه (روش دوم)
$-21 < X < -4$					زمین بایر

استفاده از ویژگی طیفی NDGB^۱ و در بازه [0.08_0.34]-، بهبود خواهد یافت. با این کار، اشیا تصویری در نواحی دارای سایه که جزو کلاس نواحی فاقد پوشش گیاهی بوده ولی سهواً در کلاس دارای نواحی پوشش گیاهی جای گرفته‌اند از کلاس پوشش گیاهی حذف خواهند شد.

گره ۲: اولین ابهام در استفاده از توصیف‌گر NDSM، این است که قسمت‌هایی از مناطق مسطح که دارای سایه هستند، بعنوان عوارض مرتفع، طبقه‌بندی خواهند شد. برای حل این مسئله، در تصویر پهباد، از یک توصیف‌گر ساختاری-طیفی (معادله (۷)) بهره‌گیری می‌شود.

$$f1 = (4 / P) \times (\arctan(1 - ((([Mean Red])^2) + ((([MeanGreen])^2) + ((([MeanBlue])^2)))))) / ((1 + ((([Mean Red])^2) + ((([MeanGreen])^2) + ((([MeanBlue])^2)))))) \quad (7)$$

^۱ Normalized Difference Green Blue

۳-۳- بهبود نتایج حاصل از طبقه‌بندی برپایه آنالیز قانون مبنا اشیا تصویری

علی‌رغم اینکه بهینه‌ترین ویژگی‌ها به‌منظور جداسازی و تفکیک دو کلاس در هر گره، انتخاب شدند ولی طبقه‌بندی عوارض با مقداری خطا و نویز نیز همراه بوده است. براین اساس، به‌منظور بهبود نتایج طبقه‌بندی، لازم است که برروی اشیا تصویری تفکیک شده در هر گره، پس پردازش انجام و تصحیحاتی اعمال گردد.

گره ۱: در تصویر پهبادی، بدلیل استفاده از توصیف‌گرهای معادله‌های (۱) و (۲)، بعضی مناطق دارای پوشش گیاهی به اشتباه، جزو مناطق فاقد پوشش گیاهی طبقه‌بندی شده‌اند. از این رو استفاده از ویژگی انحراف معیار DSM در بازه [0.48_2]، برای رفع این مسئله در نظر گرفته شده است. همچنین در تصویر التراکم، نتایج طبقه‌بندی با

کلاس زمین بایر که به اشتباه بعنوان جاده شناسایی شدند، ویژگی هندسی مجموع طول مرز ۲ در بازه [20_3540] مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از ویژگی هندسی مساحت می‌توان از تصحیح اشیا تصویری مناطق پارکینگ یا سایه‌ها که به اشتباه بعنوان جاده در نظر گرفته شدند، بهره گرفت. براین اساس، تمام اشیا تصویری که مساحت آن‌ها بر حسب از پیکسل کم‌تر از ۸۰۰ بوده، جزو کلاس غیر شبکه جاده قرار می‌گیرند. در استراتژی دوم برای ارتوفتو پهپادی، با استفاده از توصیف‌گر Mean Diff to Neighbors Blue در بازه [-1_15] می‌توان نواحی بسیاری سایه‌های در اطراف ساختمان‌ها را که به اشتباه جزو کلاس جاده طبقه‌بندی شده بودند، در کلاس غیر جاده قرار داد. همچنین مناطقی با شدت درخشندگی بالا که بعلت شباهت طیفی در کلاس جاده قرار گرفته بودند، با استفاده از توصیف‌گر EXG^۲ (معادله ۹) در بازه [4_506-] تصحیح شد.

$$EXG = 2G - R - B \quad (9)$$

پس از اعمال این توصیف‌گرها در هر دو حالت ادغام و غیرادغام اشیا جاده‌ای در تصویر پهپاد، تعدادی از اشیا بصورت پراکنده در میان دو کلاس گره سوم قرار گرفتند. به همین علت لازم است که بر روی اشیا تصویری این کلاس‌ها، یکنواخت‌سازی صورت بگیرد. این مهم با پیاده‌سازی رشد نواحی^۴ انجام گردید. در نهایت برای ارتوموزاییک التراکم با استفاده از توصیف‌گر درخشندگی مرزی قرمز در بازه [5_7] می‌توان برخی از نواحی زمین بایر در داخل حیاط خانه‌ها و فضاهای باز که به اشتباه بصورت شبکه جاده طبقه‌بندی شده بودند اصلاح نمود. بمنظور حذف مناطق سایه از کلاس شبکه جاده‌ای نیز استفاده از ویژگی میزان درخشندگی با پیکسل‌های همسایه باند سبز در بازه [2490_3890] گزینه مناسبی است.

گره ۴: در این گره، برای تصویر ارتوفتو پهپاد، غیر از وجود برخی اشیا تصویری پراکنده کلاس پارکینگ در نواحی زمین بایر، ابهام دیگری، وجود ندارد. در همین راستا، بهره‌گیری از الگوریتم رشد نواحی در این گره، موجب حذف این قطعات پراکنده و بهبود طبقه‌بندی گردید. در تصویر

همچنین با استفاده از ویژگی انحراف معیار مدل رقومی سطح^۱ در بازه [1.7_9] برای حذف مناطق سایه در تصویر التراکم استفاده خواهد شد.

