



مقایسه کارآیی توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان پیکسل پایه و عملگرهای فازی شی‌گرا در پایش تغییرات رشد و گسترش شهری تبریز

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

موسی پور، مصطفی*

کفاش چرندابی، ندا

خرمی، هابیل

دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تبریز

عضو هیات علمی گروه نقشه برداری دانشکده فنی دانشگاه تبریز

دانشجوی دکتری، پژوهشگر جهاد دانشگاهی، پژوهشکده توسعه و برنامه ریزی، مرکز GIS & RS، تبریز

چکیده

رشد شهری به عنوان یک عامل تعیین کننده رفاه اجتماعی و پایداری محیطی، بسیار حیاتی به شمار می‌آید. در سال‌های اخیر داده‌های سنجش از دور به دلیل داشتن پوشش فضایی مناسب برای مناطق شهری، به عنوان ابزاری منحصر به فرد برای تعیین اندازه گسترش شهری و نظارت بر رشد شهری مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از پژوهش حاضر، مقایسه کارآیی توابع کرنل ماشین‌بردار پشتیبان پیکسل پایه و عملگرهای فازی شی‌گرا در پایش تغییرات رشد شهری تبریز با استفاده از تصاویر سری زمانی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۴۰۳ ماهواره سنتینل ۲ می‌باشد. در این راستا، جهت طبقه‌بندی هر تصویر بر اساس توابع کرنل ماشین‌بردار پشتیبان پیکسل پایه، در نرم‌افزار ENVI با استفاده از کرنل‌های خطی، چندجمله‌ای، پایه شعاعی و سیگموئید، فرایند طبقه‌بندی تصاویر انجام شد و نقشه رشد شهری هر کدام از توابع برای سال‌های مورد مطالعه تولید شد. از نرم‌افزار ایکاگنیشن جهت قطع‌بندی و طبقه‌بندی مبتنی بر عملگرهای فازی شی‌گرا استفاده گردید. در این مرحله اقدام به قطع‌بندی بر اساس مقیاس‌ها، ضریب شکل‌ها و ضریب فشردگی‌های مختلف جهت رسیدن به حالت قطع‌بندی بهینه گردید. سپس، نقاط تعلیماتی مشخص گردیدند و با استفاده از عملگرهای فازی AND، OR، MGE، MAR، MGWE و ALP طبقه‌بندی انجام گردید. با استفاده از نقاط نمونه واقعیت زمینی، ارزیابی دقت برای کلیه نقشه‌های تولیدی انجام شد. بر اساس نتایج این پژوهش، عملگر فازی AND با دقت کلی ۹۶/۴۹ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۶۸۸ برای تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۳۹۴ و دقت کلی ۹۷/۳۱ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۷۲۵ برای تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۴۰۳، مقدار دقت بیشتری را ارائه نمودند. لذا با توجه به دقت بیشتر عملگرهای فازی شی‌گرا در این پژوهش، می‌توان ابراز نمود که الگوریتم‌های پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای در مقایسه با الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان، دستیابی به دقت بالاتر را در استخراج محدوده شهری کلانشهر تبریز امکان‌پذیر می‌سازد.

کلمات کلیدی: ماشین بردار پشتیبان، پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای، فازی، سنتینل ۲، تبریز

۱- مقدمه

شهرنشینی فرآیندی جهانی است و در کشورهای در حال توسعه با سرعت بسیار زیاد در حال رشد و گسترش می‌باشد و به طور مداوم الگوهای کاربری زمین را تغییر می‌دهد (گوپتا و همکاران؛^۱ ۲۰۲۳). ماهیت پویای مناطق شهری در همه کشورها نشان‌دهنده این موضوع است که آینده سیاره زمین یک آینده شهری است. مناطق شهری در سراسر جهان بویژه در کشورهای کمتر توسعه‌یافته در وضعیت پایداری قرار ندارند و در آنها گرایش بسیار زیادی به سمت رشد و گسترش شهری مشاهده می‌شود (شی‌هو و همکاران؛^۲ ۲۰۲۳). رشد شهری یک فرآیند فیزیکی و اجتماعی است که در نتیجه تمرکز جمعیت انسانی در مناطق شهری به وجود می‌آید. بنابراین، روند شهرنشینی و رشد شهری به عنوان یک عامل تعیین‌کننده رفاه اجتماعی و پایداری محیطی، بسیار حیاتی به شمار می‌آید. لذا اکوسیستم پیچیده شهری به ویژه مدیریت منابع شهر و رشد شهری باید مورد اهمیت بیشتری قرار گیرد (یاسین و همکاران؛^۳ ۲۰۲۲). هرچند اراضی شهری موجود در کره زمین در حدود ۳ درصد از سطح زمین را اشغال نموده‌اند اما ۶۰ تا ۸۰ درصد انرژی را مصرف می‌کنند و همچنین موجب ۷۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای شده‌اند. رشد سریع شهری می‌تواند باعث ایجاد پیامدهای نامطلوبی مانند جزیره حرارتی شهری، کاهش منابع و اثرات گلخانه‌ای بر محیط زیست و اکولوژی گردد. در نتیجه، کسب اطلاعات روزآمد در مورد اراضی شهری، یک عنصر کلیدی برای شهرنشینی پایدار از نظر زیست محیطی می‌باشد (لی و همکاران؛^۴ ۲۰۲۴). در سال‌های اخیر داده‌های سنجش از دور به دلیل داشتن پوشش فضایی مناسب برای مناطق بزرگ شهری، به عنوان ابزاری منحصر به فرد برای تعیین اندازه گسترش شهری و نظارت بر رشد شهری مورد استفاده قرار گرفته است. در این راستا، پردازش تصاویر ماهواره‌ای به عنوان ابزاری کارآمد برای تولید نقشه‌های توسعه شهری و آشکارسازی تغییرات رشد شهر در سری‌های زمانی متفاوت پیشنهاد شده است. پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند با استفاده از روش‌های مبتنی بر پیکسل^۵ یا مبتنی بر شی^۶ انجام شود. در پردازش مبتنی بر پیکسل تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات تک پیکسلی اساس و معیار پردازش می‌باشد. اما در پردازش مبتنی بر شی، مقادیر طیفی و مکانی و سایر اطلاعات موجود در مجموعه مشابهی از پیکسل‌ها به نام یک شی تصویری، اساس پردازش می‌باشد. لذا در فرایند پردازش مبتنی بر شی، علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات دیگری مانند بافت، شکل، اندازه و جهت نیز استفاده می‌شود (عربی‌علی‌آباد و همکاران؛^۷ ۲۰۲۲). یکی از بزرگترین مشکلات در حوزه سنجش از دور شهری، ناهمگون بودن محیط و بافت شهری می‌باشد. محیط شهری شامل سازه‌های ساخته شده، چندین نوع پوشش گیاهی مختلف، مناطق بایر و توده‌های آبی می‌باشد (هرولد و همکاران؛^۸ ۲۰۰۲). بنابراین در الگوریتم پیکسل‌پایه، وجود پیچیدگی در ساختار بیوفیزیکی شهر، باعث اختلاط طیفی در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌گردد به طوری که در مکانی که یک پیکسل نسبت به پیکسل‌های محیط اطراف خود متفاوت باشد نوفه فلفل نمکی^۹ به وجود می‌آید

- 1 - Gupta et al
- 2 - Shehu et al
- 3 - Yasin et al
- 4 - Li et al
- 5 - Pixel Based
- 6 - Object Based
- 7 - Arabi Aliabad et al
- 8 - Herold et al
- 9 - Salt and Pepper Noise

(هارتونی و همکاران؛ ۲۰۲۲). پایش تغییرات، یک موضوع تحقیقاتی بسیار مهم در فتوگرامتری و سنجش از دور می‌باشد که در علوم محیطی و پایش رشد شهری نقش بسیار مهمی داشته است (استیلا و شو؛ ۲۰۲۳). پایش تغییرات، یک تکنیک کاربردی در سنجش از دور است که به عنوان فناوری شناسایی تغییرات پدیده‌ها در یک منطقه جغرافیایی از طریق پردازش داده‌های سنجش از دور در سری‌های زمانی مختلف شناخته شده است. در دهه‌های اخیر، پایش تغییرات به طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف از جمله مدیریت منابع طبیعی به کار گرفته شده است (ژو و همکاران؛ ۲۰۲۲). در سطح جهان مطالعات زیادی در خصوص پایش تغییرات رشد شهری با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود. چتین^۴ (۲۰۰۹)، با استفاده از داده‌های سری زمانی ماهواره‌های کرونا^۵ سال ۱۹۶۳، لندست ۲ سنجنده MSS سال ۱۹۷۵، لندست ۵ سنجنده TM سال ۱۹۸۷، اسپات سال ۱۹۹۳، IRS سال ۲۰۰۰ و لندست ۵ سنجنده TM سال ۲۰۰۵، با اعمال طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال^۶ و روش مقایسه پس از طبقه‌بندی، اقدام به پایش تغییرات مساحت کاربری شهری در ناحیه کوچک‌چکمجه^۷ واقع در بخش غربی استان استانبول کشور ترکیه نمود. بر اساس نتایج این تحقیق، مساحت کاربری شهری از ۳۷۵ هکتار در سال ۱۹۶۳ که معادل ۲ درصد مساحت کل ناحیه بوده است به ۷۶۴۰ هکتار در سال ۲۰۰۵ افزایش پیدا کرده است که معادل ۴۶ درصد مساحت کل ناحیه می‌باشد (چتین؛ ۲۰۰۹). حجازی و کالوپ (۲۰۱۵) رشد شهری را در شهر المنصوره مصر با استفاده از داده‌های ماهواره لندست و طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که وسعت محدوده شهری این شهر در سال ۱۹۸۵ برابر با ۲۸ کیلومتر مربع، در سال ۲۰۰۰ برابر با ۴۷ کیلومتر مربع و در سال ۲۰۱۰ برابر با ۲۴۳ کیلومتر مربع بوده است (حجازی و کالوپ؛ ۲۰۱۵). داناراج و آنگادی (۲۰۲۲)، با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ و با اعمال الگوریتم حداکثر احتمال، اقدام به پایش رشد شهر مانگالور^۸ هندوستان نمودند و به این نتیجه رسیدند که در طی سال‌های مورد مطالعه، افزایش رشد شهری وجود داشته است به طوری که وسعت شهر مانگالور در سال ۱۹۷۲ برابر با ۲۱۰۰ هکتار، در سال ۱۹۹۰ برابر با ۲۵۲۵ هکتار، در سال ۲۰۰۰ برابر با ۴۲۸۸ هکتار و در سال ۲۰۱۸ برابر با ۱۰۶۱۶ هکتار بوده است (داناراج و آنگادی؛ ۲۰۲۲). صراف و همکاران (۲۰۲۲)، از توابع هسته^۹ طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM)^{۱۰} شامل توابع خطی^{۱۱}، چندجمله‌ای^{۱۲}، پایه شعاعی^{۱۳} و سیگموئید^{۱۴} با هدف ارزیابی مقایسه‌ای پایش

