

طبقه بندی راههای شهری مبتنی بر ادغام در سطح تصمیمات تصاویر نوری و راداری

محدثه لزاری زارع¹ و فاطمه طیب محمودی^{2*}

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

² استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

fnahmoudi@sru.ac.ir

چکیده: طبقه بندی عارضه راه از تصاویر سنجش از دور به عنوان یک راهکار کاربردی و مؤثر در بسیاری از مطالعات مربوط به مدیریت شهری همانند ایجاد پایگاه داده حمل و نقل و بروزرسانی نقشه ها مورد توجه مدیران و برنامه ریزان شهری می باشد. در این مقاله قابلیت تصاویر سنجش از دور *SPOT* و *SAR*¹ به منظور طبقه بندی عارضه راه در مناطق شهری مورد بررسی قرار گرفته است. شباهت طیفی عارضه راه با سقف آسفالت ساختمان ها در مناطق شهری موجب بروز مشکلاتی در طبقه بندی اتوماتیک راه مبتنی بر تصاویر نوری از جمله *SPOT* می گردد. از سوی دیگر، تصاویر راداری با اینکه قابلیت خوبی در طبقه بندی راه های فرعی و باریک دارند، اما در ایجاد تمایز بین راه و پوشش گیاهی دچار مشکلاتی می شوند. بنابراین، نتایج حاصل از هر دو داده سنجش از دور *SPOT* و *SAR* مکمل یکدیگر بوده و ادغام آنها ممکن است تاثیر بسزایی در بهبود نتایج طبقه بندی راه های شهری داشته باشد. روش پیشنهادی در این مقاله یک الگوریتم ادغام در سطح تصمیمات نتایج طبقه بندی داده های *SPOT* و *SAR* به منظور بهبود راه های طبقه بندی شده می باشد. این روش سه مرحله اصلی دارد: 1) استخراج ویژگی های بافت از هریک از تصاویر *SPOT* و *SAR*، 2) طبقه بندی مجزای هر یک از تصاویر برداشت شده از منطقه با استفاده از الگوریتم طبقه بندی ماشین های بردار پشتیبان و 3) ادغام در سطح تصمیمات نتایج طبقه بندی تصاویر. اجرای مراحل روش پیشنهادی در یک منطقه شهری نشان داد که کیفیت طبقه بندی راه های شهری در تصویر *SPOT* پس از ادغام نتایج آن با نتایج طبقه بندی *SAR* در حدود 21٪ بهبود یافته است.

کلمات کلیدی: طبقه بندی راه، ادغام در سطح تصمیمات، ماشین های بردار پشتیبان، تصاویر نوری، تصاویر راداری

Urban Road Classification Based on Decision Fusion of SAR and Optical Images

M. Lazari Zare and F. Tabib Mahmoudi

Abstract: Road recognition and extraction based on remotely sensed data is efficient and applicable in much urban management studies. In this research, the capabilities of *SPOT* and *SAR* images are investigated for road recognition. Spectral and textural similarities between roads and other urban objects such as building's roofs may cause some difficulties in road recognition based on *SPOT* image. On the other hand, *SAR* images are good for small road recognition but, may have some difficulties for detecting roads among vegetation. The proposed method in this paper is a decision level fusion of *SPOT* and *SAR* classification results in order to modify extracted road regions. This method has three main steps; 1) texture feature extraction from each of the *SPOT* and *SAR* images, 2) classifying each of the *SPOT* and *SAR* images based on SVM classifier, 3) decision level fusion of classification results in order to reduce road recognition difficulties and having optimum road regions. Performing the capabilities of the proposed decision level fusion algorithm for road recognition can improve the quality of the classification for about 21%.

Keywords: Road classification, Decision level fusion, Support vector machine, *SPOT* image, *SAR* image

¹ Synthetic Aperture Radar

1 - مقدمه

راه‌ها نقش مهمی در سیستم حمل و نقل شهری و بین شهری ایفا می‌نمایند. راه‌های شهری متعلق به زیرساخت‌های نوسازی هستند که در زندگی روزمره و حتی در بخش نظامی نقش بسیار مهمی را دارند [1]. مسائلی همچون وقوع بلایای طبیعی نظیر سیل و زمین لرزه و یا رشد و توسعه‌ی شهری لزوم تهیه و به هنگام رسانی نقشه راه‌های شهری را ایجاب می‌نمایند. داشتن اطلاعات به هنگام از شبکه راه‌های شهری در بسیاری از کاربردها از قبیل امدادرسانی حین وقوع بحران، انجام تحلیل‌های مکانی و مسیریابی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به هنگام رسانی نقشه راه‌های موجود را می‌توان از طریق عملیات میدانی انجام داد، اما به دلیل زمان بر بودن و پرهزینه بودن این عملیات، استفاده از داده‌های سنجنش از دور مقرون به صرفه می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی‌های برداشت داده‌های سنجنش از دور، طبقه بندی اتوماتیک راه از تصاویر سنجنش از دور به موضوع مهمی در حوزه فتوگرامتری رقومی تبدیل شد.

نتایج حاصل از عملیات تشخیص راه از داده‌های سنجنش از دور می‌تواند در کاربردهای مختلف برنامه‌ریزی شهری مانند تولید پایگاه داده حمل و نقل، به هنگام رسانی نقشه‌های موجود و مدیریت منابع زمین مورد استفاده قرار گیرد. همچنین لایه راه‌های مستخرج از داده‌های سنجنش از دور به عنوان یک مرجع در مواقع اضطراری و انجام عملیات امداد و نجات توسط مدیریت بحران مورد استفاده قرار می‌گیرد [1].

پایگاه داده راه‌های مستخرج از تصاویر سنجنش از دور در کاربردهایی همچون حمل و نقل نقش اساسی ایفا می‌کند چرا که موجب ایجاد، نگهداری و به روزرسانی پایگاه داده شبکه راه به منظور انجام فعالیت‌هایی همچون مدیریت ترافیک، ناوبری خودکار وسایل نقلیه، حفظ امنیت و ارزیابی خطرات و بلایای طبیعی، تسهیل و فراهم آوردن زمینه مشارکت و همکاری برای تولید، تبادل و به اشتراک گذاری داده‌های مکانی و جلوگیری از موازی‌کاری‌ها و دوباره‌کاری‌ها می‌گردد.