بنابراین با انجام این کار، اشیا تصویری کلاس مناطق مرتفع به کلاس مناطق مسطح انتقال داده می‌شوند.

در منطقه مورد مطالعه، غیر از ساختمان‌ها، دیگر نواحی مرتفع بصورت عوارضی با اندازه هندسی کوچک وجود دارد که نمی‌توان آن‌ها را بصورت یک کلاس مستقل در نظر گرفت. برای این کار در تصویر پهپاد، پس از ادغام اشیا تصویری کلاس نواحی مرتفع و ساختمان‌ها، می‌توان از ویژگی هندسی مساحت در بازه [0_800]، جهت جداسازی ساختمان‌ها از دیگر عوارض، بهره‌گیری نمود. اما بهبود استخراج نواحی مرتفع در تصویر هوایی التراکم از روند کاری متفاوتی استفاده شده است. با توجه به ارتفاع پرواز بالاتر و مقیاس کم‌تر تصاویر هوایی نسبت به پهپادی، در قطعه‌بندی چند مقیاسه تصویر التراکم، ارزش‌گذاری پارامتر مقیاس متناسب با اندازه هندسی عوارض مرتفع موردنظر انجام شد. بر این اساس عوارض مرتفع غیر ساختمانی بعنوان اشیا تصویری جداگانه شناسایی نمی‌شوند. بعلت شباهت طیفی سطوح سقف برخی ساختمان‌ها با پارکینگ‌ها، استفاده از ویژگی طیفی ARVI (معادله ۸) در بازه [9_1.4-] جهت تفکیک آن‌ها گزینه مناسبی می‌باشد [۲۴].

$$ARVI = \frac{NIR - (R - \gamma \times B)}{NIR + (R - \gamma \times B)} \quad (8)$$

در معادله (۸) (NIR) بازتاب طیفی در باند مادون قرمز نزدیک، (R) بازتاب طیفی در باند قرمز، (B) بازتاب طیفی در باند آبی و (γ) ضریب تصحیح برای اثرات پراکندگی جوی می‌باشد.

گره سوم: ابتدا برای ارتوفتو پهپادی، تعداد زیادی قطعات جاده‌ای کوچک با هم ادغام شدند. در نتیجه این ادغام، چند شی بزرگ جاده‌ای به‌عنوان شبکه‌راه ایجاد شدند. با استفاده محدوده‌گذاری توصیف‌گرهای طول و نسبت طول به عرض در بازه بترتیب (-1000_∞) و (-1_∞)، می‌توان سایه‌ها و همچنین پارکینگ‌ها که بطور اشتباه جزو کلاس جاده طبقه‌بندی شده بودند، تصحیح نمود. در ارتوموزاییک التراکم، به منظور حذف اشیا تصویری پراکنده موجود در

۲ Border Length

۳ Excess Green Index

۴ Grow Region

۱ Standard deviation of DSM

ارتوموزاییک التراکم، بهره‌گیری از توصیف‌گر انحراف معیار باند سبز در بازه [23_54.64] باعث بهبود طبقه‌بندی در این گره شد.

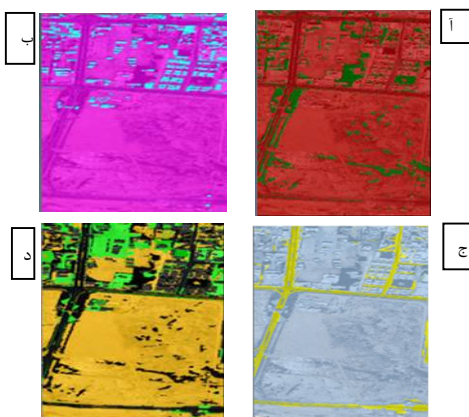
پس از استخراج عوارض مورد نظر و تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر، طبق فرایند پیشنهادی، لازم است تا فرایند شناسایی تغییرات صورت گیرد. رویکرد اصلی آشکارسازی تغییرات در پژوهش حاضر، روش پس از طبقه‌بندی است. در این روش، ابتدا هر یک از تصاویر چندزمانه به صورت مستقل طبقه‌بندی شده و سپس نتایج حاصل از این طبقه‌بندی‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. تفاوت‌های مشاهده‌شده بین کلاس‌های استخراج‌شده از هر تصویر، نشان‌دهنده تغییرات رخ داده در بازه زمانی موردنظر خواهد بود [۲۵]. روش دیگر شناسایی تغییرات در این تحقیق، تکنیک زاویه طیفی^۱ است. در این روش، زاویه طیفی بین دو طیف پیکسلی از تصاویر مختلف محاسبه می‌شود. این زاویه نشان‌دهنده تفاوت در ویژگی‌های طیفی دو تصویر است و به‌طور خاص، تغییرات در ویژگی‌های طیفی یک منطقه در دو زمان مختلف را شبیه‌سازی می‌کند. ورودی این روش، تصاویر طبقه‌بندی شده چند زمانه می‌باشد و قادر است با استفاده از آن‌ها، تغییرات کلی منطقه را آشکارسازی نماید [۲۶]. در پژوهش حاضر با بکارگیری این روش که جزو یکی روش‌های با رویکرد اختلاف‌گیری تصویر است، میزان تغییرات کلی منطقه مورد مطالعه آشکارسازی می‌گردد. در واقع با معرفی تصاویر طبقه‌بندی شده به این الگوریتم، مقایسه‌ای بین آن‌ها صورت گرفته و کاربری‌های موجود از تصویر زمان ۱ به تصویر زمان ۲ از لحاظ میزان افزایش، کاهش و یا عدم تغییر در نواحی منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