1 - Hartoni et al

2 - Stilla & Xu

3 - Zhu et al

4 - Cetin

5 - CORONA

6 - Maximum Likelihood

7 - Kucukcekmece

8 - Cetin

9 - Hegazy & Kaloop

10 - Mangaluru

11 - Dhanaraj & Angadi

12 - Kernel

13 - Support Vector Machine

14 - Linear

1

2

3

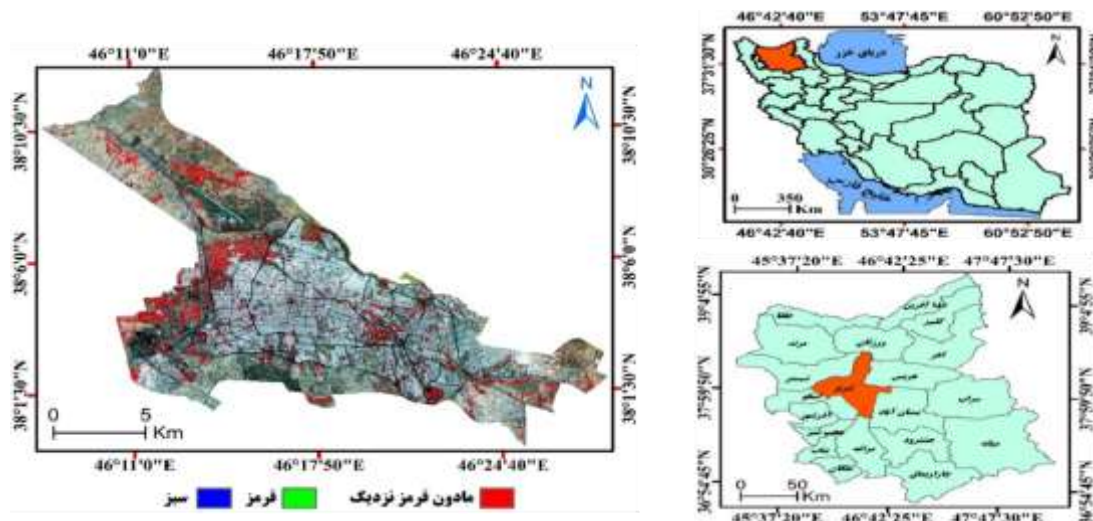
4

رشد شهری در شهر کلانگ مالزی استفاده نمودند. این محققین در تحقیق خود از تصاویر سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ ماهواره سنتینل ۲ استفاده نمودند. نتیجه تحقیق این محققین بیانگر دقت بالاتر تابع پایه شعاعی در پایش رشد شهری بود (صراف و همکاران؛ ۲۰۲۲). با توجه به مشکلات موجود در الگوریتم پیکسل‌پایه، هدف از این پژوهش، مقایسه کارایی توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان پیکسل‌پایه و عملگرهای فازی شی‌گرا در پایش تغییرات رشد شهری کلانشهر تبریز می‌باشد. نوآوری این تحقیق، امکان‌سنجی دستیابی به دقت بیشتر در تولید نقشه رشد و گسترش شهری کلانشهر تبریز با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کلانشهر تبریز بزرگترین متروپل شمال غربی ایران می‌باشد که در مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و ۳۸ درجه و ۰۵ دقیقه شمالی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این شهر در قسمت شمال شرقی دریاچه ارومیه و در ۱۵۰ کیلومتری جنوب جلفا واقع در مرز ایران و جمهوری آذربایجان قرار گرفته است. کلانشهر تبریز از سمت جنوب به رشته کوه منفرد و همیشه پر از برف سه‌هند و از شمال شرقی به کوه عینالی محدود می‌شود. رودخانه آجی‌چای (تلخه‌رود) از قسمت شمال و شمال شرقی تبریز می‌گذرد و بعد از طی مسافتی قابل توجه در دشت تبریز به دریاچه ارومیه می‌ریزد. کلانشهر تبریز در جلگه وسیع و در بستر ملایم مهران‌رود و دره آجی‌چای قرار گرفته است که این جلگه حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد (بهره‌ور و همکاران، ۱۴۰۱). شکل شماره ۱ نشان‌دهنده موقعیت کلانشهر تبریز در ایران و استان آذربایجان شرقی می‌باشد.



شکل شماره ۱: موقعیت کلانشهر تبریز در ایران و استان آذربایجان شرقی (نویسندگان).

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

- 1 - Polynomial
- 2 - Radial Basis Function
- 3 - Sigmoid
- 4 - Saraf et al

در این پژوهش از تصاویر چندطیفی^۱ دارای قدرت تفکیک مکانی^۲ ۱۰ متری ماهواره سنتینل-۲ شامل باندهای ۲ (آبی)، ۳ (سبز)، ۴ (قرمز) و ۸ (مادون قرمز نزدیک)^۳ مربوط به کلانشهر تبریز به صورت سری زمانی، شامل تصاویر مربوط به روزهای ۱۶ نوامبر سال ۲۰۱۵ برابر با ۲۵ آبان ماه سال ۱۳۹۴ با شناسه S2A_MSIL2A_20151116T074152_N0204_R092_T38SPH_20151116T074901.SAFE و ۱۶ ژوئیه ۲۰۲۴ برابر با ۲۶ تیر ماه سال ۱۴۰۳ با شناسه S2B_MSIL2A_20240716T073619_N0510_R092_T38SPH_20240716T092347.SAFE استفاده گردید. تصاویر مورد استفاده، مربوط به سطح ۲ پردازشی سازمان فضایی اروپا (ESA)^۴ می‌باشند که از سایت اینترنتی <https://browser.dataspace.copernicus.eu> بارگیری^۵ شدند. ماهواره سنتینل-۲ مربوط به پروژه فضایی موسوم به کوپرنیک اروپا می‌باشد که امکان مشاهده پدیده‌های زمینی را به صورت چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی متوسط، فراهم نموده است. سنتینل-۲ شامل دو ماهواره سنتینل 2A و 2B می‌باشد. این دو ماهواره امکان اخذ تصویر از مشاهدات زمینی با قدرت تفکیک زمانی ۵ روزه، بین عرض‌های جغرافیایی ۵۶ درجه جنوبی تا ۸۴ درجه شمالی را فراهم نموده‌اند. ماهواره سنتینل-۲ دارای ۱۳ باند طیفی می‌باشد که ۴ باند آن دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، ۶ باند آن دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر و ۳ باند آن دارای قدرت تفکیک مکانی ۶۰ متر می‌باشد. جدول ۱ مشخصات باندهای ماهواره سنتینل-۲ را نشان می‌دهد (وو و همکاران، ۲۰۲۳).

جدول ۱. مشخصات باندهای ماهواره سنتینل ۲

شماره باند	نام باند	طول موج (نانومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
باند ۱	آب و سول ساحلی	۴۴۳	۶۰
باند ۲	آبی	۴۹۰	۱۰
باند ۳	سبز	۵۶۰	۱۰
باند ۴	قرمز	۶۶۵	۱۰
باند ۵	لبه قرمز ۱	۷۰۵	۲۰
باند ۶	لبه قرمز ۲	۷۴۰	۲۰
باند ۷	لبه قرمز ۳	۷۸۳	۲۰
باند ۸	مادون قرمز نزدیک	۸۴۲	۱۰
باند ۸a	مادون قرمز نزدیک - باریک	۸۶۵	۲۰
باند ۹	بخار آب	۹۴۰	۶۰
باند ۱۰	سایروس	۱۳۷۵	۶۰
باند ۱۱	مادون قرمز طول موج کوتاه ۱	۱۶۱۰	۲۰
باند ۱۲	مادون قرمز طول موج کوتاه ۲	۲۱۹۰	۲۰

۲-۳- روش اجرای پژوهش

پس از بارگیری تصاویر از آرشیو سازمان فضایی اروپا، در محیط نرم‌افزار SNAP^۶ که مخصوص پردازش تصاویر ماهواره سنتینل می‌باشد با استفاده از فایل MTD_MSIL2A.xml موجود در پوشه تصویر مربوطه، تصویر مورد نظر فراخوانی و باندهای چند طیفی دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری تصویر، شامل باندهای ۲، ۳،

