



بررسی پویایی و گسترش مناطق شهری با استفاده از نمونه‌های آموزشی خودکار حاصل از تلفیق تصاویر نور شب و قدرت تفکیک متوسط

فاطمه احمدی^۱

یاسر ابراهیمیان قاجاری^۲

عباس کیانی^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۷

چکیده

گسترش شهرها یک فرآیند پویاست و به‌روزرسانی نقشه‌های شهری به‌منظور ارائه خدمات بسیار مهم است. داده‌های سنجش‌ازدوری منبع قدرتمندی برای استخراج مناطق ساخته‌شده هستند؛ یکی از داده‌هایی که می‌تواند پویایی مناطق شهری را تشخیص دهد داده‌های نور شب است. از آنجایی که مناطق شهری در هنگام شب توسط نورهای مصنوعی موجود در منازل و خیابان‌ها روشن می‌شوند، در نتیجه به‌خوبی از پس‌زمینه متمایز خواهند شد. از این‌رو مطالعه حاضر در تلاش است رشد و گسترش مناطق شهری را با استفاده از نمونه‌های آموزشی با کیفیت و اتوماتیک از روی ترکیبی از تصاویر نور شب و اپتیک، در یک بازه ۲۴ ساله با دقت بالایی شناسایی و استخراج نماید. در این راستا برای تولید نمونه‌های آموزشی با کیفیت، شاخص نور شب تحت عنوان VTNUI؛ توسعه داده شده است که با ترکیب ویژگی‌های مختلف به‌دست آمده از تصاویر لندست و نور شب در محدوده‌های شهری و در نظر گرفتن روابط بین مناطق، پدیده اشباع^۵ و شکوفایی^۶ تصاویر نور شب در محدوده شهری را کاهش داد. سپس با بررسی حد آستانه‌های خودکار بر روی شاخص توسعه داده شده نمونه‌های آموزشی با کیفیت تولید شد تا طبقه‌بندی دقیق‌تری از مناطق شهری ارائه شود. از این‌رو ابتدا از نمونه‌های آموزشی اولیه به‌دست آمده با استفاده از حد آستانه خودکار بر روی تصاویر نور شب طبقه‌بندی اولیه صورت پذیرفت؛ سپس نمونه‌ها با اعمال حد آستانه خودکار بر روی شاخص معرفی شده پالایش شدند و طبقه‌بندی نهایی صورت گرفت. در نهایت بر اساس تحلیل سری زمانی، روند رشد منطقه بررسی شده است. به منظور بررسی اثربخشی روش پیشنهادی، دو منطقه دارای اقلیم متفاوت انتخاب شد و بررسی‌های مختلف بصری و کمی برای ارزیابی صورت پذیرفت. نتایج طبقه‌بندی نهایی برای بابل و کرمان به ترتیب با میانگین ضریب کاپا ۰/۹۳ و ۰/۷۴ و میانگین دقت کلی ۹۷/۷۶ و ۸۷/۶۳ برای تمام سال‌های مورد بررسی به‌دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: داده نور شب، اشباع و شکوفایی، پویایی گسترش شهری، تصاویر ماهواره‌ای، نمونه‌های آموزشی خودکار

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل f.ahmadi@nit.ac.ir

۲- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل y.brahimian@nit.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل (نویسنده مسئول) a.kiani@nit.ac.ir

4- Vegetation and Temperature -NTL Urban Index

5- saturation

6- blooming

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر با پیشرفت روش‌ها و فناوری سنجنش‌ازدوری، نقشه‌برداری از سطح زمین آسان‌تر شده است. ماهواره‌های سنجنش‌ازدوری می‌توانند به‌عنوان یک ابزار مهم و کارآمد در این زمینه کمک‌کننده باشند؛ زیرا سنسورهای ماهواره‌ای سنجنش‌ازدور با پتانسیل بالایی که در به‌روزرسانی دارند می‌توانند به‌طور منظم تصاویری از سطح زمین با ویژگی‌های منحصر به فرد اخذ کنند؛ بنابراین، داده‌های سنجنش‌ازدور می‌توانند برای بازیابی اطلاعات مکانی سطح زمین به‌جای اندازه‌گیری‌های هندسی استفاده شوند. از سویی دیگر تکنیک‌های طبقه‌بندی تصویر سنجنش‌ازدور برای کمک به شناسایی کاربری زمین/ پوشش زمین^۱ استفاده شده است (Faisal et al., 2016). یکی از تصاویری که به‌طور مؤثر می‌تواند فعالیت‌های انسانی و محدوده‌های شهری را مشخص کند داده‌های نور شب است. این ماهواره‌ها برخلاف بقیه ماهواره‌ها، در طول شب از سطح زمین تصویربرداری می‌کنند. از طرفی یکی از ویژگی‌ها و شاخص‌های اصلی مناطق مسکونی و شهری در شب، استفاده از نور مصنوعی می‌باشد؛ همین موضوع و ویژگی باعث می‌شود مناطق شهری و روشن در تصویر از اطراف و پس‌زمینه شهر که مناطقی خاموش در طول شب هستند به‌وضوح جدا شوند (Liu et al., 2019). هر کدام از این داده‌ها از مزایا و محدودیت‌هایی برخوردار هستند و استفاده ترکیبی از این داده‌ها امکان افزایش دقت و کاهش عدم قطعیت را به همراه خواهد داشت. در همین راستا الگوریتم‌ها و روش‌های علمی که امکان ترکیب این داده‌ها را فراهم می‌آورد از اهمیت بالایی برخوردار است (Liu et al., 2019). مطالعاتی در زمینه استفاده از داده‌های نور شب به‌صورت غیرترکیبی و ترکیبی با داده‌های طیفی به‌منظور استخراج و نقشه‌برداری از سطح زمین انجام شده است. در سال ۲۰۱۵ گو و همکاران یک شاخص سطح نفوذناپذیر در مقیاس بزرگ برای ادغام داده‌های VIIRS^۲ و مادیس برای نقشه‌برداری از سطوح نفوذناپذیر پیشنهاد کرده‌اند. در

شهرنشینی یک پدیده مثبت در حال رشد در عصر حاضر به‌حساب می‌آید. گسترش شهری پدیده‌ای از شهرنشینی است که با پویایی‌های جمعیتی و توسعه اجتماعی-اقتصادی همبستگی نزدیک دارد (Lu et al., 2018). شهرنشینی فرآیند پیچیده‌ای شامل گسترش شهری و تغییر کاربری زمین است (Zou et al., 2017). از این‌رو در پی رشد و توسعه شهرنشینی، تأثیرات آن بر اکوسیستم‌های طبیعی و سیستم‌های اجتماعی به‌طور فزاینده‌ای نگران‌کننده است (Xue et al., 2018) و منجر به کمبود منابع طبیعی، تعدادی تغییرات محیطی و حتی بلاایامی مختلف در مقیاس‌های مختلف می‌شود (Zou et al., 2017). از سویی دیگر می‌توان از شهرنشینی به‌عنوان یک پیشرفت مؤثر در حوزه اجتماعی و اقتصادی نام برد، اما با این حال به ناگزیر باعث بروز چالش‌ها و نیازهایی در سطح زندگی شهری شده است. این رشد و پراکندگی اساساً در حاشیه و حومه‌ها و مناطق فاقد امکانات اولیه رخ می‌دهد (Ramachandra et al., 2013). مناطق تحت‌تأثیر رشد اغلب فاقد زیرساخت‌ها و امکانات اولیه مانند آب تصفیه‌شده، برق، بهداشت راه‌های ارتباطی و امکانات آموزشی و تفریحی هستند، زیرا برنامه‌ریزان شهری قادر به تجسم و پیش‌بینی این رشد نبودند (Bharath et al., 2018). به همین دلیل به‌دست آوردن اطلاعات به‌موقع و دقیق در مناطق شهری برای نظارت بر رشد اجتماعی و اقتصادی امری ضروری است (Wang et al., 2017). شناسایی تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی را می‌توان با استفاده از تحلیل‌های چند زمانی نقشه‌های کاربری اراضی درون شهری و پوشش زمین که به داده‌های دقیق و به‌روز شده مستمر نیاز دارد، ارزیابی کرد (de Pinho et al., 2012). از آنجایی که روش‌های سنتی مانند بررسی‌های میدانی دارای سختی‌ها و مشکلاتی مانند در دسترس نبودن در زمان واقعی و همچنین پرهزینه و وقت‌گیر بودن این روش‌ها که به‌صورت حضوری صورت می‌گیرد هستند؛ استفاده از روش‌های خودکار و نیمه‌خودکار ضرورت بالایی پیدا کرده است.

1- Land use/ land cover

2- Visible and Infrared Imaging Radiometer Suite

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۱)

بررسی پویایی و گسترش مناطق شهری با استفاده از نمونه‌های آموزشی خودکار حاصل از ... / ۳۱

OLS از روشی برای ایجاد یک رابطه درجه دوم بین گرادیان روشنایی و مقدار DN هر پیکسل استفاده کردند. سپس، مناطق روشن در شب آفریقا را به سه دسته (کم، متوسط و زیاد) طبقه‌بندی کردند. این رویکرد توانسته اثر تخمین بیش از حد و کم را کاهش دهد و در مقیاس بزرگ‌تر استفاده شود؛ اما تنها بر روی تصاویر DMSP اعمال شده است که برای بررسی یکی بازه زمانی طولانی‌تر نیاز به ترکیب با داده VIIRS دارد؛ اما هیچ روش پذیرفته شده‌ای برای ادغام دو مجموعه داده NTL وجود ندارد (Jiang et al., 2021). در سال ۲۰۲۲ وانگ و همکاران از حد آستانه اتسو برای استخراج مرز منطقه ساخته‌شده شهری استفاده کرد. سپس از روش تحلیل مربع برای تجزیه و تحلیل مکانی شهرها استفاده شد که از مرکز هندسی منطقه ساخته‌شده شهری شروع شده و منطقه ساخته‌شده به ۸ ربع برای تجزیه و تحلیل شدت نور، شیب و مساحت گسترش شهری و غیره تقسیم شد. استفاده از داده‌های ناخالص داخلی ممکن است برای هر منطقه‌ای در دسترس نباشد (Wang et al., 2022). همان‌طور که از تحقیقات پیشین پیداست، اکثر روش‌ها چه به صورت ترکیبی و چه غیرترکیبی در نهایت پس از اجرای مراحل اصلی، از حد آستانه‌ها برای شناسایی مناطق شهری استفاده می‌کنند. استفاده از حد آستانه ممکن است تحت تأثیر عوامل ذهنی، قابل استفاده نبودن در مقیاس‌های بزرگ و عدم امکان استفاده از حد آستانه یکسان در تمام مناطق باشند و در صورت استفاده از داده‌های اجتماعی و اقتصادی مشکلات دسترسی به این داده‌ها در هر مکانی وجود داشته باشد. همچنین اگرچه داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی پایین امکان بررسی نقشه‌برداری از سطح زمین را در مقیاس‌های بزرگ منطقه‌ای و ملی فراهم می‌کنند؛ اما امکان شناسایی جزئیات شهری و جاده‌ها بسیار کم است. از آنجایی که اغلب رشد شهرها در حاشیه شهرها اتفاق می‌افتد و مقیاس آن‌ها پایین‌تر از وضوح مکانی داده‌های نور شب و مادیس می‌باشد، پیشنهاد روشی در پیکسل‌های کوچک‌تر از اهمیت بالایی برخوردار است.

مدل ایشان یک مدل رگرسیون ایجاد شد که در آن شاخص موردنظر به‌عنوان یک متغیر مستقل و سطوح نفوذناپذیر مرجع از تصاویر لندست یک متغیر وابسته بود که عملکرد استخراج را تا حد زیادی بهبود بخشید، رویکرد ایشان الگوهای مکانی دقیقی را از مقادیر زیاد در مناطق مرکزی شهری تا مقادیر کم در مناطق روستایی ارائه می‌کند. از طرفی به علت استفاده از محصول پوشش گیاهی مادیس در شهرهایی که پوشش گیاهی کم است، دارای کاربرد نمی‌باشند (Guo et al., 2015). در سال ۲۰۱۶ هوانگ و همکاران مادیس و تصویر نور شب DMSP-OLS^۱ را با وضوح مکانی ۲۵۰ متر برای نقشه‌برداری از سطح شهری تلفیق کردند و مدل‌های رگرسیون جنگل تصادفی را برای تخمین درصد شهری زیر پیکسل ساختند. نتایج نشان داد که نور شب می‌تواند تخمین مساحت زمین شهری را با استفاده از ویژگی‌های مادیس ۲۵۰ متری بهبود بخشد (Huang et al., 2016). وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ نیز با استفاده از تصاویر نور شب VIIRS و محصول NDVI مادیس منطقه شهری را با یک روش طبقه‌بندی تک کلاسه مبتنی بر شبکه عصبی (BP)^۲، الگوریتم (PUL)^۳ تصاویر را به مناطق شهری و غیرشهری طبقه‌بندی کردند. به این صورت توانستند مناطق شهری را نقشه‌برداری کرده و به‌دست آورند اما رویکرد پیشنهادی توانایی شناسایی مناطق کوچک و روستایی را ندارد (Wang et al., 2017). در سال ۲۰۱۹ آل احمدی و همکاران پس از تصحیحات سه‌گانه داده DMSP از حد آستانه‌های مبتنی بر داده‌های جانبی برای استخراج شهرها استفاده کردند. نتایج آن‌ها با داده‌ای اجتماعی اقتصادی موجود ضریب همبستگی ۰/۹۸ را نشان داد؛ اما تعیین حد آستانه برای هر شهر بر اساس بافت و جمعیت شهرها برای شناسایی مناطق شهری وقت‌گیر است (Alahmadi and Atkinson, 2019). در سال ۲۰۲۱ جیانگ و همکارانش با استفاده از داده نور شب DMSP-

