

استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی‌گرا مطالعه موردی: شهر زنجان

بهروز خداپنده لو^۲

علی مرادی^۴

صیاد اصغری سراسکانرود^۱

احمد ناصری^۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۵/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۲/۰۸

چکیده

این پژوهش با هدف استخراج نقشه کاربری اراضی شهری، با استفاده از مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی‌گرا می‌باشد. در این راستا الگوریتم‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی، حداقل فاصله از میانگین، سطوح موازی و فاصله مایلانوی مورد استفاده قرار گرفتند. در ادامه به مقایسه روش‌های مذکور با طبقه‌بندی شی‌گرا جهت تهیه نقشه کاربری اراضی شهر زنجان با استفاده از تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر پرداخته شد. به منظور انجام پردازش تصویر مورد استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI 5.3، SNAP، eCognition استفاده شد. برای مقایسه عملی نتایج، در هر دو روش از داده‌های آموزشی یکسان برای طبقه‌بندی استفاده گردید؛ سپس مهم‌ترین روش‌های ارزیابی صحت شامل دقت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی استخراج شد. نتایج بدست آمده، نشان می‌دهد که از بین روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه مورد استفاده در این مطالعه، روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال و روش حداقل فاصله تا میانگین با ضریب کاپای به ترتیب ۰/۹۵ درصد و ۰/۸۵ درصد از دقت قابل قبولی برخوردار هستند. همچنین مقایسه نتایج حاصل از طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی‌گرا نشان داد که روش شی‌گرا با اعمال پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی و توسعه قوانین جهت اطلاع طبقه‌بندی اولیه شی‌گرا با ضریب کاپای ۰/۹۵ درصد از نظر دقت در استخراج نقشه کاربری اراضی از روش‌های پیکسل پایه از اولویت برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، حداکثر احتمال، شی‌گرا، پارامترهای طبقه‌بندی، شهر زنجان.

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول) s.asghari@uma.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران khodabandehlou.rsgis@gmail.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران naseriahmad65@yahoo.com

۴- مربی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران moradi 61376@gmail.com

۱- مقدمه

از روش‌های جدیدی است که جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی استفاده می‌شود (Jensen, 2005: 526). یکی از مزایای این روش «یک در مقابل یک» است. روش طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین روشی است که پس از تعیین مقادیر میانگین طیفی در هر باند، با مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های تعلیمی هر طبقه را به خود اختصاص داده، فاصله هر پیکسل طبقه‌بندی نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه شده و سپس پیکسل مورد نظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله با میانگین را دارد. روش طبقه‌بندی سطوح موازی یکی از روش‌های رایج طبقه‌بندی تصاویر است. در این روش بر اساس نمونه‌های تعلیمی تعریف شده برای طبقه‌بندی در هر کلاس حداکثر و حداقل ارزش پیکسل تعیین می‌شود و بر این اساس طبقه‌بندی تصاویر انجام می‌پذیرد. مهم‌ترین دلیل عدم استفاده زیاد از این روش، عدم طبقه‌بندی بعضی از پیکسل‌های تصویر می‌باشد. روش طبقه‌بندی فاصله مالهالانویی (Mahalanobis Distance) از دیگر روش‌های طبقه‌بندی تصاویر می‌باشد. این روش بسیار شبیه به روش حداقل فاصله از میانگین می‌باشد با این تفاوت که در این روش از ماتریس کواریانس نیز استفاده می‌شود و در این روش فرض می‌شود که هیستوگرام باندها به صورت نرمال می‌باشد (Richards and Jia, 1999: 240). همچنین روش‌های شی‌گرا به جهت بهره‌مندی از الگوریتم‌های دانش‌پایه توانسته است بر ضعف روش پیکسل پایه در استفاده نکردن از اطلاعات هندسی و بافتی اجسام غلبه کند (Blaschke, 2010; Dragut and Eisank, 2012: 23). در حال حاضر داده‌های سنجنش از دور بهترین وسیله برای مطالعات کاربری اراضی بوده و اکثر محققان برای استخراج انواع نقشه‌های کاربری اراضی از آن استفاده می‌کنند. بر این اساس، در تحقیق حاضر برای دستیابی به دقت بالای طبقه‌بندی به مقایسه دو روش طبقه‌بندی پیکسل‌پایه و شی‌گرا پرداخته شده است. برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه مناطق شهری از یک سو و کسب اطلاعات مطمئن از نسبت

در حال حاضر طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای به دو روش کلی پردازش پیکسل‌پایه و شی‌گرا انجام می‌شود. روش پیکسل‌پایه که مبتنی بر طبقه‌بندی ارزش‌های عددی تصاویر است، و روش جدید شی‌گرا که علاوه بر ارزش‌های عددی تصاویر مربوط به محتوا، بافت و زمینه را نیز در فرایند طبقه‌بندی تصاویر به کار می‌گیرد (اکبری و دیگران، ۱۳۹۰). تکنیک‌های شی‌گرا برخلاف روش‌های پیکسل‌پایه انواع الگوریتم‌های هندسی، شکلی، طیفی و مکانی را به کار می‌گیرند و انتخاب مؤثرترین الگوریتم‌ها در این فرآیند به تجربه زیادی در پردازش تصاویر نیاز دارد. علاوه بر آن، در بسیاری از موارد الگوریتم‌های متعدد نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهند و این موضوع در بسیاری از موارد انتخاب الگوریتم‌های کارآمد را با مشکل مواجه می‌کند. بنابراین، هر تحقیقی در زمینه به‌کارگیری و ارزیابی قابلیت الگوریتم‌های شی‌گرا می‌تواند نقشی مؤثر در بهبود نتایج مدل‌سازی‌های شی‌گرا داشته باشد (Goodinet et al, 2015: 4705). به طور کلی می‌توان روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌پایه را به دو روش نظارت شده و نظارت نشده تقسیم‌بندی نمود که می‌توان به روش حداکثر احتمال، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine) اشاره نمود. روش حداکثر احتمال شباهت به یکی از کاراترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر دارد (Huang et al, 2002: 725). در اکثر تحقیقات و مطالعات این روش به عنوان دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است (Richards and Jia, 1999: 240). در این روش کاربر باید دقت کند که طبقه‌بندی از توزیع نرمال گوسی پیروی کند و این روش برای طبقه‌های چندطیفی مناسب‌تر است. شبکه عصبی یکی از روش‌های غیرپارامتری است که جهت طبقه‌بندی تصویر استفاده می‌شود (Luand weng, 2007: 823) و نیازی به فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها ندارد (Foody, 2004: 627). این روش می‌تواند توصیف دقیقی از پردازش داده‌های ورودی در خروجی ارائه دهد (Kavzoglu and Mather, 2003: 4907). ماشین بردار پشتیبان یکی