به‌منظور ارزیابی نتایج در این تحقیق، از دقت کلی بدست آمده از ماتریس ابهام و ضریب کاپا و همچنین تفسیر بصری در سطح پیکسلی استفاده شد. تعیین تعدادی نمونه‌های کنترلی جهت بدست آوری ماتریس ابهام و ضریب کاپا، باتوجه بازه زمانی اخذ تصاویر صورت گرفت. در رابطه با دقت شناسایی تغییرات باید توجه داشت که در روش پس از طبقه‌بندی، دقت استخراج تغییرات به دقت تصاویر طبقه‌بندی شده بستگی دارد.

۴- پیاده‌سازی و ارائه نتایج

راهکارها و الگوریتم پیشنهادی در این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار eCognition، انجام و پیاده‌سازی شده است. گفتنی است که این نرم‌افزار بعنوان یک پل پیوند مناسب و قدرت‌مند بین تکنیک‌های فتوگرامتری و سیستم اطلاعات جغرافیایی در نظر گرفته می‌شود. از نرم افزار AGI Inpho Soft Metashpe برای پردازش تصاویر پهپاد و از Application Master، جهت پردازش تصاویر UltraCam XP بهره‌گیری شده است. فرایند آشکارسازی تغییرات در تصاویر پژوهش حاضر، با استفاده از الگوریتم‌های تعبیه‌شده در نرم‌افزار ENVI انجام شده است. در ادامه جهت کارتوگرافی نقشه‌های کاربری و تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار ArcGIS Pro بهره گرفته شده است.

طبق مباحث گفته شده، شکل‌های (۵) و (۶)، نتایج طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی اشیا تصویری، برای ارتوموزاییک تصاویر التراکم و ارتوفتو پهپاد را نشان می‌دهند.



شکل ۵- نتایج طبقه‌بندی تصاویر التراکم بر مبنای توصیفگرهای منتخب در هر گره را نشان می‌دهد. (آ) تصویر تفکیک مناطق پوشش گیاهی و غیرپوشش گیاهی در گره اول (رنگ قرمز پوشش غیر گیاهی، رنگ سبز: پوشش گیاهی)، (ب) نتیجه نهایی تفکیک دو کلاس مناطق مرتفع و مسطح در گره دوم (رنگ صورتی: مناطق بنفش، رنگ آبی: مناطق مرتفع)، (ج) تصویر نهایی طبقه‌بندی اشیا تصویر به دو کلاس شبکه جاده‌ای و مناطق غیر جاده (رنگ آبی آسمانی: مناطق غیر جاده، رنگ زرد: شبکه جاده استخراج شده)، (د) تصویر نتیجه نهایی جداسازی مناطق زمین بایر و پارکینگ در گره چهارم (رنگ نارنجی: زمین بایر، رنگ سبز کم‌رنگ: مناطق پارکینگ)

^۱ Spectral Angle

بررسی نتایج حاصل نشان می‌دهد که ضریب کاپا و دقت کلی طبقه‌بندی تصویر هوایی التراکم و پهپاد در حالتی که اشیا تصویری کلاس جاده با هم ادغام نشده‌اند نسبت به حالتی که ادغام شده‌اند، بیشتر بوده است. بدین ترتیب ضریب کاپا و دقت کلی تصاویر بدون ادغام اشیا تصویری بترتیب ۰/۹۰ و ۹۳/۳۱ برای تصویر التراکم و ۰/۷۸ و ۸۳/۹۶ برای تصویر پهپاد می‌باشد. همچنین، مقادیر آن‌ها با ادغام اشیا تصویری جاده ۰/۸۴ و ۸۸/۴۸ برای تصویر التراکم و ۷۲/۰ و ۷۹/۱۱ بدون ادغام برای تصویر پهپاد برآورد شده است. بنابراین از طبقه‌بندی بدون ادغام اشیا تصویری جاده در شناسایی تغییرات کاربری اراضی استفاده شد.

جدول ۳- ماتریس نتایج حاصل از شناسایی کلاس‌های اصلی در تصویر التراکم بدون ادغام اشیا تصویری کلاس جاده