1 - Multi Spectral

2 - Resolution

3 Near Infrared

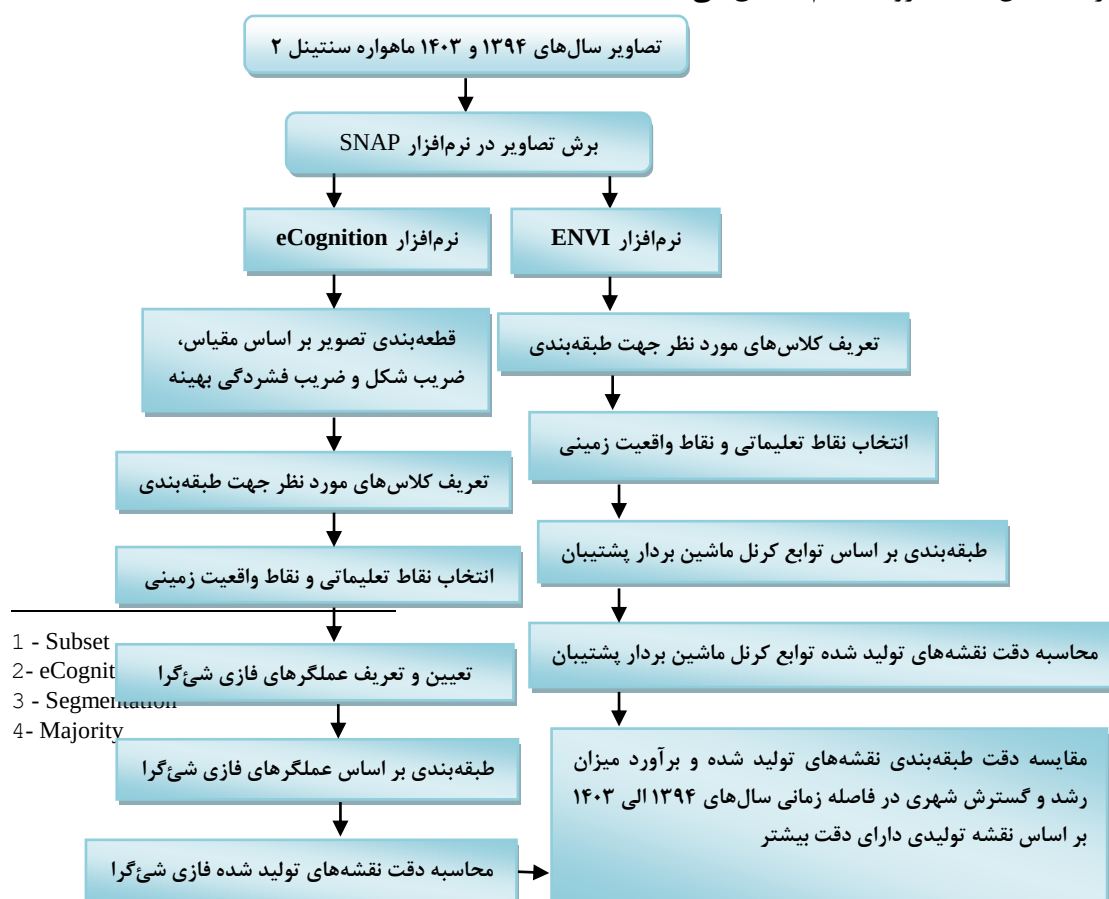
4 European Space Agency

5 - Download

6 - Wu et al

7 Sentinel Application Platform

۴ و ۸ انتخاب و با استفاده از شیپ فایل محدوده مورد مطالعه، برش^۱ زده شد و تصویر خروجی با فرمت TIFF ذخیره گردید. با توجه به اینکه تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده مربوط به داده‌های پردازشی سطح ۲ ماهواره سنتینل-۲ می‌باشند، نیاز به انجام عملیات پیش‌پردازش وجود نداشت. زیرا این داده‌ها به صورت تصحیح شده در اختیار کاربران قرار می‌گیرند. در محیط نرم‌افزار ENVI جهت طبقه‌بندی هر تصویر سری زمانی ماهواره‌ای، بر اساس توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان پیکسل پایه، ابتدا با استفاده از تفسیر بصری تصویر، نمونه‌های تعلیماتی (جهت فرایند یادگیری) و نمونه‌های واقعیت زمینی (جهت ارزیابی دقت طبقه بندی) برای کلاس‌های اراضی شهری، پوشش گیاهی و اراضی بایر انتخاب شدند و سپس به صورت جداگانه با استفاده از توابع کرنل پیکسل پایه الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، شامل کرنل‌های خطی، چندجمله‌ای، پایه شعاعی و سیگموئید، فرایند طبقه‌بندی تصویر انجام شد و نقشه رشد شهری هر کدام از توابع کرنل مورد نظر برای سال‌های مورد مطالعه تولید شد. از نرم‌افزار ایکاگنیشن^۲ جهت قطعه‌بندی^۳ و طبقه‌بندی مبتنی بر عملکردهای فازی شی‌گرا استفاده گردید. در این مرحله اقدام به قطعه‌بندی بر اساس مقیاس‌ها، ضریب شکل‌ها و ضریب فشردگی‌های مختلف جهت رسیدن به مقیاس، ضریب شکل و ضریب فشردگی بهینه گردید. پس از رسیدن به حالت قطعه‌بندی بهینه، نقاط تعلیماتی مشخص گردیدند و با استفاده از عملگرهای فازی، شامل AND، OR، MGE، MAR، MGWE و ALP فرایند طبقه‌بندی انجام شد. سپس با استفاده از نقاط نمونه واقعیت زمینی، ارزیابی دقت برای کلیه نقشه‌های تولیدی انجام شد. در مرحله پس‌پردازش، با استفاده از فیلتر اکثریت^۴ با ابعاد ۳ در ۳ پیکسل، پیکسل‌های منفرد که باعث نویز در فرایند طبقه‌بندی شده بودند حذف گردید. در ادامه مرحله پس‌پردازش، نقشه‌های تولیدی حاصل از مرحله پردازش که حاصل طبقه‌بندی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و مدل شی‌گرا بودند از حالت رستری به حالت برداری تبدیل شدند و با استفاده از نرم‌افزار Arc Map عملیات کارتوگرافیکی جهت بدست آوردن نقشه‌های نهایی انجام شد. در نهایت بر اساس نقشه تولیدی دارای بالاترین مقدار دقت جهت پایش رشد و گسترش شهری استفاده گردید. شکل شماره ۲ نشان دهنده روند انجام تحقیق می‌باشد.



۳ - مبانی نظری تحقیق

۳-۱ - ماشین بردار پشتیبان پیکسل پایه

تصویر ماهواره‌ای حاصل از فناوری دورسنجی، شامل ستون‌ها و ردیف‌هایی به نام پیکسل می‌باشد. در واقع، کوچک‌ترین واحد تشکیل دهنده تصویر ماهواره‌ای پیکسل می‌باشد. پیکسل، حاوی میزان بازتاب طیفی اندازه‌گیری شده توسط سنجنده می‌باشد. نحوه پردازش تصاویر ماهواره‌ای عاملی اساسی و مهم در روند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. به طور کلی بر اساس نحوه پردازش، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به دو رویکرد پردازشی پیکسل پایه و شی‌پایه تقسیم نمود (اوچا آویجی و همکاران؛ ۲۰۱۱). رویکرد پردازشی پیکسل پایه بر تک پیکسل‌ها متمرکز می‌شود و اطلاعاتی از قبیل رابطه فضایی، بافت، اندازه اشیاء و شکل موجود در پیکسل‌های مجاور هر پیکسل را که می‌توان از آنها برای افزایش دقت طبقه‌بندی استفاده کرد را در نظر نمی‌گیرد. به همین دلیل طبقه‌بندی حاصل از رویکرد پردازشی پیکسل پایه می‌تواند منجر به نوفه فلفل نمکی گردد (علی و همکاران؛ ۲۰۲۳). الگوریتم ماشین بردار پشتیبان یکی از رویکردهای پیکسل پایه می‌باشد که برای داده‌های خطی و غیرخطی و بر اساس روش‌های غیر احتمالاتی، جهت پردازش و طبقه‌بندی داده‌ها به کار می‌رود. این الگوریتم، مبتنی بر یادگیری با استفاده از نمونه‌های آموزشی می‌باشد (بهنیا و همکاران؛ ۲۰۲۰). این روش، یک الگوریتم یادگیری پیشرفته نظارت شده است که اولین بار توسط واپنیک^۴ و کورتس^۵ در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد شد. این الگوریتم برای طبقه‌بندی و تحلیل رگرسیون استفاده می‌شود. ماشین بردار پشتیبان یک ابزار قدرتمند برای طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور است. هدف این الگوریتم، طراحی بهترین ابرصفحه^۶ جداکننده‌ای است که فاصله بین کلاس‌های مختلف را به حداکثر می‌رساند (سوبیراج و همکاران؛ ۲۰۲۳). این ابرصفحه ایده‌آل که به عنوان مرز تصمیم نیز شناخته می‌شود از فاصله بین نزدیک‌ترین نمونه‌ها (بردارهای پشتیبان) تا صفحه استفاده می‌کند و کلاس‌ها را به طور منظم تقسیم می‌کند. این الگوریتم، نمونه‌های آموزشی واقع در حاشیه توزیع کلاس‌ها را اولویت‌بندی می‌کند و بقیه نمونه‌های آموزشی را کنار می‌گذارد. یکی از مزایای این الگوریتم این است که می‌تواند به دقت بالایی حتی با مجموعه داده‌های آموزشی بسیار کوچک دست یابد که به کاهش هزینه کلی جمع‌آوری داده‌های آموزشی کمک می‌کند. این روش طبقه‌بندی بر این فرض استوار است که فقط نمونه‌های آموزشی واقع در مرز کلاس‌ها برای ایجاد تمایز دقیق ضروری هستند (طارق و همکاران؛ ۲۰۲۳). در پردازش پیکسل پایه تصاویر ماهواره‌ای، هدف روش ماشین بردار پشتیبان، اختصاص هر یک از پیکسل‌های مربوط به تصویر ماهواره‌ای به یک کلاس خاص با استفاده از یک

1 - Uca Avcı et al

2 - Ali et al

3 - Behnia et al

4 Vapnik

5 Cortes

6 Hyper Plane

7 - Sobieraj et al

8 - Tariq et al

ابرفصله جداکننده ایده‌آل می‌باشد به طوری که اختلاف هر یک از کلاس‌های مختلف در حداکثر حالت ممکن قرار داشته باشد. پیکسل‌های موجود بر روی مرز کلاس‌های مختلف، بردار پشتیبان نام دارند (جواندل و همکاران، ۱۳۹۶). در الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان، با توجه به تعریف نحوه قرارگیری ابرفصله جداکننده، توابع هسته خطی، چندجمله‌ای، پایه شعاعی و سیگموئید تشکیل می‌شود. در این الگوریتم برای تعریف نحوه قرارگیری ابر فصله جداکننده از هسته‌هایی به شرح جدول ۲ استفاده می‌شود.