با این حال برخی عوامل محدود کننده طبقه بندی اتوماتیک راه از تصاویر سنجنش از دور نیز وجود دارند که موجب کاهش دقت نتایج می‌گردند. از این میان، می‌توان به

نوع پوشش زمینه تصویر و یا عوارض موجود در همسایگی راه، حدتفکیک مکانی تصویر، شباهت درجات خاکستری راه با سایر عوارض شهری نظیر سقف آسفالت ساختمان‌ها، عبور راه از مناطق شهری دارای ساختمان‌های مرتفع و نواحی پنهان حاصل از آنها و وجود عوارضی مثل وسایل نقلیه موجود در راه، پل‌ها و سایه‌های حاصل از آنها اشاره نمود [2].

بنابراین، استفاده از الگوریتم‌های قدرتمند و همچنین بهره‌گیری از قابلیت انواع داده‌های سنجنش از دور می‌تواند به عنوان گامی مؤثر در جهت کاهش مشکلات مربوط به طبقه بندی راه‌های شهری مطرح گردد [3-6]. تصاویر سنجنش از دور نوری (مرئی) یکی از پرکاربردترین انواع تصاویر مورد استفاده در کاربردهای طبقه بندی راه‌ها می‌باشند [7-9]. از سوی دیگر، تصاویر سار نیز در برخی از تحقیقات به منظور طبقه بندی راه‌ها و یا بهبود نتایج مورد استفاده قرار گرفته‌اند [10، 11].

در این تحقیق، سعی شده قابلیت الگوریتم‌های ادغام در سطح تصمیمات داده‌های SPOT و SAR به منظور بهبود نتایج طبقه بندی راه‌های شهری مورد بررسی قرار گیرد. در ادامه، پس از مروری بر تحقیقات صورت گرفته در زمینه استفاده از تصاویر نوری، راداری و ادغام داده‌ها به منظور طبقه بندی اتوماتیک راه‌ها، روش پیشنهادی در این مقاله تشریح گردیده و سپس، نتایج حاصل از پیاده سازی و ارزیابی آن ارائه می‌گردد.

2 - پیشینه تحقیق

در این بخش به منظور آشنایی بیشتر با تحقیقات پیشین در زمینه طبقه بندی راه از تصاویر نوری و SAR چندین نمونه از این تحقیقات مورد بحث قرار می‌گیرند.

جیانگ و همکاران در 2019، یک روش استخراج جاده بر اساس شبکه عصبی کانولوشن ارائه داده‌اند. در مرحله اول، از شبکه عصبی برای طبقه بندی تصاویر سنجنش از دور با وضوح بالا به دو کلاس راه و غیر راه استفاده می‌شود. سپس، شبکه عصبی کانولوشن از الگوریتم آموزش بهینه شده و بهبود می‌یابد. در نهایت، به دلیل تأثیر عوامل طبیعی از قبیل سایه ساختمان و درخت، هنوز هم نویز غیر راه در نتایج طبقه بندی راه وجود دارد. بنابراین، از روش موجک برای فیلتر کردن نویزهای غیر راه به منظور بهبود

طبقه بندی راه های شهری مبتنی بر ادغام در سطح تصمیمات

در نهایت کیفیت نتایج طبقه بندی بدست آمده برابر 86٪ می باشد [1].

محمد زاده و همکاران از یک روش بر مبنای منطق فازی و توابع مورفولوژی با هدف استخراج خطوط مرکزی راه از تصاویر آیکونوس در مناطق شهری و حومه استفاده کرده اند. در این مقاله از ۲ مرحله کلی استفاده شده است ابتدا، به کارگیری سیستم منطق فازی برای شناسایی راه و در ادامه استفاده از توابع مورفولوژی به منظور طبقه بندی راه. مزیت این روش محاسبه مقدار میانگین از کلاس راه از طریق یک مقدار اولیه در سیستم فازی است این مقدار اولیه می تواند از راه و یا از یک پایگاه داده انتخاب شود [14].

تحقیق انجام شده توسط *li* و همکاران در سال 2017 از یک شبکه عصبی کانولوشن برای استخراج شبکه راهها در تصاویر رادار با وضوح بالا استفاده شده است. ابتدا، با توجه به اطلاعات ساختار غنی از مناطق راه در تصاویر *SAR* با وضوح بالا، یک مدل *CNN* برای استخراج ویژگی های منطقه و شناسایی نواحی کاندیدای راه پیشنهاد شده است. مدل *CNN* به بهبود دقت در شناسایی نواحی کاندیدای راه در سطح ویژگی کمک می کند. سپس، یک تبدیل *Radon* بهبود یافته و یک میدان تصادفی مارکوف (*MRF*) برای تکمیل استخراج شبکه راه براساس نواحی کاندیدای شناسایی شده مورد استفاده قرار می گیرد [15].

در تحقیقی دیگر *MU* و همکاران در سال 2016 در تحقیقی به طبقه بندی راه از تصاویر *SAR* پرداختند. پس از پیش پردازش برای کاهش نویز اسپکل، اطلاعات تصویر باینری با روش *Otsu* بدست می آید. سپس مناطقی که فاقد اطلاعات راه هستند توسط اپراتور مورفولوژیکی حذف می شوند. علاوه بر این، مرز کامل راه با انجام عملیات شناسایی لبه تشخیص داده می شود و در تصویر اصلی جایگزین می شود. استخراج جاده با استفاده از الگوریتم *Zernike* انجام می شود. خاصیت تعامد توابع پایه *Zernike* استقلال آماری ضرایب در بردارهای ویژگی استخراج شده را تضمین می کند [16].

ساعتی و همکاران روشی برای آشکارسازی نواحی راه از تصاویر راداری با روزه ترکیبی و قدرت تفکیک بالا ارائه دادند. در این روش ابتدا براساس میزان رادیانس هر پیکسل و پیکسل های همسایه آن، از تصویر ورودی ویژگی های چندگانه استخراج می شوند. در مرحله بعد، ویژگی های

نتایج طبقه بندی راه در تصاویر سنجش از دور استفاده شده است [12].

