

Detecting Impervious Urban Surfaces using the Textural Properties of Radar Imagery

Marzieh Sohrabi Mofrad ¹, Masoud Bakhtyari Kia ^{2*}

1- Graduate Master of Remote Sensing and Geographic Information System, Faculty of Humanities, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2- Assistant Professor of Geography, Faculty of Humanities, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Abstract

Urban population growth and the continuous physical development of cities change the natural coverage of the earth and transform it into artificial cover and impervious surfaces. The dramatic increase of these surfaces yields negative consequences in many areas such as increasing surface runoff and flood risk, decreasing groundwater recharge, or intensifying the urban heat island effect. For these reasons, accurate estimation and monitoring of the trend of changes in these ranges is necessary. In this regard, remote sensing data are a cost-effective solution for the preparation and monitoring of impervious surfaces. The purpose of this study was to identify impervious urban surfaces using radar images. In the present study, the textural properties of the Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) were evaluated using maximum likelihood classification methods, artificial neural network, and support vector machine on Sentinel-1 radar image to determine impervious surfaces of Bandar Abbas city. The overall accuracy of 97.00%, 98.14%, 98.40% and Kappa coefficient of 0.95, 0.97, and 0.97, respectively, for maximum likelihood classification, artificial neural network, and support vector machine, indicated the appropriateness of the utilized methods for detecting impervious urban surfaces. For extracting urban surface information, spectral feature classification algorithms are mostly used. This causes a large amount of useful spatial information such as texture to be ignored in the classification images. Given that SAR images are sensitive to the geometrical properties of urban surfaces, impervious urban surfaces can be accurately detected by using textural properties of radar imagery, which has not been addressed so far.

Keywords: Impervious Surfaces, Textural Properties, Bandar Abbas, Radar Imagery, Sentinel.



فصلنامه علمی برنامه‌ریزی فضایی (مقاله پژوهشی)

سال دهم، شماره یکم، (پیاپی ۳۶)، بهار ۱۳۹۹

تاریخ وصول: ۹۸/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۲

صص: ۸۵-۱۰۴

آشکارسازی سطوح نفوذناپذیر شهری با استفاده از ویژگی‌های بافتی تصویر راداری

مرضیه سهرابی مفرد^۱، مسعود بختیاری کیا^{۲*}

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان،

بندرعباس، ایران

۲- استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

چکیده

طرح مسئله: رشد جمعیت شهری و توسعه فیزیکی مداوم شهرها باعث تغییر پوشش طبیعی زمین می‌شود و آن را به پوشش مصنوعی و سطوح نفوذناپذیر تبدیل می‌کند. افزایش چشمگیر این سطوح به پیامدهای منفی در بسیاری از حوزه‌ها می‌انجامد؛ از جمله افزایش رواناب سطحی و خطر سیل، کاهش میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی و تشدید اثر جزیره گرمایی. به این دلایل برآورد دقیق و پایش روند تغییرات این محدوده‌ها ضروری است. در این زمینه داده‌های سنجش از دور، یک راه‌حل مقرون به صرفه برای تهیه سطوح نفوذناپذیر و نظارت بر آنهاست.

هدف: هدف پژوهش حاضر، شناسایی سطوح نفوذناپذیر شهری با استفاده از تصاویر راداری است.

روش: در پژوهش پیش رو ویژگی‌های بافتی ماتریس هم‌رخداد سطوح خاکستری (GLCM) با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان روی تصویر راداری Sentinel-1 برای تعیین سطوح نفوذناپذیر شهر بندرعباس ارزیابی می‌شود.

نتایج: به‌منظور بررسی صحت پردازش‌های انجام شده با روش‌های به‌کاررفته، از روش‌های برآورد دقت کل و ضریب کاپا استفاده شد. صحت کلی ۹۷/۰، ۹۸/۱۴ و ۹۸/۴۰ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۵، ۰/۹۷ و ۰/۹۷ به ترتیب برای طبقه‌بندی بیشترین شباهت، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان به دست آمد که نشان‌دهنده مناسب بودن روش‌های استفاده‌شده برای آشکارسازی سطوح نفوذناپذیر شهری است.

نوآوری: برای استخراج اطلاعات سطوح شهری بیشتر از الگوریتم‌های طبقه‌بندی متداول ویژگی‌های طیفی بهره‌برده می‌شود. این مسئله باعث می‌شود حجم زیادی از اطلاعات فضایی مفید مانند بافت در طبقه‌بندی تصاویر نادیده گرفته شود. با توجه به اینکه تصاویر SAR به مشخصات هندسی سطوح شهری حساس‌اند، می‌توان با استفاده از ویژگی‌های بافتی تصاویر راداری، سطوح نفوذناپذیر شهری را با دقت مناسبی آشکارسازی کرد که تاکنون کمتر به آن توجه شده است.

واژه‌های کلیدی: سطوح نفوذناپذیر، ویژگی‌های بافتی، بندرعباس، تصاویر راداری، سنتینل.

مقدمه

گسترش شهر به‌مثابه یکی از ویژگی‌های اساسی شهرنشینی و شهرسازی از عوامل مهم تأثیرگذار بر اکوسیستم طبیعی شهری است. توسعه شهرها ناگزیر به ایجاد تغییرات در پوشش زمین نیاز دارد و نشان‌دهنده تبدیل سریع پوشش طبیعی به پوشش مصنوعی است (Kuang, 2012: 536).

سطوح نفوذناپذیر (ISA) به مواد مصنوعی و انسان‌ساختی اشاره دارند که به واسطه استفاده از آنها، آب در خاک نفوذ نمی‌کند و با فعالیت‌های انسانی نظیر ساخت و ساز، حمل‌ونقل و ساختمان مرتبط‌اند. این سطوح به دو دسته حمل‌ونقل و ساختمان‌ها تقسیم می‌شوند که از مواد رسوخ‌ناپذیر مانند آسفالت، بتن، آجر و سنگ ساخته شده‌اند (زائری و سفیانیان، ۱۳۹۱: ۶۵؛ Lu et al., 2011: 299).