جدول ۲. انواع هسته‌های مورد استفاده در الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

تابع	هسته
$K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$	خطی
$K(x_i, x_j) = (g x_i^T x_j + r)^d, g > 0$	چند جمله‌ای
$K(x_i, x_j) = \exp(-g \ x_i - x_j\ ^2), g > 0$	پایه شعاعی
$K(x_i, x_j) = \tanh(g x_i^T x_j + r)$	سیگموئید

x_i, x_j مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی، g (گاما) یک پارامتر تعریف شده توسط کاربر به عنوان عرض هسته، d درجه چندجمله‌ای، r اریب یا تمایل و T ماتریس واحد است. در هسته‌های چندجمله‌ای، شعاعی و سیگموئید از پارامتری به عنوان پارامتر جریمه برای بهبود خطای طبقه‌بندی استفاده می‌شود که افزایش آن تا حدی باعث کم شدن خطای طبقه‌بندی می‌شود. همچنین در کرنل چندجمله‌ای و سیگموئید از یک مقدار به عنوان آستانه تحریک استفاده می‌شود (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

۳-۲ - پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای (OBIA)

در سال‌های اخیر، قدرت تفکیک مکانی داده‌های سنجش از دور دستخوش پیشرفت قابل توجهی شده است. از آنجا که داده‌های دارای وضوح فضایی بالا حاوی مقادیر بیشتری از اطلاعات هستند لذا نیاز به الگوریتم‌های پیشرفته‌تری جهت استخراج و پردازش اطلاعات به وجود آمده است. بنابراین برای بهره‌مندی کامل از اطلاعات موجود در داده‌های دارای وضوح فضایی بالا، محققان رویکرد مبتنی بر پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای را به عنوان پارادایم جدید در زمینه داده‌های مکانی توسعه داده‌اند. در مقایسه با تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر پیکسل سنتی، پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای از ویژگی‌های غنی‌تری استفاده می‌کند، تفسیرپذیری نتایج استخراج اطلاعات را بهبود می‌بخشد و ادغام اطلاعات بین پردازش تصویر سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی را تسهیل می‌کند (یه و همکاران، ۲۰۲۳). پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای یک روش پردازش تصویر هوشمند و خودکار است که به طور قابل توجهی با روش‌های طبقه‌بندی سنتی متفاوت می‌باشد. در این روش به جای پیکسل‌های منفرد، تصویر ماهواره‌ای به تکه‌های تصویری به نام اشیاء تصویری قطعه‌بندی می‌شود (فو و همکاران، ۲۰۲۳). در فرایند قطعه‌بندی، پیکسل‌های همگنی که دارای ویژگی‌های طیفی، شکل، بافت، رابطه فضایی، اندازه و سایر ویژگی‌های مشترک می‌باشند به صورت اشیاء تصویری در یک قطعه قرار می‌گیرند. قطعه‌بندی تصویر، یک مرحله مهم و اساسی در فرایند پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد که شامل تبدیل یک تصویر به اشیاء همگن با توجه به ویژگی‌های طیفی و شکلی در مقیاس‌های متفاوت می‌باشد. مقیاس قطعه‌بندی مهم‌ترین پارامتر برای کنترل فرایند قطعه‌بندی است.

1- Bias

2 Object Based Images Analysis

3 - Ye et al

4 - Fu et al

زمانی که مقیاس قطعه‌بندی بسیار کوچک باشد ممکن است قطعه‌بندی کمی رخ دهد و در نتیجه بار محاسباتی افزایش یابد و به طور بالقوه بر کیفیت ویژگی‌هایی که برای هر شی استخراج می‌شوند مانند ویژگی‌های بافتی، تأثیر منفی می‌گذارد. برعکس، یک مقیاس قطعه‌بندی بیش از حد بزرگ ممکن است منجر به قطعه‌بندی بیش از حد شود که می‌تواند باعث عدم ثبات پیکسل‌ها در اشیاء منفرد شود (یانگ و همکاران؛ ۲۰۲۳).

۳-۳ طبقه‌بندی فازی شی‌گرا

در علم ریاضیات به صورت کلی دو منطق دودویی و فازی به صورت متمایز از همدیگر وجود دارند. منطق دودویی یک منطق دو مقداری است که فقط یکی از مقادیر صفر یا یک را برای هر عضو مجموعه در نظر می‌گیرد در حالی که منطق فازی یک منطق چند مقداری است که مقادیر واقع در محدوده صفر تا یک را برای هر عضو در نظر می‌گیرد. در روش پردازش فازی شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای، ویژگی‌های هر شیء تصویری را می‌توان با یک فضای ویژگی فازی تعیین کرد و با یک تابع عضویت توصیف کرد (نجفی و همکاران؛ ۲۰۱۹). استفاده از منطق فازی در طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور به دلیل قابلیت‌های ویژه آنها به طور قابل ملاحظه‌ای در حال گسترش هستند. این روش‌ها برای نمایش پوشش‌های مخلوط کاربرد زیادی دارند. روش‌های طبقه‌بندی فازی از جمله روش‌هایی هستند که قادرند نتایجی ارائه دهند که با واقعیت زمینی تطابق بهتری دارند. در این روش‌ها مقادیر مختلفی به عنوان درجه عضویت هر کلاس بر اساس پوشش‌های مختلف موجود در محدوده آن‌ها محاسبه می‌شود. تلفیق روش‌های شی‌گرا و فازی، طبقه‌بندی هر یک از قطعه‌های تصویری را با یک درجه عضویت مشخص فراهم می‌سازد. در این فرایند، قطعه‌های تصویری با درجه عضویت متفاوت در بیش از یک کلاس طبقه‌بندی می‌شود و بر اساس درجه عضویت نسبت به هر کلاس، طبقه‌بندی آن قطعه تصویری صورت می‌گیرد که باعث افزایش دقت نهایی طبقه‌بندی می‌شود. در طبقه‌بندی شی‌گرا، با تعیین ویژگی‌های مربوط به اطلاعات طیفی و ویژگی‌های هندسی کلاس‌ها در طی فرایند پردازش تصویر، می‌توان از عملگرهای منطق فازی استفاده نموده و شرایط مناسب برای طبقه‌بندی را تعریف نمود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). رویکرد طبقه‌بندی فازی شی‌گرا، اطلاعات نامشخص، مبهم و ناقص در فضای ورودی را بر اساس برخی از مجموعه قوانین تفسیر می‌کند. این رویکرد، یک مجموعه فازی را توسط یک درجه عضویت تعریف می‌کند و ویژگی‌های هر شیء را بر اساس نسبت فازی مشخص می‌کند. در فازی شی‌گرا، هر کلاس حداقل با یک تابع عضویت توصیف می‌شود که این تابع، درجه عضویت را برای هر شیء تعریف می‌کند. مقادیر درجه عضویت در محدوده صفر (بدون عضویت) تا یک (عضویت کامل) قرار دارد (کاظمی قراجه و همکاران؛ ۲۰۲۲). جدول ۳ عملگرهای فازی شی‌گرا را نشان می‌دهد.

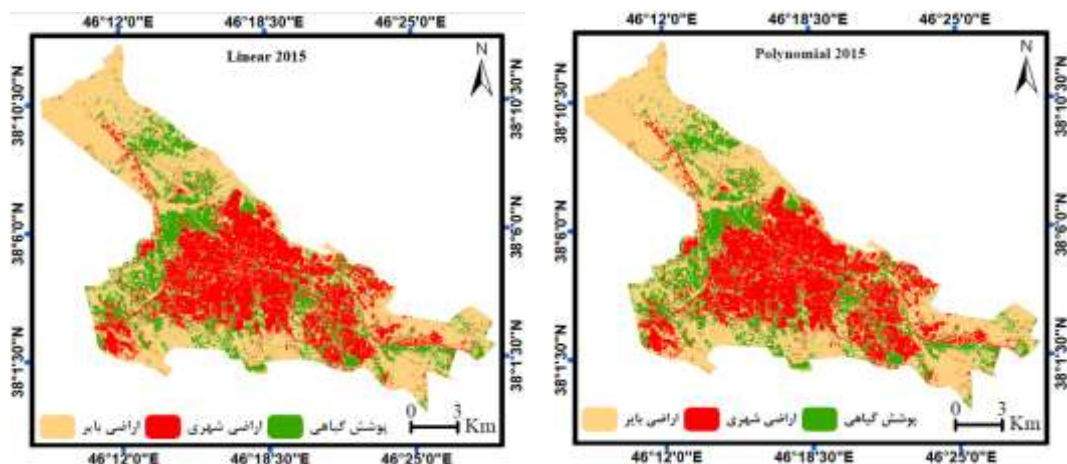
جدول ۳. عملگرهای فازی شی‌گرا (فیضی‌زاده و همکاران؛ ۲۰۱۷).