XU و همکاران در سال 2018 از یک شبکه عصبی کانولوشن عمیق برای طبقه بندی راه از تصاویر سنجش از دور نوری با وضوح بالا استفاده کرده اند. با توجه به مجموعه داده های آموزشی شبکه عصبی کانولوشن عمیق و اینکه انواع مختلف از راه ها دارای عرض های وجود دارند، این تحقیق یک مدل قطعه بندی را ارائه می دهد که براساس شبکه های پیچیده متراکم متصل طراحی شده است. هدف از این کار، ارائه یک روش طبقه بندی راه است که می تواند با استفاده از اطلاعات محلی و جهانی، شبکه راه را از تصاویر سنجش از راه دور استخراج کند. مجموعه داده از *Google Earth* برای اعتبارسنجی این روش استفاده شد [13].

تحقیق *Saba* و همکاران در سال 2016 با هدف طبقه بندی راهها در تصاویر ماهواره ای با وضوح بالا از طریق آنالیز شی مبنا انجام می شود. در این راستا، یک روش قطعه بندی اتوماتیک تصویر برای تولید قطعات تصویری ارائه شده است. برای رسیدن به این هدف، الگوریتم ژنتیک بهینه سازی با یک تابع هزینه جدید برای تنظیم پارامترهای قطعه بندی مناسب از جمله ضریب مقیاس و شکل و فشردگی طراحی شده است. قطعات تصویر بدست آمده با استفاده از روش نزدیکترین همسایه فازی طبقه بندی می شوند. قابلیت روش پیشنهادی بر روی تصویر پنهان *IKONOS* مورد ارزیابی گرفته است [4].

Wang و همکاران در سال 2016 از یک روش دانش مبنا برای طبقه بندی راهها شهری استفاده کردند. به طور کلی سه گام در این مقاله دنبال شده است، گام نخست پیش پردازش، گام دوم استخراج راه و در نهایت پس پردازش با استفاده از توابع مورفولوژی می باشد. در گام نخست، برای شناسایی راه های شهری از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا از ویژگی هایی همچون اطلاعات بافتی، طیفی و شکل استفاده شده که این اطلاعات بافت را از طریق قوانین *local Moran's I* بدست آورده اند. در گام دوم از ویژگی های دیگری همچون روشنایی، انحراف معیار، انطباق در چهارضلعی و برای ساخت فرضیه و تایید مدل فرضیه استفاده می شود. در نهایت راه هایی که از طریق مدل فرضیه ساخت و تایید شدند وارد مرحله پس پردازش (توابع مورفولوژی) شده و راهها از سایر عوارض متمایز می گردند.

Perciano و همکاران در پژوهش خود روشی برای استخراج شبکه راه از تصاویر ماهواره ای ارائه نمودند. روش پیشنهادی یک روش ادغام (با استفاده از داده ها از چندین منبع) و یک میدان تصادفی جدید مارکوف (*MRF*) تعریف شده بر روی اجزای متصل به همراه یک برنامه در چند سطح (*MRF* دو سطح) است. این روش اجازه می دهد تا راه هایی با خصوصیات مختلف شناسایی شوند و حدود 30٪ اندازه مدل گرافیکی مورد استفاده کاهش می یابد. نتایج مربوط به تصاویر رادار دیافراگم مصنوعی (*SAR*) و تصاویر نوری به دست آمده با استفاده از سنجنده های *TerraSAR-X* و *Quickbird* می باشد [19].

Lisini و همکاران در تحقیق خود، پیشنهاد طبقه بندی جاده از تصاویر با مساحت وسیع را ارائه دادند که از طریق حسگرهای ماهواره ای در هر دو حوزه نوری / مادون قرمز و مایکروویو بدست آمده است. این رویکرد از یک تجزیه و تحلیل چند مقیاسی برای انطباق داده ها با وضوح مختلف و یک مرحله قبل از پردازش برای انطباق با طول موج های مختلف داده بهره می برد. در صورت امکان، این چارچوب اجازه می دهد تا شبکه های راه استخراج شده از داده های نوری و *SAR* در همان منطقه استخراج شود. این روش با استفاده از تجزیه و تحلیل داده های لندست و *ALOS* یک منطقه در کنگو ثابت شده است [20].

3-روش پیشنهادی طبقه بندی راه های شهری

روش پیشنهادی طبقه بندی راه در این مقاله یک الگوریتم ادغام در سطح تصمیمات نتایج طبقه بندی پیکسل مبنای ماشین های بردار پشتیبان بر روی تصاویر *SPOT* و *SAR* می باشد. همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است، الگوریتم روش پیشنهادی از سه مرحله اصلی تشکیل شده است:

1. استخراج ویژگی های بافت از هریک از تصاویر *SPOT* و *SAR*
2. انجام طبقه بندی مبتنی بر روش ماشین های بردار پشتیبان بر روی هر یک از تصاویر
3. ادغام در سطح تصمیمات نتایج حاصل از طبقه بندی هریک از تصاویر به منظور بهبود نتایج طبقه بندی راه

در ادامه، هریک از مراحل فوق الذکر به تفصیل تشریح می گردند.

استخراج شده در مقیاس های مختلف با در نظر گرفتن حد آستانه های محلی باینری شده و با یکدیگر تلفیق می گردند. در مرحله پایانی با در نظر گرفتن معیارهای مکانی و طیفی به طور جداگانه نواحی راه مناسب انتخاب می گردند. با اعمال الگوریتم بر روی تصویر راداری ماهواره *TerraSAR* نتایج مطلوب و میانگین جذر مربعی آن معادل 78 درصد حاصل شد [11].

Cheng و همکاران روشی مبتنی بر جستجوی مرکز راه با دو مرحله کلی پیشنهاد کردند: مرحله اول شناسایی محلی و مرحله دوم ردیابی جهانی. در مرحله اول یک مدل پنجره دوگانه تنظیم شده است که شامل یک پنجره مربع ثابت و یک مستطیل چرخش داخلی می باشد. پنجره بیرونی برای بدست آوردن جهت محلی راه توسط هیستوگرام جهت گیری بر مبنای واقعیت اشیایی که در اطراف راه قرار دارند می باشد. پنجره داخلی مطابق با محاسبات نتیجه جهت گیری محلی می چرخد و جستجوها در نقاط مرکزی هر قطعه راه صورت می گیرد. مرحله ردیابی جهانی از یک فیلتر مخصوص برای مقابله با مشکل فرکانس ردیابی که اکثرا به علت وجود موانع در راه و یا کنار آن همانند چهار راه ها و .. به وجود می آیند، می باشد و در نهایت نقاط مرکزی هر قطعه به یکدیگر متصل و راه ها استخراج می شوند [17].