نمونه	زمین بایر	پوشش گیاهی	ساختمان	راه	مناطق پارکینگ	جمع
زمین بایر	۶۲۴۹۲	۱۸۱۳	۳۴۸	۶۲۷	۸۰	۶۵۳۶۰
پوشش گیاهی	۶۳۱	۱۷۱۲۳	۱۳۵	۳۳	۲۱۳	۱۸۱۳۵
ساختمان	۸۷۱	۲۶۶	۱۱۳۳۵	۲۱۷	۱۳۶	۱۲۸۲۵
راه	۰	۴۴۵	۳۸۷	۱۹۵۲۸	۲۸۹	۲۰۶۴۹
مناطق پارکینگ	۲۵۴۳	۰	۷۰۵	۲۷۸	۲۹۴۲۲	۳۲۹۴۸
طبقه‌بندی نشده	۰	۰	۰	۰	۰	۰
جمع	۶۶۵۳۷	۱۹۶۴۷	۱۲۹۱۰	۲۰۶۸۳	۳۰۱۴۰	۱۴۹۹۱۷
دقت تولید کننده	۹۳/۹۲	۸۷/۱۵	۸۷/۸۰	۹۴/۴۲	۹۷/۶۲	
دقت کاربر	۹۵/۶۱	۹۴/۴۲	۸۸/۳۸	۹۴/۵۷	۸۹/۳۰	
دقت کلاسی	۹۳/۹۲	۸۷/۱۵	۸۷/۸۰	۹۴/۴۲	۹۷/۶۲	
دقت کلی	۹۳/۳۱۸۳					
ضریب کاپا	۰/۹۰۷۲					

جدول ۴- ماتریس نتایج حاصل از شناسایی کلاس‌های اصلی در تصویر پهپاد بدون ادغام اشیا تصویری کلاس جاده

نمونه	زمین بایر	پوشش گیاهی	ساختمان	راه	مناطق پارکینگ	جمع
زمین بایر	۴۹۸۴۷۶	۳۲۴۷۳	۰	۴۰۵	۰	۵۳۱۳۵۴
پوشش گیاهی	۱۳۴۸۳	۷۲۹۰۱	۳۴۷۹	۳۷۵۱	۶۹	۹۳۶۸۳
ساختمان	۹۰۵	۲۷۲۲	۱۶۲۰۳۷	۱۱۶۳	۴۱۷۰	۱۷۰۹۹۷
راه	۱۶۰	۲۲۶۰۵	۱۳۱۳۸	۲۲۸۰۳۱	۱۲۵	۲۶۴۰۵۹
مناطق پارکینگ	۳۶۶۵۵	۳۴۹۹۴	۷۶۸۵۷	۸۲۸	۳۳۷۴۹۲	۴۸۶۸۲۶
طبقه‌بندی نشده	۰	۰	۰	۰	۰	۰
جمع	۵۴۹۶۷۹	۱۶۵۶۹۵	۲۵۵۵۱۱	۲۳۴۱۷۸	۳۴۱۸۵۶	۱۵۴۶۹۱۹
دقت تولید کننده	۹۰/۶۸	۴۴/۰۰	۶۳/۴۲	۹۷/۳۸	۹۸/۷۲	
دقت کاربر	۹۳/۸۱	۷۷/۸۲	۹۴/۷۶	۸۶/۳۶	۶۹/۳۲	
دقت کلاسی	۹۰/۶۸	۴۴/۰۰	۶۳/۴۲	۹۷/۳۸	۹۸/۷۲	
دقت کلی	۸۳/۹۶۹۳					
ضریب کاپا	۰/۷۸۸۵					

جدول (۳) و (۴) نتایج ماتریس خطای حاصل از طبقه‌بندی بدون ادغام اشیا تصویری، برای ۵ کلاس اصلی را برای تصویر التراکم و پهپاد نشان می‌دهد. یافته‌های بدست آمده، حاصل از تعیین نمونه‌های آزمایشی برای هر داده بصورت جداگانه و در بازه زمانی مختص آن‌ها است.

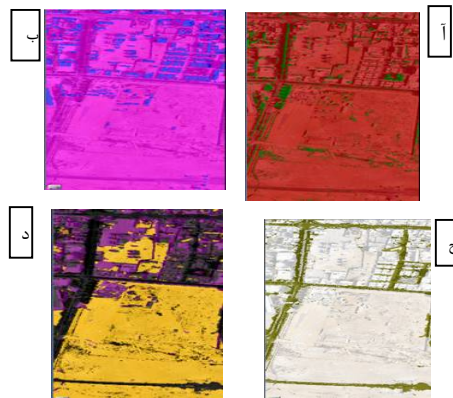
براساس مباحث گفته شده در قسمت روش تحقیق، از روش زاویه طیفی، برای شناسایی میزان افزایش یا کاهش مساحت کاربری‌های موردنظر استفاده گردید. در این راستا، میزان کل تغییرات نقشه کاربری تصویر التراکم نسبت به نقشه کاربری پهپاد آشکارسازی شد. جدول (۵) نتایج تغییرات کلی را نشان می‌دهد.

طبق بررسی جدول (۶)، ۹۳/۶۸ درصد مساحت کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه ثابت مانده است. همچنین میزان مساحت کاربری‌های موردنظر در تصویر التراکم نسبت به تصویر پهپاد در کل منطقه در برخی نواحی ۶/۲۱ درصد افزایش و در برخی ۰/۱۰ کاهش داشته‌اند.

در جدول (۶) میزان درصد تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در طی دوره زمانی ۹ ساله نشان داده شده است. طبق این جدول، این تغییرات برای هرکلاس بطور جداگانه محاسبه شده‌اند. درصد هر کدام از تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه که در جدول (۶) آمده، در جدول (۷) قابل مشاهده است.