- | | |
|---|------------------------|
| 1 | - Yang et al |
| 2 | - Najafi et al |
| 3 | - Kazemi Garajeh et al |
| 4 | - Feizizadeh et al |

عملکرد	علامت اختصاری	عملگر
بیانگر اشتراک منطقی و شامل کمترین مقدار ارزش بازگشتی از ارزش‌های فازی	AND	And (min)
بیانگر اجتماع منطقی و شامل بیشترین مقدار ارزش بازگشتی از ارزش‌های فازی	OR	Or (max)
بیانگر میانگین حسابی ارزش‌های فازی	MAR	Mean (arithmetic)
بیانگر میانگین هندسی ارزش‌های فازی	MGE	Mean (geometric)
بیانگر میانگین هندسی وزن دار ارزش‌های فازی	MGWE	Mean (geom. weighted)
بیانگر اشتراک منطقی و حاصلضرب ارزش‌های فازی	ALP	And (*)

۴- نتایج و بحث

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سری زمانی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۴۰۳ ماهواره سنتینل-۲، در محیط نرم‌افزار SNAP که مختص پردازش داده‌های ماهواره سنتینل می‌باشد، محدوده مورد مطالعه بر اساس لایه وکتوری برش زده شد و با فرمت TIFF ذخیره و در محیط نرم‌افزار ENVI فراخوانی گردید. سپس جهت طبقه‌بندی تصاویر بر اساس توابع کرنل پیکسل‌پایه الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان شامل توابع کرنل خطی، چندجمله‌ای، پایه شعاعی و سیگموئید، سه کلاس اراضی شهری، اراضی بایر و پوشش گیاهی تعریف شدند و تعداد ۱۲۸ نقطه به عنوان نقاط تعلیماتی جهت تصویر سال ۱۳۹۴ و تعداد ۱۱۶ نقطه به عنوان نقاط تعلیماتی جهت تصویر سال ۱۴۰۳ و تعداد ۹۲ نقطه به عنوان نقاط واقعیت زمینی جهت ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصویر سال ۱۳۹۴ و تعداد ۸۸ نقطه به عنوان نقاط واقعیت زمینی جهت ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصویر سال ۱۴۰۳ برای کلاس‌های ساخته شده انتخاب گردیدند. پس از تعیین نقاط تعلیماتی و نقاط واقعیت زمینی، اقدام به طبقه‌بندی هر تصویر بر اساس توابع کرنل پیکسل‌پایه الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان گردید. شکل‌های ۳ الی ۶ نشان‌دهنده نقشه‌های تولید شده بر اساس توابع کرنل ماشین‌بردار پشتیبان مربوط به سال ۱۳۹۴ می‌باشند.



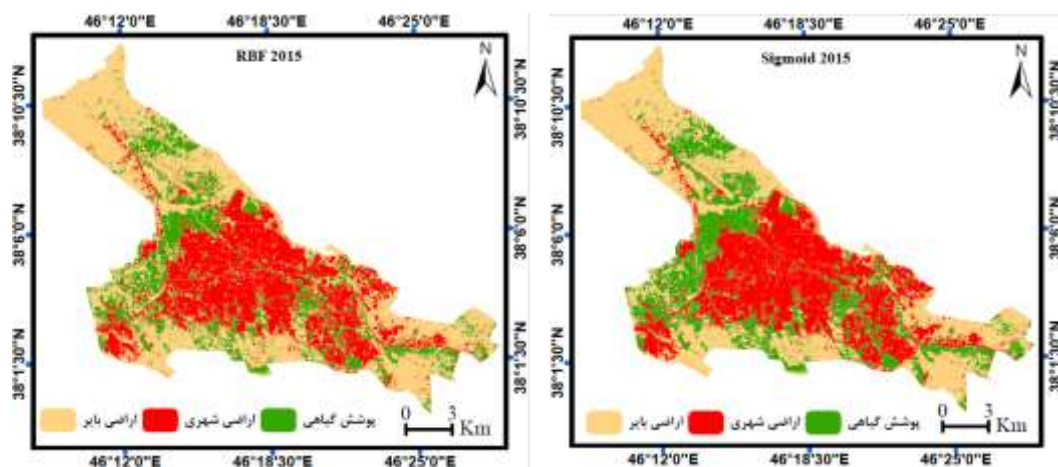
شکل ۳ نقشه تولید شده روش خطی سال ۱۳۹۴

شکل ۴ نقشه تولید شده روش چندجمله‌ای سال ۱۳۹۴

مقایسه کارایی توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان پیکسل پایه و عملگرهای فازی شی‌گرا در پایش تغییرات رشد و گسترش شهری تبریز

۱۱

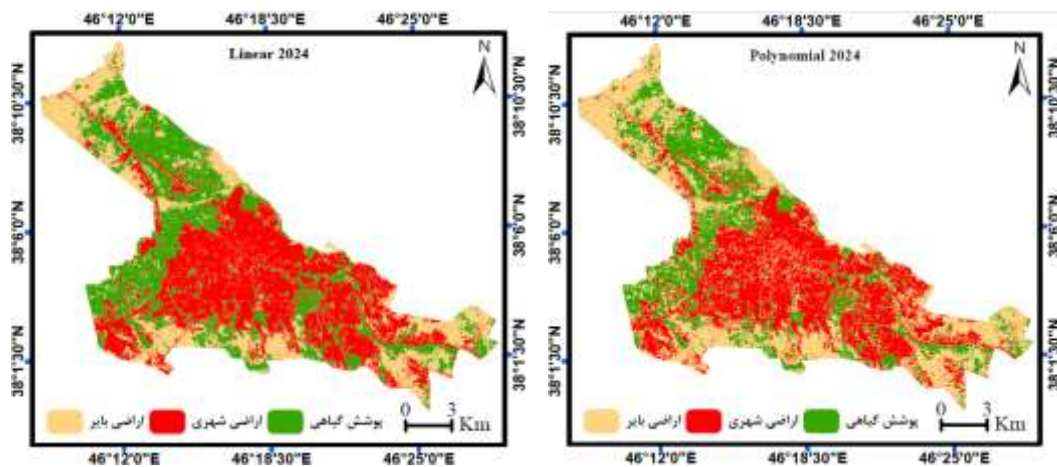
مصطفی موسی پور، ندا کفاش چرندابی



شکل ۵ نقشه تولید شده روش پایه شعاعی سال ۱۳۹۴

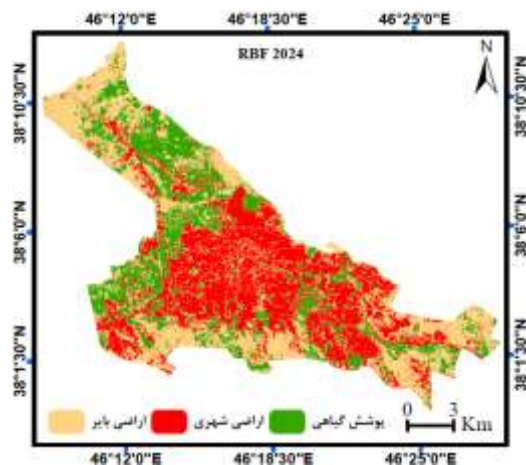
شکل ۶ نقشه تولید شده روش سیگموئید سال ۱۳۹۴

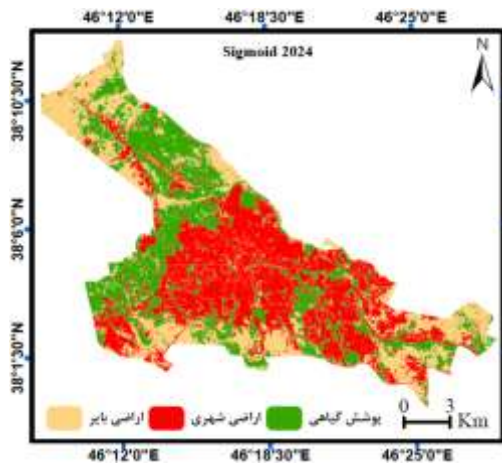
شکل‌های ۷ الی ۱۰ نشان‌دهنده نقشه‌های تولید شده بر اساس توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان مربوط به سال ۱۴۰۳ می‌باشند.



شکل ۷ نقشه تولید شده روش خطی سال ۱۴۰۳

شکل ۸ نقشه تولید شده روش چندجمله‌ای سال ۱۴۰۳





شکل ۱۰ نقشه تولید شده روش سیگموئید سال ۱۴۰۳
تولید شده روش پایه شعاعی سال ۱۴۰۳

جهت انجام فرایند طبقه‌بندی تصاویر بر اساس عملگرهای فازی شیء‌گرا، تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۴۰۳ منطقه مورد مطالعه که با فرمت TIFF ذخیره شده بود در محیط نرم‌افزار ایکاگنیشن فراخوانی و به صورت یک پروژه ذخیره گردید. جهت ساخت و تولید اشیاء تصویری، عملیات قطعه‌بندی در مقیاس‌ها، ضریب فشردگی‌ها و ضریب شکل‌های مختلف برای رسیدن به قطعه‌بندی بهینه صورت پذیرفت. در این مرحله جهت قطعه‌بندی

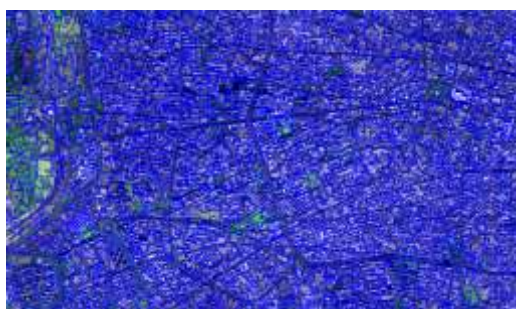
تصویر از روش قطعه‌بندی قدرت تفکیک چندگانه^۱ استفاده شد. مناسبترین قطعه‌بندی شامل مقیاس ۸۰، ضریب شکل ۰/۳ و ضریب فشردگی ۰/۷ بود. زیرا در مقیاس‌های بالاتر از ۸۰، ساخت اشیاء تصویری به درستی انجام نمی‌گرفت به طوری که چند عارضه متمایز در یک قطعه قرار می‌گرفتند و در مقیاس‌های کمتر از ۸۰ نیز در برخی موارد یک عارضه در چند قطعه قرار می‌گرفت. شکل‌های ۱۱ الی ۲۲ نشان‌دهنده قسمتی از تصویر ماهواره‌ای در باندهای مرئی و مادون قرمز، قطعه‌بندی در مقیاس‌های ۹۰، ۸۰، ۷۰ و همچنین میانگین اشیاء تصویری حاصل از قطعه‌بندی بهینه مربوط به تصاویر سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۴۰۳ می‌باشند.