سطوح نفوذناپذیر، بخش بسیار کوچکی از سطح کره زمین را اشغال کرده‌اند (Elvidge et al., 2007: 1963؛ Kuang et al., 2013: 1692؛ Schneider et al., 2010: 1733)؛ ولی همین بخش کوچک، مهم‌ترین کاربری سطح کره زمین محسوب می‌شود که به تغییرات اقلیمی محلی و اثرگذاری بر دیگر شرایط محیطی می‌انجامد. این عامل، شاخص جالب توجهی برای اندازه‌گیری کیفیت محیط زیست شهری و اکوسیستم‌های شهری است (2: 2016؛ Weng, 2012: 34؛ et al., Shao). برخلاف سطوح طبیعی زمین، سطوح نفوذناپذیر میزان آب، گرما، خاک و جریان مواد و انرژی را در شهرها تغییر می‌دهند و باعث ایجاد یک اکوسیستم ویژه شهری می‌شوند (Lepeska, 2016: 30؛ Sterling et al., 2013: 386؛ Yan et al., 2015: 1). به همین دلیل شناخت این پهنه‌ها برای برنامه‌ریزان و مدیران شهری یک نیاز ضروری است.

با توسعه تکنولوژی سنجش از دور فعال و غیرفعال، تصاویر سنجش از دور به یک ابزار سریع و مطمئن برای نظارت بر محیط‌های شهری تبدیل شده‌اند (Schneider, 2012: 690؛ Weng, 2012: 35). در زمینه تشخیص سطوح نفوذناپذیر شهری، تصاویر سنجش از دور با دقت مکانی کمتر از ۱۰ متر به‌مثابه متداول‌ترین ابزار شناخته شده‌اند (Lu et al., 2011: 299؛ Yang, 2017: 54 & He). با این دقت مکانی، سنجنده‌های نوری متفاوتی مانند IKONOS، Quick Bird و World View از دهه ۱۹۹۰ استفاده شد. به‌تازگی نیز سایت آژانس فضایی اروپا با ارسال سنجنده Sentinel-1، سنجنده راداری پیشرفته تا دقت حدود ۵ متر و با دسترسی آزاد به‌صورت رایگان، زمینه مطالعات مختلف از جمله آشکارسازی تغییرات و تعیین سطوح نفوذناپذیر شهری را میسر ساخته است.

پیشینه پژوهش

در دو دهه گذشته، پژوهشگران مختلف پژوهش‌های زیادی به‌منظور توسعه روش‌ها و تکنیک‌های لازم برای تشخیص و تعیین پراکندگی مکانی سطوح نفوذناپذیر و تعیین آثار منفی آن انجام داده‌اند.

ملک‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) بر سنجش کارایی ویژگی‌های بافتی GLCM^۱ (ماتریس هم‌رخداد سطوح خاکستری) در افزایش طبقه‌بندی تصاویر تک‌باند سنجنده ALI و ابرطیفی هایپریون در مناطق مسکونی و صنعتی

^۱ Impervious Surface Area

^۲ Grey Level Co-occurrence Matrix

جنوب شهر تهران با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان تمرکز کردند. نتایج نشان داد استفاده از ویژگی‌های بافتی^۱ در کنار ویژگی‌های طیفی^۲ تصاویر حاصل از ادغام، دقت طبقه‌بندی مناطق شهری را حدود ۵ درصد بهبود می‌بخشد. خصالی و همکاران (۱۳۹۲) استخراج عارضه راه را در شهر شیراز با استفاده از تصاویر TerraSAR-X و آیکونوس با اطلاعات بافت در الگوریتم شبکه عصبی مقایسه کردند. نتایج حاصل برای تصویر راداری و آیکونوس ۴۶/۱۰ و ۵۷/۷۲ درصد برای پارامتر RCC، ۴۶/۵۷ و ۹۳/۲۷ درصد برای پارامتر BCC و ۰/۶۱ و ۰/۳۱ درصد برای پارامتر RMSE به دست آمده است.

رضایی مطلق و همکاران (۱۳۹۱) تصاویر ماهواره آیکونوس را براساس تلفیق ویژگی بافتی با استفاده از شبکه عصبی MLP طبقه‌بندی کردند. نتایج نشان داد با ترکیب GLCM و ویژگی‌های فضایی الگوریتمی، ۹ درصد راندمان بهبود یافته است؛ نسبت به حالتی که فقط از ویژگی‌های فضایی استفاده می‌شود.

فو و شائو^۳ (۲۰۱۶) با استفاده از مقایسه دو الگوریتم SEaTH و CART و تصاویر GF-2 و Sentinel-1A، سطوح نفوذناپذیر شهری را در شهر ستان ووهان از توابع استان هوئی در چین استخراج کردند. نتایج نشان داد استخراج سطوح نفوذناپذیر با استفاده از ویژگی‌ها و آستانه در روش CART بیشتر از الگوریتم SEaTH است.

ژانگ و همکاران^۴ (۲۰۱۶) به بررسی تطبیقی استفاده ترکیبی از داده‌های نوری چند طیفی و داده SAR قطبش دوگانه برای نقشه‌برداری سطوح نفوذناپذیر شهری در منطقه دلتای رود پیل در جنوب شرقی چین واقع در مرز شنزن و هنگ‌کنگ اقدام کردند. آنها از داده‌های Terra SAR-X با تفکیک مکانی ۳ متر، ALOS PALSAR با تفکیک مکانی ۱۶ متر و داده‌های SPOT5 با تفکیک مکانی ۱۰ متر در نوامبر سال ۲۰۰۸ بهره بردند. نتایج نشان داد استفاده از داده SAR دو پلاریمتری در مقایسه با استفاده منفرد از داده‌های SPOT5 حدود ۳/۵ درصد دقت را بهبود می‌بخشد و نسبت به تک‌پلاریمتری SAR مفیدتر است.