1- Defense Meteorological Program (DMSP) Operational Line-Scan System (OLS)

2- Back Propagation

3- Present-Unlabeled Learning

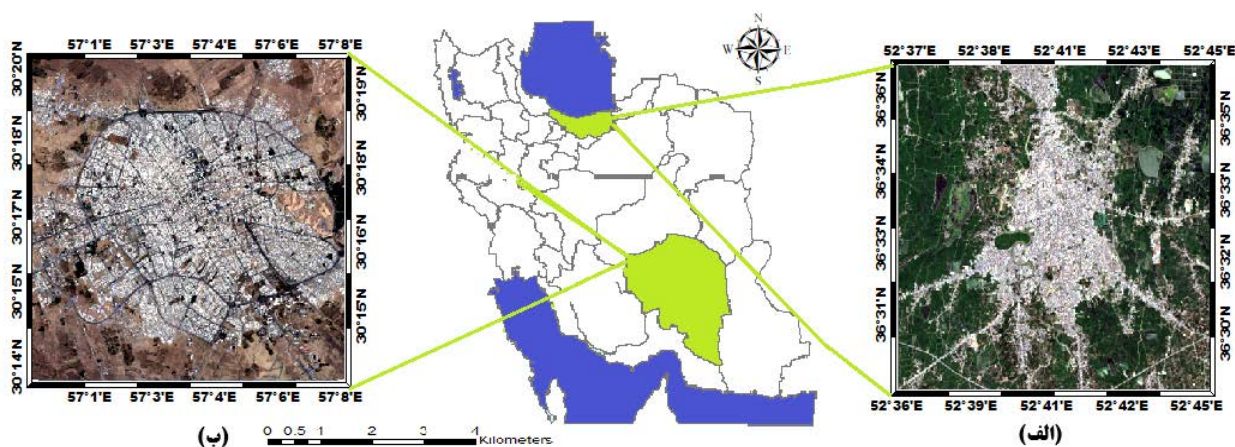
این روند باعث افزایش دقت طبقه‌بندی خواهد شد. برای اثبات این موضوع که شاخص و روش پیشنهادی در دو منطقه با اقلیم متفاوت (مرطوب و خشک) پاسخگو بوده، در دو منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. این در حالی است که بسیاری از شاخص‌های موجود و معروف در زمینه تصحیح اشباع و شکوفایی داده نور شب تنها در مناطق مرطوب و پوشیده از پوشش گیاهی موفقیت‌آمیز بودند و در شهرهای خشک و نیمه کویری قابل استفاده نبودند. در ادامه پس از موفقیت‌آمیز بودن شاخص، به طبع نمونه‌های آموزشی با کیفیتی توسط حد آستانه‌ها از روی شاخص پیشنهادی تولید می‌شود. به عبارتی نمونه‌های آموزشی به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی، در طبقه‌بندی مناطق خشک و کویری که مناطقی حساس (به علت وجود پوشش‌های خاک در اطراف شهر که رفتار طیفی مشابه با مناطق ساخته‌شده و شهری دارد) هستند و کیفیت بالای نمونه‌های آموزشی تأثیر خیلی زیادی در دقت طبقه‌بندی دارد نیز موفق بوده است. سرانجام پس از به‌دست آوردن مناطق ساخته‌شده در یک بازه ۲۴ ساله، محدوده شهرها به‌دست آمده و به بررسی روند گسترش شهر پرداخته شده است. همچنین سعی شده نتایج با داده‌های سرشماری نیز مقایسه شود که ضریب همبستگی بالای بین نتایج طبقه‌بندی و داده جمعیت بیانگر موفقیت‌آمیز بودن روش می‌باشد.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دو منطقه در این تحقیق با دو اقلیم متفاوت از یکدیگر به‌منظور بررسی و تایید اعتبار و موفقیت‌آمیز بودن روش پیشنهادی در مناطق مختلف بدون تأثیرپذیری از شرایط اقلیمی مورد مطالعه قرار گرفتند. منطقه مورد مطالعه اول (مطابق نگاره ۱-الف) شهر بابل می‌باشد که در ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه و ۱۵ ثانیه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ، در مناطق شمالی ایران، استان مازندران واقع شده است. این منطقه

از این رو هدف اصلی تحقیق حاضر استخراج مناطق ساخته‌شده بر اساس تولید نمونه‌های آموزشی پالایش‌شده خودکار و با کیفیت بالا و توسعه و ارائه یک شاخص نور شب برای کاهش پدیده اشباع و شکوفایی تصاویر نور شب است. از این رو با استفاده تلفیقی از تصاویر نور شب و تصاویر چندطیفی برداشت شده در روز سعی دارد تا نمونه‌های آموزشی بهینه را به‌منظور عملکرد مناسب طبقه‌بندی‌کننده ارائه نماید؛ زیرا یکی از چالش‌های موجود در مبحث طبقه‌بندی انتخاب نمونه‌های آموزشی درست و با کیفیت است که رابطه مستقیم با نتایج طبقه‌بندی دارد. از سوی دیگر انتخاب نمونه‌های آموزشی با سرعت بالا و هزینه کم و به دور از دخالت ذهنی (که ممکن است باعث اشتباه در برچسب دهی به پیکسل‌ها شود) یک فرآیند همواره مورد توجه می‌باشد. به منظور اتوماسیون در ابتدا، نمونه‌های آموزشی اولیه مربوط به مناطق ساخته‌شده و ساخته نشده از روی تصاویر نور شب توسط حد آستانه‌ها به‌صورت خودکار به‌دست می‌آیند. در ادامه برای افزایش کیفیت نمونه‌های آموزشی اولیه، شاخص نور شب تحت عنوان VTNUI توسعه یافته و ارائه شده است. در این شاخص سعی بر این بوده که با استفاده از شاخص‌های استخراج شده پوشش گیاهی، آب و دمای سطح زمین (LST) به‌دست آمده از تصویر لندست و با در نظر گرفتن رابطه بین این پارامترها و تصاویر نور شب در مناطق شهری روندی ایجاد شود که خصوصیات اصلی شهر در تصاویر نور شب یعنی روشن‌تر بودن و بیشتر بودن مقدار پیکسل‌های آن حفظ شود؛ درعین حال اشباع و شکوفایی در آن تا حد مطلوبی کاهش پیدا کند. بعد از آن با اعمال حد آستانه خودکار بر روی شاخص پیشنهادی نمونه‌های اولیه تصحیح و پالایش می‌شوند؛ زیرا به علت قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر نور شب در نمونه‌های آموزشی اولیه مکان‌هایی به اشتباه به کلاسی مناطق ساخته‌شده تعلق می‌گیرند. به همین دلیل سعی در بهبود نمونه‌های آموزشی بوده تا برای طبقه‌بندی دقیق‌تر مورد استفاده قرار گیرند که مطابق نتایج ارائه شده



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه (الف): شهر بابل (ب): شهر کرمان

باعث می‌شود در مناطق حومه شهری پدیده شکوفایی به وجود آمده و مناطقی که روشن نیستند روشن نشان داده شوند. همچنین محدوده دینامیکی پایین آن که باعث شده است تا داده‌های این ماهواره دچار پدیده اشباع شوند یعنی بسیاری از پیکسل‌ها مقدار بیشینه برابر ۶۳ را به خود اختصاص می‌دهند در حالی که می‌توانند مقادیر متفاوت و بالاتری داشته باشند. از سویی دیگر از آنجایی که این ماهواره از ۶ سنسور مختلف برای تصویربرداری استفاده می‌کند، در بعضی سال‌ها همزمان دو ماهواره در حال ثبت داده هستند. به دلیل فرسوده شدن و تغییر سنسورها، داده‌های جمع‌آوری شده از ماهواره‌های مختلف تفاوت قابل توجهی با یکدیگر دارند؛ به این دلیل که هیچ‌کدام از این ماهواره‌ها دارای کالیبراسیون در پردازنده نیستند و تفاوت‌هایی در ویژگی‌های پروازی (زمان‌های عبور مختلف، شرایط جوی مختلف) ماهواره‌های مختلف وجود دارد (Pandey et al., 2017) و عدم کالیبراسیون در سنسورها باعث می‌شود سنسورها با یکدیگر هماهنگ نبوده و داده‌های جمع‌آوری شده از ماهواره‌های مختلف از یک سال تفاوت قابل توجهی با یکدیگر داشته باشند (Li and Zhou, 2017). همین موضوع باعث به وجود آمدن مشکلات در تولید یک سری زمانی پایدار می‌شود.

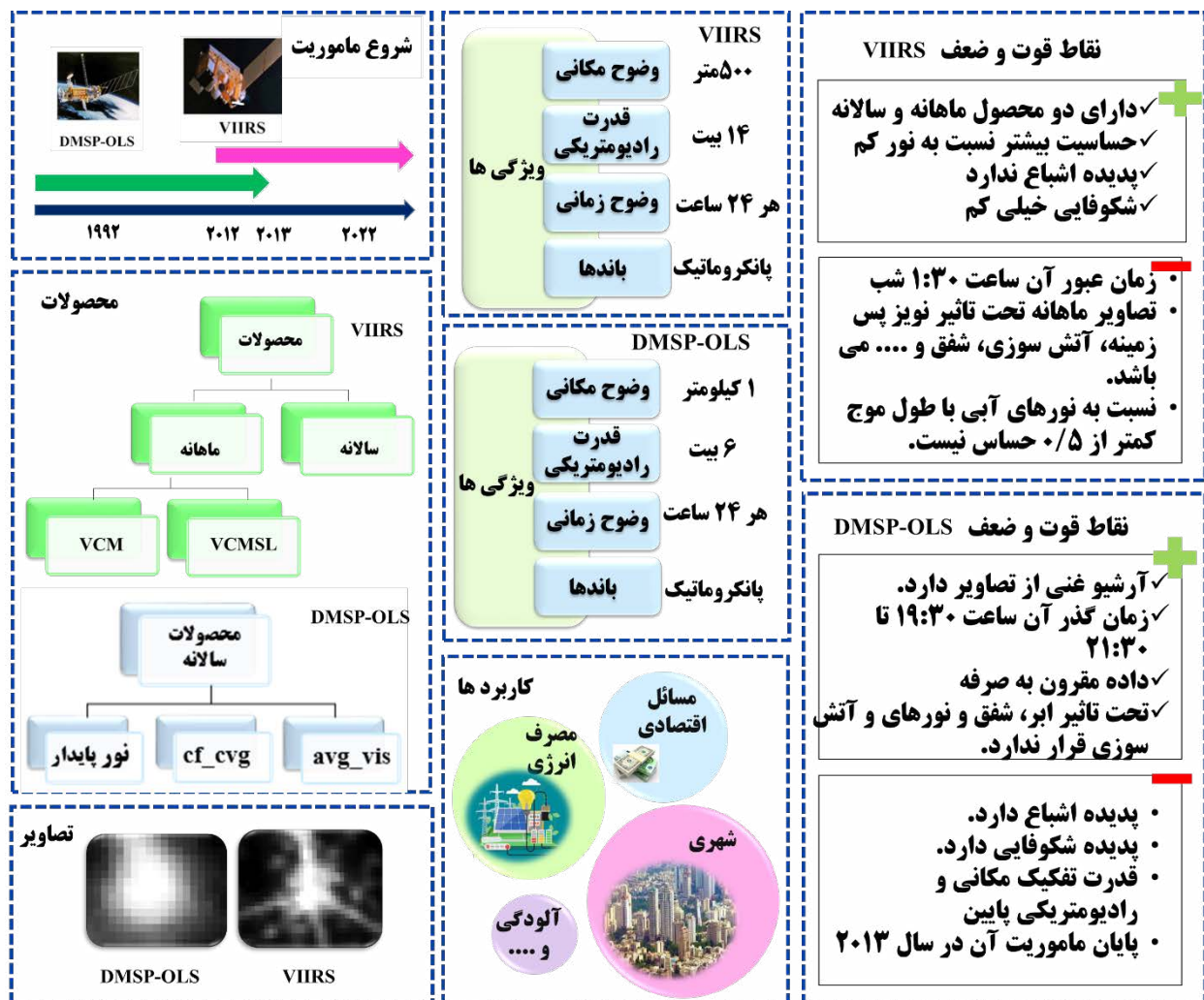
بین رشته کوه‌های البرز و سواحل دریای خزر قرار گرفته است و با بارش سالانه ۹۲۸ میلی‌متر دارای آب‌وهوای معتدل می‌باشد. منطقه دوم مورد مطالعه (نگاره ۱-ب) شهر کرمان با وسعت ۲۴۰ کیلومترمربع و با ارتفاع ۱۷۶۰ متر از سطح دریا واقع در استان کرمان با موقعیت جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی می‌باشد. این منطقه با بارش سالانه ۱۴۸ میلی‌متر دارای آب‌وهوا و اقلیم نیمه‌کویری و خشک است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از دو دسته تصاویر ماهواره‌ای نور شب و تصاویر چندطیفی لندست استفاده می‌شود.

• داده نور شب DMSP-OLS

این ماهواره اولین ماهواره نور شب می‌باشد که از زمین تصویربرداری کرده است. مطابق نگاره ۲ ماهواره نور شب از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳ با ۶ سنسور هر ۲۴ ساعت یک‌بار با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و قدرت رادیومتریکی ۶ بیتی در باند پانکروماتیک از سطح زمین تصویربرداری کرده است. همچنین دارای یک آرشیو ۲۰ ساله نیز هست، با وجود ویژگی‌های منحصربه‌فرد، این ماهواره دارای معایبی از جمله قدرت تفکیک مکانی پایین است که این ویژگی



نگاره ۲: ویژگی‌های تصاویر نور شب

و قادر به ضبط آن‌ها هستند. همچنین در پی پیشرفت‌های موجود در این ماهواره مشکلاتی مانند پدیده اشباع که در اثر محدوده دینامیکی پایین سنسور ایجاد می‌شود در تصاویر وجود ندارد. به علت ویژگی‌های منحصربه‌فرد این نوع از تصاویر، پتانسیل و قابلیت بالایی در زمینه‌های مختلف اعم از شهری (Wu et al., 2018)، اقتصادی (Zhao et al., 2017)، تخمین مصرف انرژی (Li et al., 2019) و ... دارند.