شکل ۱۱ بخشی از تصویر سال ۱۳۹۴ در باند مرئی



شکل ۱۲ بخشی از تصویر سال ۱۳۹۴ در باند مادون قرمز



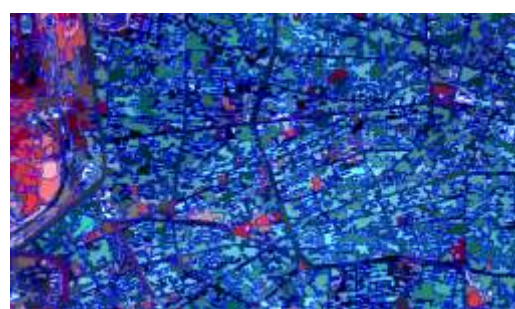
شکل ۱۳ قطعه بندی تصویر سال ۱۳۹۴ در مقیاس ۷۰



شکل ۱۴ قطعه بندی تصویر سال ۱۳۹۴ در مقیاس ۸۰



۱- Multiresolution Segmentation



شکل ۱۵ قطعه بندی تصویر سال ۱۳۹۴ در مقیاس ۹۰



شکل ۱۶ میانگین اشیاء تصویری تصویر سال ۱۳۹۴



شکل ۱۷ بخشی از تصویر سال ۱۴۰۳ در باند مرئی



شکل ۱۸ بخشی از تصویر سال ۱۴۰۳ در باند مادون قرمز



شکل ۱۹ قطعه بندی تصویر سال ۱۴۰۳ در مقیاس ۹۰



شکل ۲۰ قطعه بندی تصویر سال ۱۴۰۳ در مقیاس ۸۰



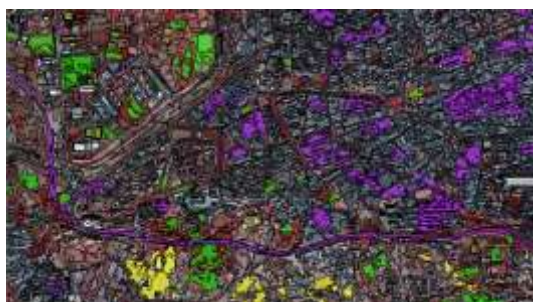
شکل ۲۱ قطعه بندی تصویر سال ۱۴۰۳ در مقیاس ۷۰

پس از رسیدن به قطعه‌بندی بهینه، سه کلاس اراضی شهری، پوشش گیاهی و اراضی بایر تعریف شدند و تعدادی از اشیاء تصویری تولید شده در مرحله قطعه‌بندی به عنوان نقاط آموزشی و تعدادی نیز به عنوان نقاط واقعیت زمینی انتخاب شدند. شکل‌های ۲۳ و ۲۴ نشان‌دهنده تعدادی از نقاط انتخابی نمونه‌های آموزشی برای تصاویر سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۴۰۳ می‌باشند.

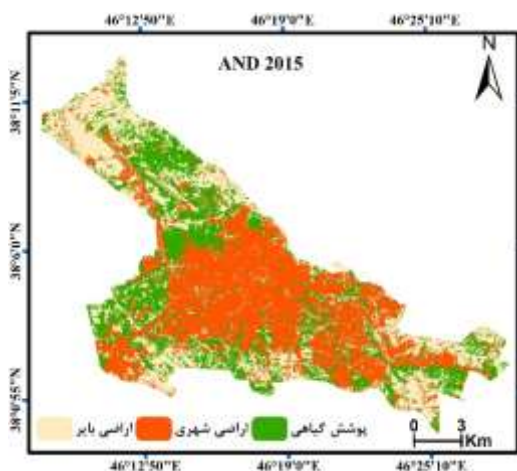


شکل ۲۴. نمونه‌های تعلیماتی انتخابی تصویر ۱۴۰۳

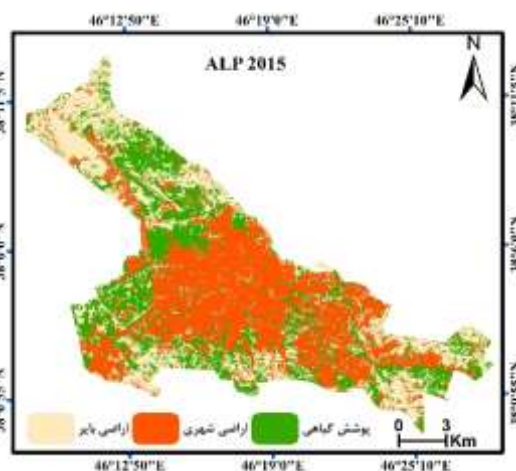
شکل ۲۳. نمونه‌های تعلیماتی انتخابی تصویر ۱۳۹۴



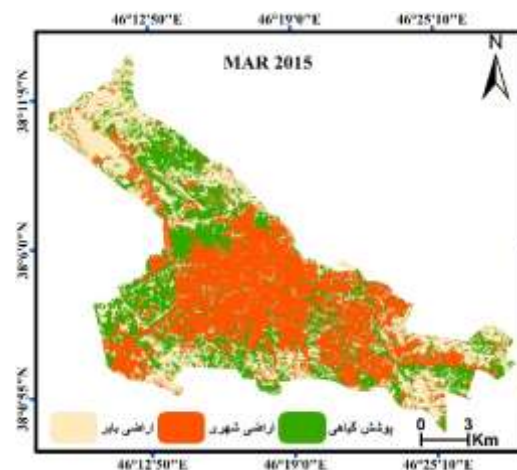
جهت فازی‌سازی اشیاء تصویری ساخته شده، عملگرهای فازی AND، OR، ALP، MAR، MGE و MGWE به طور مستقل تعریف و پس از اعمال نمودن هر عملگر فازی، عملیات طبقه‌بندی بر اساس اشیاء تصویری ساخته شده انجام شد. در این مرحله، طبقه‌بندی بر اساس روش نزدیکترین همسایه^۱ و با انتخاب پارامترهایی از قبیل انحراف معیار، چولگی، میانگین و بافت برای هر باند انجام شد. شکل‌های ۲۵ الی ۳۶ نشان‌دهنده نقشه‌های تولید شده با استفاده از عملگرهای فازی شی‌گرا می‌باشند.



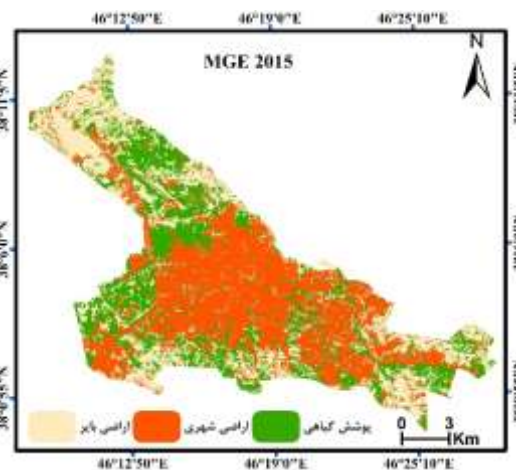
شکل ۲۵ نقشه تولید شده عملگر فازی AND سال ۱۳۹۴



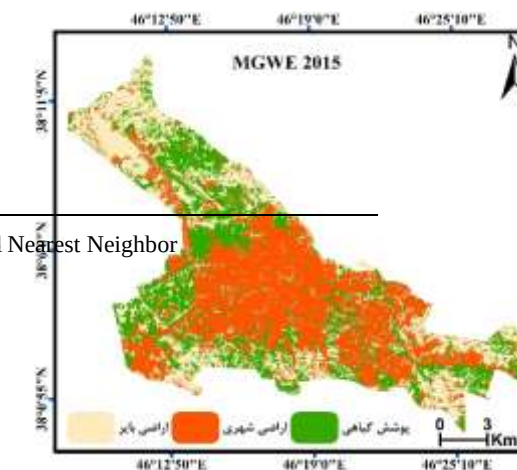
شکل ۲۶ نقشه تولید شده عملگر فازی ALP سال ۱۳۹۴



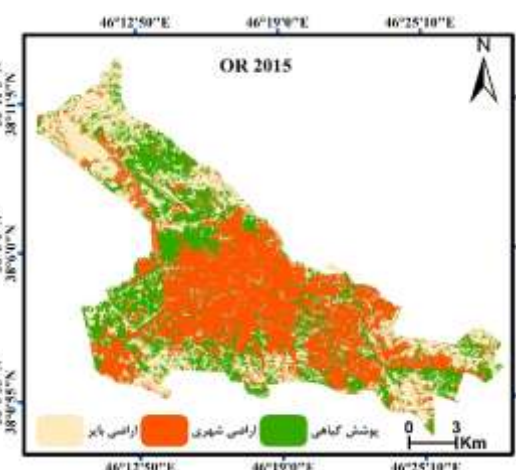
شکل ۲۷ نقشه تولید شده عملگر فازی MAR سال ۱۳۹۴