شائو و همکاران^۵ (۲۰۱۶) در پژوهش خود به نقشه‌برداری سطح نفوذناپذیر با ترکیب اطلاعات نوری و SAR در سطح تصمیم‌گیری و روشی ابتکاری برای استخراج سطح نفوذناپذیر شهری با استفاده از تصاویر نوری Gao Fen (GF-1) و راداری Sentinel-1A اقدام کردند. دقت کلی به دست آمده برای استخراج سطوح نفوذناپذیر شهری در این پژوهش، ۹۵/۳۳ درصد بود.

لو و همکاران^۶ (۲۰۱۱) در چشم‌انداز شهر و روستا در آمازون برزیل با استفاده از ادغام داده‌های لندست TM و راداری (باند L ALOS PALSAR و C RADARSAT-2) از سطوح نفوذناپذیر نقشه‌برداری کردند. نتایج نشان داد ادغام تصاویر با تفکیک مکانی ۱۰ متر برای نقشه‌برداری سطوح نفوذناپذیر مناسب‌تر است. از سوی دیگر تفاوت معناداری بین باند L سنجنده PALSAR و باند C سنجنده RADARSAT در بهبود عملکرد نقشه‌برداری سطح

¹ Textural features

² Spectral features

³ Fu & Shao

⁴ Separability and Thresholds

⁵ Classification And Regression Tree

⁶ Zhang et al

⁷ Shao et al

⁸ Lu et al

نفوذناپذیر با قدرت تفکیک مکانی یکسان برای ادغام چند سنسوری با روش Wavelet وجود نداشت. به دلیل پیچیدگی‌های سطوح نفوذناپذیر از یک سو و محدودیت‌های داده‌های سنجش از دور از سوی دیگر، تعیین دقیق سطوح نفوذناپذیر همچنان به مثابه یک چالش مهم برای علم سنجش از دور مطرح است (Dengsheng et al., 2014: 94). هنوز معلوم نیست کدام روش برای چه نوع از داده‌های سنجش از دور یا برای کدام منطقه مطالعاتی مناسب است. بیشتر روش‌ها و مطالعات ارائه شده براساس استفاده از تصاویر چندطیفی نوری انجام شده است. این نوع تصاویر به دلیل تأثیرپذیرفتن از عوامل محیطی مانند دود، مه، ابر، ریزگردها و میزان نور خورشید (Pohl & Van Genderen, 1998: 824) و همچنین به علت وجود پوشش‌ها و کاربری‌های مختلف با اثر طیفی مشابه در شهر، برآورد دقیقی از سطوح نفوذناپذیر ارائه نمی‌کنند (برای نمونه آب و سایه‌ها با سطوح نفوذناپذیر تاریک اشتباه گرفته می‌شوند) (Weng et al., 2009: 4808; Wu, 2009: 2916); به همین دلایل به تازگی تصاویر راداری توجه پژوهشگران مختلف را جلب کرده است. این تصاویر ضمن اینکه توانایی اخذ در تمامی شرایط آب‌وهوایی را دارند، اطلاعاتی غنی از بافت و ساختار ارائه می‌دهند و علاوه بر این به مؤلفه‌های شکل، جهت، زبری و رطوبت نیز حساس هستند. همچنین این تصاویر به مشخصات هندسی سطوح زمین شهری حساس‌ترند و اطلاعات بافتی را برای توصیف سطوح نفوذناپذیر ارائه می‌دهند. به این منظور و با توجه به تغییرات کالبدی زیاد شهر بندرعباس، این شهر به مثابه منطقه مطالعاتی انتخاب شد.

بررسی آمارها نشان می‌دهد محدوده این شهر رشد ۱۲ برابری را در طول ۶۰ سال گذشته داشته است (Dadras et al., 2014: 2). همین رشد سریع باعث شده است بخش بزرگی از زمین‌های بایر، تپه‌ها، زمین‌های کشاورزی، مناطق ساحلی و روستاهای اطراف به سطوح نفوذناپذیر تبدیل شوند. با توجه به اینکه شناسایی این سطوح به کم کردن تأثیرات منفی آنها کمک می‌کند، در این پژوهش تلاش شده است به کمک تصویر راداری ماهواره Sentinel-1 و ویژگی‌های بافتی GLCM تصویر مدنظر و با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان برای تعیین سطوح نفوذناپذیر این شهر اقدام شود.

مبانی نظری پژوهش

بافت تصویر عبارت است از تکرار یک المان با الگویی خاص که این المان خود از تغییرات محلی مقادیر سطوح خاکستری پیکسل‌های تصویر تشکیل شده است. از جمله انواع بافت، بافت‌های خشن، ظریف، هموار، موج و خطی هستند. روش‌های توصیف بافت شامل روش‌های ساختاری و آماری است. به طور کلی هنگامی که المان‌ها (تکسل‌ها- Texel) به حد کافی بزرگ هستند و به راحتی از زمینه تفکیک و به صورت مجزا تقطیع و شرح داده می‌شوند (مانند بیشتر بافت‌های مصنوعی ساخته شده به دست انسان)، از روش‌های ارائه و توصیف ساختاری بافت همچون مفروش کردن و مدل گرامری بهره گرفته می‌شود؛ در غیر این صورت مانند بیشتر بافت‌های طبیعی باید از روش‌های توصیف و بررسی آماری بافت تصویر استفاده کرد؛ علاوه بر این روش‌های تحلیل آماری بافت کارایی، سادگی و محبوبیت بیشتری دارند.

بررسی آماری بافت به‌طور کلی در دو حوزه مکان و تبدیل، امکان پیاده‌سازی دارد. در بررسی آماری بافت، نحوه توزیع و ارتباط مکانی مقادیر سطوح خاکستری پیکسل‌های تصویر در سطح المان ارائه می‌شود (Anuradha & Sankaranarayanan, 2013: 458). بسته به تعداد پیکسل‌های به‌کارگیری شده برای تفسیر و توصیف بافت تصویر، روش‌های بررسی آماری به سه دسته مرتبه اول، مرتبه دوم و مراتب بالاتر تقسیم می‌شوند. شاخص‌های آماری مرتبه اول، برخلاف شاخص‌های آماری مرتبه دوم و مراتب بالاتر، بدون در نظر گرفتن ارتباط مکانی میان مقادیر سطوح خاکستری پیکسل‌های تصویر محاسبه و استخراج می‌شوند (Singh, 2016: 10).