شیء گرا موفق شدند دقت طبقه‌بندی شیء گرا را به میزان ۵/۲ افزایش دهند. (راهداری و دیگران، ۱۳۸۱) در استان اصفهان به مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره IRS پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال با ضریب کاپا ۰/۹۰ دارای بیش‌ترین دقت می‌باشد. از دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به (فتاحی و دیگران، ۱۳۸۶: ۱۳۵-۱۲۹)، (سفینیان و دیگران، ۱۳۹۰: ۱) اشاره نمود. (نیاری و دیگران، ۱۳۸۹: ۱۳۲-۱۱۹) با استفاده از دو روش حداکثر احتمال و شبکه‌ی عصبی مصنوعی، نقشه‌ی کاربری ارضی حوضه سد ایلام را تهیه کرده‌اند و روش شبکه عصبی را نسبت به روش حداکثر احتمال، روش دقیق‌تری دانسته‌اند. (اسلمی و دیگران، ۱۳۹۴: ۱) در مطالعه‌ی از روش‌های طبقه‌بندی کننده‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین‌پرداز پشتیبان و شیء گرا جهت تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش اراضی در منطقه اردبیل، شهرستان‌های اردبیل، نمین و نیر مورد ارزیابی قرار دادند و در نهایت پس از بررسی صحت، صحت کلی برای نقشه حاصل از شبکه عصبی مصنوعی، ماشین‌پرداز پشتیبان و شیء گرا به ترتیب برابر با ۸۹/۹۱، ۸۵/۶۸ و ۹۴/۳۷ و مقدار کاپای آنها را به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۸۲ و ۰/۹۳ برآورد کردند که نشان دهنده برتری روش شیء گرا در مقایسه با دو روش دیگر است. (یوسفی و دیگران، ۱۳۹۳: ۷۶-۶۷) در مطالعه‌ی مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با هدف تعیین بهترین روش طبقه‌بندی جهت تهیه نقشه کاربری اراضی شهرستان نور پرداختند، نتایج نشان داد که روش طبقه‌بندی ماشین‌پرداز پشتیبان با میانگین ضرایب کلی و کاپا به ترتیب ۹۰/۹۴ و نسبت به روش‌های دیگر دارای دقت بالاتری است. (فیضی‌زاده و دیگران، ۱۳۹۴: ۱۱۷-۱۰۷) در راستای تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین با از تصاویر سنجنده AVNIR2 ماهواره‌ای ALOS به مقایسه روش‌های شیء‌گرای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بدون استفاده از الگوریتم فازی و روش‌های شیء‌گرا براساس الگوریتم فازی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که، روش‌های شیء‌گرا

کاربری‌های اراضی شهری از سوی دیگر انجام این‌گونه مطالعه را ضروری می‌سازد. از جمله تحقیقات انجام شده روش‌های طبقه‌بندی می‌توان به مطالعات ذیل اشاره داشت: (Wentz, et al, 2006: 320-346) در مطالعه‌ای در قسمتی از ایالت آریزونا در آمریکا به بررسی و مقایسه چند روش تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر TM پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت تهیه نقشه کاربری اراضی دارای دقت بسیار بالاتری می‌باشد. (Ahmadi and Hames, 2009: 167) در مطالعه‌ای در مناطق خشک عربستان سعودی به مقایسه چهار روش طبقه‌بندی نظارت نشده و نظارت شده (حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و فاصله ماحالانویسی) با استفاده از تصاویر سنجنده ETM پرداختند. نتایج نشان داد که روش حداکثر احتمال با ضریب کاپا ۰/۶۸ درصد دارای بیش‌ترین دقت می‌باشد. از دیگر مطالعات انجام شده می‌توان به، (Richards and Jia, 2010: 240) (Perumal and Bhaskaran, 2010: 124-129) اشاره نمود. (Chen, et al, 2009: 477) که با استفاده از تصاویر ماهواره Spot نسبت به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و شیء گرا در استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای اقدام نمودند و در پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای از مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) اطلاعات مکانی شامل بافت و شکل به‌عنوان عاملی به‌منظور افزایش دقت طبقه‌بندی شیء‌گرا استفاده کردند و پس از انجام طبقه‌بندی با دو روش پیکسل پایه و شیء‌گرا، نتیجه می‌گیرند که الگوریتم طبقه‌بندی فازی در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا با صحت کل ۹۶/۴۲ درصد در مقایسه با الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال در روش طبقه‌بندی پیکسل پایه با دقت کلی ۷۷/۷۹، در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، از دقت بالاتری برخوردار است. (221: Gao, et al, 2009)، شاخص‌های گیاهی را به‌عنوان عاملی به‌منظور افزایش صحت روش طبقه‌بندی شیء‌گرا مورد مطالعه قرار دادند. این محققین از تصاویر ماهواره MODIS استفاده نموده و با استخراج شاخص‌های گیاهی از این تصاویر و استفاده از آنها به‌عنوان یک لایه در طبقه‌بندی

جدول ۱: مشخصات داده‌های مورد استفاده

نوع ماهواره	تاریخ تصویربرداری	مشخصات فریم تصویر	قدرت تفکیک مکانی	توان تفکیک رادیومتریکی	باندهای مورد استفاده
Sentinel-2	۱۳۹۷/۳/۲۰	L1C_ T39STA_ A015490	۱۰ متر	۱۲ بیتی	۲ (باند آبی) ۳ (باند سبز) ۴ (باند قرمز) ۸ (باند مادون قرمز نزدیک)

مأخذ: WWW.Earthexplorer.usgs.gov

اتمسفری یکی از مهم‌ترین موارد در مرحله پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای است که در مواردی که به مقادیر انرژی ساطع شده از اشیاء نیاز است یا هنگامی که شدت سیگنال ارسالی از طرف اشیاء از اثرات اتمسفری کمتر باشد، ضروری است (علوی‌پناه، ۱۳۹۲: ۱۳۴).