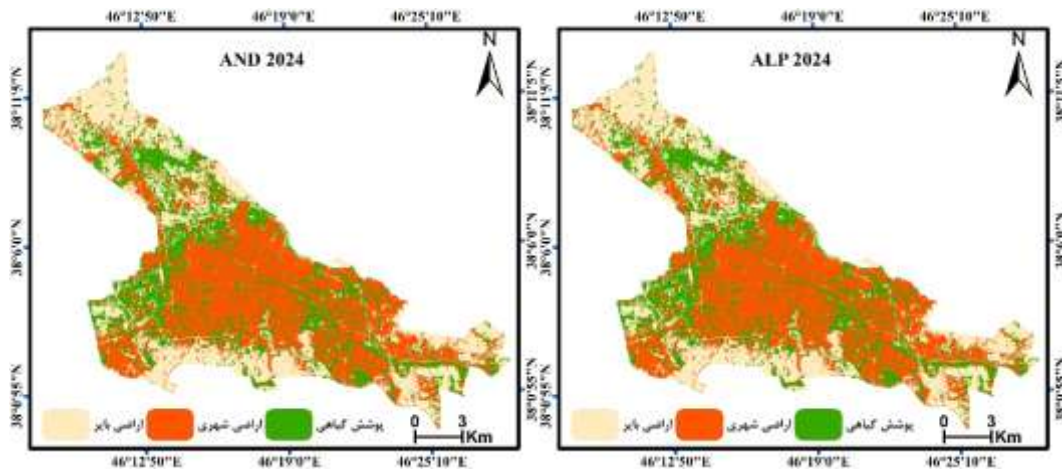


شکل ۲۸ نقشه تولید شده عملگر فازی MGE سال ۱۳۹۴



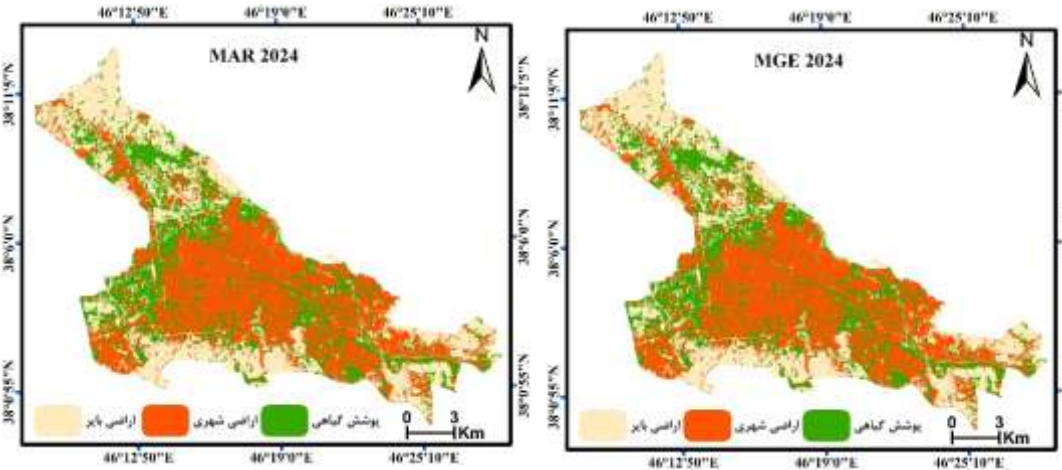
1 Nearest Neighbor





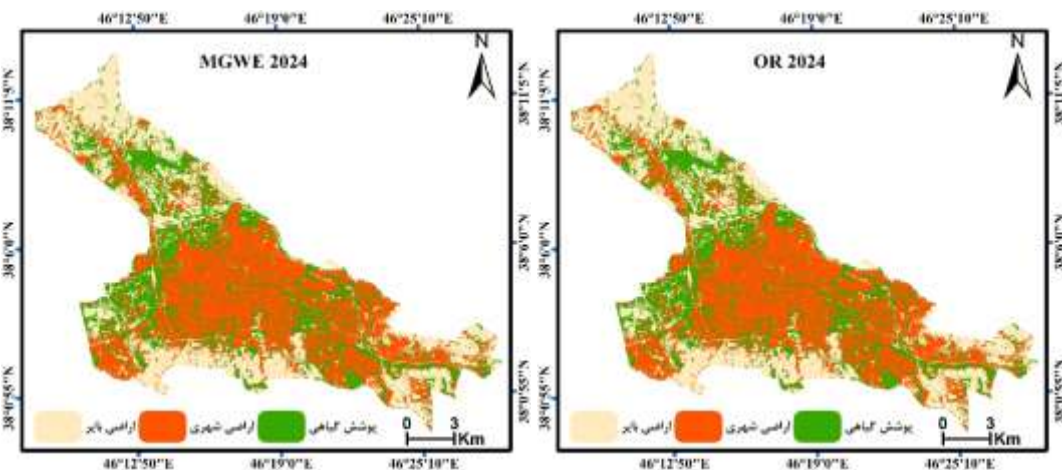
شکل ۳۱ نقشه تولید شده عملگر فازی AND سال ۱۴۰۳

شکل ۳۲ نقشه تولید شده عملگر فازی ALP سال ۱۴۰۳



شکل ۳۳ نقشه تولید شده عملگر فازی MAR سال ۱۴۰۳

شکل ۳۴ نقشه تولید شده عملگر فازی MGE سال ۱۴۰۳



شکل ۳۵ نقشه تولید شده عملگر فازی MGWE سال ۱۴۰۳

شکل ۳۶ نقشه تولید شده عملگر فازی OR سال ۱۴۰۳

پس از انجام فرایند طبقه‌بندی و تولید نقشه‌ها، در مرحله پس‌پردازش اقدام به برآورد دقت طبقه‌بندی هر کدام از توابع کرنل ماشین‌بردار پشتیبان و عملگرهای فازی گردید. در این مرحله جهت محاسبه دقت توابع کرنل ماشین‌بردار پشتیبان از نرم افزار ENVI و جهت محاسبه دقت عملگرهای فازی شی‌گرا از نرم‌افزار ایکاگنیشن با استفاده از نقاط واقعیت زمینی انتخاب شده، مقدار دقت کلی و ضریب کاپا برآورد گردید. جدول ۴ نمایانگر دقت کلی و ضریب کاپای بدست آمده در این تحقیق می‌باشد.

جدول ۴. دقت کلی و ضریب کاپای الگوریتم‌های مورد استفاده

تابع کرنل	ضریب کاپا (۱۳۹۴)	دقت کلی (۱۳۹۴)	ضریب کاپا (۱۴۰۳)	دقت کلی (۱۴۰۳)	عملگر فازی	ضریب کاپا (۱۳۹۴)	دقت کلی (۱۳۹۴)	ضریب کاپا (۱۴۰۳)	دقت کلی (۱۴۰۳)
خطی	۰/۹۲۵۹	۹۲/۳۴	۰/۹۳۲۲	۹۳/۱۹	AND	۰/۹۶۸۸	۹۶/۴۹	۰/۹۷۲۵	۹۷/۳۱
چند جمله‌ای	۰/۹۲۱۴	۹۲/۲۶	۰/۹۳۶۸	۹۳/۱۸	OR	۰/۹۴۱۳	۹۳/۹۰	۰/۹۵۰۸	۹۴/۸۲
پایه شعاعی	۰/۹۳۶۱	۹۴/۱۱	۰/۹۵۱۴	۹۵/۰۵	MGE	۰/۹۵۱۷	۹۴/۶۶	۰/۹۶۱۶	۹۵/۱۱
سیگموئید	۰/۹۰۸۶	۸۹/۵۴	۰/۹۱۱۲	۹۱/۵۰	MAR	۰/۹۵۸۵	۹۴/۱۹	۰/۹۶۰۱	۹۶/۷۳
					MGWE	۰/۹۶۲۲	۹۶/۰۱	۰/۹۶۱۲	۹۶/۹۵
					ALP	۰/۹۶۰۴	۹۵/۸۵	۰/۹۷۰۴	۹۷/۰۰

پس از ارزیابی دقت کلیه توابع کرنل ماشین‌بردار پشتیبان و عملگرهای فازی شی‌گرا، به این دلیل که در این تحقیق، عملگر فازی شی‌گرای AND دارای بیشترین دقت بود با استفاده از این عملگر اقدام به برآورد مساحت اراضی شهری ساخته شده گردید. برای انجام این کار در محیط نرم‌افزار ENVI نقشه‌های تولید شده عملگر فازی شی‌گرای AND، مربوط به سال‌های مورد مطالعه از حالت رستری به برداری تبدیل گردید و سپس در محیط نرم‌افزار Arc Map مساحت کلاس اراضی شهری که نمایانگر مساحت اراضی ساخته شده شهری می‌باشد مقدار ۱۰۰۷۲ هکتار برای سال ۱۳۹۴ و مقدار ۱۲۴۹۵ هکتار برای سال ۱۴۰۳ برآورد گردید. جدول ۵ نشان دهنده برآورد مساحت اراضی ساخته شده شهری کلانشهر تبریز در سال‌های مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۵. مساحت اراضی ساخته شده شهری بر حسب هکتار

سال	مساحت بر حسب هکتار
۱۳۹۴	۱۰۰۷۲
۱۴۰۳	۱۲۴۹۵

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش کارایی توابع کرنل ماشین‌بردار پشتیبان پیکسل‌پایه و عملگرهای فازی شی‌گرا در پایش تغییرات رشد و گسترش شهری کلانشهر تبریز مورد مقایسه قرار گرفتند. برای این منظور از باندهای دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر ماهواره سنتینل ۲ شامل باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ استفاده گردید. بر اساس نتایج این تحقیق با استفاده از تصاویر چند طیفی دارای قدرت تفکیک ۱۰ متری ماهواره سنتینل ۲، امکان تولید نقشه پایش تغییرات رشد و گسترش شهری تبریز با استفاده از توابع کرنل ماشین‌بردار پشتیبان پیکسل‌پایه و