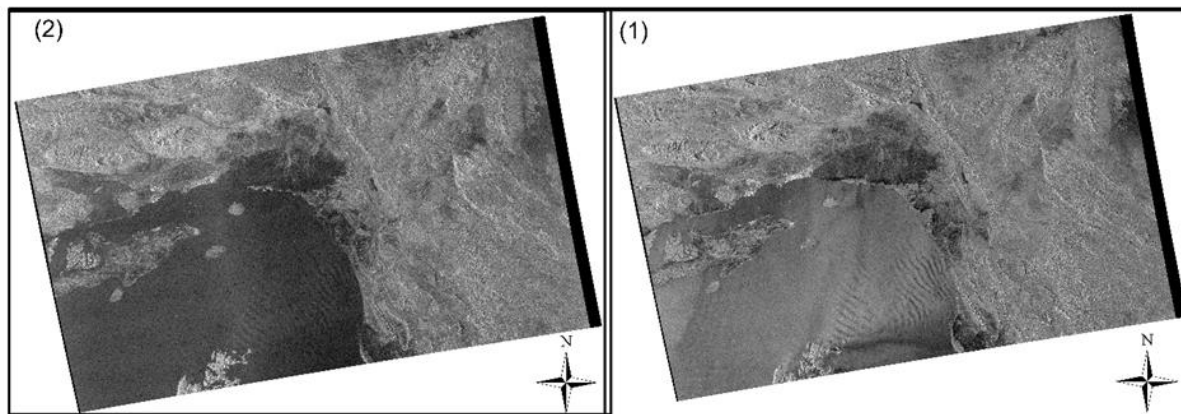
همان‌گونه که اشاره شد، بررسی بافت، یکی از رایج‌ترین روش‌های ایجاد توصیف‌گرهای عوارض سطحی در تصاویر رقومی است که به‌مثابه معیاری برای تمایز بین اشیای مختلف موجود در تصویر استنباط می‌شود. در اجرای روند بررسی بافت تصویر، روابط درجات خاکستری بین پیکسل بررسی و پیکسل‌های همسایه آن تجزیه و تحلیل می‌شوند و سپس یک یا چند معیار مشخص و تعریف‌شده از اطلاعات بافت برای آن منطقه محاسبه می‌شود. در این روش توزیع درجات خاکستری و موقعیت پیکسل‌ها نسبت به یکدیگر در نظر گرفته می‌شود. برای بیان موقعیت نسبی یک زوج پیکسل، دو پارامتر فاصله (d) و توجیه (ϕ) به کار می‌رود. پارامتر فاصله، اختلاف مکانی پیکسل‌های بررسی شده و پارامتر توجیه، جهت این اختلاف مکانی را نشان می‌دهد (خصالی، ۱۳۹۲: ۲۷).

روش‌شناسی پژوهش

داده‌های پژوهش

در این پژوهش از تصاویر راداری Sentinel-1 مربوط به تاریخ ۲۰ آوریل سال ۲۰۱۷ با پلاریزیشن VV و VH و در حالت^۱ IW با قدرت تفکیک ۲۰×۵ استفاده شد (شکل ۱). Sentinel-1، یک سنجنده راداری پیشرفته خورشیدآهنگ است که آژانس فضایی اروپا به فضا ارسال کرده است. به‌منظور بهبود توان تفکیک زمانی، دو ماهواره به نام Sentinel-1A و Sentinel-1B ساخته شده است که با فاصله ۱۸۰ درجه از یکدیگر قرار گرفته‌اند و به همین دلیل تصویربرداری از کل کره زمین را در هر ۶ روز امکان‌پذیر می‌سازند. سنجنده Sentinel-1A در ۳ آوریل سال ۲۰۱۴ و Sentinel-1B نیز در ۲۵ آوریل سال ۲۰۱۶ در مدار قرار گرفتند. این سنجنده در محدوده باند C و در تمام شرایط آب‌وهوایی تصویربرداری می‌کند و توان برداشت چهار حالت تصویربرداری (EM، IW، EW و WV) را با قدرت تفکیک مکانی مختلف (تا ۵ متر) و پهنای برداشت تا ۴۰۰ کیلومتر دارد (جدول ۱).

^۱ Interferometric Wide Swath



شکل - ۱: تصاویر راداری Sentinel-1 استفاده شده در این پژوهش، (۱) پلاریزیشن VV؛ (۲) پلاریزیشن VH

جدول - ۱: مدل‌های مختلف برداشت تصاویر Sentinel 1 (منبع: Sentinel-1 User Handbook, 2013: 34)

نوع تصویر	کاربرد	عرض برداشت	پولاریزیشن	قدرت تفکیک
SM ^۱	مدیریت شرایط اضطراری	80 KM	HH+HV, VH+VV, HH, VV	5×5
IW ^۲	بازبینی زمینی	250 KM	HH+HV, VH+VV, HH, VV	20×5
EW ^۳	کاربردهای دریایی	400 KM	HH+HV, VH+VV, HH, VV	20×40
WV ^۴	اقیانوس‌های آزاد	20×20 KM	HH, VV	5×5

مراحل انجام پژوهش

روند کلی مراحل کار در شکل (۲) نشان داده شده است. برای برآورد سطوح نفوذناپذیر شهری، نخست تصحیحات برش‌زدن، کالیبرا سیون، پردازش چند منظره، فیلترگذاری و تصحیح هندسی روی تصویر انجام شد. سپس ویژگی بافتی با استفاده از روش GLCM استخراج شد. در مرحله بعد با استفاده از Layer stacking، ویژگی‌های بافتی شامل میانگین و واریانس در پلاریزیشن VV و میانگین، واریانس و نبود تشابه در پلاریزیشن VH با هم در یک دسته قرار گرفتند تا پردازش‌های بعدی روی مجموعه ویژگی‌های مدنظر انجام شود. سپس با استفاده از سه روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان، سطوح نفوذناپذیر شهری استخراج شدند. در پایان صحت نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از ضریب کاپا و دقت کلی سنجیده شد.