خصالی و همکاران دو روش جدید برای ادغام تصاویر نوری با رزولوشن بالا و تصاویر ماهواره ای راداری برای طبقه بندی راه ها با کیفیت بالا پیشنهاد کرده اند. دو روش ادغام شامل شبکه عصبی و ادغام دانش مبنا معرفی شده است. اولین روش پیشنهادی شامل دو مرحله است، 1. شناسایی جداگانه راه با استفاده از مجموعه داده و 2. ادغام نتایج حاصل با استفاده از شبکه عصبی. در این روش شبکه های عصبی روی تصاویر با رزولوشن بالای *IKONOS* و *TerraSAR-X* برای شناسایی راه با استفاده از استخراج انواع پارامترهای بافت استفاده می شوند. خروجی های دو شبکه عصبی و همچنین ویژگی های طیفی تصویر نوری در شبکه عصبی سوم به عنوان ورودی استفاده می شود. روش دوم مبتنی بر یک ادغام دانش مبنا با استفاده از حد آستانه هاست که درجات خاکستری راه های باریک و پوشش گیاهی می باشد. ابتدا جاده ها از هر منبع جداگانه استخراج سپس خروجی ها مقایسه می شوند. نتایج حاصل نشان می دهد که الگوریتم اول موفق تر عمل کرده است [18].

طبقه بندی راه های شهری مبتنی بر ادغام در سطح تصمیمات

با سعی و خطا انتخاب شدند. جدول 1 روابط ریاضی مربوط به هر یک از ویژگی های بافت منتخب را نمایش می دهد.

جدول 1. روابط ریاضی ویژگی های بافت اندازه گیری شده

روی داده SPOT

Table 1. mathematical basis of the textural features on SPOT image

نام ویژگی بافت	رابطه ریاضی
میانگین	$\sum_{i,j=0}^{N-1} i \times P(i, j)$
همگونی	$\sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1+(i+j)^2}$
کنتراست	$\sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I_{ij} - \bar{I})^2}$
عدم تشابه	$\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} P_{i,j} i - j $

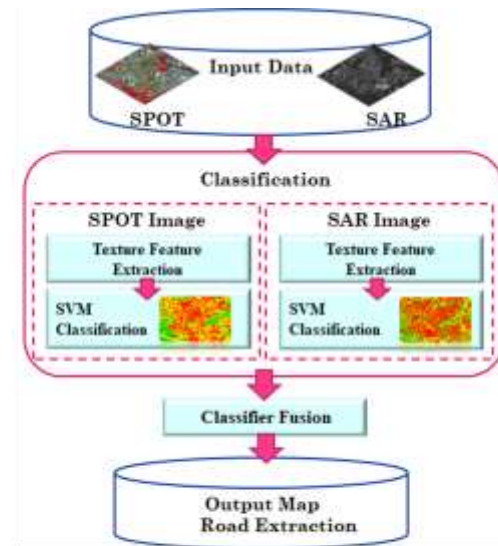
ماهیت متفاوت تصاویر SAR منجر به انتخاب ویژگی های بافت دیگری برای طبقه بندی راه ها از بین دیگر عوارض شهری در این تصاویر گردید. میانگین و *data range* به عنوان ویژگی های بافت بهینه توسط شخص خبره و با انجام سعی و خطا از تصاویر SAR انتخاب گردید.

2-3 طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبان یک روش طبقه بندی نظارت شده بر مبنای نظریه یادگیری آماری است. هدف اصلی این طبقه بندی کننده، یافتن یک ابرصفحه بهینه به عنوان یک سطح تصمیم گیری، به گونه ایی است که حاشیه بین دو کلاس را بیشینه کند [22].

در این مقاله از طبقه بندی کننده ماشین های بردار پشتیبان برای طبقه بندی عوارض در داده های SPOT و SAR به طور مجزا استفاده شد.

به منظور اعمال طبقه بندی کننده SVM بر روی تصویر SPOT از کنار هم قرار دادن ویژگی های بافت میانگین، همگونی، کنتراست و عدم تشابه اندازه گیری شده بر روی هر یک از چهار باند طیفی تصویر SPOT به همراه باندهای طیفی اصلی تصویر، یک فضای پانزده بعدی به عنوان ورودی به الگوریتم طبقه بندی معرفی می گردد.



شکل 1: ساختار روش پیشنهادی طبقه بندی راه

Fig. 1. Structure of the proposed road classification method

3-1 استخراج ویژگی های بافت

آنالیز بافت یکی از رایج ترین روش های ایجاد توصیف گره های عوارض سطحی در تصاویر رقومی است که می تواند به عنوان معیاری برای تمایز بین اشیای مختلف موجود در تصویر مورد استفاده قرار گیرد. در اجرای روند آنالیز بافت تصویر، روابط درجات خاکستری بین پیکسل های تصویر در یک همسایگی محلی مورد بررسی قرار گرفته و سپس یک یا چند معیار مشخص و تعریف شده از اطلاعات بافت برای آن منطقه محاسبه می شود [21].

انرژی، آنتروپی، همگونی، کنتراست، عدم تشابه و... از جمله پرکاربردترین انواع ویژگی های بافت مستخرج از تصاویر سنجش از دور در تحقیقات تشخیص و طبقه بندی عوارض می باشند. انتخاب ویژگی های بافت وابسته به ماهیت عارضه مورد نظر و خصوصیات داده سنجش از دوری مورد استفاده است.

در این مقاله ویژگی های بافت میانگین، کنتراست، عدم تشابه و همگونی برای هر باند از تصویر SPOT در محیط ماتریس توامان درجات خاکستری² که در آن توزیع درجات خاکستری و موقعیت پیکسل ها نسبت به یکدیگر را در نظر می گیرد، اندازه گیری شده است. این ویژگی ها براساس آنالیز تنوع³ و بررسی بصری توانایی آنها در تمایز بین راه ها و دیگر عوارض شهری در تصویر SPOT، به صورت تجربی و

² Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)

³ Diversity Analysis

⁴ Support Vector Machine

ماشین‌های بردار پشتیبان به منظور طبقه بندی راه‌ها با مشکلاتی همراه باشد. داده‌های SAR در تشخیص پوشش گیاهی ضعیف عمل می‌کنند ولی در زمینه ایجاد تمایز بین ساختمان‌های دارای سقف آسفالت و راه‌های شهری عملکردی بهتر از داده‌های نوری دارند.