• تصویر لندست

تصاویر ماهواره‌ای لندست 5 TM، لندست 7 ETM+ و لندست 8 TIR از سایت (earthexplorer.usgs.gov) در تاریخ

• داده نور شب VIIRS

باند روز و شب^۱ (DNB) این مجموعه رادیومتری تصویربرداری مادون‌قرمز، داده‌های نوری در شب را جمع‌آوری می‌کند. مطابق نگاره ۲ این ماهواره از سال ۲۰۱۲ شروع به فعالیت کرده است و هر ۲۴ ساعت با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و قدرت رادیومتریکی ۱۴ بیتی در باند پانکروماتیک از سطح زمین تصویربرداری می‌کند (Zhao et al., 2019) دارای دو محصول به‌صورت سالانه و ماهانه می‌باشد. این ماهواره علاوه بر نورهای شدید به نورهای ضعیف منتشر یافته از سطح زمین نیز حساسیت نشان می‌دهد

1- Day and night band

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۵)

بررسی پویایی و گسترش مناطق شهری با استفاده از نمونه‌های آموزشی خودکار حاصل از ... / ۳۵

مربوط به فصل تابستان سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۳، ۲۰۱۰، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ اخذ شده است. سنسور لندست انعکاس سطحی تابش خورشیدی و تابش حرارتی را دریافت می‌کند. این تصاویر با طول موج‌های مختلف از مادون قرمز تا نور مرئی را پوشش می‌دهند؛ که در این تحقیق از باندهای چندطیفی تصاویر لندست با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، استفاده می‌شود.

ارزیابی و صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفته است داده جمعیت به دست آمده از سرشماری کشوری از درگاه ملی آمار می‌باشد.

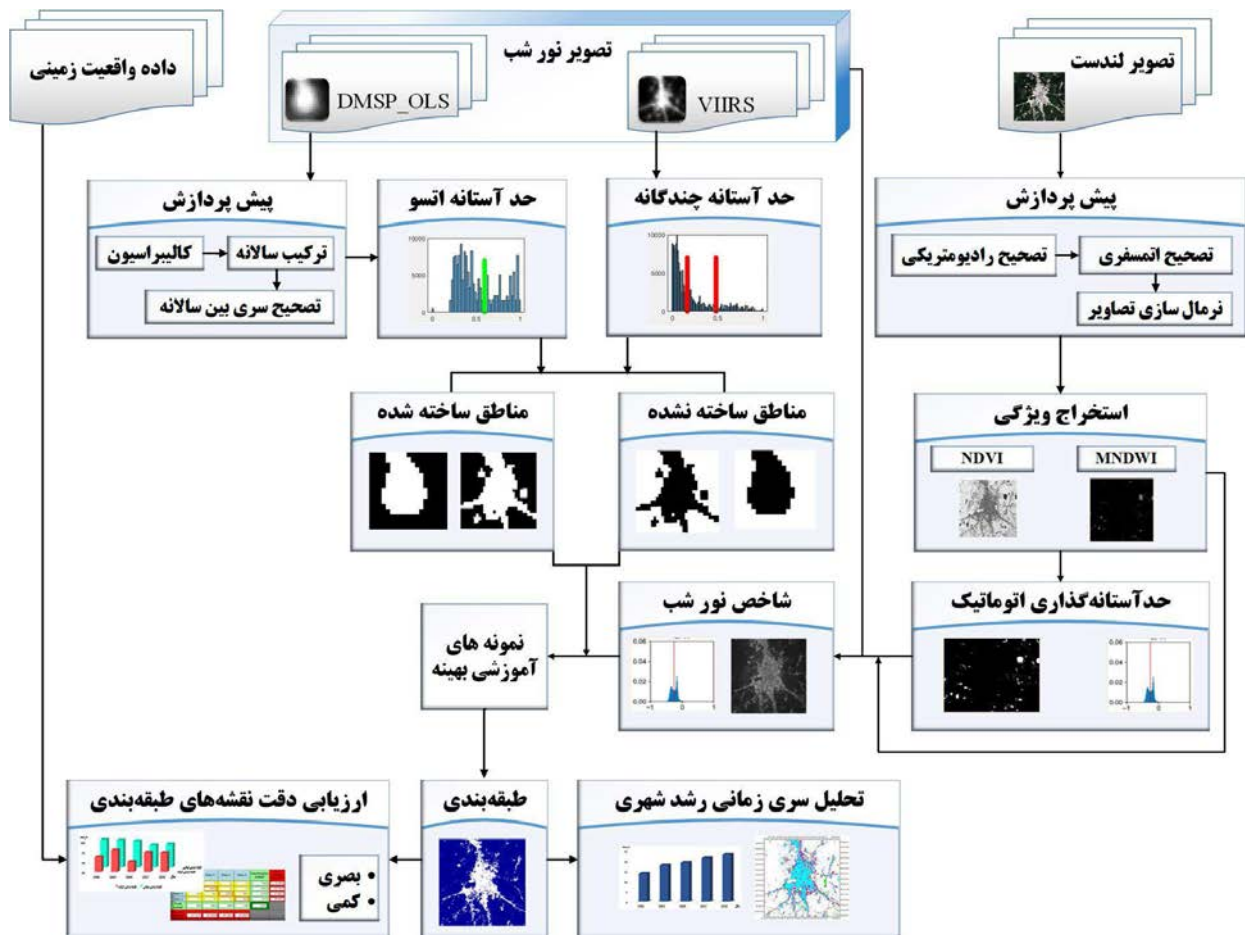
۳- روش پیشنهادی

رویکرد پیشنهادی در پژوهش حاضر مطابق نگاره ۳ شامل چهار گام اصلی پیش‌پردازش، استخراج ویژگی و تولید نمونه‌های آموزشی اولیه، انتخاب نمونه‌های آموزشی پالایش شده و در نهایت طبقه‌بندی و ارزیابی می‌باشد.

• داده واقعی زمینی

به منظور ارزیابی دقت و صحت سنجی روش اجرایی از داده واقعی زمینی به دست آمده از تصاویر با قدرت تفکیک بالای گوگل ارث که توسط کارشناس خبره تولید شده است استفاده می‌شود. همچنین داده دیگری که برای

۳-۱- گام اول: پیش پردازش
داده‌های مورد استفاده در این تحقیق محصول سالانه داده نور شب VIIRS، DMSP-OLS و تصاویر روز لندست



نگاره ۳: روند نمای کلی تحقیق

اخذ می‌کنند. هدف از ترکیب درون سالانه به دست آوردن یک تصویر واحد برای هر سال است که ویژگی‌های موجود در هر دو تصویر موجود را داشته باشد. به این صورت که مطابق رابطه ۱ پس از اجرای کالیبراسیون بین ماهواره‌ها در تصویر جدید پیکسل‌های ناپایدار از دو تصویر اولیه حذف شوند و باقی پیکسل‌ها با میانگین پیکسل‌های موجود در دو تصویر جایگزین شوند (Liu et al., 2012).

$$DN_{(n,t)} = \begin{cases} 0 \\ \frac{DN_{(n,t)}^a + DN_{(n,t)}^b}{2} \\ \left. \begin{array}{l} DN_{(n,t)}^a = 0 \text{ and } DN_{(n,t)}^b = 0 \\ \text{other} \end{array} \right\} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

DN مقدار پیکسل، t سال مورد نظر و a,b نشانگر دو تصویر موجود برای هر سال است.

• تصحیح سری بین سالانه

مقادیر DN در سال بالاتر نباید کمتر از آنچه در سال قبل در همان موقعیت مشاهده شده است باشد؛ زیرا اگر فرض بر این باشد که شهرها با گذشت زمان باید روشن‌تر شده باشند مقادیر پیکسل‌ها افزایش پیدا می‌کند؛ بنابراین، روش تصحیح سری بین سالانه مطابق رابطه ۲ برای کالیبره کردن سری‌های زمانی تصاویر نور شب استفاده شد (Liu et al., 2012).

$$DN_{(n,t)} = \begin{cases} 0 \\ DN_{(n,t-1)} \\ DN_{(n,t)} \end{cases} \quad \left. \begin{array}{l} DN_{(n,t+1)} = 0 \\ DN_{(n,t+1)} > 0 \text{ and } DN_{(n,t-1)} > DN_{(n,t)} \\ \text{other} \end{array} \right\} \quad \text{رابطه (۲)}$$

هستند. از آنجایی که از تصاویر سالانه ماهواره VIIRS استفاده شده است نیاز به پیش‌پردازش اولیه وجود ندارد؛ زیرا تنها شامل نورهای ثابت شهری است. داده‌های DMSP/OLS با استفاده از سنسورهای ماهواره‌ای مختلف جمع‌آوری شده است؛ بنابراین از آنجایی که تصاویر نور شب این ماهواره توسط شش ماهواره F10, F12, F14, F15, F16, F18 به مدت ۲۱ سال بدون کالیبراسیون در پردازنده به دست آمد، لازم است تصاویر نور شب برای بهبود قابلیت مقایسه و دقت داده‌ها، تصحیح شوند (Li et al., 2013). زیرا به علت استفاده از سنسورهای مختلف، ممکن است دو سنسور به طور همزمان در یک سال تصویربرداری کنند که انتظار می‌رود مقادیر به دست آمده از دو ماهواره در حال مأموریت از یک سال یکسان باشند؛ اما مقادیر پیکسل‌ها در دو تصویر اخذ شده با یکدیگر متفاوت هستند. بنابراین فرآیند پیش‌پردازش برای به دست آوردن یک سری زمانی پایدار و قابل مقایسه کمک زیادی می‌کند. در این مطالعه پیش‌پردازش شامل سه فرآیند کالیبراسیون بین داده‌ها، ترکیب درون سالانه و تصحیح سری بین سالانه است که در ادامه توضیح داده شده‌اند.

• کالیبراسیون بین داده‌ها

از آنجایی که تصاویر این ماهواره از ۶ سنسور مختلف به دست آمده است؛ در بعضی از سال‌ها، دو محصول سالانه از تصاویر نور شب وجود دارد که از دو سنسور متفاوت گرفته شده است و تفاوت آشکاری بین مجموع مقادیر پیکسل‌های دو تصویر موجود از یک سال وجود دارد. به منظور رفع این مشکل در تحقیق حاضر، از روش کالیبراسیون و ضرایب ارائه شده توسط الویج و همکارانش (Elvidge et al., 2009) استفاده شده است. پس از اتمام کار مقادیر DN که بیشتر از ۶۳ شدند برابر ۶۳ و مقادیر پیکسل‌هایی که کمتر از صفر شدند برابر صفر قرار داده شده است.

• ترکیب درون سالانه

از آنجایی که در یک سال دو سنسور مختلف تصویر را

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۷)

بررسی یوبایی و گسترش مناطق شهری با استفاده از نمونه‌های آموزشی خودکار حاصل از ... / ۳۷

(پایین) را می‌توان به‌عنوان شی طبقه‌بندی کرد و پیکسلی که در مقدار پایین‌تر (بالا‌تر) قرار دارد را می‌توان به‌عنوان پس‌زمینه طبقه‌بندی کرد. این تکنیک، یک تصویر در مقیاس خاکستری را به تصویر باینری تبدیل می‌کند (Kumar et al., 2016). روش‌های آستانه‌گذاری خودکار، بدون دخالت کاربر و با سرعت زیاد پردازش را انجام می‌دهد. معروف‌ترین روش برای آستانه‌گذاری سراسری، روش اتسو هست. در این روش از روی هیستوگرام تصویر یک سطح آستانه بهینه برای کل پیکسل‌های تصویر محاسبه می‌شود. یک آستانه بهینه با معیار متمایز انتخاب می‌شود، یعنی به‌گونه‌ای که تفکیک‌پذیری طبقات حاصل در سطوح خاکستری را به حداکثر برساند. این روش بسیار ساده است و فقط از گشتاورهای تجمعی مرتبه صفر و مرتبه اول هیستوگرام سطح خاکستری استفاده می‌کند و گسترش مستقیم به مسائل چند آستانه‌ای با توجه به معیاری که روش بر آن استوار است امکان‌پذیر است (Otsu, 1979). به همین منظور حد آستانه‌هایی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند حد آستانه اتسو و چندگانه می‌باشد. حد آستانه چندگانه از روش اتسو پیروی می‌کند ولی تفاوت آن با اتسو دو سطحی این است که می‌توان به آن تعداد حد آستانه‌ها را معرفی کرد و با آن یک تصویر را به چند تصویر باینری با بازه‌های متفاوت تقسیم نمود.