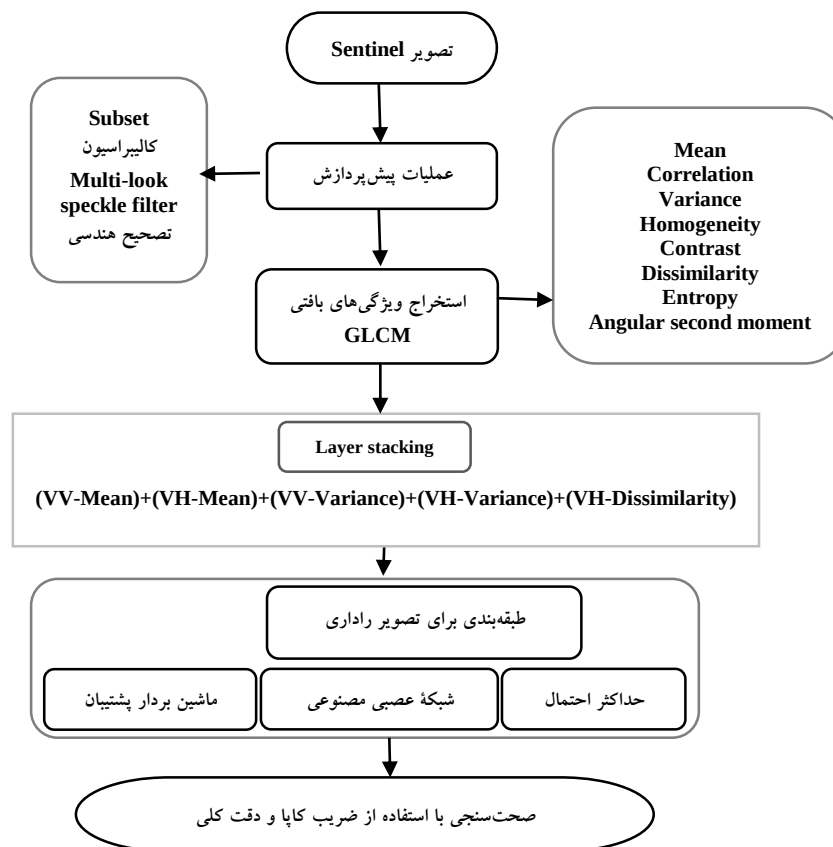
¹ Strip Map

² Interferometric Wide Swath

³ Extra – Wide Swath

⁴ Wave

⁵ Multi-look



شکل - ۲: مراحل کلی کار برای استخراج سطوح نفوذناپذیر شهری با استفاده از تصویر راداری

روش پژوهش

در این پژوهش به منظور تهیه سطوح نفوذناپذیر، از ماتریس هم‌وقوع درجات خاکستری (GLCM) استفاده شد که یکی از روش‌های متداول برای استخراج پارامترهای بافت در تصاویر سنجش از دور است (Haralick & Shanmugam, 1973: 611; Anys & He, 1995: 1171; Dabbiru et al., 2017: 2). این تکنیک از کارآمدترین تکنیک‌های استخراج بافت از تصاویر سنجش از دور است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۳) که نخستین بار هارلیک آن را معرفی کرد. او از این ماتریس در سال ۱۹۷۳ برای طبقه‌بندی تصاویر اپتیکی استفاده کرد و توانست با استخراج ۱۴ ویژگی بافت، نتایج طبقه‌بندی بهتری را ایجاد کند (سعیدزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۲). برای تعریف این ماتریس فرض می‌شود $\{I(x,y), 0 \leq x \leq N-1, 0 \leq y \leq N-1\}$ معرف یک تصویر با ابعاد و درجات خاکستری است (قنادی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۲). این ماتریس شامل $G \times G$ درایه و هر درایه آن برابر با P_d است. d بردار جابه‌جایی و برابر با (dx, dy) است.

$P_d(i, j)$ نیز برابر است با تعداد تکرار جفت درجه خاکستری i و j که به فاصله d از یکدیگر قرار گرفته‌اند (سعیدزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۴). ماتریس رخداد توأم درجات خاکستری به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$p_d(i,j)=|\{(r,s), (t,v)): I(r,s)=i, I(t,v)=j\}| \quad (1)$$

¹ Haralick

ورودی (i, j) ماتریس بیان‌کننده تعداد رخداد زوج‌های درجات خاکستری است که در فاصله d از هم قرار گرفته‌اند. در این تعریف $(t, v) \in N \times N, (t, v) = (r + dx, s + dy)$ و $|0|$ برابر با تعداد عضوهای مجموعه است (قنادی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۲). این ماتریس هم برای کل تصویر و هم برای ناحیه خاصی از آن محاسبه می‌شود. به منظور استخراج ویژگی‌های بافت باید به هر پیکسل یک عدد نسبت داد؛ بنابراین نخست روی هر پیکسل پنجره‌ای با ابعاد فرد (5×5) قرار داده شده است و در این پنجره ماتریس محاسبه می‌شود. با استفاده از این ماتریس امکان استخراج تعداد زیادی از ویژگی‌های بافت با استفاده از روابط آماری وجود دارد که هر ویژگی یک عدد را به هر پیکسل اختصاص می‌دهد (سعیدزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۴). ویژگی‌های چندبافتی که از ماتریس GLCM به دست آورده می‌شود شامل زاویه تماس لحظه‌ای، کنتراست، همبستگی، آنترپی، واریانس، لحظه تفاوت معکوس، تفاوت متوسط، تفاوت واریانس، تفاوت آنترپی، مجموع متوسط، مجموع واریانس و مجموع آنترپی است (SNAP. Help)؛ (جدول ۲).