جدول ۵- میزان تغییرات کلی شناسایی شده با طبقه‌بندی قانون مینا

کلاس	مساحت (مترمربع)	درصد
بدون تغییر	۶۳۸۰۴۵/۷	۹۳/۶۸۰۶۷
بیشترین افزایش	۴۲۳۵۴/۲۴	۶/۲۱۸۶۳۵
بیشترین کاهش	۶۸۵/۸۵	۰/۱۰۰۷



شکل ۶- نتایج طبقه‌بندی تصاویر پهپادی بر مبنای توصیفگرهای منتخب در هر گره را نشان می‌دهد. (آ) تصویر تفکیک مناطق پوشش گیاهی و غیرپوشش گیاهی در گره اول (رنگ قرمز: پوشش غیر گیاهی، رنگ سبز: پوشش گیاهی)، (ب) نتیجه نهایی تفکیک دو کلاس مناطق مرتفع و مسطح در گره دوم (رنگ صورتی: مناطق بنفش، رنگ آبی پررنگ: مناطق مرتفع)، (ج) تصویر نهایی طبقه‌بندی اشیا تصویر به دو کلاس شبکه جاده‌ای و مناطق غیر جاده (رنگ سفید: مناطق غیر جاده، رنگ قهوه‌ای: شبکه جاده استخراج شده)، (د) تصویر نتیجه نهایی جداسازی مناطق زمین بایر و پارکینگ در گره چهارم برای تصویر پهپاد (رنگ نارنجی: زمین بایر، رنگ بنفش: مناطق پارکینگ)

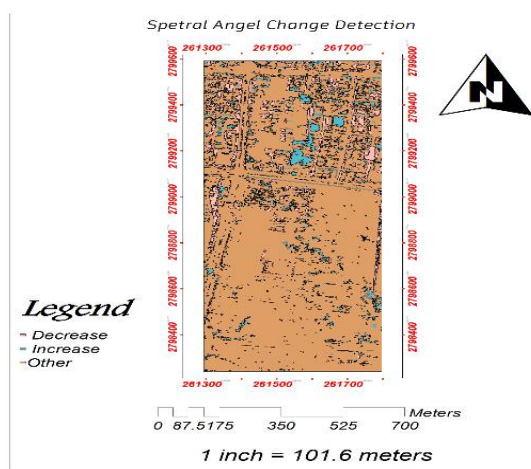
جدول ۶- تغییرات متقابل میزان درصد تغییرات کاربری اراضی طبقه‌بندی شده از سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰

جمع ردیف	زمین بایر	مناطق پارکینگ	راه	ساختمان	پوشش گیاهی	۱۳۹۳ / ۱۴۰۰	
						۱۳۹۳	۱۴۰۰
۵۱/۸۲	۴/۶۶۱	۵/۰۲۱	۸/۲۳	۳/۱۶۶	۳۰/۷۴۲	پوشش گیاهی	
۸۵/۵۵۱	۲/۴۴	۸/۶۸۵	۲/۳۴۹	۶۶/۸۴۴	۵/۲۳۳	ساختمان	
۱۰۶/۹۵۷	۳/۴۳۷	۱۳/۲۳۶	۷۵/۱۵۹	۴/۱۸۲	۱۰/۹۴۳	راه	
۱۳۱/۰۸	۸۰/۷۴	۱۰/۱۰۲	۴/۰۴۹	۳/۳۷۴	۳۲/۸۴۳	زمین بایر	
۱۲۴/۵۶۲	۸/۷۲۱	۶۲/۹۵۶	۱۰/۲۱۳	۲۲/۴۳۳	۲۰/۲۳۹	مناطق پارکینگ	
---	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	جمع کلاس	
---	۱۹/۲۶	۳۷/۰۴۴	۲۲/۸۴۱	۳۳/۱۵۶	۶۹/۲۵۸	تغییرات کلاس	
---	-۹/۸۷۵	۵۳/۹۳۲	۲۴/۶۳۴	۸/۲	-۳۰/۲۸۶	اختلاف بین دو تصویر	

جدول ۷- تغییرات متقابل میزان مساحت تغییرات کاربری اراضی طبقه‌بندی شده از سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ بر حسب مترمربع