۳-۳- گام سوم: انتخاب نمونه‌های آموزشی پالایش شده

با توجه به‌وضوح مکانی نسبتاً کم داده‌های نور شب در مقایسه با تصاویر لندست، نمونه‌های آموزشی اولیه مربوط به کلاس مناطق ساخته‌شده که از داده‌های نور شب به‌دست آمده است هنوز شامل نمونه‌های مربوط به مناطق غیر ساخته‌شده مانند آب و پوشش گیاهی می‌باشد (Cao et al., 2009). از آنجایی که نمونه‌های آموزشی اولیه به‌صورت وسیعی انتخاب شده‌اند و این امر در فرآیند طبقه‌بندی باعث می‌شود تا مناطق ساخته‌شده زیادتر از حد واقعی خود به‌دست آیند، برای حل این پدیده سعی در تولید نمونه‌های

تصاویر لندست به تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری نیاز دارند. به همین منظور ابتدا تصحیح رادیومتریکی و سپس تصحیح اتمسفری FLAASH¹ انجام می‌شود (Felde et al., 2003). وقتی هدف استفاده از باندها و داده‌هایی با ماهیت متفاوت باشد لازم است جنس اعداد و دامنه مقادیرشان یکسان شود تا دقت کار افزایش پیدا کند. به همین علت تصاویر نور شب و لندست بین صفر تا یک نرمال‌سازی می‌شوند. پس از اتمام تصحیحات تصاویر نور شب با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و یک کیلومتر به ۳۰ متر لندست مجدداً نمونه‌برداری خواهد شد تا وارد فاز بعدی مطالعه شوند.

۳-۲- گام دوم: استخراج ویژگی و تولید نمونه آموزشی اولیه

در این تحقیق سعی بر این است که نمونه‌های آموزشی به‌صورت خودکار از روی تصاویر نور شب به‌دست بیایند. از آنجاکه داده‌های نور شب با فعالیت‌های انسانی در ارتباط هستند، مناطق ساخته‌شده معمولاً دارای ارزش نورهای شب بیشتر هستند در حالی که مناطق غیر ساخته‌شده دارای مقادیر کمتر یا صفر هستند (Bennett and Smith, 2017). به همین منظور ابتدا حد آستانه خودکار بر روی تصاویر نور شب اعمال می‌شود؛ این نمونه‌ها کل مناطقی که در تصویر ممکن است ساخته‌شده باشد مانند خیابان‌ها و جاده‌های اطراف شهر که روشن هستند را انتخاب می‌کند و طبقه‌بندی اولیه با این نمونه‌ها انجام می‌شود.

• آستانه‌گذاری خودکار

الگوریتم‌های زیادی وجود دارد که یک تصویر را بر اساس برخی ویژگی‌های تصویر مانند مقدار شدت پیکسل، رنگ، بافت و غیره به تعدادی مناطق مختلف تقسیم می‌کنند. یکی از راه‌های دستیابی به تقسیم‌بندی، انتخاب حد آستانه است. در این تکنیک یک مقدار آستانه معمولاً از روی هیستوگرام تصویر تعیین می‌شود، پیکسل در بالا

1- Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes

در تصاویر نور شب DMSP وجود دارد را تا حد زیادی کم کند. در واقع در شاخص VTNUI روابط بین ویژگی‌ها طوری نظم داده شده تا در هر دو نوع منطقه با توجه به تفاوت‌های اقلیمی که وجود دارد پاسخگو باشد. از طرفی شهر را از باقی مناطق متمایز کرده و آن را برجسته‌تر کند.

$$VTNUI = (1 - NDVI) \times (1 - LST) \times (NTL + LST - NDVI) \times \text{binary}(1 - MNDWI)$$

رابطه (۳)

که در آن NDVI شاخص مربوط به پوشش گیاهی، LST دمای سطح زمین، NTL داده نور شب و ترکیب باینری از شاخص آب (MNDWI) می‌باشد.

۳-۴- گام چهارم: طبقه‌بندی و ارزیابی دقت

به منظور طبقه‌بندی تصاویر، الگوریتم‌ها و مدل‌های بسیاری در تحقیقات یادگیری ماشین در دسترس است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که SVMها یک الگوریتم قوی برای طبقه‌بندی می‌باشند که ذاتاً باینری است و یک مرز واحد را بین دو کلاس مشخص می‌کند (Tamimi et al., 2017). به همین منظور در این تحقیق طبقه‌بندی بر روی ۶ باند چند طیفی تصاویر لندست و شاخص NDVI با استفاده از نمونه‌های آموزشی اولیه و پالایش شده اجرا می‌شود.

به منظور ارزیابی می‌توان ماتریس ابهام کلی تصویر را تشکیل داد و سپس بر اساس آن میزان دقت پارامترهای مختلف را به صورت درصد ارائه نمود. در نهایت با توجه به اطلاعات به دست آمده از این ماتریس خطاهای نادیده گرفتن، مشارکت و دقت‌های جامع بودن ضریب کاپا مطابق جدول ۱ محاسبه شده است. در ماتریس ابهام TP تعداد نقاطی است که در هر دو مجموعه داده‌ها برچسب توصیفی برای آن شناسایی شده است. TN تعداد نقاطی را مشخص می‌کند که در هر دو مورد شناسایی واقع نشده باشد. FP تعداد نقاط هستند که توسط سیستم به اشتباه شناسایی شده و FN تعداد نقاطی است که توسط سیستم به اشتباه مورد شناسایی واقع نشده است.

آموزشی با کیفیت می‌شود؛ بنابراین می‌توان با استفاده از شاخص نور شب ارائه شده که در ادامه معرفی شده است نمونه‌های اولیه را بهبود بخشید و نمونه‌های پالایش شده و با کیفیتی به دست آورد تا اگر در نمونه‌های آموزشی اولیه مربوط به مناطق ساخته شده پوششی مانند آب یا پوشش گیاهی و یا خاک وجود داشته باشد به این صورت حذف شده و نمونه‌های آموزشی اولیه اصلاح شوند. به همین منظور ابتدا با حد آستانه‌های خودکار سعی شده است از روی تصاویر تصحیح شده با شاخص نور شب، محدوده شهری را به دست آورد. در نهایت از ترکیب آن با نمونه اولیه نمونه‌های پالایش شده به دست خواهد آمد.

• شاخص نور شب VTNUI

تصاویر نور شب DMSP همواره دارای اشباع و شکوفایی هستند و این باعث می‌شود که نتوان به طور دقیق مناطق و محدوده شهری را از روی این تصاویر به دست آورد. این موضوع باعث می‌شود در محدوده‌ای که به عنوان شهر شناسایی می‌شود همواره پوشش‌های دیگری نیز علاوه بر پوشش‌های ساخته شده قرار دارد. به همین منظور در پژوهش حاضر شاخصی با نام شاخص شهری جدید پوشش گیاهی و دما نور شب (VTNUI) مطابق رابطه ۳ توسعه داده شده است. در این شاخص ما سعی کردیم تا با یکپارچه کردن دمای سطح زمین (LST) به دست آمده از باند حرارتی تصویر لندست و شاخص پوشش گیاهی NDVI به دست آمده از لندست شاخصی تولید کنیم که میزان اشباع و شکوفایی که در تصاویر نور شب وجود دارد را به حداقل برساند. شاخص پیشنهادی ما سعی می‌کند تا با در نظر گرفتن رابطه معکوسی که بین ویژگی‌های مناطق شهری و باقی مناطق مانند پوشش گیاهی و خاک در تصاویر LST و NDVI وجود دارد روندی را در پیش بگیرد که با ترکیب با داده نور شب که همواره در محیط و مناطق شهری دارای مقادیر بالاتری هستند در حین حفظ کردن ویژگی اصلی مناطق شهری در تصاویر نور شب، اشباع و شکوفایی که

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۹۸)

بررسی پویایی و گسترش مناطق شهری با استفاده از نمونه‌های آموزشی خودکار حاصل از ... / ۳۹

می‌کنند به یکدیگر نزدیک شدند که نشان‌دهنده موفقیت آمیز بودن کالیبراسیون می‌باشد. در ادامه پس از کالیبراسیون، با تصحیح درون سالانه بر روی تصاویر کالیبراسیون شده سعی شده است مطابق (نگاره ۴-ب) برای هر سال یک تصویر به‌دست آورد. در واقع برای هر سالی که دو ماهواره تصویربرداری انجام داده است و دو دسته داده وجود دارد، یک تصویر واحد به‌دست خواهد آمد که اطلاعات و مقادیر هر دو ماهواره در آن وجود دارد. سپس با تصحیح سری بین سالانه بر روی تصاویر به‌دست آمده از تصحیح درون سالانه در مرحله قبل یک سری زمانی پایدار از تصاویر به‌دست آمده است که مطابق (نگاره ۴-ج) روند تقریباً صعودی را نشان می‌دهند که مطابق با فرض اولیه این تصحیح می‌باشد که روشن‌تر شدن شهر در سال‌های بالاتر است.

۴-۲- تولید نمونه‌های آموزشی اولیه بر اساس حد آستانه

بر اساس توضیحات ارائه شده در بخش قبل پس از پیش‌پردازش، نمونه‌های آموزشی اولیه از روی تصاویر نور شب به‌دست می‌آیند. در این تحقیق از هیستوگرام تصویر برای حد آستانه‌گذاری استفاده می‌شود تا یک تصویر باینری به‌دست آید. با بررسی و ارزیابی‌های انجام شده نتایج به این صورت به‌دست آمد که برای تصاویر DMSP حد آستانه اتسو بهترین نتیجه و کارایی را ارائه می‌دهد؛ زیرا ماهیت این تصویر به این گونه است که همان‌طور که از (نگاره ۸- تصویر نور شب الف و ج) مشخص می‌باشد دارای پدیده اشباع در مرکز شهر و شکوفایی در حومه شهر است. به همین دلیل تعداد زیادی از پیکسل‌های این تصویر مقادیر غیر صفر را دارند که بیانگر منطقه روشن می‌باشد؛ این در حالی است که در واقعیت منطقه روشن محدوده بسیار کوچک‌تر را در برمی‌گیرد. به همین دلیل همان‌طور که از نگاره ۵ مشخص می‌باشد اگر از حد آستانه چندگانه استفاده شود نمونه‌های آموزشی اولیه مربوط به مناطق ساخته شده در سطح اول حد آستانه به‌صورت وسیع انتخاب می‌شود؛ زیرا تمام به پیکسل‌هایی که دچار شکوفایی شده و بدون آنکه در

جدول ۱: پارامترهای ماتریس ابهام

رابطه	فرمول	نام
رابطه ۴	$Omission = FN/(TP+FN)$	نادیده گرفتن
رابطه ۵	$Commission = FP/(TP+FP)$	خطای مشارکت
رابطه ۶	$Overall\ accuracy = (TP+TN)/(TP+FN+TN+FP)$	شاخص دقت کلی
رابطه ۷	$Quality = TP/(FN+TP+FP)$	شاخص کیفیت

در این مطالعه از دو روش برای ارزیابی نسبی نتایج حاصله از روش پیشنهادی استفاده شده است. یکی از روش‌هایی که به این منظور مورد استفاده قرار گرفته، اجرای طبقه‌بندی با نمونه‌های آموزشی است که به صورت دستی به‌دست آمده‌اند. روش دیگر استفاده از حد آستانه اتسو بر روی شاخص UI^1 برای استخراج مناطق ساخته شده و شهری می‌باشد. UI یک شاخص شهری است که از باندهای SWIR2 و NIR تصاویر چند طیفی استفاده می‌کند تا مناطق شهری و ساخته شده را از باقی مناطق جدا کند به همین دلیل در ارزیابی نسبی مورد استفاده قرار گرفته است.

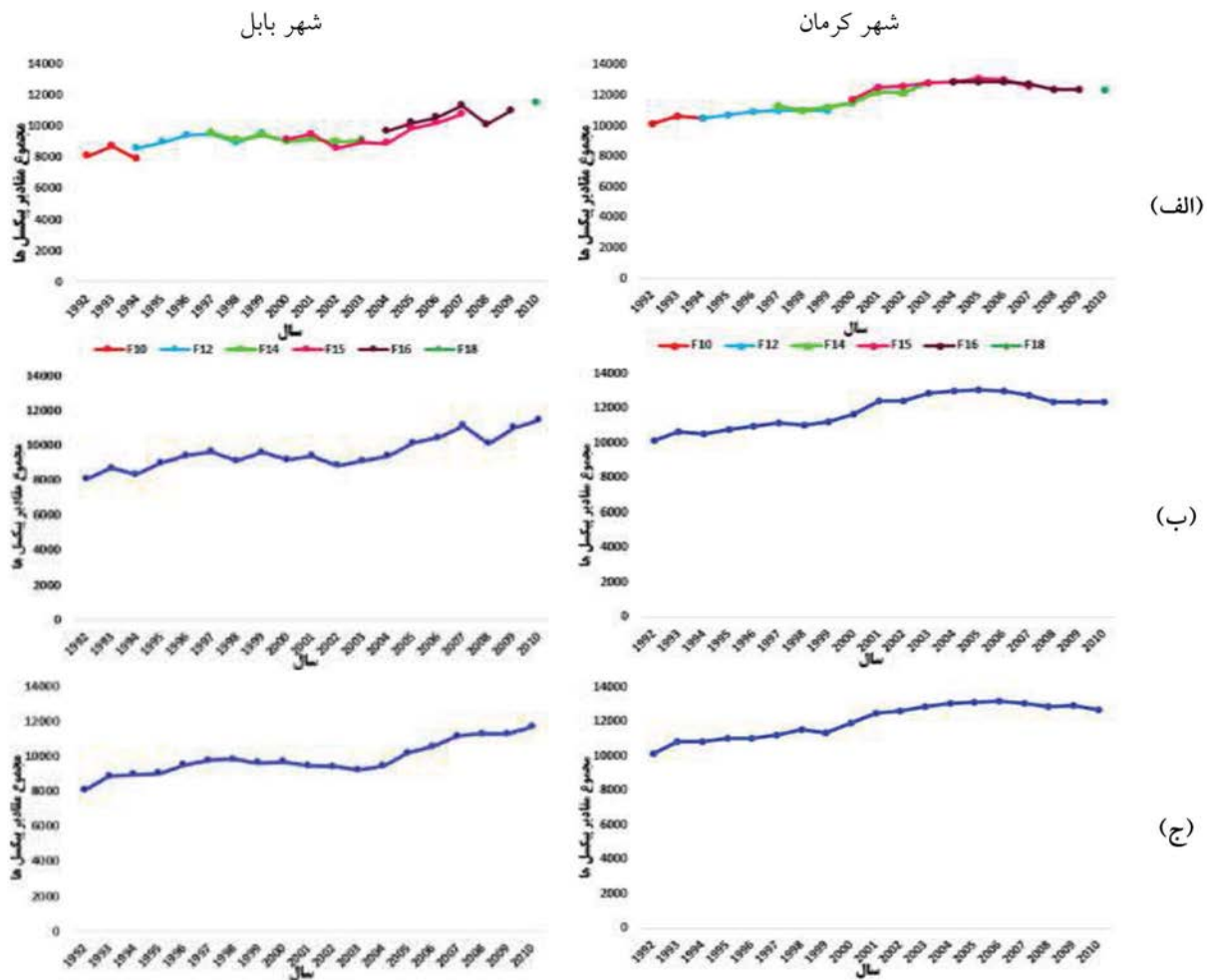
۴- پیاده‌سازی

در این بخش نتایج به‌دست آمده از روش پیشنهادی به‌صورت مطلق با داده واقعیت زمینی و به‌صورت نسبی با روش‌های دیگر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴-۱- تصحیح تصاویر نور شب DMSP