جدول ۲- ویژگی‌های بافت ماتریس هم‌وقوع درجات خاکستری (GLCM)

(منبع: Shao et al., 2016: 6؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۳)

توصیف	معادله	بافت
میانگین، متوسط ارزش در روزنه محلی است. در اینجا میانگین برابر با میانگین ساده درجات خاکستری نیست.	$\mu_i = \sum_{j=0}^{N-1} (p_{ij})i$ $\mu_j = \sum_{i=0}^{N-1} (p_{ij})j$	میانگین (Mean)
همبستگی، اندازه‌گیری وابستگی خطی سطح خاکستری در تصویر است. σ_i^2 و σ_j^2 واریانس ارزش‌ها در روزنه محلی هستند.	$\sum_{i,j=0}^{N-1} \left[\frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)}{\sqrt{(\sigma_i^2)(\sigma_j^2)}} \right]$	همبستگی (correlation)
واریانس در روزنه محلی است.	$\sigma_i^2 = \sum_{j=0}^{N-1} (p_{ij})(i - \mu_j)^2$ $\sigma_j^2 = \sum_{i=0}^{N-1} (p_{ij})(i - \mu_j)^2$	واریانس (variance)
همگنی، صافی از بافت تصویر است. یکنواختی محلی یک جفت پیکسل را اندازه‌گیری می‌کند. برای تصاویری با بخش‌های همگن بزرگ، این معیار بالاتر خواهد بود.	$\sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{p_{ij}}{1 + (i - j)^2}$	همگنی (homogeneity)
کنتراست، اندازه‌گیری تغییرات در GLCM است.	$\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{ij}(i - j)^2$	کنتراست (contrast)
شباهت زیادی به کنتراست دارد؛ با این تفاوت که وزنی برابر با تفاوت درجات خاکستری به ماتریس داده می‌شود؛ در حالی که در کنتراست توان دوم اختلاف به‌مثابه وزن استفاده می‌شود.	$\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{ij} i - j $	نبود تشابه (dissimilarity)
آنترپی، معیاری از درجه آشفتگی در یک تصویر است.	$\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{ij} (-\ln p_{ij})$	آنترپی (entropy)
ASM، یک اندازه‌گیری از یکنواختی بافت است. معیاری برای اندازه‌گیری نرمی است. تعداد جفت پیکسل‌های تکراری را نشان می‌دهد. در حالت یکنواختی کامل، مقدار آن یک و در صورت یکنواخت نبودن کامل، بسیار نزدیک به صفر است.	$\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{ij}^2$	زاویه تماس لحظه‌ای (angular second moment)
i شماره ستون، j شماره ردیف، pij ارزش در ماتریس سلول i و j، N تعداد ردیف‌ها و ستون‌ها و برابر با تعداد سطوح خاکستری است. پیکسل در روزنه محلی شاخصی از صفر است.		

پس از محاسبه ویژگی‌های بافتی به منظور آشکارسازی سطوح نفوذناپذیر از روش پارامتریک بیشترین شباهت^۱ و روش‌های ناپارامتریک شبکه عصبی مصنوعی^۲ و ماشین بردار پشتیبان^۳ برای طبقه‌بندی تصویر استفاده شد و چهار کلاس شامل سطوح نفوذناپذیر با آلودگی بالا (IS-H)، سطوح نفوذناپذیر با آلودگی پایین (IS-L)، سطوح نفوذناپذیر با آلودگی بالا (NIS-H) و سطوح نفوذناپذیر با آلودگی پایین (NIS-L) برای هر یک تعیین شد. سپس نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی‌ها با روش‌های دقت کلی (OA)^۴ و ضریب کاپا (K)^۵ ارزیابی شدند. برای این کار از تصویر Google Earth (مربوط به تاریخ 20/04/2017) استفاده و نمونه‌های لازم به تفکیک طبقات به شرح جدول (۳) گردآوری شدند.

جدول - ۳: تعداد نمونه‌های استفاده شده برای صحت‌سنجی نقشه‌ها

طبقه	آموزشی	صحت‌سنجی
IS-H	۴۵	۴۰
IS-L	۳۰	۲۶
NIS-L	۵۰	۴۵
NIS-H	۳۰	۲۹

منطقه پژوهش

شهر بندرعباس به مثابه مرکز شهرستان بندرعباس بین مختصات جغرافیایی ۲۷ درجه، ۱۷ دقیقه، ۳۰ ثانیه و ۲۷ درجه، ۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه، ۲۲ دقیقه و ۵۶ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی واقع شده است. بندرعباس، یکی از شهرهای بزرگ ایران و مرکز مهم فعالیت‌های اقتصادی و تجاری است. این شهر که در قسمت انتهایی خلیج فارس و در فصل مشترک شاهراه خلیج فارس و دریای عمان واقع شده است، نقش مهمی در زمینه صادرات و واردات کشور ایفا می‌کند. افزایش جمعیت در کنار توسعه کالبدی شهر از وجوه بارز این شهر و به‌ویژه پس از افزایش قیمت نفت در دهه ۷۰ میلادی به شمار می‌رود. رشد طبیعی جمعیت از یک سو و افزایش میزان جمعیت مهاجر در ۵۰ سال گذشته از سوی دیگر باعث شده است این شهر به بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهر ساحلی جنوب کشور تبدیل شود. با توجه به رشد شهری و به دنبال آن گسترش سطوح نفوذناپذیر شهری و اهمیت این سطوح در مسائل زیست‌محیطی، ضرورت مطالعه سطوح نفوذناپذیر شهری احساس می‌شود. به منظور شناسایی این پهنه‌ها با پردازش تصاویر، تمامی محدوده شهر به مثابه محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شده است (شکل ۳).