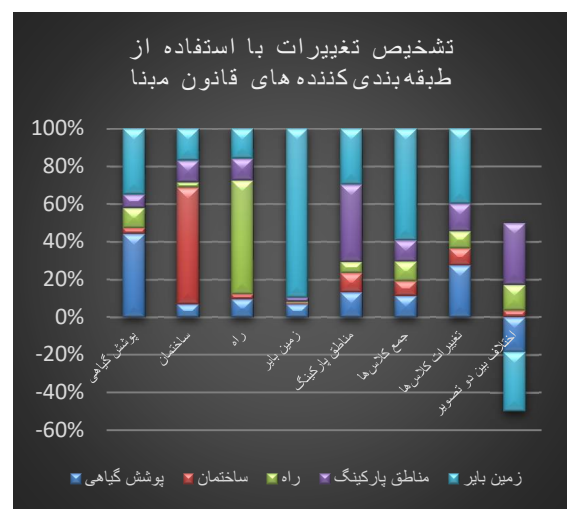
جمع ردیف	زمین بایر	مناطق پارکینگ	راه	ساختمان	پوشش گیاهی	۱۳۹۳ / ۱۴۰۰	
						۱۳۹۳	۱۴۰۰
۵۳۹۰۶/۸۷	۱۸۷۸۸/۶۵	۳۸۶۴/۷۹	۵۷۸۰/۹۳	۱۷۰۱/۰۵	۲۳۷۷۱/۴۴	پوشش گیاهی	
۵۸۱۳۲/۷۴	۹۸۳۷/۱۸	۶۶۸۵/۵۶	۱۶۴۹/۸	۳۵۹۱۳/۵۲	۴۰۴۶/۷	ساختمان	
۸۷۵۴۱/۴۹	۱۳۸۵۴/۱۲	۱۰۱۸۸/۰۲	۵۲۷۹۰/۶۴	۲۲۴۶/۹۴	۸۴۶۱/۷۷	راه	
۳۶۳۲۷۹/۶	۳۲۵۴۵۰/۷	۷۷۷۶/۲۲	۲۸۴۴/۰۹	۱۸۱۲/۷۳	۲۵۳۹۵/۸۳	زمین بایر	
۱۱۸۴۸۸/۵	۳۵۱۵۲/۸۵	۴۸۴۵۹/۸۹	۷۱۷۳/۳۹	۱۲۰۵۲/۷۵	۱۵۶۴۹/۵۸	مناطق پارکینگ	
	۴۰۳۰۸۳/۵	۷۶۹۷۴/۴۸	۷۰۲۳۸/۸۴	۵۳۷۲۷	۷۷۳۲۵/۳۲	جمع کلاس	
	۷۷۶۳۲/۸	۲۸۵۱۴/۵۸	۱۷۴۴۸/۲۱	۱۷۸۱۳/۴۸	۵۳۵۵۳/۸۸	تغییرات کلاس	
	-۳۹۸۰۳/۹	۴۱۵۱۳/۹۹	۱۷۳۰۲/۶۵	۴۴۰۵/۷۵	-۲۳۴۱۸/۵	اختلاف بین دو تصویر	

سایر کلاس‌ها از جمله پوشش گیاهی، جاده و پارکینگ قابل توجه است. این مسئله بیانگر تغییرات ساختاری در فضای شهری منطقه مورد مطالعه است. شکل (۸) نقشه تغییرات حاصل از خروجی روش شناسایی تغییرات زاویه طیفی را نشان می‌دهد. در این نقشه، کاربری‌های تغییر یافته در مناطق مختلف شناسایی شده است. همان‌طور که مشهود است در بیشتر نواحی کاربری‌های موردنظر تغییر نکرده است. همچنین، نواحی آبی رنگ در نقشه نشان‌دهنده افزایش مساحت کاربری‌های موردنظر در منطقه از سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ است. قابل ذکر است که مناطق صورتی رنگ مقدار کاهش کاربری‌ها در آن نواحی را نشان می‌دهد.

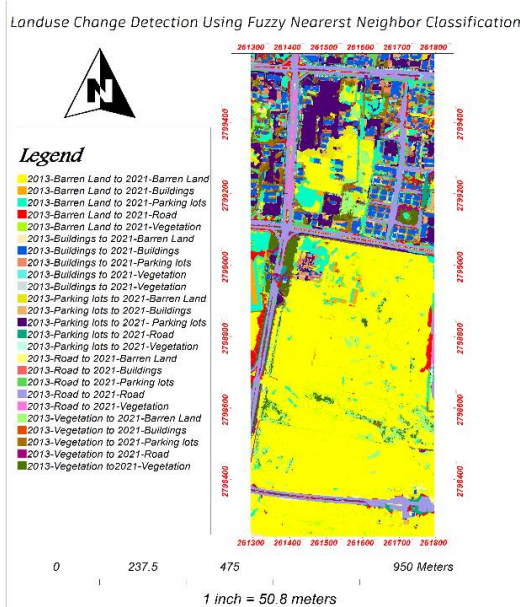


شکل ۸- نقشه تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش زاویه طیفی

همچنین شکل (۷) اطلاعات کاملی به منظور تفسیر و تحلیل بهتر و کاراتر تغییرات کاربری اراضی منطقه طی بازه زمانی مربوطه نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج کمی جداول موجود، مشهود است، تغییر پوشش زمین از کلاس زمین بایر در نقشه طبقه‌بندی ارتوموزاییک التراکم به پوشش گیاهی در نقشه کاربری ارتوفتو پهپاد دارای بیشترین میزان با ۳۲/۸۴٪ می‌باشد. از دیگر یافته‌های نمایان در جدول، تغییر کلاس جاده در نقشه کاربری سال ۱۳۹۳ به کلاس ساختمان در نقشه کاربری سال ۱۴۰۰ با ۲/۳۴٪ بعنوان کم‌ترین تغییرات کاربری است.