قبل از پیش‌پردازش تصاویر نور شب DMSP، مقادیر مربوط به مجموع پیکسل‌های دو ماهواره‌ای که در یک سال تصویربرداری می‌کنند با یکدیگر تفاوت داشتند. مطابق (نگاره ۴-الف) پس از کالیبراسیون، مجموع مقادیر پیکسل‌های دو ماهواره‌ای که در یک سال تصویربرداری

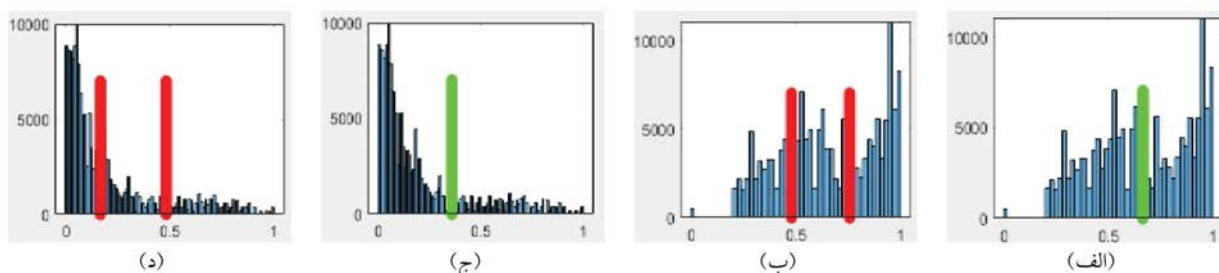
1- Urban index



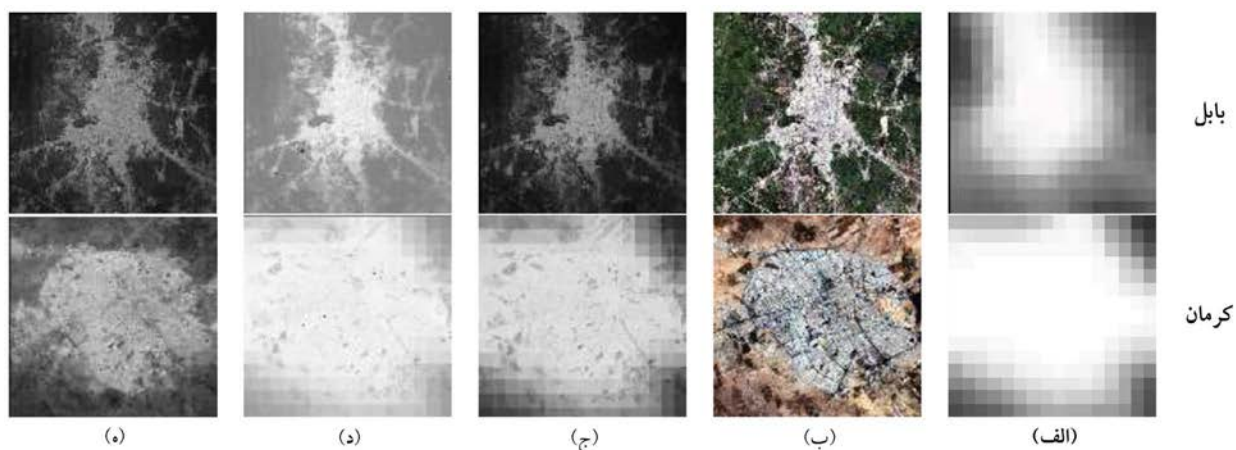
نگاره ۸: پیش‌پردازش تصاویر DMS-OLS (الف): کالیبراسیون بین داده‌ها (ب): ترکیب درون سالانه (ج): تصحیح بین سالانه

ندارد؛ یعنی مناطق هسته شهری مقادیر بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند و می‌توانند با دقت بیشتری نشان داده شوند. در صورت استفاده از حد آستانه اتسو مطابق نگاره ۵ باعث می‌شود تنها مقادیر خیلی روشن مربوط به مرکز شهر به‌عنوان نمونه آموزشی مناطق ساخته‌شده انتخاب شود و بقیه پیکسل‌ها به‌عنوان مناطق ساخته نشده انتخاب شود. در واقع تعدادی از پیکسل‌ها با مقادیر کمتر که پیکسل‌هایی روشن مربوط به جاده‌ها و مناطق ساخته‌شده اطراف شهر هستند به‌عنوان مناطق ساخته‌شده در نظر گرفته نمی‌شوند که البته در شهرهای مختلف ممکن است نوسان داشته باشد. به همین دلیل از حد آستانه چندگانه استفاده شده است که

واقعیت روشن باشند مقدار گرفته‌اند انتخاب می‌شود و در سطح دوم نمونه‌های آموزشی مناطق ساخته‌شده به‌صورت کم شناسایی می‌شوند؛ زیرا تنها مقادیری که مقدار خیلی بالایی دارند را انتخاب کرده است. این موضوع باعث کاهش دقت طبقه‌بندی می‌شود و حتی در صورت پالایش و بهبود نیز همچنان دچار مشکل هستند؛ بنابراین بهترین حد آستانه در این تصویر اتسو می‌باشد که می‌تواند یک تناسب را به وجود آورد. این در حالی است که در تصاویر VIIRS مطابق (نگاره ۸- تصویر نور شب ب و د) پدیده شکوفایی خیلی کم می‌باشد و از طرفی نیز به علت قدرت رادیومتریکی بالای این تصویر، پدیده اشباع نیز در آن وجود



نگاره ۵: نتایج حد آستانه‌ها برای تصاویر نور شب (الف): حد آستانه اتسو تصویر DMSPO-OLS (ب): حد آستانه چندگانه تصویر DMSPO-OLS (ج): حد آستانه اتسو تصویر VIIRS (د): حد آستانه چندگانه تصویر VIIRS



نگاره ۶: تصاویر اولیه و نتیجه‌ی شاخص ترکیبی (الف): تصویر نور شب، (ب): تصویر لندست، (ج): تصویر شاخص VANUI، (د): تصویر شاخص TVANUI، (ه): تصویر شاخص پیشنهادی

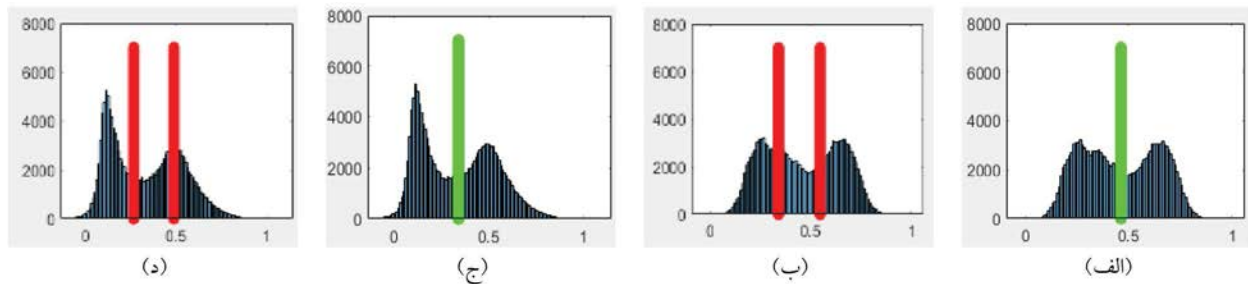
می‌تواند به‌طور متناسب پیکسل‌های بیشتری را به کلاس مناطق ساخته‌شده که شامل خیابان‌ها و حومه شهر می‌باشد اختصاص دهد.

۴-۳- شاخص VTNUI

شاخص توسعه داده شده در این پژوهش توانایی کاهش میزان اشباع و شکوفایی تصاویر نور شب DMSPO در مناطق با شرایط اقلیمی متفاوت را تا حد مطلوبی دارا است (نگاره ۶). یکی از ویژگی‌های بارز و اصلی شاخص پیشنهادی این است که علاوه بر مناطق مرطوب که اغلب دارای پوشش سرسبز در اطراف خود هستند در مناطق خشک و کویری نیز پاسخگو بوده و موفق عمل کرده است. این در حالی است که شاخص‌های پیشین VANUI^۱ (Zhang et al., 2013) و شاخص TVANUI^۲ (Zhang and Li, 2018) که به‌منظور تصحیح اشباع ارائه شدند مطابق (نگاره ۶-ج و د) در منطقه کرمان که شهری نیمه کویری و خشک است، نتوانسته‌اند موفق عمل کنند. در واقع شاخص پیشنهادی VTNUI به گونه‌ای توسعه داده شده و روابط مستقیم و معکوس بین ویژگی‌های مناطق مختلف طوری نظم داده شده است تا در هر دو نوع منطقه با توجه به تفاوت‌های اقلیمی که وجود دارد پاسخگو باشد؛ و توانسته است ویژگی‌های اصلی شهر در تصاویر نور شب را حفظ کرده و در عین حال اشباع و شکوفایی را نیز کاهش دهد. تصاویر VIIRS به علت عدم اشباع و شکوفایی خیلی جزئی نیاز زیادی به این شاخص برای تصحیح ندارد، اما برای تولید نمونه‌های آموزشی بهتر این شاخص بر روی این تصاویر نیز اعمال می‌شود.

2- Temperature and vegetation adjusted NTL urban index

1- Vegetation Adjusted NTL Urban Index



نگاره ۷: نتایج حد آستانه‌ها بر روی تصویر شاخص (الف): حد آستانه اتسو بر روی تصویر شاخص DMSP-OLS. (ب): حد آستانه چندگانه بر روی تصویر شاخص DMSP-OLS، (ج): حد آستانه اتسو بر روی تصویر شاخص VIIRS، (د): حد آستانه چندگانه بر روی تصویر شاخص VIIRS

دو شهر برای تولید نمونه آموزشی پالایش شده پاسخگو و موفق می‌باشند.

۵- نتایج و تحلیل

۵-۱- ارزیابی مطلق نتایج طبقه‌بندی اولیه و نهایی با داده واقعیت زمینی

ابتدا بر اساس نمونه‌های آموزشی اولیه، طبقه‌بندی اولیه‌ای صورت گرفت؛ که به علت کیفیت پایین نمونه‌های آموزشی اولیه، پیکسل‌های طبقه‌بندی شده مربوط به مناطق شهری و ساخته‌شده بیشتر از واقعیت به دست آمده است؛ زیرا در نمونه‌های اولیه به علت قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر نور شب وسعت نمونه‌های مربوط به مناطق ساخته شده زیاد تشخیص داده شد و به این ترتیب نمونه‌هایی در محدوده مشخص شده وجود دارند که مربوط به پوشش گیاهی، خاک و ... هستند. همین موضوع باعث کاهش دقت طبقه‌بندی اولیه شده است. به عنوان مثال در طبقه‌بندی اولیه به علت کیفیت پایین نمونه‌های آموزشی بخشی از زمین‌های زراعی شهر بابل که از سبزی‌نگی کمتری برخوردار هستند و یا پوشش‌های گیاهی موجود در محدوده شهر نیز به عنوان مناطق ساخته‌شده لحاظ می‌شوند. همچنین در شهر کرمان نیز این اتفاق به صورت محسوس‌تر بوده است؛ زیرا به علت شرایط اقلیمی منطقه اطراف شهر پوشیده از خاک است و از آنجایی که منطقه ساخته‌شده و خاک در باندهای طیفی اغلب رفتار یکسانی را از خود نشان می‌دهند در صورت