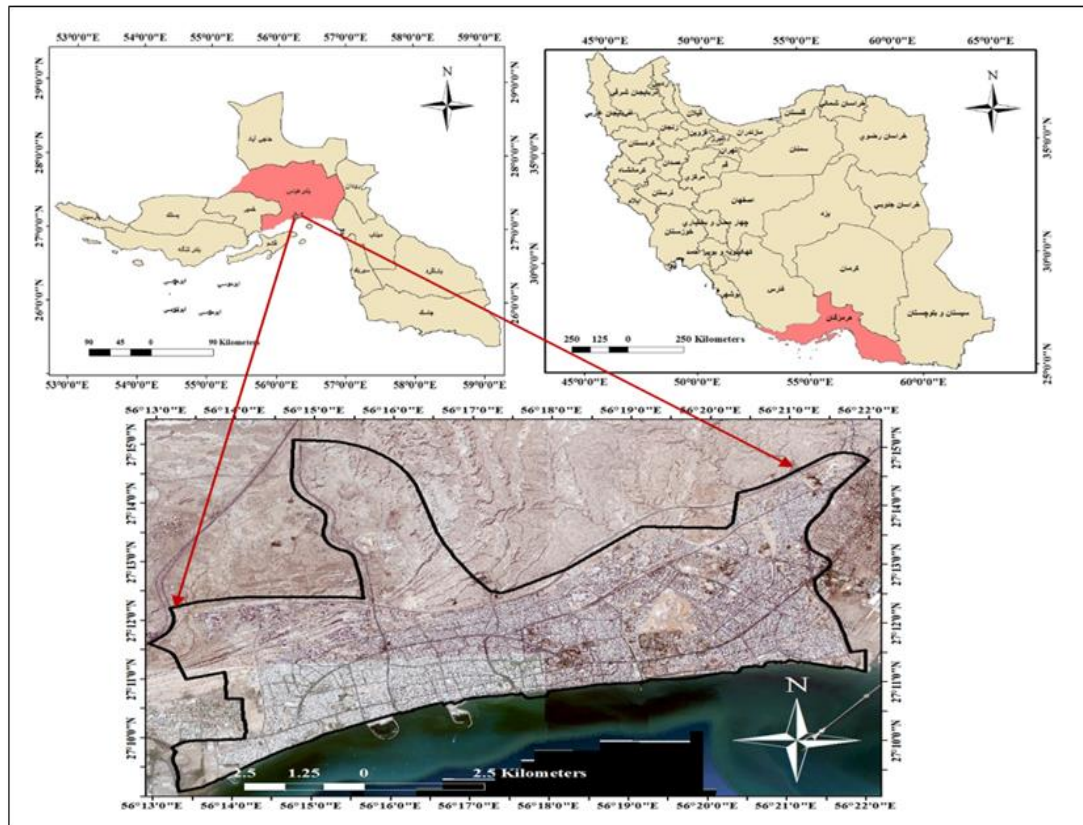
¹ Maximum Likelihood

² Artificial Neural Network

³ Support vector machine

⁴ Overall accuracy

⁵ Kappa Coefficient

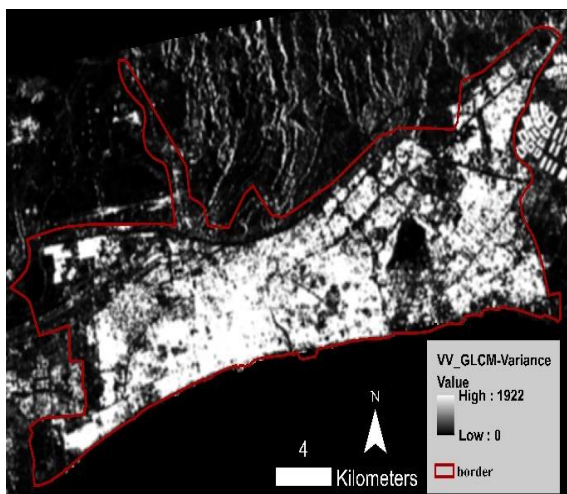


شکل - ۳: محدوده پژوهش

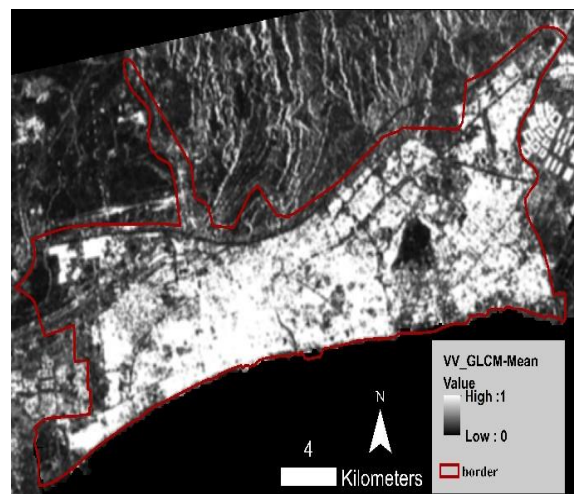
تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش

استخراج ویژگی‌های بافتی

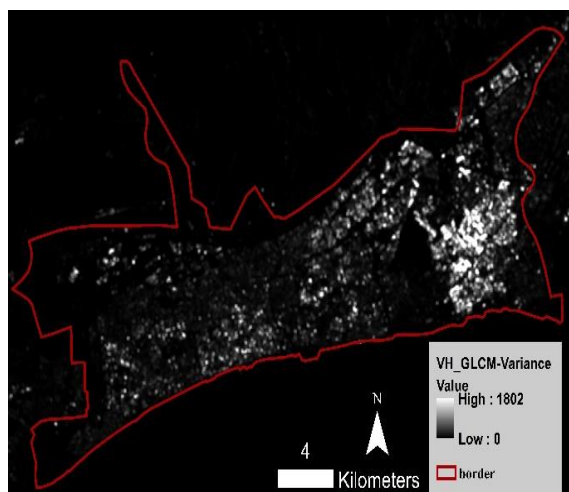
پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم روی تصویر راداری، ویژگی‌های بافتی میانگین، همبستگی، واریانس، همگنی، کنتراست، نبود تشابه، آنتروپی و زاویه تماس لحظه‌ای استخراج شدند.