شکل ۷- تغییرات کاربری اراضی آشکارسازی شده بین کلاس‌های استخراج شده توسط روش قانون مبنا



شکل ۹- نقشه تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

همچنین با بررسی جداول (۶) و (۷) می‌توان دریافت که کلاس زمین بایر دارای کم‌ترین تحول و تغییر پوشش و کاربری نسبت به سایر کلاس‌ها با ۱۹/۲۶ درصد و کلاس پوشش گیاهی دچار بیشترین میزان تغییرات با ۶۹/۲۵ درصد شده است. همچنین کلاس "پارکینگ" نیز با نرخ تغییر ۳۷/۴۴ درصد از جمله کلاس‌هایی است که تغییرات محسوسی را تجربه کرده است. کلاس جاده هم با حفظ ۷۷/۱۵ درصد از مساحت اولیه خود، تغییر متوسطی را تجربه کرده است. نتایج فوق حاکی از پایداری نسبی اراضی بایر و ناپایداری و تغییرپذیری بیشتر پوشش گیاهی در منطقه مورد بررسی است. در جدول ۷، که تغییرات را بر حسب مترمربع نمایش می‌دهد، کلاس زمین بایر با میزان تغییر ۷۷۶۳۲.۸ مترمربع بیش‌ترین سهم تغییرات را به خود اختصاص داده است. به‌طور خاص، تبدیل این کلاس به

در شکل (۹) نقشه تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با بهره‌گیری از روش آشکارسازی تغییرات موضوعی نشان داده شده است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی پتانسیل تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا بخصوص تصاویر پهپادی در امر استخراج عوارض شهری بوسیله طبقه‌بندی شی‌گرایی اجرا شده است. بررسی رفتار و عملکرد الگوریتم مذکور در امر طبقه‌بندی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا از منظر دقت جزو دیگر نکات حائز اهمیت در این تحقیق بوده که با توجه به مطلب فوق از تصاویر پهپاد و تصاویر هوایی دوربین‌تراکم برای امر شناسایی تغییرات استفاده شده است. در این تحقیق، طبقه‌بندی داده‌ها بوسیله مدل سلسله مراتبی جهت استخراج دو به دو عوارض و کاربری‌های موردنظر ایجاد گردیده و از مجموعه‌ای از ویژگی‌های طیفی، هندسی و بافتی برای طراحی آن استفاده شده است. یکی از نکات قابل توجه در این پژوهش، تشکیل فضای ویژگی در هر گره از مدل سلسله مراتبی با توجه به ویژگی‌های عوارض دخیل در آن گره و بهینه‌سازی آن با استفاده از بهره‌گیری از الگوریتم SFS است. استخراج عوارض کاربری در تصویر التراکم بدون ادغام اشیا تصویری کلاس شبکه جاده دارای ضریب کاپا و دقت کلی بترتیب ۰/۹۰۷۲ و ۹۳/۳۱۸۳٪ برآورده شده است. با توجه به برتری نسبی در مقابل طبقه‌بندی با ادغام

اشیا تصویری جاده، از نقشه کاربری تهیه شده از آن بعنوان نقشه زمان اول در آشکارسازی تغییرات کاربری استفاده شد. ضریب کاپا و دقت کلی طبقه‌بندی تصویر ارتوفتو پهپاد بدون ادغام اشیا تصویری جاده بترتیب ۰/۷۸۸۵ و ۸۳/۹۶۹۳٪ ارزیابی شده است. بدین ترتیب همان‌طور که از بخش نتایج مشهود است، انتخاب نقشه کاربری تهیه شده از تصویر ارتوفتو پهپاد بدون ادغام اشیا تصویری کلاس جاده گزینه مناسبی بوده است. یافته‌های حاصل از این روش طبقه‌بندی، نشان می‌دهد که بیشترین تغییر پوشش زمین مربوط به تبدیل زمین بایر در سال ۱۳۹۳ به پوشش گیاهی سال ۱۴۰۳ با ۳۲/۸۴۳٪ بوده است. همچنین، ۲/۳۴۹٪ از تغییرات به تبدیل ساختمان به جاده اختصاص دارد که بعنوان کم‌ترین تغییرات کاربری در طی بازه زمانی مربوطه برآورد شده است. یکی از مباحث اساسی برای توسعه پژوهش‌هایی با محوریت این موضوع، استخراج ویژگی‌های گوناگون از تصاویر با بهره‌گیری از الگوریتم‌های متنوع بینایی ماشین و یادگیری عمیق و استفاده از روش‌های بهینه‌سازی کارا تر مانند الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات بمنظور بهینه‌سازی فضای ویژگی است. همچنین، تلاش برای تشخیص تغییرات با استفاده از نقشه دودویی (Binary) هر ویژگی‌بهینه بطور جداگانه برای تصاویر چند زمانه، موضوعی قابل بررسی برای مقایسه آن با دیگر روش‌های طبقه‌بندی است.

مراجع

- [۱] Gibril, M. B. A., Kalantar, B., Al-Ruzouq, R., Ueda, N., Saiedi, V., Shanableh, A., ... and Shafri, H. Z. (2020). "Mapping heterogeneous urban landscapes from the fusion of digital surface model and unmanned aerial vehicle-based images using adaptive multiscale image segmentation and classification." *Remote Sensing*, Vol. 12, No. 7, 1081.
- [۲] Sharma, S. K., Shah, J., Maithani, S., and Mishra, V. (2023). "Object Based Approach for Image Feature Extraction from UAV Data." *Proc. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 48, pp. 1907-1913.
- [۳] Elamin, A., and El-Rabbany, A. (2022). "UAV-based multi-sensor data fusion for urban land cover mapping using a deep convolutional neural network." *Remote Sensing*, Vol. 14, No. 17, 4298.
- [۴] Ojaghi, S., and Khazai, S. (2018). "Improving the Detection of Object-Oriented Changes in High-Resolution Images based on Random Forest Method in Optimal Features Space." *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, Vol. 26, No. 104, pp. 117-127. doi: 10.22131/sepehr.2018.30522.
- [۵] Han, D., Lee, S. B., Song, M., and Cho, J. S. (2021). "Change detection in unmanned aerial vehicle images for progress monitoring of road construction." *Buildings*, Vol. 11, No. 4, 150.