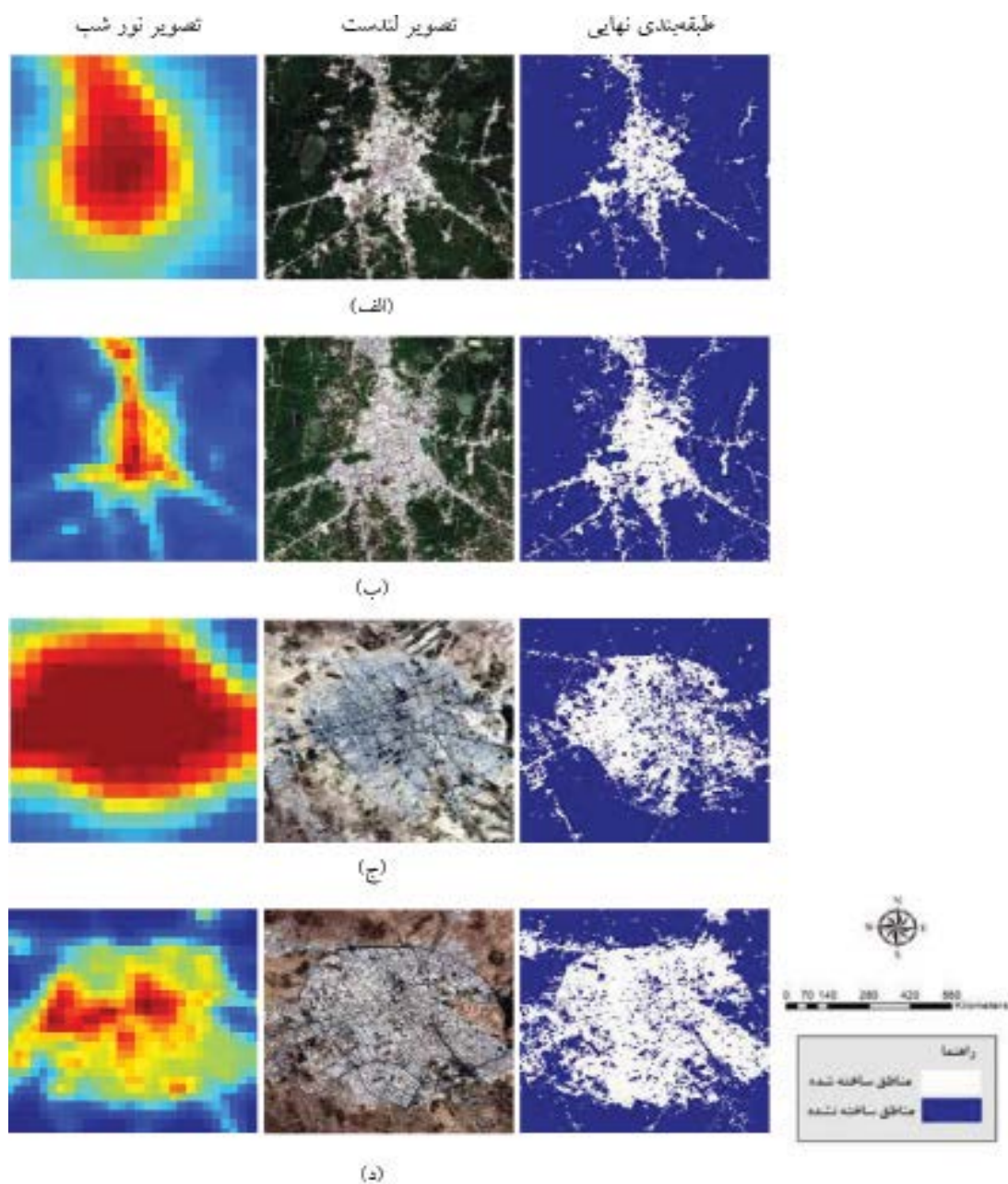
۴-۴- نمونه‌های آموزشی پالایش شده

پس از بررسی حد آستانه‌های مختلف بر روی تصاویر و تست طبقه‌بندی، نتایج به این صورت حاصل شد که در تصاویر نور شب DMSP زمانی که نمونه‌های آموزشی با کیفیت و بهبود یافته با استفاده از حد آستانه چندگانه مطابق (نگاره ۷-ب) به دست می‌آید دقت بیشتری در طبقه‌بندی هر دو منطقه حاصل شده است؛ و تأثیر تفاوت بین مقادیر حد آستانه در نتایج طبقه‌بندی مربوط به شهر کرمان محسوس‌تر بوده است. این در حالی است که اگرچه به علت قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر نور شب VIIRS نمونه‌های آموزشی اولیه مربوط به مناطق ساخته‌شده دارای کیفیت مناسب نیستند اما این تصویر دارای پدیده اشباع نیز نمی‌باشد و از شکوفایی به میزان خیلی کمتری رنج می‌برد. همین موضوع باعث شده است تا پس از اعمال شاخص موردنظر، برای تولید نمونه‌های آموزشی پالایش شده و با کیفیت نیز متفاوت از DMSP عمل کرده و در این تصویر (VIIRS) اعمال حد آستانه اتسو دارای دقت بیشتری است (نگاره ۷-ج) و در صورت استفاده از حد آستانه چندگانه در گام اول مقدار نمونه‌های آموزشی زیاد و در گام بعدی نمونه‌های آموزشی کم شناسایی شدند. این شرایط در شهرهای بابل و کرمان متغیر بوده است، اما در نهایت از آنجایی که هدف استفاده از یک روند کلی برای هر دو شهر بوده است نتایج اینگونه حاصل شد که حد آستانه چندگانه در DMSP و حد آستانه اتسو در VIIRS برای هر

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)

بررسی پویایی و گسترش مناطق شهری با استفاده از نمونه‌های آموزشی خودکار حاصل از ... / ۴۳

اشتباه در نمونه‌های آموزشی این دو منطقه در طبقه‌بندی از یکدیگر تفکیک نمی‌شوند؛ و یا منطقه ساخته‌شده به صورت خیلی زیاد شناسایی می‌شوند که به دور از واقعیت می‌باشد. از این‌رو طبقه‌بندی در مرحله بعد با استفاده از نمونه‌های آموزشی پالایش شده انجام می‌شود و نتایج طبقه‌بندی نهایی مطابق نگاره ۸ حاکی از آن است که مناطق ساخته‌شده در این حالت کمتر از حالت قبلی شده و در اصل به داده مرجع و واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد. به عبارتی زمانی که از نمونه‌های آموزشی پالایش شده استفاده شد مشکلات موجود و نامبرده شده در طبقه‌بندی اولیه به‌طور کامل حل



نگاره ۸: تصاویر اولیه و طبقه‌بندی (الف): شهر بابل سال ۱۹۹۶ (ب): شهر بابل سال ۲۰۲۰ (ج): شهر کرمان سال ۱۹۹۶ (د): شهر کرمان سال ۲۰۲۰

جدول ۲: نتایج طبقه‌بندی اولیه و طبقه‌بندی نهایی شهر بابل

معیار	روش	۱۹۹۶	۲۰۰۳	۲۰۰۹	۲۰۱۷	۲۰۲۰
طبقه‌بندی اولیه	ضریب کاپا	۷۳/۸۰	۸۶/۸۲	۷۳/۰۸	۸۵/۹۳	۰۰/۸۶
	دقت کلی	۹۲/۳۴	۹۵/۷۸	۹۰/۱۱	۹۴/۷۲	۹۴/۵۴
طبقه‌بندی نهایی	ضریب کاپا	۹۵/۵۹	۹۵/۳۶	۹۴/۳۹	۸۹/۲۱	۹۱/۰۳
	دقت کلی	۹۸/۹۶	۹۸/۶۳	۹۸/۲۷	۹۶/۲۲	۹۶/۷۳

جدول ۳: نتایج طبقه‌بندی اولیه و طبقه‌بندی نهایی شهر کرمان

معیار	روش	۱۹۹۶	۲۰۰۳	۲۰۱۰	۲۰۱۷	۲۰۲۰
طبقه‌بندی اولیه	ضریب کاپا	۳۳/۵۳	۰/۱۷	۱۱/۷۶	۷۴/۷۷	۶۹/۸۱
	دقت کلی	۶۲/۷۱	۴۲/۳۶	۵۱/۶۳	۸۷/۳۱	۸۴/۸۱
طبقه‌بندی نهایی	ضریب کاپا	۷۱/۲۸	۷۵/۸۶	۷۱/۱۰	۷۸/۷۵	۷۳/۵۳
	دقت کلی	۸۷/۶۷	۸۸/۴۱	۸۵/۹۳	۸۹/۳۸	۸۶/۷۸

شده و طبقه‌بندی با دقت خوب حاصل شد. با توجه به تعداد بالای تصاویر، فقط تصاویر سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۲۰ در ۸ نگاره ارائه شده‌اند. به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی کمی، پس از طبقه‌بندی، ماتریس ابهام مربوط به نقشه‌های طبقه‌بندی تولید شده و داده واقعیت شهر بابل و کرمان به ترتیب مطابق جدول ۲ و جدول ۳ به دست آمده است. همان‌طور که از نتایج مطابق نگاره ۹ پیدا است دقت طبقه‌بندی از جمله ضریب کاپا و دقت کلی برای هر دو منطقه مورد مطالعه در زمانی که نمونه‌های آموزشی پالایش



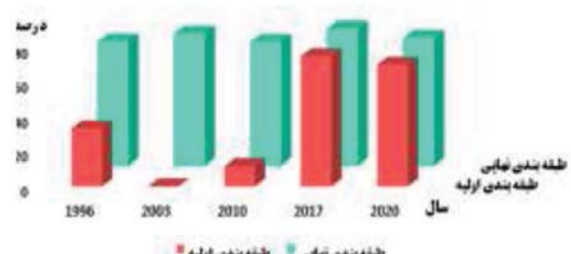
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

نگاره ۹: مقایسه نتایج طبقه‌بندی اولیه و نهایی (الف): مقایسه ضریب کاپا شهر بابل (ب) مقایسه دقت کلی شهر بابل (ج): مقایسه ضریب کاپا شهر کرمان (د): مقایسه دقت کلی شهر کرمان

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

بررسی پویایی و گسترش مناطق شهری با استفاده از نمونه‌های آموزشی خودکار حاصل از ... / ۴۵

انتخاب نمونه‌های آموزشی و همچنین تراکم نمونه‌های آموزشی باشد. نمونه‌های آموزشی دستی چون توسط عامل انسانی انتخاب می‌شوند منتخب و باکیفیت بوده اما از لحاظ تعداد محدود هستند؛ ولیکن نمونه‌های آموزشی اتوماتیک از لحاظ تراکم مقدار بیشتری دارند.

برای به دست آوردن دقت بالا در طبقه‌بندی، نمونه‌های آموزشی باید در سطح منطقه مورد مطالعه توزیع مناسب و یکنواختی داشته باشند که یک مسئله کلیدی در امر طبقه‌بندی است. در عین حال، کیفیت و تناسب نمونه‌های آموزشی نیز بسیار مهم است. نتایج به دست آمده از شاخص UI به طور کامل به ویژگی‌های بافتی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه وابسته است؛ زیرا برای شهر بابل مناطق ساخته شده را به درستی شناسایی کرده اما در شناسایی مناطق ساخته شده به مقدار کمتری اغراق داشته است. ولی در شهر کرمان قادر نبوده شهر را شناسایی کند و همواره خاک و شهر را به کلاس منطقه ساخته شده اختصاص داده است؛ و این علتی می‌شود برای اینکه نتوان از این روش در هر منطقه‌ای استفاده کرد. با این تفاسیر مطابق نگاره ۱۰ در هر دو منطقه مورد مطالعه روش پیشنهادی با دقت کلی و ضریب کاپا از دقت بالاتری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار است. این نشان‌دهنده موفقیت‌آمیز بودن و عمومیت این روش در کسب دقت بالا می‌باشد؛ زیرا در روش پیشنهادی نمونه‌های آموزشی به صورت متناسب در تمام تصویر انتخاب شده است. در واقع به دست آوردن نمونه‌های آموزشی با کیفیت، به دقت و کیفیت شاخص معرفی شده VTNUI و آستانه تطبیقی بستگی دارد و الگوریتم حد آستانه‌های مورد استفاده، توانسته‌اند به طور خودکار آب، پوشش گیاهی و خاک را از نمونه‌های منطقه ساخته شده جدا کرده و به منطقه ساخته نشده اختصاص دهند که در بهبود و پالایش نمونه‌های اولیه نقشی مؤثر را ایفا می‌کنند.

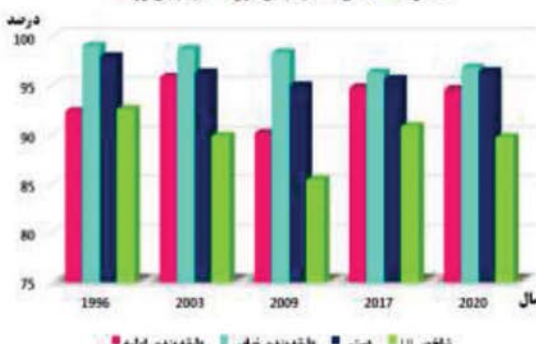
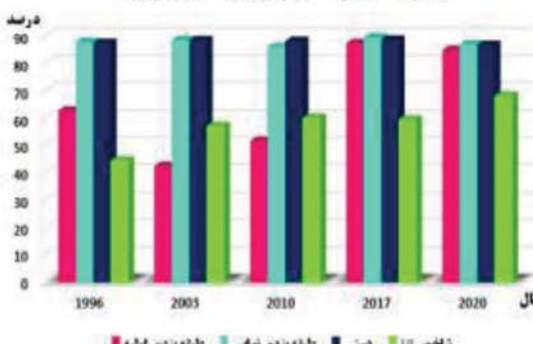
شده مورد استفاده قرار گرفت، افزایش پیدا کرده است. در واقع علت این اتفاق این است که وقتی از دو داده نور شب و لندست به طور ترکیبی استفاده می‌شود هر کدام بر محدودیت‌های یکدیگر غلبه می‌کنند و با توسعه شاخص نور شب توانسته‌اند با تصحیح اشباع و شکوفایی تصاویر نور شب، نمونه‌های آموزشی با کیفیتی به صورت خودکار تولید کنند که در روند طبقه‌بندی بسیار مؤثر بوده است. به همین دلیل این روش می‌تواند از مزایای داده لندست و نور شب به طور هم‌زمان استفاده کند تا مکمل یکدیگر باشند. این ترکیب باعث بهبود تصاویر نور شب و بهبود کیفیت نمونه‌های آموزشی می‌شود. همین موضوع باعث افزایش دقت تفکیک بین مناطق ساخته شده از ساخته نشده می‌شود و حتی مناطق ساخته شده کوچک موجود در اطراف شهر، راه‌ها و جاده‌ها نیز به خوبی شناسایی شده است. همچنین پس از پالایش و بهبود نمونه‌های آموزشی، پوشش گیاهی با وسعت کوچک مانند پارک‌ها و فضای سبز موجود در محدوده شهری نیز در طبقه‌بندی به خوبی شناسایی شده و از مناطق ساخته شده جدا شده‌اند.