به همین منظور، الگوریتم پیشنهادی ادغام در سطح تصمیمات در این مقاله با هدف بهبود نتایج بدست آمده از طبقه بندی پیکسل مبنای SVM داده SPOT با استفاده از نتایج حاصل از طبقه بندی داده SAR انجام می‌شود. روش ادغام در سطح تصمیمات در این مقاله، نتایج حاصل از دو طبقه بندی پیکسل مبنای SPOT و SAR را براساس روش رای گیری منطقی مبتنی بر روابط همسایگی بین انواع عوارض شهری با یکدیگر ادغام می‌نماید. هدف از این ادغام، دستیابی به یک نقشه طبقه بندی است که در آن اشتباهات در تشخیص راه‌ها با دیگر عوارض شهری کاهش یافته باشد.

به بیان دیگر، استراتژی پیشنهادی برای ادغام طبقه بندی کننده‌ها در این تحقیق بر اعمال قوانین دانش مبنا مبتنی بر ویژگی‌های ساختاری نواحی راه مانند مساحت و شکل ناحیه و روابط همسایگی بین راه‌ها و سایر عوارض شهری استوار می‌باشد. نمونه‌هایی از ساختار کلی روابط مورد استفاده در ادغام تصمیمات در این مقاله به شرح زیر است:

- اگر طبقه بندی کننده SVM یک پیکسل (i, j) را در تصویر SAR در کلاس راه و در تصویر SPOT در کلاس ساختمان طبقه بندی کرده باشد، در صورتیکه کشیدگی قطعه‌ای که پیکسل موردنظر در نتیجه طبقه بندی SPOT به آن تعلق دارد بیش از حدآستانه تعریف شده باشد، نتیجه طبقه بندی SAR موردقبول است و برچسب راه به پیکسل موردنظر اختصاص می‌یابد.
- اگر طبقه بندی کننده SVM یک پیکسل (i, j) را در تصویر SPOT در کلاس پوشش گیاهی و در تصویر SAR در کلاس ساختمان یا راه طبقه بندی کرده باشد، در صورتیکه پخی قطعه‌ای که پیکسل موردنظر در نتیجه طبقه بندی SAR به آن تعلق دارد بیش از حدآستانه تعریف شده باشد، نتیجه طبقه بندی SPOT موردقبول است و برچسب پوشش گیاهی به پیکسل موردنظر اختصاص می‌یابد.

در طبقه بندی تصویر SAR، ویژگی‌های بهینه منتخب از این داده که همان میانگین و $data\ range$ بودند به همراه تصویر اصلی در مجموع یک فضای ورودی سه باندی را برای الگوریتم طبقه بندی SVM تشکیل می‌دهند.

به منظور طبقه بندی هر دو تصویر SPOT و SAR در این مقاله از کرنل RBF^5 استفاده شد و نتایج طبقه بندی‌های صورت گرفته روی داده‌ها به عنوان ورودی به الگوریتم ادغام در سطح تصمیمات معرفی گردید.

جدول 2 و 3 به ترتیب، مقادیر تنظیم شده برای پارامترهای طبقه بندی کننده SVM در هر یک از دو داده SPOT و SAR را نمایش می‌دهند.

جدول 2. پارامترهای تنظیم شده در طبقه بندی SVM تصویر اسپات

Table 2. Parameters of SVM classification algorithm for SPOT image

مقدار	نام پارامتر
0.8	Gamma
100	Penalty parameter
0.2	Classification Probability Threshold

جدول 3. پارامترهای تنظیم شده در طبقه بندی SVM داده SAR

Table 3. Parameters of SVM classification algorithm for SAR image

مقدار	نام پارامتر
4	Gamma
200	Penalty parameter
0.01	Classification Probability Threshold

3-3 ادغام در سطح تصمیمات

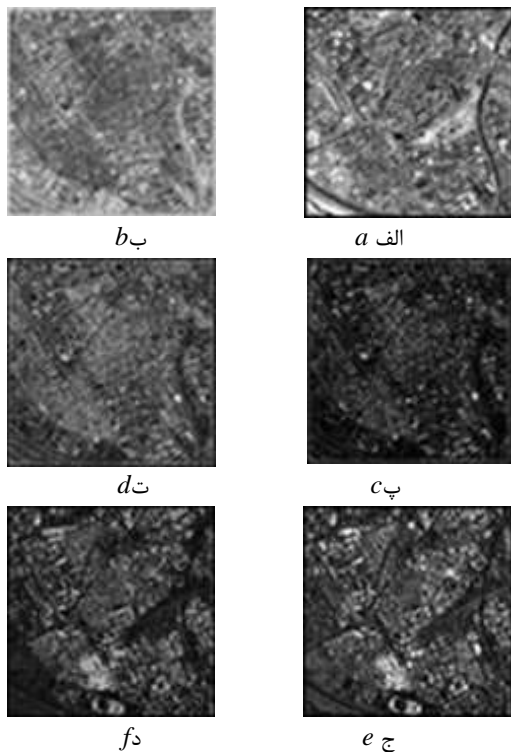
همانطور که در بخش‌های مقدمه و پیشینه تحقیق اشاره گردید، نتایج طبقه بندی راه‌های شهری مبتنی بر داده‌های نوری (تصویر SPOT در این مقاله) به دلیل شباهت طیفی عارضه راه با سایر عوارض نظیر سقف آسفالت ساختمان‌ها دارای مشکلاتی می‌باشد. بدین معنی که در مناطق پیچیده شهری ممکن است تعدادی از ساختمان‌ها اشتباهاً توسط الگوریتم طبقه بندی به عنوان راه در نظر گرفته شوند و بالعکس.

از سوی دیگر، ماهیت خاص داده‌های SAR نیز باعث می‌شود که نتایج اعمال الگوریتم‌های طبقه بندی نظیر

⁵ Radial Basis Function

4-2 نتایج اجرایی مراحل روش پیشنهادی

همانطور که در بخش های قبلی اشاره گردید، ویژگی های بافت میانگین، همگونی، کنتراست و عدم تشابه از تصویر SPOT استخراج و به منظور طبقه بندی به الگوریتم ماشین های بردار پشتیبان معرفی می شوند. پیش از استخراج ویژگی های بافت از تصویر SAR، ابتدا فیلترهای گاما و erod به منظور کاهش نویز اسپکل بر روی تصویر اعمال شدند. شکل 3 تصاویر بافت مستخرج از داده های SPOT و SAR را نمایش می دهد.