فرآیند تصحیح اتمسفری در نرم‌افزار SNAP توسط افزونه SEN2COR بر روی تصویر منطقه مورد مطالعه اعمال گردید.

یکی از روش‌های طبقه‌بندی، روش پیکسل پایه بوده که در این روش، بر اساس ارزش عددی هر یک از پیکسل‌ها، طبقه‌بندی انجام می‌شود. الگوریتم‌های رایج در طبقه‌بندی نظارت شده شامل: طبقه‌بندی کننده‌های سطوح موازی (Parallelepiped)، حداقل فاصله (Richards and Jia, 1999: 240).

حداکثر احتمال (Maximum Likelihood) (آرنی و ادیپ‌نژاد، ۱۳۹۰: ۴۲۰)، شبکه عصبی، ماهالانوی و ماشین بردار پشتیبان می‌باشند (Mountrakis and Ogole, 2011: 249). در مقاله حاضر برای طبقه‌بندی پیکسل پایه، نمونه‌های برداشت شده از تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 برای هر یک از کلاس‌ها (جدول ۲) بر سطح تصویر پیاده شد. سپس با بررسی تفکیک‌پذیری کلاس‌ها و کسب اطمینان از تفکیک‌پذیری مناسب نمونه‌ها برای هر کلاس در فضای n بُعدی (در این جا ۴ بُعد به تعداد باندهای مورد استفاده) از طریق تابع n-D Visualizer در نرم‌افزار ENVI بررسی و اعمال گردید. سپس الگوریتم‌های

بر اساس الگوریتم فازی با دقت کلی ۹۸/۲۸ در مقایسه با روش شیء‌گرا بدون استفاده از الگوریتم فازی با دقت ۸۸/۰۶ از اعتبار بیش‌تری برخوردار است.

۲- مواد و روش‌ها

با توجه به هدف تحقیق که استخراج نقشه کاربری اراضی شهری است، از داده‌های ماهواره‌ای Sentinel-2 استفاده گردید (جدول ۱). همچنین جهت پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز نرم‌افزارهای SNAP، ENVI 5.3، eCognition 9 و ArcGIS 10.3، داده‌های گوگل ارث و داده‌های برداشت زمینی مورد استفاده قرار گرفت.

راه‌حل‌های مختلفی جهت تصحیحات هندسی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 وجود دارد. در این پژوهش به منظور زمین‌مرجع کردن داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده از ساختار شیپ فایل‌های UTM شبکه‌بندی شده با ابعاد ۱۰۰ کیلومتر مربعی برای سراسر جهان استفاده شد، لازم به ذکر است که این شیپ فایل از سایت USGS قابل دانلود می‌باشد. یک فریم کامل تصویر منطبق بر شیپ فایل ۱۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد، بدین منظور با استفاده از مختصات ۴ گوشه شیپ فایل اقدام به تصحیح هندسی تصویر ماهواره‌ای از طریق روش تصویر به نقشه (Image to Map Registration) در داخل نرم‌افزار ENVI گردید. تصحیح

جدول ۲: نمونه‌های تعلیمی جهت طبقه‌بندی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی

کاربری اراضی	تعداد نمونه جهت طبقه‌بندی (پیکسل)	تعداد نمونه جهت ارزیابی طبقه‌بندی (نقطه)
اراضی ساخته شده	۴۰۰	۵۷
باغات و فضای سبز	۱۲۰	۴۳
زمین‌های بایر و خالی	۲۶۰	۳۶
معابر	۱۵۰	۵۰
مجموع	۹۳۰	۱۸۶

مهم‌ترین روش‌های ارزیابی صحت شامل دقت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی استخراج شد.

۲-۱- محدوده و قلمرو پژوهش

شهر زنجان در موقعیت ریاضی ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و در فاصله ۳۳۰ کیلومتری شهر تهران قرار گرفته است. این شهر در مرکز استان و شهرستان زنجان است و از سطح دریا ۱۶۶۳ متر ارتفاع دارد (ریبئی‌فر و دیگران، ۱۳۹۲: ۱۳۰-۱۰۵). مساحت این شهر ۶۶۳۳٫۹ هکتار می‌باشد که جمعیتی بالغ بر ۳۸۸۷۹۶ نفر را در خود جای داده است (شهرداری زنجان، ۱۳۹۲). این شهر همچنین با میانگین درجه حرارت ۱۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۲۹۸ میلی‌متر اقلیمی فراخشک و سرد دارد (جوری و دیگران، ۱۳۹۴: ۱۷۶-۱۵۵). در مجموع می‌توان گفت بافت و سیمای شهر زنجان در طول رشد خود تحت تاثیر ویژگی‌های توپوگرافیک به‌ویژه ارتفاعات شمال و جنوب شهر همچنین مکان‌گزینی شهر در کنار رودخانه زنجان رود بوده است. نگاره ۱ موقعیت شهر زنجان را در ایران و استان زنجان نشان می‌دهد.

۲-۲- ارزیابی دقت طبقه‌بندی

دقت کاربر: از تقسیم تعداد اشیاء صحیح طبقه‌بندی شده در هر رده بر کل تعداد اشیائی که در آن رده طبقه‌بندی شده‌اند

طبقه‌بندی پیکسل پایه ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی، حداقل فاصله از میانگین، سطوح موازی و فاصله ماهالانوی مورد استفاده قرار گرفتند. و نهایتاً نقشه‌های کلاس‌های ارضی ساخته شده (مسکونی)، باغات و فضای سبز، زمین‌های بایر و خالی و شبکه معاير از الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی برای منطقه مطالعاتی تهیه گردید.