عملگرهای فازی شی‌گرا با دقت قابل قبول وجود دارد. بر اساس نتایج این پژوهش، از بین کلیه الگوریتم‌های استفاده شده در این پژوهش، عملگر فازی AND که بیانگر اشتراک منطقی و شامل کمترین مقدار ارزش بازگشتی از ارزش‌های فازی می‌باشد با دقت کلی ۹۶/۴۹ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۶۸۸ برای تصویر طبقه بندی شده سال ۱۳۹۴ و دقت کلی ۹۷/۳۱ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۷۲۵ برای تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۴۰۳، مقدار دقت بیشتری را ارائه نمودند. لذا با توجه به دقت بیشتر عملگرهای فازی شی‌گرا در این پژوهش، می‌توان ابراز نمود که الگوریتم‌های پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای به این دلیل که علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات مربوط به شکل، بافت، موقعیت، محتوا و ویژگی‌های هندسی نیز در روند طبقه‌بندی استفاده می‌نمایند در مقایسه با الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان، دستیابی به دقت بالاتر را در استخراج محدوده شهری کلانشهر تبریز امکان‌پذیر می‌سازند. یکی از مهم‌ترین دلایل دستیابی به دقت بالاتر در روش‌های شی‌گرا، بررسی درجه عضویت پارامترهای موثر در طبقه‌بندی و استفاده از پارامترهایی می‌باشد که بیشترین مقدار درجه عضویت را دارند. در همین راستا با توجه به ناهمگونی محیط شهری و وجود پیچیدگی در محیط فیزیکی شهری، در روش‌های پیکسل‌پایه باعث اختلاط طیفی می‌گردد اما در روش‌های شی‌گرا به دلیل استفاده همزمان از پارامترهای طیفی و غیرطیفی، امکان دسترسی به دقت بیشتر فراهم می‌باشد.

بهره‌ور، حامد، اصغری زمانی، اکبر و فیضی‌زاده، بختیار. (۱۴۰۱). مقایسه تطبیقی و سطح‌بندی تاب‌آوری کالبدی- محیطی بافت‌های شهری مناطق ده‌گانه شهر تبریز در مواجهه زلزله با استفاده از تحلیل‌های فضایی- مدل‌های ترکیبی تصمیم‌گیری. نشریه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی، ۲(۵)، ۷۷-۵۵. doi: 10.22034/rsgi.2023.16444

جواندل، پویان، حسنی، حسین. مقصودی قره‌بلاغ، عباس. (۱۳۹۶). مقایسه الگوریتم‌های ماشین برداری پشتیبان و نقشه‌بردار زاویه طیفی در جداسازی دگرسانی‌های منطقه پاریز استان کرمان، نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره ۲، شماره ۴، ۱-۱۰. <https://doi.org/10.30479/jmre.2018.1381>

رضایی‌مقدم، محمدحسین. ولیزاده‌کامران، خلیل. اندریانی، صغری. الماس پور، فرهاد. (۱۳۹۴). مقایسه روش‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در استخراج نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی با استفاده از تصاویر لندست ۸ (مطالعه موردی: حوضه صوفی‌چای)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۲، ۱۸۳-۱۶۳. فیضی‌زاده، بختیار. پیرنظر، مجتبی. زندکرمی، آرش. عابدی قشلاقی، حسن. (۱۳۹۴). ارزیابی استفاده از الگوریتم‌های فازی در افزایش دقت نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده با روش‌های پردازش شیء‌گرا، نشریه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۴، شماره ۹۴، ۱۱۷-۱۰۷. Doi: <https://dx.doi.org/10.22131/sepehr.2015.14480>

Ali, A., Dunlop, P., Coleman, S., Kerr, D., McNabb, R. W., & Noormets, R. (2023). Glacier area changes in Novaya Zemlya from 1986–89 to 2019–21 using object-based image analysis in Google Earth Engine. *Journal of Glaciology*, 1-12. <https://doi.org/10.1017/jog.2023.18>

Arabi Aliabad, F., Malamiri, H. R. G., Shojaei, S., Sarsangi, A., Ferreira, C. S. S., & 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), 3227. <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/13/3227>

Behnia, N., Zare, M., Moosavi, V., & Khajeddin, S. I. (2020). Evaluation of a Hierarchical Classification Method and Statistical Comparison with Pixel-Based and Object-Oriented Approaches. *ECOPERSIA*, 8(4), 209-219. <http://ecopersia.modares.ac.ir/article-24-38774-en.html>

<http://ecopersia.modares.ac.ir/article-24-38774-en.pdf>

Cetin, M. (2009). A satellite based assessment of the impact of urban expansion around a lagoon. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(4), 579-590. <https://doi.org/10.1007/BF03326098>

Dhanaraj, K., & Angadi, D. P. (2022). Land use land cover mapping and monitoring urban growth using remote sensing and GIS techniques in Mangaluru, India. *GeoJournal*, 87(2), 1133-1159. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10302-4>

Feizizadeh, B., Blaschke, T., Tiede, D., & Moghaddam, M. H. R. (2017). Evaluating fuzzy operators of an object-based image analysis for detecting landslides and their changes. *Geomorphology*, 293, 240-254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.06.002>

Fu, X., Zhou, W., Zhou, X., & Hu, Y. (2023). Crop Mapping and Spatio-Temporal Analysis in Valley Areas Using Object-Oriented Machine Learning Methods Combined with Feature Optimization. *Agronomy*, 13(10), 2467. <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/10/2467>

Hartoni, Siregar, V., Wouthuyzen, S., & Agus, S. (2022). Object based classification of benthic habitat using Sentinel 2 imagery by applying with support vector machine and random forest algorithms in shallow waters of Kepulauan Seribu, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230155>

- Hegazy, I. R., & Kaloop, M. R. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 117-124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2015.02.005>
- Herold, M., Scepan, J & .Clarke, K. C. (2002). The Use of Remote Sensing and Landscape Metrics to Describe Structures and Changes in Urban Land Uses. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 34(8), 1443-1458. <https://doi.org/10.1068/a3496>
- Kazemi Garajeh, M., Feizizadeh, B ., Weng, Q., Rezaei Moghaddam, M. H., & Kazemi Garajeh, A. (2022). Desert landform detection and mapping using a semi-automated object-based image analysis approach. *Journal of Arid Environments*, 199, 104721. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104721>
- Li, Q., Mou, L., Sun, Y., Hua, Y., Shi, Y., & Zhu, X. X. (2024). A Review of Building Extraction From Remote Sensing Imagery: Geometrical Structures and Semantic Attributes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 1-15. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2024.3369723>
- Najafi, P., Navid, H., Feizizadeh, B., Eskandari, I., & Blaschke, T. (2019). Fuzzy Object-Based Image Analysis Methods Using Sentinel-2A and Landsat-8 Data to Map and Characterize Soil Surface Residue. *Remote Sensing*, 11(21), 2583. <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/21/2583>
- Saraf, N. M., Lokman, M. F., Abdul Rasam, A. R., & Hashim, N. (2022). Assessment of urban growth changes in Klang District using Support Vector Machine by different kernel. *IOP Conference Series :Earth and Environmental Science*, 1051(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1051/1/012023>
- Shehu, P., Rikko, L. S., & Azi, M. B. (2023). Monitoring urban growth and changes in land use and land cover: a strategy for sustainable urban development .*International Journal of Human Capital in Urban Management*, 8(1), 111-126. <https://doi.org/10.22034/ijhcum.2023.01.09>
- Sobieraj, J., Marín, M. F., & Metelski, D. (2023). Mapping of impervious surfaces with the use of remote sensing imagery: Support Vector Machines classification and GIS-based approach. *Archives of Civil Engineering*, vol. 69(No 3), 129-146. <https://doi.org/10.24425/ace.2023.146071>
- Stilla, U., & Xu, Y. (2023). Change detection of urban objects using 3D point clouds: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 197, 228-255. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.01.010>
- Tariq, A., Jiango, Y., Li, Q., Gao, J., Lu, L., Soufan, W., Almutairi, K. F., & Habib-ur-Rahman, M. (2023). Modelling, mapping and monitoring of forest cover changes, using support vector machine, kernel logistic regression and naive bayes tree models with optical remote sensing data. *Heliyon*, 9(2), e13212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13212>
- Uca Avcı, Z., Karaman, M., Ozelkan, E., & Papila, I. (2011). *A Comparison of Pixel-Based and Object-Based Classification Methods, A Case Study: Istanbul, Turkey* 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Sydney, Australia .
- Wu, J., Lin, L., Zhang, C., Li, T., Cheng, X., & Nan, F. (2023). Generating Sentinel-2 all-band 10-m data by sharpening 20/60-m bands: A hierarchical fusion network. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 196, 16-31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.101601>
- Yang, K., Ye, Z., Liu, H., Su, X., Yu, C., Zhang, H., & Lai, R. (2023). A new framework for GEOBIA: accurate individual plant extraction and detection using high-resolution RGB data from UAVs. *International Journal of Digital Earth*, 16(1), 2599 .2622- <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2233484>

- Yasin, M. Y., Abdullah, J., Noor, N. M., Yusoff, M. M., & Noor, N. M. (2022). Landsat observation of urban growth and land use change using NDVI and NDBI analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1067(1), 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1067/1/012037>
- Ye, Z., Yang, K., Lin, Y., Guo, S., Sun, Y., Chen, X., Lai, R., & Zhang, H. (2023). A comparison between Pixel-based deep learning and Object-based image analysis (OBIA) for individual detection of cabbage plants based on UAV Visible-light images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 209, 107822. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107822>
- Zhu, Q., Guo, X., Li, Z., & Li, D. (2022). A review of multi-class change detection for satellite remote sensing imagery. *Geo-spatial Information Science*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/10095020.2022.2128902>