شکل 3. ویژگی های بافت (الف) میانگین، (ب) همگونی، (پ) کنتراست، (ت) عدم تشابه مستخرج از تصویر SPOT و ویژگی های بافت (ج) میانگین و (د) data range داده SAR
Fig.3. Textural features on SPOT image ; a) mean, b)homogeneity, c)contrast, d)dissimilarity and textural features on SAR; e)mean, f)data range

با توجه به ماهیت عوارض موجود در منطقه شهری مورد مطالعه، سه نوع عارضه ساختمان، راه و پوشش گیاهی به عنوان کلاس های عارضه اصلی انتخاب شدند. به منظور طبقه بندی تصویر SPOT با طبقه بندی کننده ماشین های بردار پشتیبان، تعداد 5096 پیکسل از کلاس راه، 4653 پیکسل از کلاس پوشش گیاهی و 5949

- اگر طبقه بندی کننده SVM یک پیکسل (i,j) را در تصویر SAR در کلاس راه و در تصویر SPOT در کلاس ساختمان طبقه بندی کرده باشد، در صورتیکه انطباق در چهارضلعی قطعه ای که پیکسل مورد نظر در نتیجه طبقه بندی SPOT به آن تعلق دارد کمتر از حد آستانه تعریف شده باشد، نتیجه طبقه بندی SAR مورد قبول است و برچسب راه به پیکسل مورد نظر اختصاص می یابد.

4- پیاده سازی و ارزیابی نتایج

4-1 منطقه مورد مطالعه و داده های مورد استفاده

قابلیت روش طبقه بندی راه پیشنهادی در این مقاله با استفاده از تصاویر SPOT و SAR برداشت شده از یک منطقه شهری در بارسلونای اسپانیا مورد ارزیابی قرار گرفت. داده SAR مورد نظر در سال 2011 توسط سنجنده Terra SAR-X با قدرت تفکیک مکانی 2/5 متر و پلاریزاسیون HH و زاویه تابش 35/2 برداشت شده است (شکل 2 الف). تصویر SPOT5 برداشت شده نیز دارای قدرت تفکیک مکانی 2/5 متر می باشد (شکل 2 ب).



الف



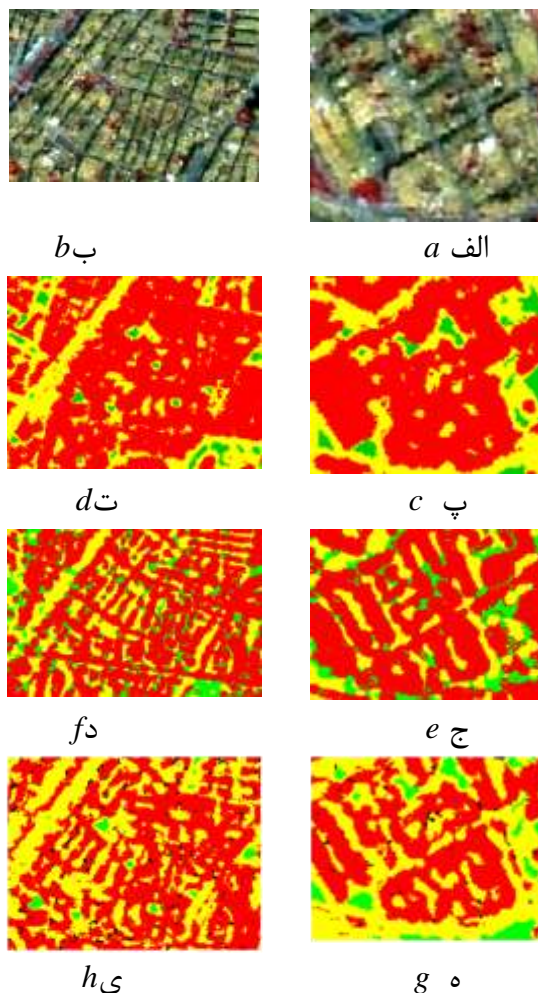
ب

شکل 2. الف) داده SAR، ب) داده SPOT برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

Fig. 2. a) SAR data, b) SPOT data

راه‌های باریک و کوچک مانند کوچه‌ها در مجاورت ساختمان‌ها در نواحی شهری شلوغ نسبت به تصویر SPOT نتایج بهتری تولید نماید.

بنابراین، ادغام نتایج حاصل از طبقه بندی تصاویر SPOT و SAR می‌تواند پاره‌ای از مشکلات تشخیص راه‌ها از سایر عوارض شهری را بهبود دهد. با استفاده از حدود آستانه تعریف شده برای ویژگی‌های ساختاری نواحی عارضه راه نظیر اندازه، کشیدگی و انطباق در چهارضلعی پایگاه دانشی تولید می‌شود که از آن برای ادغام در سطح تصمیمات و بهبود نتایج طبقه بندی استفاده می‌گردد. شکل 5 بهبود نتایج بدست آمده از اعمال الگوریتم پیشنهادی ادغام در سطح تصمیمات در چند ناحیه منتخب از داده مورد مطالعه



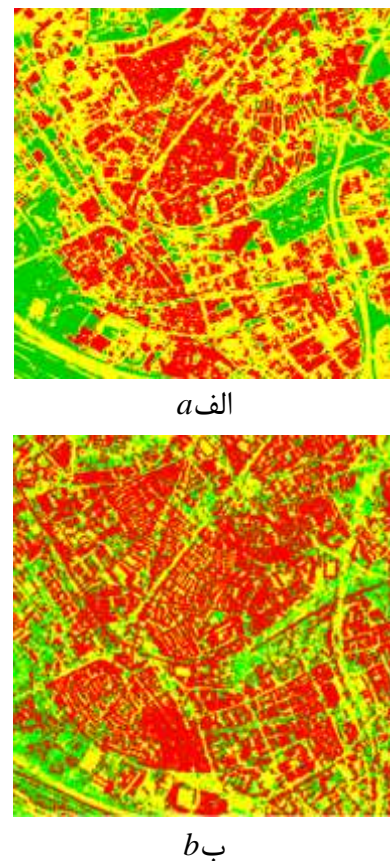
شکل 5. نواحی منتخب از: (الف ، ب) تصویر SPOT، (پ ، ت) نتایج طبقه بندی SPOT، (ج ، د) نتایج طبقه بندی SAR، (ه ، ی) نتایج ادغام تصمیمات

Fig. 5. Selected sample areas on (a,b) SPOT image, (c,d) SPOT image classification, (e,f) SAR image classification, (g,h) decision fusion results

پیکسل از ساختمان‌ها به عنوان داده‌های آموزشی به الگوریتم معرفی شدند.