در کنار طبقه‌بندی پیکسل پایه، طبقه‌بندی شیء‌گرا فرآیندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری (Objects images) ارتباط می‌دهد: (Blaschke, 2010:11; Wentz, et al, 2006: 321; Yan, 2003: 10) در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و پیکسل‌ها براساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، قطعه‌بندی (Segmentation) شده و طبقه‌بندی تصویر براساس این قطعه‌ها انجام می‌شود. جهت طبقه‌بندی شیء‌گرا با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه ابتدا تصویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار eCognition با استفاده از الگوریتم Multiresolution Segmentation قطعه‌بندی گردید. قطعه‌بندی تصویر با پارامترهایی نظیر مقیاس، شکل و فشردگی مورد بررسی قرار گرفت.

پس از آزمون و خطا مقادیر مناسب پارامترها برای قطعه‌بندی انتخاب گردید. برای مقایسه عملی نتایج، در هر دو روش طبقه‌بندی شیء‌گرا و پیکسل پایه از داده‌های آموزشی یکسان برای طبقه‌بندی استفاده گردید؛ سپس

که از نظر آماری برای مشخص کردن اختلاف اساسی ماتریس خطا در ارزیابی صحت به کار گرفته می شود. نشان می دهد اختلاف معنادار ماتریس ابهام با نناجیح طبقه بندی، تصادفی است. مقدار ضریب کاپا بین صفر تا یک است.

اگر مقدار K برابر با یک باشد، به معنای طبقه بندی کاملاً صحیح است؛ اگر مقدار آن صفر باشد، به معنای طبقه بندی کاملاً تصادفی است و اگر مقدار K منفی باشد، به معنای ضعف طبقه بندی است. شاخص کاپا به شرح رابطه ۳ محاسبه می شود.

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^k n_{i+i}}{N^2 \sum_{i=1}^k n_{i+i}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

r: تعداد ردیف ها در ماتریس، n_{ii}: تعداد مشاهدات در ردیف i و ستون i روی قطر اصلی، n_{i+}: کل مشاهدات ردیف i و ستون i و N: کل مشاهدات است.

(کل سطر) به دست می آید، که به شرح رابطه ۱ است.

$$i = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه ۱، i دقت کاربر به درصد، n_{ii} تعداد سگمنت هایی که به درستی در هر کلاس طبقه بندی شده است و n_{i+} تعداد کل سگمنت هایی که هم به درستی و هم به اشتباه در کلاس ها طبقه بندی شده اند؛ می باشند.

دقت کلی: دقت کلی یکی از ساده ترین پارامترهای دقت است که نیاز به عملیات پیچیده ای برای محاسبه ندارد، صحت کلی که میانگینی از صحت طبقه بندی است، نسبت اشیاء صحیح طبقه بندی شده به جمع کل اشیاء معلوم را نشان می دهد و به شرح رابطه ۲ محاسبه می شود.

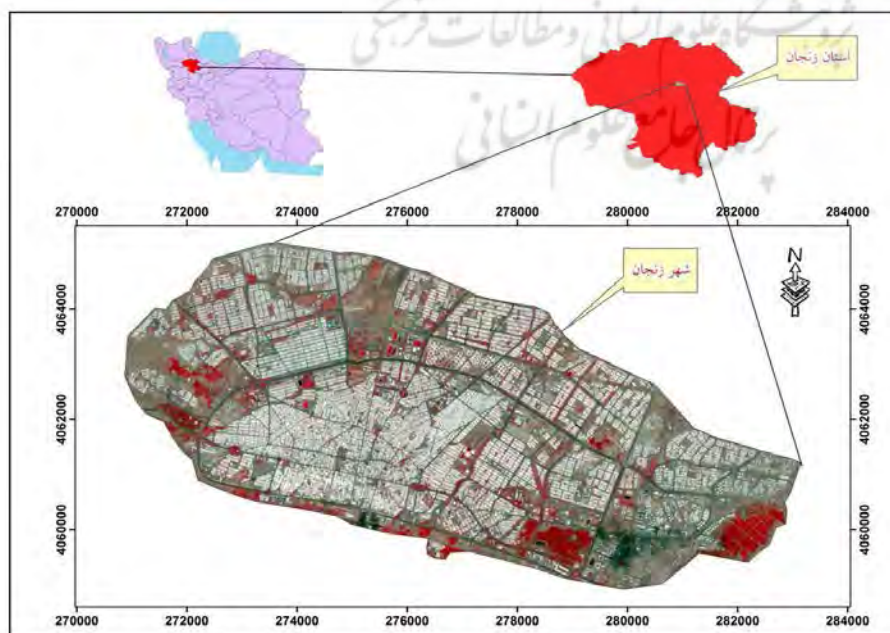
$$OA = \frac{\sum_{i=1}^c E_{ii}}{N} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه ۲، c: تعداد کلاس ها، N: تعداد کل اشیاء معلوم، اعضای قطری ماتریس خطا، و OA: دقت کل طبقه بندی را نشان می دهد (آرخی و ادیب نژاد، ۱۳۹۰).
ضریب کاپا: تحلیل کاپا یک تکنیک چندمتغیره گسسته است

۳- تحلیل یافته ها

۳-۱- تهیه نقشه های کاربری اراضی

یکی از مهم ترین روش های استخراج اطلاعات از تصاویر سنجش از دور، طبقه بندی است که به کاربران امکان



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ قابل مشاهده می‌باشد. هیچ طبقه‌بندی تا زمانی که صحت آن مورد ارزیابی قرار نگرفته است، قابل استناد نیست (علوی‌پناه، ۱۳۹۲: ۳۲۰). لذا برای اطمینان از صحت طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی صحت می‌شود. صحت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به نقشه‌ی استخراج شده بوده، در نقشه‌های کاربری اراضی به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای باید حداقل ۸۵ درصد باشد (رسولی، ۱۳۸۷). نتایج طبقه‌بندی از لحاظ آماری گویای این مدعاست که روش حداکثر احتمال و روش حداقل فاصله تا میانگین از بین روش‌های پیکسل‌پایه با دقت ۸۵ درصد و بالاتر در تفکیک کلاس‌ها را دارند (جدول ۳).