۲-۵- ارزیابی نسبی روش پیشنهادی با نتایج به دست آمده از انواع نمونه‌های آموزشی

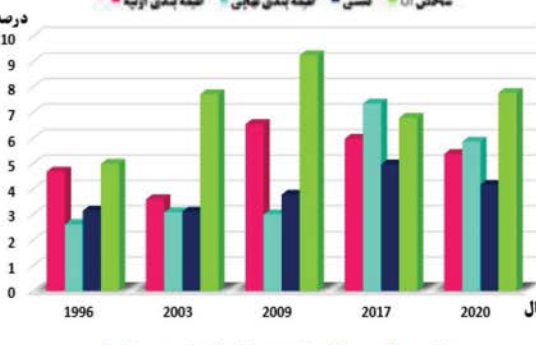
در ادامه به منظور مقایسه و ارزیابی نسبی دقت روش پیشنهادی با روش‌های دیگر برای ارائه یک ارزیابی بهتر و شفاف‌تر، نتایج این روش با حالت‌های دیگر مقایسه خواهد شد. به همین منظور طبقه‌بندی با نمونه‌های آموزشی به دست آمده توسط اپراتور از روی تصاویر گوگل ارث به صورت دستی اجرا می‌شود؛ همچنین یک روش استخراج مناطق ساخته شده با اجرای حد آستانه اتسو بر روی تصویر به دست آمده از شاخص UI اجرا شده است. نتایج حاکی از آن است که طبقه‌بندی توسط نمونه‌های دستی به روش پیشنهادی نزدیک‌تر و حتی بعضاً بهتر از طبقه‌بندی اولیه عمل کرده است، با این حال باز هم از طبقه‌بندی نهایی دقت کمتری را ارائه داده که علت آن می‌تواند ناشی از ذهنی بودن



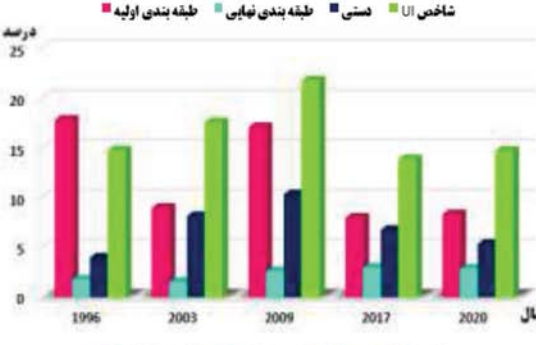
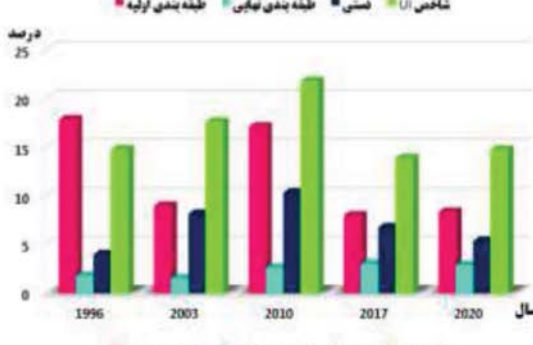
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

نگاره ۱۰: مقایسه نسبی روش‌ها با یکدیگر (الف) ضریب کاپا (ب): دقت کلی
 (ج): خطای مشارکت (د): خطای نادیده گرفتن

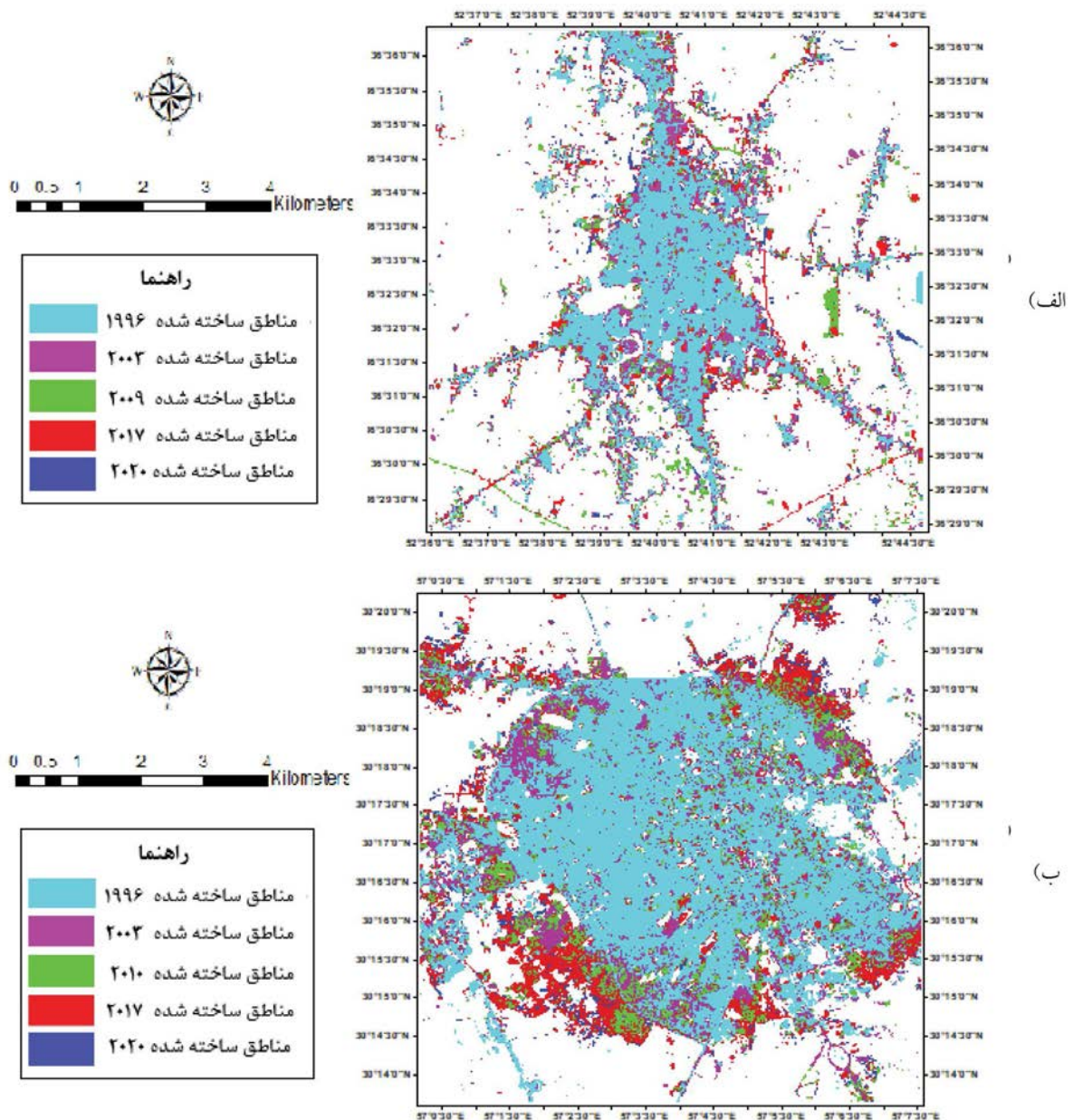
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()

بررسی پویایی و گسترش مناطق شهری با استفاده از نمونه‌های آموزشی خودکار حاصل از ... / ۴۷

۳-۵- روند رشد مناطق ساخته شده

بیشتر قابل توجه بوده است. مناطق با روند افزایشی قابل توجه عمدتاً در نواحی اطراف هسته شهر وجود داشته است و در شهر کرمان می‌توان دید که علاوه بر رشد در اطراف شهر رشد در داخل محدوده شهری نیز صورت گرفته است و مناطق زیادی در نواحی داخلی شهر به مناطق ساخته شده تغییر کاربری داده‌اند. مناطق ساخته شده توسعه یافته در

پس از اتمام طبقه‌بندی در سال‌های مختلف سعی شده است روند رشد و گسترش منطقه مورد بررسی قرار بگیرد. روند تغییر پیکسل‌های مربوط به مناطق ساخته شده مطابق نگاره ۱۱ برای هر دو منطقه مورد مطالعه روند رو به افزایشی را نشان می‌دهد؛ که این رشد در کلان شهر کرمان



نگاره ۱۱: سری زمانی گسترش و رشد مناطق شهری (الف): بابل، (ب): کرمان

و گسترش شهرها بود، ترجیحاً سال‌هایی برای بررسی در نظر گرفته شد که بازه بین آن‌ها طولانی‌تر باشد تا رشد و گسترش حتی در شهر کوچک‌تری مانند بابل به وضوح مشخص باشد. طبق بررسی‌های انجام شده بازه‌ها به صورت ۷ ساله انتخاب شدند که در نهایت با سال‌هایی که اطلاعات سرشماری وجود دارد تطابق دقیق ندارد. از این رو سعی شده است تا بهترین و نزدیک‌ترین تطابق از داده‌های سرشماری را با سال‌های مورد بررسی در این تحقیق انجام داد تا بتوان نتایج به دست آمده را به صورت نسبی بررسی کرد. به همین منظور نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۰، ۲۰۱۷ به ترتیب با داده‌های جمعیت مربوط به منطقه شهری بابل و کرمان در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ مقایسه شده است.

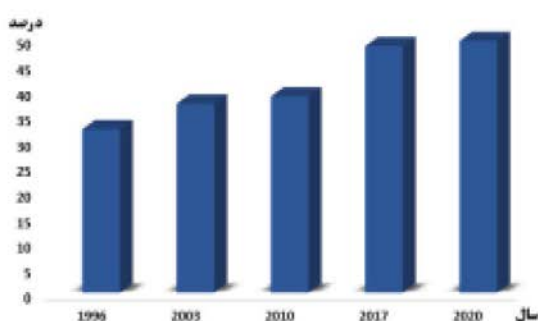
طبق نگاره ۱۳ جمعیت شهر بابل و کرمان در طی ۱۰ سال از ۸۵ تا ۹۵ همواره در حال افزایش بوده است و رشد مناطق شهری به دست آمده در این مطالعه می‌تواند به خوبی با رشد جمعیت مقایسه شود و ضریب همبستگی $R=0.99$ و $R=0.80$ به ترتیب برای بابل و کرمان مطابق نگاره ۱۴ نشان‌دهنده موفقیت‌آمیز بودن این روش است. اگرچه ضریب همبستگی برای شهر کرمان کمتر بوده که علت آن می‌تواند این باشد که سال‌های بررسی در این تحقیق با سال‌های سرشماری یکسان نیست و سعی شده است نزدیک‌ترین سال‌ها به یکدیگر را در نظر گرفت و

شهر بابل نشان می‌دهد علاوه بر اینکه مناطق ساخته شده به صورت حلقه‌ای در اطراف شهر در حال گسترش است روند افزایشی نیز در امتداد راه‌های اصلی مواصلاتی شهر داشته است، همچنین روند افزایشی برای مناطق کوچک پراکنده مانند مناطق روستایی در اطراف شهر با تراکم کم و متوسط در این منطقه مشاهده شد.

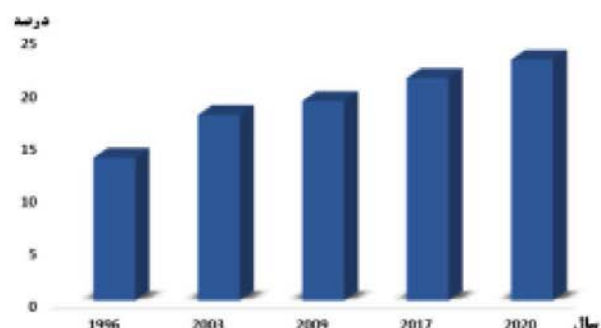
همچنین مطابق نگاره ۱۲ در سال ۱۹۹۶، به ترتیب در شهر بابل و کرمان ۱۳/۵۲ و ۳۲/۰۶ درصد از کل منطقه مورد مطالعه مربوط به مناطق ساخته شده و این در حالی است که در سال ۲۰۲۰ این مقدار به ترتیب به ۲۲/۷۸ و ۴۹/۰۸ درصد رسیده است که این امر نشان‌دهنده رشد مناطق ساخته شده می‌باشد. البته این مقدار علاوه بر منطقه و محدوده اصلی شهر شامل مناطق روستایی، شهرک‌های صنعتی به وجود آمده در اطراف شهر و همچنین جاده‌های اصلی احداث شده نیز می‌باشد؛ اما می‌توان رشد منطقه شهری را کاملاً از نتایج مشاهده نمود که نشان‌دهنده افزایش تقاضای شهرنشینی است.