به منظور آموزش طبقه بندی کننده ماشین‌های بردار پشتیبان برای طبقه بندی تصویر SAR، 2203 پیکسل از راه‌ها، 5144 پیکسل از ساختمان‌ها و 1358 پیکسل از پوشش گیاهی به عنوان نمونه‌های آموزشی انتخاب شدند.

نتایج حاصل از طبقه بندی تصاویر SPOT و SAR در شکل 4 نشان داده شده است. شباهت‌های طیفی و بافتی بین راه‌ها و سقف آسفالت ساختمان‌ها منجر به ایجاد اشتباهاتی در تشخیص کلاس‌های عارضه راه و ساختمان در نتایج طبقه بندی تصویر SPOT شده است. با این حال، پوشش گیاهی و بزرگراه‌های شهری با دقت بیشتری در تصویر SPOT تشخیص داده شده‌اند.



شکل 4. نتایج طبقه بندی ماشین‌های بردار

پشتیبان روی الف) تصویر SPOT، ب) تصویر SAR
Fig. 4. SVM classification results on a) SPOT image, b) SAR image

از سوی دیگر، ماهیت خاص داده SAR، منجر به ایجاد مشکلاتی در طبقه بندی پوشش گیاهی شده است. با این حال، طبقه بندی تصویر SAR توانسته برای تشخیص

طبقه بندی راه های شهری مبتنی بر ادغام در سطح تصمیمات

همانطور که در جدول 5 نشان داده شده است، کیفیت طبقه بندی عارضه راه پس از اعمال ادغام در سطح تصمیمات حدود 21٪ بهبود یافته است.

جدول 5. مقایسه کیفیت طبقه بندی تصویر SPOT و نتیجه ادغام تصمیمات

Table 5. Comparison between classification quality of SPOT and decision fusion result

کلاس عوارض			نتایج طبقه بندی
پوشش گیاهی	ساختمان	راه	
99/28	73/77	55/76	طبقه بندی SPOT
99/98	68/09	76/69	ادغام تصمیمات

5- نتیجه گیری

به هنگام رسانی لایه راه‌ها در مدل‌های شهری برای بسیاری از کاربردها نظیر عملیات امداد و نجات در مدیریت بحران، تحلیل‌های مکانی و مسیریابی بسیار حائز اهمیت است. بنابراین، طبقه بندی راه‌های شهری مبتنی بر داده‌های سنجش از دور به عنوان یک زمینه تحقیقاتی در دهه‌های اخیر مورد توجه بوده است.

در این مقاله یک روش ادغام در سطح تصمیمات تصاویر SPOT و SAR به منظور طبقه بندی راه‌های شهری پیشنهاد گردید.

الگوریتم پیشنهادی در واقع یک روش ادغام طبقه بندی کننده‌هاست که بر مبنای نتایج طبقه بندی پیکسلی ماشین‌های بردار پشتیبان بر روی تصاویر SPOT و SAR عمل می‌کند.

نتایج حاصل از روش ادغام تصمیمات پیشنهادی توانست مشکلات ناشی از شباهت‌های طیفی و بافتی بین راه‌ها و سقف آسفالت ساختمان‌ها را در نتایج طبقه بندی تصویر SPOT کاهش دهد. به بیان دیگر، استفاده از ویژگی‌های ساختاری مرتبط با شکل و اندازه راه‌های شهری در قوانین منطقی ادغام تصمیمات، منجر به بهبود نتایج طبقه بندی کلاس عارضه راه نسبت به حالت استفاده از ویژگی‌های طیفی و بافتی به تنهایی گردید.

ارزیابی نتایج حاکی از آن است که ادغام در سطح تصمیمات نقشه‌های طبقه بندی ماشین‌های بردار پشتیبان تصاویر SPOT و SAR توانست کیفیت طبقه بندی عارضه راه‌های شهری را حدود 21٪ افزایش دهد. این بدان

را نشان می‌دهد.

4-3 ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی دقت نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی طبقه بندی راه، ابتدا هر یک از نقشه‌های طبقه بندی تصاویر SPOT و SAR بر اساس نقشه واقعیت زمینی ارزیابی شدند. نقشه واقعیت زمینی بر اساس ارزیابی بصری تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد در گوگل ارث و توسط شخص خبره تولید شدند. در جدول 4 نتایج دقت کلی و ضریب کاپا مربوط به هر یک از نقشه‌های طبقه بندی و نتیجه ادغام تصمیمات آنها با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول 4. مقایسه دقت کلی و ضریب کاپا در نتایج طبقه بندی اولیه و ادغام تصمیمات

Table 4. Comparison between overall accuracy and Kappa in classification results

نتیجه طبقه بندی	دقت کلی	ضریب کاپا
تصویر SPOT	٪84.97	0.76
تصویر SAR	٪47.92	0.15
ادغام تصمیمات	٪86.41	0.79

نتایج حاکی از آن است که ادغام در سطح تصمیمات نقشه های طبقه بندی SVM، تصاویر SPOT و SAR توانسته دقت کلی نتایج طبقه بندی تصویر SPOT را حدود 2٪ و تصویر SAR را حدود 38٪ افزایش دهد. به علاوه، در این تحقیق کیفیت طبقه بندی نتیجه ادغام در سطح تصمیمات با کیفیت طبقه بندی اولیه تصویر SPOT مقایسه گردید (رابطه 1).

$$Quality = \frac{TruePositive}{TruePositive + FalsePositive + FalseNegative} \quad (1)$$

در رابطه (1)، True Positive نشاندهنده تعداد پیکسل های راه تشخیص داده شده توسط الگوریتم طبقه بندی است که با واقعی زمینی مطابقت دارند. عبارت False Negative به معنای آندسته از پیکسل‌های راه است که در واقعیت زمینی حضور دارند اما توسط الگوریتم تشخیص داده نشده‌اند و False positive نشاندهنده پیکسل‌هایی است که اشتباهاً به عنوان راه طبقه بندی شده‌اند.