۳-۱-۲- طبقه‌بندی شیء‌گرا

اولین گام در طبقه‌بندی شیء‌گرا در eCognition، فرآیند قطعه‌بندی اشیاء تصویر است. الگوریتم قطعه‌بندی، تصویر را براساس ویژگی‌های طیفی و مکانی به اشیاء تصویر قطعه‌بندی می‌کند (Hoffmann et al, 2001: 18-23). طبقه‌بندی یا کلاس‌بندی قطعه‌های ایجاد شده پس از مرحله قطعه‌بندی، بر پایه ساختار سلسله‌مراتبی کدهای نوشته شده در نرم‌افزار eCognition و با تکنیک آنالیز شیء‌گرا، به منظور شناسایی و تفکیک کاربری اراضی انجام می‌شود. در واقع هدف از قطعه‌بندی، تقسیم یک تصویر به بخش‌های مختلفی است که به‌طور ایده‌آل مطابق با عوارض روی زمین است (Gorte, 1998). در تحقیق حاضر در قطعه‌بندی، از اطلاعات مربوط به ویژگی‌های هندسی کلاس‌های کاربری اراضی (شامل مقیاس، شکل و فشردگی) استفاده شده و این فرآیند با روش قطعه‌بندی چندمقیاسه (Multiresolution) انجام شد و برای این منظور با تجزیه و تحلیل نتایج قطعه‌بندی تصویر با پارامترهای مقیاس متفاوت، تفکیک مکانی تصویر و با توجه به منطقه مورد مطالعه که محیط شهری است با آزمون و خطا مقادیر مناسب جهت قطعه‌بندی تصویر موردنظر انتخاب شد (جدول ۳).

تولید انواع اطلاعات مختلف از قبیل نقشه‌های پوششی، نقشه‌های کاربری و نقشه تغییرات رامی دهد/حدادی و دیگران، (۱۳۸۸: ۵۰-۳۳).

طبقه‌بندی بر اساس استفاده از چند باند صورت می‌گیرد که در یک فضای چندطیفی قابل نمایش هستند. هر باند نمایانگر یک طیف است. فضای چندطیفی فضایی است که طبقه‌بندی‌های معمولی در آن به انجام محاسبات پرداخته و براساس آن فرموله می‌شوند. پیکسل‌ها در جریان طبقه‌بندی برچسب می‌گیرند و مقدار هر پیکسل به یک کلاس نسبت داده می‌شود (Richards 2013: 494).

در این پژوهش تهیه نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌پایه و شیء‌گرا مورد بررسی قرار گرفت:

۳-۱-۱- ۱- طبقه‌بندی پیکسل‌پایه

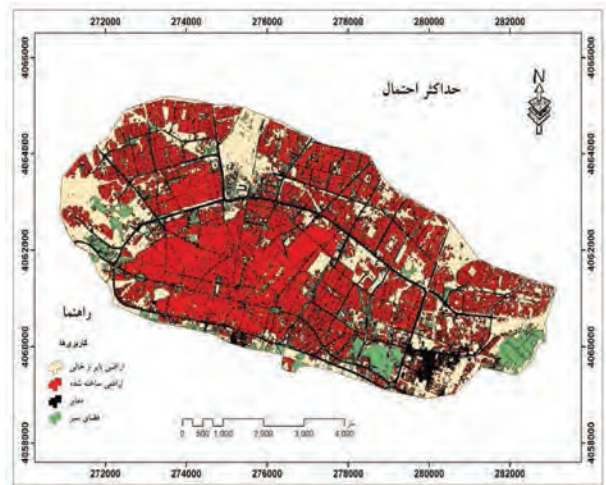
به جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی طبقاتی آنها که دارای رفتار طیفی یکسانی باشد، طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای گفته می‌شود. به‌عبارتی طبقه‌بندی پیکسل‌های تشکیل‌دهنده تصاویر، اختصاص دادن یا معرفی کردن هر یک از پیکسل‌ها به کلاس یا پدیده خاصی را، طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای می‌گویند (علوی‌پناه، ۱۳۹۲: ۲۹۱). در تحقیق حاضر برای طبقه‌بندی پیکسل‌پایه تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 ابتدا با توجه به قدرت تفکیک تصویر مورد استفاده (۱۰ متر) تنها ۴ کاربری (کلاس) از کاربری‌های موجود شهر قابلیت تفکیک‌پذیری داشتند.

این کلاس‌ها شامل اراضی ساخته شده (مسکونی)، اراضی بایر و خالی، فضای سبز شهری و شبکه معابر می‌باشند. در این راستا از الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی، حداقل فاصله از میانگین، سطوح موازی و فاصله ممالانوی جهت طبقه‌بندی استفاده گردید.

نتایج حاصل طبقه‌بندی این الگوریتم‌ها در نگاره‌های ۲



نگاره ۵: نقشه طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان



نگاره ۲: نقشه طبقه‌بندی حداکثر احتمال



نگاره ۶: نقشه طبقه‌بندی سطوح موازی



نگاره ۳: نقشه طبقه‌بندی حداقل فاصله



نگاره ۷: نقشه طبقه‌بندی فاصله ماهالانوی



نگاره ۴: نقشه طبقه‌بندی شبکه عصبی

نگاره ۸ تصویر بخشی از کاربری‌های شهر زنجان می‌باشد. نگاره ۹ قطعه‌بندی تصویر با مقیاس ۳۰ (ضریب شکل ۰/۱ و ضریب فشردگی ۰/۹) را نشان می‌دهد.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سمر)
 استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از مقایسه ... / ۲۰۳

جدول ۳: ضرایب صحت روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه

نوع کلاس	روش مبتنی بر طبقه‌بندی پیکسل پایه											
	شبکه عصبی		سطوح موازی		حداقل فاصله		ماهالانوی		حداکثر احتمال		ماشین بردار پشتیبان	
	کاربر	تولید کننده	کاربر	تولید کننده	کاربر	تولید کننده	کاربر	تولید کننده	کاربر	تولید کننده	کاربر	تولید کننده
مسکونی	۹۰/۹۱	۹۱/۶۷	۹۳/۳۵	۹۰/۱۱	۹۸/۱۱	۹۷/۰۶	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۱/۲۳	۹۱/۲۳
فضای سبز	۹۰/۰۰	۸۳/۸۳	۸۷/۷۷	۷۹/۰۶	۹۸/۶۹	۸۲/۹۲	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۸۸	۹۶/۹۷	۹۸/۹۱	۸۳/۸۳
بایر	۹۲/۵۸	۸۹/۱۹	۹۵/۵۹	۸۵/۳۷	۹۳/۰۲	۸۸/۷۸	۷۹/۲۳	۱۰۰	۹۲/۵۸	۸۹/۲۷	۸۹/۱۹	۹۱/۶۷
معاپر	۸۱/۸۳	۷۵/۹۳	۹۸/۷۵	۲۱/۰۱	۷۶/۶۱	۸۸/۸۳	۱۰۰	۱۰۰	۸۱/۷۳	۸۸/۰۳	۷۸/۸۵	۸۲/۰۰
صحت کلی	%۸۷/۰۲۱		%۷۱/۰۶		%۸۹/۳۵		%۸۶/۴۴۸		%۹۲/۹۳		%۸۷/۰۹	
ضریب کاپا	۰/۸۱۱		۰/۶۳۴		۰/۸۵		۰/۷۹۵		۰/۹۰		۰/۸۲۳	