۴-۵- ارزیابی نتایج رشد مناطق شهری با داده جمعیت

یکی از داده‌هایی که می‌توان از آن‌ها برای ارزیابی نتایج استفاده کرد داده‌های سرشماری نفوس و مسکن است. از آنجایی که سرشماری جمعیت در کشور ایران در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۸۵ صورت گرفته و هدف، بررسی رشد



(ب)

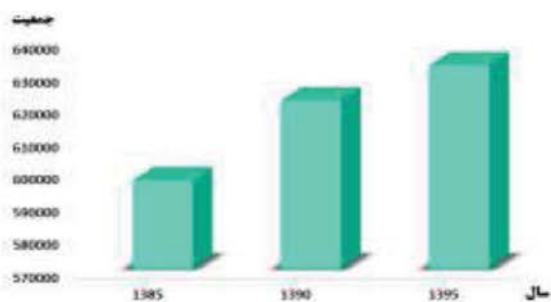


(الف)

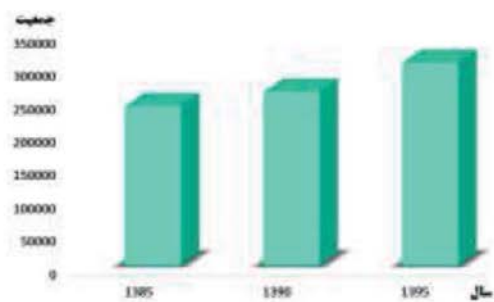
نگاره ۱۲: مقدار مناطق ساخته شده از کل منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ (الف): بابل (ب): کرمان

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مزمع)

بررسی پویایی و گسترش مناطق شهری با استفاده از نمونه‌های آموزشی خودکار حاصل از ... / ۴۹

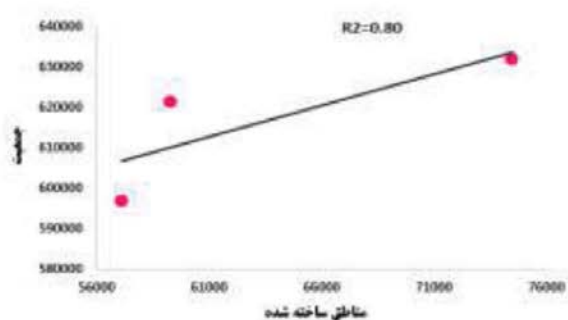


(ب)

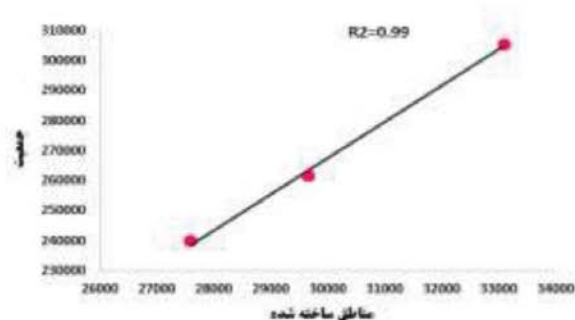


(الف)

نگاره ۱۳: مقدار جمعیت و رشد آن از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ (الف): بابل، (ب): کرمان



(ب)



(الف)

نگاره ۱۴: همبستگی بین مناطق ساخته شده و جمعیت (الف): بابل (ب): کرمان

زمینه تاریک اطراف آن دارند. از این رو سعی شده است با تلفیق ویژگی‌های تصاویر نور شب و تصاویر اپتیک رشد و گسترش شهری را با روش طبقه‌بندی به دست آورد. از طرفی مهم‌ترین چالشی که در مبحث طبقه‌بندی وجود دارد انتخاب نمونه‌های آموزشی می‌باشد؛ زیرا یک رکن اصلی و اساسی برای داشتن یک طبقه‌بندی مطمئن، نمونه‌های آموزشی هستند و در صورتی یک طبقه‌بندی معتبر و با ارزش خواهد بود که نمونه‌های آموزشی معرفی شده به آن دارای کیفیت، تناسب و تعادل بالا باشند. هدف حصول نمونه‌های آموزشی به صورت خودکار از روی این تصویر است؛ اما به دلیل اشباع و شکوفایی بالای تصاویر DMSP این نمونه‌ها دارای کیفیت بالایی نیستند. به همین علت برای حل این مشکل شاخص نور شبی توسعه داده شده است که با در نظر گرفتن رابطه بین ویژگی‌های شهر در

از آنجایی که کرمان یک کلان‌شهر به شمار می‌آید ممکن است تغییرات در این بین محسوس‌تر از بابل باشد و همین باعث شده است میزان همبستگی کمتر شود.

۶- نتیجه‌گیری

رشد مناطق شهری به خصوص در سال‌های اخیر روند رو به افزایشی را پیش گرفته است. به همین دلیل برنامه‌ریزی برای اجرای عملیات عمرانی و اجتماعی امری ضروری در مدیریت شهری محسوب می‌شود و قطعاً بدون استفاده از فناوری‌ها و علوم نوین این امر به سختی امکان‌پذیر است. یکی از تصاویری که در زمینه شناسایی مناطق شهری کاربرد و مؤثر می‌باشد، تصاویر نور شب است. این تصاویر با ویژگی‌های منحصر به فردی که دارند پتانسیل و توانایی بالایی را برای جدا کردن مناطق شهری از پس

۷- منابع و مآخذ

- 1- Alahmadi, M., Atkinson, P.M., 2019. Three-Fold Urban Expansion in Saudi Arabia from 1992 to 2013 Observed Using Calibrated DMSP-OLS Night-Time Lights Imagery. *Remote Sensing* 11, 2266.
- 2- Bennett, M.M., Smith, L.C., 2017. Advances in using multitemporal night-time lights satellite imagery to detect, estimate, and monitor socioeconomic dynamics. *Remote Sensing of Environment* 192, 176-197.
- 3- Bharath, H., Chandan, M., Vinay, S., Ramachandra, T., 2018. Modelling urban dynamics in rapidly urbanising Indian cities. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 21, 201-210.
- 4- Cao, X., Chen, J., Imura, H., Higashi, O., 2009. A SVM-based method to extract urban areas from DMSP-OLS and SPOT VGT data. *Remote Sensing of Environment* 113, 2205-2209.
- 5- de Pinho, C.M.D., Fonseca, L.M.G., Korting, T.S., De Almeida, C.M., Kux, H.J.H., 2012. Land-cover classification of an intra-urban environment using high-resolution images and object-based image analysis. *International Journal of Remote Sensing* 33, 5973-5995.
- 6- Elvidge, C.D., Ziskin, D., Baugh, K.E., Tuttle, B.T., Ghosh, T., Pack, D.W., Erwin, E.H., Zhizhin, M., 2009. A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data. *Energies* 2, 595-622.
- 7- Faisal, K., Shaker, A., Habbani, S., 2016. Modeling the relationship between the gross domestic product and built-up area using remote sensing and GIS data: A case study of seven major cities in Canada. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 5, 23.
- 8- Felde, G.W., Anderson, G.P., Cooley, T.W., Matthew, M.W., Berk, A., Lee, J., 2003. Analysis of Hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm, *IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No. 03CH37477)*. IEEE, pp. 90-92.
- 9- Guo, W., Lu, D., Wu, Y., Zhang, J., 2015. Mapping impervious surface distribution with integration of SNNP VIIRS-DNB and MODIS NDVI data. *Remote Sensing* 7,

تصاویر اپتیک و نور شب توانسته است مشکلات این داده را تا حد زیادی کاهش دهد.

به منظور ارزیابی دقیق و اعتبارسنجی در این پژوهش دو منطقه دارای اقلیم کاملاً متفاوت برای آزمایش نتایج انتخاب شد. نتایج حاصله نشان داد که شاخص پیشنهادی توانسته خطاهای داده نور شب را در دو منطقه مورد مطالعه با دو اقلیم متفاوت به حداقل برساند که نشان از انعطاف پذیری و اثربخشی آن دارد. از این طریق نمونه‌های آموزشی با کیفیت با حد آستانه خودکار از روی این شاخص به دست آمدند که در روند طبقه‌بندی نهایی بسیار مؤثر بودند. همچنین روش پیشنهادی توانسته گسترش مناطق ساخته شده شهری را با طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از نمونه‌های آموزشی پالایش شده و با کیفیت تولید شده توسط حد آستانه‌های خودکار از روی ترکیبی از تصاویر نور شب و لندست با در نظر گرفتن رابطه بین ویژگی‌های مختلف از تصاویر لندست و نور شب در یک بازه ۲۴ ساله از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ به دست آورد. در طبقه‌بندی اولیه برای شهر بابل و کرمان میانگین ضریب کاپا و دقت کلی برای کل سال‌ها به ترتیب ۰/۸۱، ۰/۳۸ و ۹۳/۴۹، ۶۵/۷۶ به دست آمده است. این در حالی است که در طبقه‌بندی نهایی برای بابل و کرمان میانگین ضریب کاپا ۰/۹۳ و ۰/۷۴ و میانگین دقت کلی ۹۷/۷۶ و ۸۷/۶۳ برای تمام سال‌های مورد بررسی به دست آمده است؛ که حاکی از افزایش دقت در هنگام استفاده از نمونه‌های آموزشی پالایش شده می‌باشد. در ادامه، نتایج بررسی سری زمانی رشد و گسترش مناطق شهری بیانگر این موضوع بوده است که اغلب گسترش شهرها در اطراف و حومه شهرها صورت می‌گیرد. ضرایب همبستگی بین نتایج طبقه‌بندی و داده‌های جمعیت برای شهر بابل و کرمان به ترتیب با مقادیر $R=0.99$ و $R=0.80$ نشان‌دهنده همبستگی نزدیک نتایج روش پیشنهادی با داده جمعیت است که بیانگر استحکام بالای این روش می‌باشد.

- evaluation of relative calibration methods for DMSP/OLS nighttime lights. *Remote Sensing of Environment* 195, 67-78.
- 21- Ramachandra, T., Bharath, H., Vinay, S., Joshi, N., Kumar, U., Rao, K.V., 2013. Modelling urban revolution in greater bangalore, India, 30th Annual In-House Symposium on Space Science and Technology, ISRO-IISc Space Technology Cell, Indian Institute of Science, Bangalore, pp. 7-8.
- 22- Tamimi, E., Ebadi, H., Kiani, A., 2017. Evaluation of different metaheuristic optimization algorithms in feature selection and parameter determination in SVM classification. *Arabian Journal of Geosciences* 10, 478.
- 23- Wang, J., Qiu, S., Du, J., Meng, S., Wang, C., Teng, F., Liu, Y., 2022. Spatial and Temporal Changes of Urban Built-Up Area in the Yellow River Basin from Nighttime Light Data. *Land* 11, 1067.
- 24- Wang, R., Wan, B., Guo, Q., Hu, M., Zhou, S., 2017. Mapping regional urban extent using NPP-VIIRS DNB and MODIS NDVI data. *Remote Sensing* 9, 862.
- 25- Wu, W., Zhao, H., Jiang, S., 2018. A Zipf's law-based method for mapping urban areas using NPP-VIIRS nighttime light data. *Remote Sensing* 10, 130.
- 26- Xue, X., Yu, Z., Zhu, S., Zheng, Q., Weston, M., Wang, K., Gan, M., Xu, H., 2018. Delineating urban boundaries using Landsat 8 multispectral data and VIIRS nighttime light data. *Remote Sensing* 10, 799.
- 27- Zhang, Q., Schaaf, C., Seto, K.C., 2013. The vegetation adjusted NTL urban index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity. *Remote Sensing of Environment* 129, 32-41.
- 28- Zhang, X., Li, P., 2018. A temperature and vegetation adjusted NTL urban index for urban area mapping and analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 135, 93-111.
- 29- Zhao, M., Cheng, W., Zhou, C., Li, M., Wang, N., Liu, Q., 2017. GDP spatialization and economic differences in South China based on NPP-VIIRS nighttime light imagery. *Remote Sensing* 9, 673.
- 30- Zhao, M., Zhou, Y., Li, X., Cao, W., He, C., Yu, B., Li, X., Elvidge, C.D., Cheng, W., Zhou, C., 2019. 12459-12477.
- 10- Huang, X., Schneider, A., Friedl, M.A., 2016. Mapping sub-pixel urban expansion in China using MODIS and DMSP/OLS nighttime lights. *Remote Sensing of Environment* 175, 92-108.
- 11- Jiang, S., Wei, G., Zhang, Z., Wang, Y., Xu, M., Wang, Q., Das, P., Liu, B., 2021. Detecting the Dynamics of Urban Growth in Africa Using DMSP/OLS Nighttime Light Data. *Land* 10, 13.
- 12- Kumar, V., Lal, T., Dhuliya, P., Pant, D., 2016. A study and comparison of different image segmentation algorithms, 2016 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication, & Automation (ICACCA)(Fall). IEEE, pp. 1-6.
- 13- Li, S., Cheng, L., Liu, X., Mao, J., Wu, J., Li, M., 2019. City type-oriented modeling electric power consumption in China using NPP-VIIRS nighttime stable light data. *Energy* 189, 116040.
- 14- Li, X., Chen, X., Zhao, Y., Xu, J., Chen, F., Li, H., 2013. Automatic intercalibration of night-time light imagery using robust regression. *Remote sensing letters* 4, 45-54.
- 15- Li, X., Zhou, Y., 2017. A stepwise calibration of global DMSP/OLS stable nighttime light data (1992–2013). *Remote Sensing* 9, 637.
- 16- Liu, X., de Sherbinin, A., Zhan, Y., 2019. Mapping urban extent at large spatial scales using machine learning methods with VIIRS Nighttime light and MODIS daytime NDVI data. *Remote Sensing* 11, 1247.
- 17- Liu, Z., He, C., Zhang, Q., Huang, Q., Yang, Y., 2012. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008. *Landscape and Urban Planning* 106, 62-72.
- 18- Lu, H., Zhang, M., Sun, W., Li, W., 2018. Expansion analysis of yangtze river delta urban agglomeration using dmsp/ols nighttime light imagery for 1993 to 2012. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7, 52.
- 19- Otsu, N., 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics* 9, 62-66.
- 20- Pandey, B., Zhang, Q., Seto, K.C., 2017. Comparative

Applications of satellite remote sensing of nighttime light observations: Advances, challenges, and perspectives. Remote Sensing 11, 1971.
31- Zou, Y., Peng, H., Liu, G., Yang, K., Xie, Y., Weng, Q., 2017. Monitoring urban clusters expansion in the middle reaches of the Yangtze River, China, using time-series nighttime light images. Remote Sensing 9, 1007.

COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)