8. Lin, Y. Saripalli, S. "Road Detection and Tracking from Aerial Desert Imagery," J Intell Robot Syst . 65:345–359 .DOI 10.1007/s10846-011-9600-6, **2012**.
 9. Ghasemloo, N., Mobasheri, M. "Road and Tunnel Extraction from SPOT Satellite Images Using Neural Networks," Journal of Geographic Information System . DOI: 10.4236/jgis.2013.51007. **2013**.
 10. Saati, M., Amini, J. "A fuzzy-based method for road area detection in high resolution SAR images," Scientia Iranica D (2015) 22(3), 1085_1093. **2015**.
 11. Saati, M., Amini, j. "A method for detecting the path in high resolution hybrid aperture radar images," Journal of Geomatics Science and Technology, 4(3), **2015**. (In Persian).
 12. Jiang, y. "Research on road extraction of remote sensing image based on convolutional neural network," Jiang EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2019:31.
 13. Xu, Y. Xie, Z. Feng, Y. Chen, Z. "Road Extraction from High-Resolution Remote Sensing Imagery Using Deep Learning," Remote Sens., 10, 1461; doi:10.3390/rs10091461, **2018**.
 14. Mohammadzadeh A., Tavakoli, A., Valadan Zoej, M.J. "Road Extraction based on Fuzzy Logic and Mathematical Morphology from Pan-Sharpned IKONOS Images," The Photogrammetric record 21(113), 44–60, **2006**.
 15. LI, Y., Zhang, R., Wu, Y. "ROAD NETWORK EXTRACTION IN HIGH-RESOLUTION SAR IMAGES BASED CNN FEATURES," IGARSS, 978-1-5090-4951-6/17/\$31.00 ©2017 IEEE. **2017**.
 16. Mu, H., Zhang, Y., LI, H., Guo, Y., Zhuang, Y. "ROAD EXTRACTION BASE ON ZERNIKE ALGORITHM ON SAR IMAGE," IGARSS, 978-1-5090-3332-4/16/\$31.00 ©2016 IEEE.
 17. Cheng, J., Ding, W., Ku, X., Sun, J. "Road Extraction from High-Resolution SAR Images via Automatic Local Detecting and Human-Guided Global Tracking," International Journal of Antennas and Propagation, Article ID 989823, doi:10.1155/2012/989823, **2012**.
 18. Khesali, E. Valadanzoj M.J. Dehghani, M. Mokhtarzade, M. "Semi Automatic Road Extraction by Fusion of High Resolution
- معناست که با اینکه دقت نتایج طبقه بندی کلاس عارضه راه در تصویر *SPOT* بسیار بهتر از نتایج طبقه بندی آن در تصویر *SAR* است، اما به کارگیری نتایج طبقه بندی *SAR* توانست کیفیت نتایج حاصل از تصویر *SPOT* را بهبود بخشد.
- به علاوه، استفاده از ویژگی‌های خاص داده‌های *SAR* توانست نتایج طبقه بندی راه‌های باریک و کوتاه نظیر معابر شهری شلوغ را در نقشه طبقه بندی نهایی ادغام تصمیمات بهبود بخشد.

مراجع

1. Wang, J., Qin, Q., Gao, Z., Zhao, J., Ye, X. "A New Approach to Urban Road Extraction Using High-Resolution Aerial Image", ISPRS Int. J. Geo-Inf, 5, 114; doi:10.3390/ijgi5070114, **2016**.
2. Ameri, f., Valadanzoj M., J., Mokhtarzade, M., Mobaraki, A. "Extract different shapes paths from satellite images with different resolution." Iranian Remote Sensing & GIS, 3(4), **2012** (In Persian).
3. Shi, W., Miao, Z., Wang, Q., Zhang, H. "Spectral–Spatial Classification and Shape Features for Urban Road Centerline Extraction", IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS 11(4), **2014**.
4. Saba, F., Valadanzoj M.J., Mokhtarzade, M. "Optimization of multiresolution segmentation for object-oriented road detection from highresolution images, " Canadian Journal of Remote Sensing, DOI: 10.1080/07038992.2016.1160770.
5. Xinpeng, T., Shunlin, S., Yongzhao, Z."A Novel Road Extraction Algorithm for High Resolution Remote Sensing Images," Appl. Math. Inf. Sci. **8**(3), 1435-1443, **2014**.
6. Wang, W., Yang, N., Zhang, Y., Wang, F., Cao, T. Eklund, p. "A review of road extraction from remote sensing images," jou rnal of traffic and transportation engineering (e n g l i s h e d i t i o n) ; 3 (3) : 2 7 1 _282. **2016**.
7. Kahraman, I. Turan, M.K., Karas, I.K. "Road Detection from High Satellite Images Using Neural Networks," International Journal of Modeling and Optimization, 5(4), August **2015**.

- Optical and Radar Images,” Journal of the Indian Society of Remote Sensing , DOI: 10.1007/s12524-015-0480-2.2015.
19. Percianoa, T., Tupinb, F., Hirata Jr, R., Cesar Jr, R. “A Two-level Markov Random Field for Road Network Extraction and its Application with Optical, SAR and Multitemporal Data,” International Journal of Remote Sensing, DOI: 10.1080/01431161.2016.1201227,2016.
 20. Lisini, G., Gamba, P., Dell’Acqua, F., Holecz, F. “ First results on road network extraction and fusion on optical and SAR Images using a multi-scale adaptive approach,” Taylor & Francis, 2(4), 363–375,2011.
 21. Khesali, E., Valadanzoj, M.,J. Dehghani, M. Mokhtarzade, M. “Comparison of road extraction in urban areas from high resolution TerraSAR-X and IKONOS images using texture Features in neural network Algorithms,” Iranian Remote Sensing & GIS, 5(4), 2014. (In Persian).
 22. Attar zade, R., Amini, j. “SVM Classifier Optimization using Genetic Algorithm for Classification of Polarimetric Synthetic Aperture Radar Imagery”, Journal of Geomatics Science and Technology, 5(1), 2015. (In Persian).