نگاره ۸: تصویر بخشی از کاربری‌های شهر در ترکیب رنگی کاذب (۸۴۳)



نگاره ۹: قطعه‌بندی تصویر با مقیاس ۳۰ (ضریب شکل ۰,۱ و ضریب فشردگی ۰,۹)

و پراکندگی در اطراف میانگین، ارزش سلول‌های داخل GLCM را به کار می‌گیرد. نگاره ۱۰ نتیجه طبقه‌بندی اولیه شی‌گرایی تصویر منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه در محیط نرم‌افزار eCognition، را نشان می‌دهد. طبقه‌بندی شی‌گرایی چندین مرحله انجام می‌گیرد، در طبقه‌بندی اولیه فقط از داده‌های تعلیمی استفاده و تصویر طبقه‌بندی گردید (نگاره ۱۰). در مرحله بعدی، از ۲۰ پارامتر مؤثر شامل شاخص‌های آماری، میانگین باندها، شاخص NDVI، انحراف معیار باندها و شاخص هندسی جهت طبقه‌بندی کلاس‌ها استفاده گردید (جدول ۵).

جدول ۵: تعیین پارامترهای و مؤثر در طبقه‌بندی کلاس‌ها

شاخص کلی	پارامترهای مؤثر	نوع کلاس			
		فضای سبز	مسکونی	معاپر	بایر و خالی
میانگین	میانگین باند آبی		*		
	میانگین باند سبز	*			
	میانگین باند قرمز		*		
	میانگین باند مادون قرمز	*			
انحراف معیار	انحراف معیار باند آبی	*	*		
	انحراف معیار باند سبز	*			*
	انحراف معیار باند قرمز	*			*
	انحراف معیار باند مادون قرمز				*
هندسی	نسبت طول به عرض	*			
	شکل مناسب بیضوی	*			
	حداکثر اختلاف				*
	درجه روشنایی		*		
	شاخص مرز			*	
	گردشدگی				*
	ضخامت		*		*
	مساحت				*
	فشردگی	*			*
غلظت			*	*	
طول					
NDVI			*		

جدول ۴: پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی

روش طبقه‌بندی	مقیاس	ضریب شکل	ضریب فشردگی
Multiresolution	۳۰	۰/۱	۰/۹

با توجه به نگاره ۹، طبقه‌بندی مناسب تصویر با استفاده از پارامترهای مذکور انتخاب و برای مرحله طبقه‌بندی آماده گردید. در این تحقیق برای طبقه‌بندی تصویر و استخراج کاربری‌ها از پارامترهایی که در ادامه آمده استفاده گردید: شاخص NDVI، میانگین باندها و انحراف معیار باندها به‌عنوان مبنای تفکیک کلاس‌ها در نظر گرفته شده‌اند. شاخص گیاهی NDVI: این شاخص گیاهی از معروف‌ترین و ساده‌ترین شاخص‌های گیاهی مورد استفاده است و بر حسب دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک تعریف می‌شود. این شاخص دارای مقادیر نرمال در دامنه بین -۱ و +۱ است. مقادیر NDVI بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ برای مناطق گیاهی تنک، مقادیر بین ۰/۱ تا ۰/۵ برای مناطق گیاهی معمولی و از ۰/۵ به بالا برای مناطق گیاهی بسیار متراکم است. آب و برف و یخ دارای مقادیر NDVI منفی می‌باشند و دارای مقادیر کمتر از ۰/۰۵ و ابرها نیز معمولاً دارای مقادیر حول صفر هستند (رابطه ۴) (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱).

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

(رابطه ۴)

انحراف معیار باندها: انحراف معیار یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد به‌طور میانگین، داده‌ها چه مقدار از مقدار متوسط فاصله دارند. به‌منظور محاسبه انحراف معیار بر پایه GLCM ابتدا مقدار واریانس GLCM محاسبه می‌شود (رابطه ۵).

رابطه (۵)

$$\sigma_i^2 = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (i - \mu_i)^2 \sigma_i^2 = (i - \mu_i)^2$$

انحراف استاندارد پس از محاسبه واریانس با رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_j^2} \quad \sigma_i = \sqrt{\sigma_i^2}$$

رابطه (۶)

واریانس GLCM برای محاسبه بافت بر پایه میانگین

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۰۵)
 استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از مقایسه ... / ۲۰۵

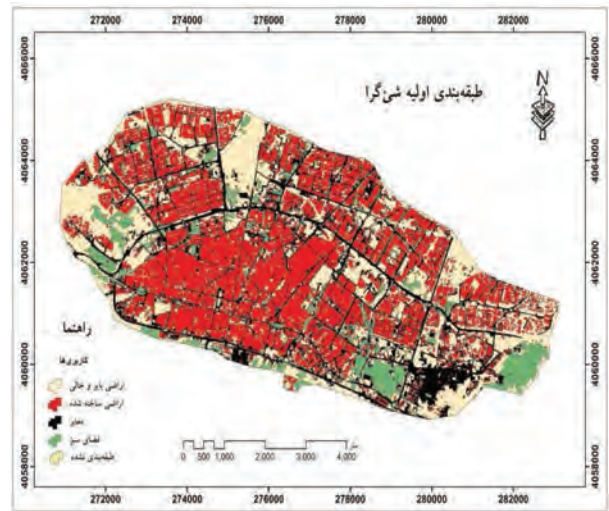
جدول ۶: ضرایب صحت روش طبقه‌بندی شیء‌گرا

نوع کلاس	روش مبتنی بر طبقه‌بندی شیء‌گرا			ضریب کاپا
	کاربر	تولید کننده	صحت کلی	
مسکونی	۱۰۰	۹۹/۳۴	۹۷/۰۹٪	۰/۹۵
فضای سبز	۹۱/۵۲	۱۰۰		
بایر	۹۴/۱۰	۱۰۰		
معاپر	۱۰۰	۹۸/۳۶		