- [۶] Fytsilis, A. L., Prokos, A., Koutroumbas, K. D., Michail, D., and Kontoes, C. C. (2016). "A methodology for near real-time change detection between Unmanned Aerial Vehicle and wide area satellite images." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 119, pp. 165–186.
- [۷] Khadka, D., Zhang, J., Sharma, A., 2025. Geographic object-based image analysis for landslide identification using machine learning on Google Earth Engine. *Environmental Earth Sciences* 84 (3), 92.
- [۸] Mantey, S., and Aduah, M. S. (2021). "Comparison of Object-Based Classifiers and Traditional Pixel-Based Classification Techniques Using Landsat Imagery." *Ghana Journal of Technology*, Vol. 5, No. 2, pp. 60–69.
- [۹] Richards, J. A. (2022). *Remote sensing digital image analysis*, Vol. 5, pp. 256–258. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- [۱۰] Powar, S. K., Panhalkar, S. S., and Patil, A. S. (2022). "An Evaluation of Pixel-based and Object-based Classification Methods for Land Use Land Cover Analysis Using Geoinformatic Techniques." *Geomatics and Environmental Engineering*, Vol. 16, No. 2, pp. 61–75.
- [۱۱] Ouchra, H., Belangour, A. and Erraissi, A. (2022). "A comparative study on pixel-based classification and object-oriented classification of satellite image." *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(8), pp. 206–215.
- [۱۲] Amini, S., Homayouni, S., Safari, A., & Darvishsefat, A. A. (2018). Object-based classification of hyperspectral data using Random Forest algorithm. *Geo-spatial information science*, 21(2), 127-138.
- [۱۳] Cao, J., Leng, W., Liu, K., Liu, L., He, Z., and Zhu, Y. (2018). "Object-based mangrove species classification using unmanned aerial vehicle hyperspectral images and digital surface models." *Remote Sensing*, Vol. 10, No. 1, 89.
- [۱۴] Blaschke, T., Hay, G. J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., ... and Tiede, D. (2014). "Geographic object-based image analysis—towards a new paradigm." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 87, pp. 180–191.
- [۱۵] Bayazit, M., Dönmez, C., Berberoglu, S., 2025. Assessing the efficiency of pixel-based and object-based image classification using deep learning in an agricultural Mediterranean plain. *Environmental Monitoring and Assessment* 197 (2), 1–20.
- [۱۶] Goswami, A., Sharma, D., Mathuku, H., Gangadharan, S. M. P., Yadav, C. S., Sahu, S. K., ... and Imran, H. (2022). "Change detection in remote sensing image data comparing algebraic and machine learning methods." *Electronics*, Vol. 11, No. 3, 431.
- [۱۷] Arabi, F.A., Malamiri, H.R.G., Shojaei, S., Sarsangi, A., Ferreira, C.S.S. and Kalantari, Z. (2022). "Investigating the ability to identify new constructions in urban areas using images from unmanned aerial vehicles, Google Earth, and Sentinel-2." *Remote Sensing*, 14(13), pp. 3227.
- [۱۸] Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., and Heynen, M. (2004). "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 58, No. 3–4, pp. 239–258.
- [۱۹] Serpico, S. B., and Bruzzone, L. (2001). "A new search algorithm for feature selection in hyperspectral remote sensing images." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39, No. 7, pp. 1360–1367.
- [۲۰] Onyango, C. M., and Marchant, J. A. (2003). "Segmentation of row crop plants from weeds using colour and morphology." *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 39, No. 3, pp. 141–155.
- [۲۱] Burgan, R. E., and Bartlette, R. A. (1993). *Monitoring vegetation greenness with satellite data*, Vol. 297. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station.
- [۲۲] Gevers, T., and Smeulders, A. W. (2000). "Pictoseek: Combining color and shape invariant features for image retrieval." *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 9, No. 1, pp. 102–119.

- [۲۳] McNairn, H., and Protz, R. (1993). "Mapping corn residue cover on agricultural fields in Oxford County, Ontario, using Thematic Mapper." *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 2, pp. 152–159.
- [۲۴] Kaufman, Y. J., and Tanre, D. (1992). "Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 30, No. 2, pp. 261–270.
- [۲۵] Jiang, Y., Wen, X., Xiang, D., Tan, D., Li, Z., Zhang, S. and Wan, Y. (2016). "A change detection approach of high-resolution imagery combined the pre-classification with the post-classification comparison." *Proc. 2016 Fifth International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)*, IEEE, July 2016, pp. 1–6.
- [۲۶] Liu, X. and Yang, C. (2013). "A kernel spectral angle mapper algorithm for remote sensing image classification." *Proc. 2013 6th International Congress on Image and Signal Processing (CISP)*, IEEE, December 2013, Vol. 2, pp. 814–818.