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر شش روش پیکسل‌پایه حداکثر احتمال، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی، حداقل فاصله از میانگین، سطوح موازی، فاصله ماهالانوی به همراه روش طبقه‌بندی شیء‌گرا جهت تهیه نقشه کاربری اراضی شهر زنجان به کار گرفته شد؛ و از نظر صحت طبقه‌بندی با استفاده از ضرایب صحت کلی، کاپا، صحت کاربر، صحت تولید کننده مورد مقایسه و آنالیز آماری قرار گرفتند. نتایج حاصل از آنالیز آماری ضرایب صحت نشان داد که روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌پایه حداکثر احتمال و روش حداقل فاصله تا میانگین به ترتیب با ضرایب کاپای ۹۰ درصد و ۸۵ درصد از نتایج قابل قبولی جهت تهیه نقشه کاربری اراضی برخوردار هستند. هم‌چنین با توجه به این که هدف این مطالعه مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌پایه و شیء‌گرا بود، از مقایسه روش طبقه‌بندی شیء‌گرا و روش‌های پیکسل‌پایه می‌توان به قابلیت بالای روش شیء‌گرا نسبت به روش‌های پیکسل‌پایه از نظر دقت طبقه‌بندی با ضریب کاپای ۰/۹۵ درصد و ضریب صحت کلی ۹۷/۰۹ درصد دست یافت (جدول ۳ و ۶).

یکی از مهم‌ترین دلایل دستیابی به دقت بالا در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه این است که در این روش علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات مربوط به بافت، شکل، موقعیت و محتوا نیز در فرایند طبقه‌بندی استفاده می‌شود. مقایسه نتایج حاصل از



نگاره ۱۰: طبقه‌بندی اولیه با روش شیء‌گرا

با اعمال پارامترهای جدول ۵ خطاهای پیش آمده در طبقه‌بندی اولیه با توسعه قوانین طبقه‌بندی اصلاح گردید (نگاره ۱۱).



نگاره ۱۱: نتیجه طبقه‌بندی با توسعه قوانین

در ادامه ارزیابی صحت طبقه‌بندی مورد بررسی قرار گرفت، جدول ۶ نتایج حاصل از ضرایب صحت روش طبقه‌بندی شیء‌گرا را نشان می‌دهد.

و پوشش اراضی از تصاویر لندست، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، دوره ۶، شماره ۳، صفحات ۱-۱۴.

۳. اکبری، سلیمانی، حبیب‌نژاد، رئیسی؛ مسلم، کریم، محمود، محسن؛ ۱۳۹۰، کاربرد سنجش از دور و GIS در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نورآباد لرستان)، همایش ژئوماتیک ۱۳۸۸، سازمان نقشه‌برداری کشور.

۴. جوری، سرور، منیری؛ آمنه، رحیم، جاوید؛ ۱۳۹۴، بررسی امکان ایجاد پیاده راه‌های گردشگری در مراکز شهری مورد شناسی مرکز شهر زنجان، جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، سال ۵، شماره ۱۵، صفحات ۱۵۵-۱۷۶.

۵. حدادی، صاحبی، مختارزاده، فتاحی؛ عطاءالله، محمدرضا، مهدی، هیرش؛ ۱۳۸۸، ارائه روشی ترکیبی از شبکه‌های عصبی نظارت‌شده و نظارت نشده در طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور، سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۱، شماره ۳، صفحات ۳۳-۵۰.

۶. راهداری، ملکی‌نجف آبادی، راهنما؛ وحید، سعیده، محمد؛ ۱۳۸۸، مقایسه روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره (نظارت شده و نظارت نشده) در تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش اراضی مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: پناهگاه حیات وحش موته)، همایش ملی ژئوماتیک ۱۳۸۸، تهران.

۷. ربیعی‌فر، زیاری، حقیقت‌نایینی؛ ولی‌اله، کرامت‌اله، غلامرضا؛ ۱۳۹۲، ارزیابی توسعه پایدار شهر زنجان از دیدگاه زیست محیطی بر پایه تکنیک SWOT، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، دوره ۴، شماره ۱۶، صفحات ۱۰۵-۱۳۰.

۸. رسولی، علی‌اکبر، ۱۳۸۷، مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول، تبریز، صفحات ۷۰۳.

۹. سفیانیان، محمدی توفیق، خداکرمی، امیری؛ علیرضا، الهه، لقمان، فاضل؛ ۱۳۹۰، تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کبودرآهنگ، رزن و خونجین-تلخاب در استان

این تحقیق با یافته‌های محققانی از جمله؛ Al-Ahmadi and Hames, 2009, Chen, et al, 2009، راهداری و دیگران، ۱۳۸۸؛ نیاری و دیگران، ۱۳۸۹ و اسلمی و دیگران، ۱۳۹۴ که در اکثر این مطالعات نتایج حاصل از طبقه‌بندی شیء‌گرا و روش حداکثر احتمال را به عنوان دقیق‌ترین روش جهت تهیه نقشه کاربری اراضی معرفی کرده‌اند مطابقت دارد.

نتایج نشانگر این واقعیت است که روش‌های اعمال شده این مطالعه، دقیق بودن تکنیک شیء‌گرا با بکارگیری پارامترهای تأثیرگذار و توسعه قوانین جهت اصلاح طبقه‌بندی اولیه شیء‌گرا را به اثبات می‌رساند.

علاوه بر این مزیت استفاده از روش‌های شیء‌گرا نسبت به روش‌های پیکسل پایه، آن است که، در این روش علاوه بر اطلاعات طیفی و داده‌های آماری، می‌توان از شاخص‌های متعدد دیگری از جمله شکل، بافت، رنگ، ابعاد و ارتفاع پدیده‌ها در تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده نمود. همچنین باید اشاره کرد که روش طبقه‌بندی شیء‌گرا برای داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بالا توسعه پیدا کرده است.

در پایان بر اساس نتایج تحقیق حاضر، جهت تهیه نقشه‌های کاربری اراضی شهری استفاده از تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بالا و روش طبقه‌بندی شیء‌گرا که علاوه بر فاکتور طیفی، فاکتور مکانی را در فرآیند طبقه‌بندی اضافه کرده است پیشنهاد می‌گردد.

منابع و مآخذ

۱. آرخی، ادیب‌نژاد؛ صالح، مصطفی؛ ۱۳۹۰، ارزیابی کارایی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM لندست (مطالعه موردی: حوضه سد ایلام)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۸، شماره ۳، صفحات ۴۲۰-۴۴۰.

۲. اسلمی، قربانی، سبحانی، پناهنده؛ فرنوش، اردوان، بهروز، محسن؛ ۱۳۹۴، مقایسه روش‌های شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان و شیء‌گرا در استخراج کاربری اراضی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از مقایسه ... / ۲۰۷

remote sensing, 65(1), 2-16.

19. Chen, M., Su, W., Li, L., Zhang, C., Yue, A., & Li, H. (2009). Comparison of pixel-based and object-oriented knowledge-based classification methods using SPOT5 imagery. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 3(6), 477-489.

20. Dixon, B., & Candade, N. (2008). Multispectral landuse classification using neural networks and support vector machines: one or the other, or both?. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 1185-1206.

21. Draguț, L., c Eisank,. (2012). Automated objectbased classification of topography from SRTM data, *Geomorphology* 141(20): 21-33.

22. Foody, G. M. (2004). Thematic map comparison. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(5), 627-633.

23. Gao, Y., Mas, J. F., & Navarrete, A. (2009). The improvement of an object-oriented classification using multi-temporal MODIS EVI satellite data. *International Journal of Digital Earth*, 2(3), 219-236.

24. Goodin, D. G., Anibas, K. L., & Bezymennyi, M. (2015). Mapping land cover and land use from object-based classification: an example from a complex agricultural landscape. *International Journal of Remote Sensing*, 36(18), 4702-4723.

25. Gorte, B. (1998). Probabilistic segmentation of remotely sensed images. *ITC*.

26. Hoffmann, A., & Van der Vegt, J. W. (2001). New sensor systems and new classification methods: laserand digital camera-data meet object-oriented strategies. *GeoBIT/GIS*, 6, 18-23.

27. Huang, C., Davis, L. S., & Townshend, J. R. G. (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of remote sensing*, 23(4), 725-749.

28. Jensen, J. (2005). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 526.

29. Kavzoglu, T., & Mather, P. M. (2003). The use of backpropagating artificial neural networks in land cover classification. *International journal of remote sensing*, 24(23), 4907-4938.

همدان)، مجله کاربردسنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، دوره ۲، شماره ۱، صفحات ۱-۱۱.

۱۰. شهرداری زنجان، ۱۳۹۲، آمارنامه شهر زنجان، فصل اول، سرزمین و آب و هوا.

۱۱. علوی پناه، سید کاظم، ۱۳۹۲، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، تهران، صفحات ۴۷۸.

۱۲. فاطمی، رضایی؛ سید باقر، یوسف، ۱۳۹۱، مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، چاپ سوم، تهران، صفحات ۲۹۶.

۱۳. فتاحی، نوروزی، آبکار، خلخالی؛ محمد مهدی، علی اکبر، علی اکبر، سیدعلی؛ ۱۳۸۶، مقایسه روش های طبقه بندی و تهیه نقشه استفاده از اراضی مناطق خشک با استفاده از تصاویر ماهواره ای، پژوهش سازندگی در منابع طبیعی، دوره ۲۰، شماره ۳، صفحات ۱۲۹-۱۳۵.

۱۴. فیضی زاده، پیرنظر، زندکریمی، عابدی قشلاقی؛ بخیار، مجتبی، آرش، حسن؛ ۱۳۹۴، ارزیابی استفاده از الگوریتم های فازی در افزایش دقت نقشه های کاربری اراضی استخراج شده با روش های پردازش شیء گرا، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۴، شماره ۹۴، صفحات ۱۰۷-۱۱۷.

۱۵. نیاری، اختصاصی، ملکی نژاد، حسینی، مرشدی؛ یعقوب، محمدرضا، حسین، سید زین الدین، جعفر؛ ۱۳۸۹، مقایسه دو روش طبقه بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوضه سد ایلام)، جغرافیا و توسعه، دوره ۸، شماره ۲۰، صفحات ۱۱۹-۱۳۲.

۱۶. یوسفی، تازه، میزایی، مرادی، توانگر؛ صالح، مهدی، سمیه، حمیدرضا، شهلا؛ ۱۳۹۳، مقایسه الگوریتم های مختلف طبقه بندی تصاویر ماهواره ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان نور)، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، دوره ۵، شماره ۳، صفحات ۶۷-۷۶.

17. Al-Ahmadi, F. S., A. S. Hames. (2009). Comparison of four classification methods to extract land use and land cover from raw satellite images for some remote arid areas, Kingdom of Saudi Arabia. *JKAU, Earth Science*, 20 (1): 167- 191.

18. Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS journal of photogrammetry and*

30. Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International journal of Remote sensing*, 28(5), 823-870.
31. Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3), 247-259.
32. Perumal, K., & Bhaskaran, R. (2010). Supervised classification performance of multispectral images. arXiv preprint arXiv:1002.4046.
33. Richards, J. A. (2013). Supervised classification techniques. In *Remote Sensing Digital Image Analysis* (pp. 247-318). Springer, Berlin, Heidelberg.
34. Richards, J. A., & Jia, X. (1999). *Remote sensing digital image analysis: An introduction* Springer-Verlag, Berlin, Germany, 240.
35. Wentz, E. A., Stefanov, W. L., Gries, C., & Hope, D. (2006). Land use and land cover mapping from diverse data sources for an arid urban environments. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(3), 320-346.
36. WWW.Earthexplorer.usgs.gov
37. Yan, G. (2003). Pixel based and object oriented image analysis for coal fire research. ITC..