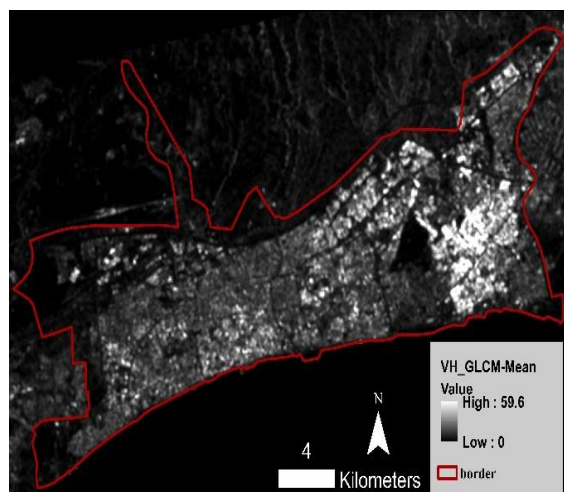
(۲-۴)



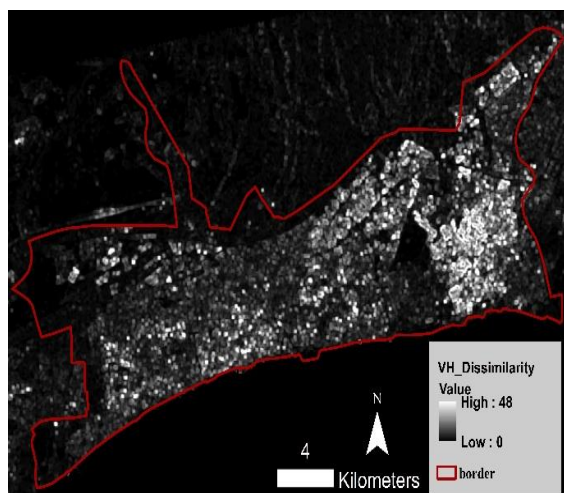
(۱-۴)



(۴-۴)



(۴-۳)



(۴-۵)

شکل - ۴: ویژگی‌های بافتی GCLM محدوده شهر بندرعباس: (تصاویر ۴-۱ و ۴-۲) میانگین و واریانس در پلاریزیشن VH، (تصاویر ۴-۳، ۴-۴ و ۴-۵) میانگین، واریانس و نبود تشابه در پلاریزیشن VH

با بررسی انجام شده از ویژگی‌های میانگین و واریانس در پلاریزیشن VH و میانگین، واریانس و نبود تشابه در پلاریزیشن VH برای انجام مراحل بعدی استفاده شد (شکل ۴). ویژگی بافتی میانگین استخراج شده علاوه بر محاسبه میانگین ساده درجات خاکستری بر چگونگی پخش و تعدد زوج پیکسل‌های دارای درجات خاکستری در محاسبات تأثیر می‌گذارد. در این ویژگی، سطوح نفوذناپذیر شهری به صورت سطوح روشن در پلاریزیشن VH و سطوح روشن و خاکستری در پلاریزیشن VH و سطوح نفوذناپذیر به صورت سطوح تیره در هر دو پلاریزیشن مشخص شده‌اند.

ویژگی بافتی، واریانس نحوه توزیع درجات خاکستری را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود واریانس در پلاریزیشن VH به طرف اعداد بزرگ‌تر میل می‌کند که نشان‌دهنده پخش وسیع درجات خاکستری و مشخص‌کننده سطوح نفوذناپذیر شهری هستند و به صورت سطوح روشن مشخص شده‌اند؛ ولی سطوح نفوذناپذیر

در پلاریزیشن VH به طرف اعداد کوچک میل می‌کند و به صورت سطوح خاکستری مشاهده می‌شود. ویژگی بافتی نبود تشابه، همانند ویژگی کنتراست است؛ با این تفاوت که به ماتریس، وزنی برابر با تفاوت درجات خاکستر داده می‌شود. این ویژگی نشان‌دهنده تغییرات ماتریس هم‌وقوع درجات خاکستری است. همان‌طور که مشاهده می‌شود غیریکنواخت بودن بافت باعث تفاوت درجه خاکستری بیشتری شده است و میزان تفاوت‌های محلی را نمایش می‌دهد. در این ویژگی، سطوح نفوذناپذیر شهری به صورت سطوح روشن و خاکستری و سطوح نفوذپذیر به صورت سطوح تیره در پلاریزیشن VH مشخص شده‌اند.

یافته‌های پژوهش

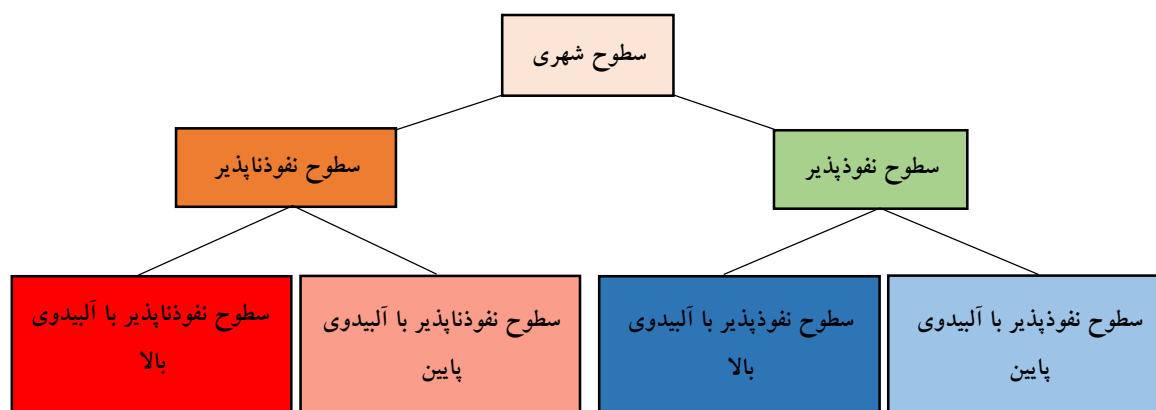
نتایج پردازش‌های انجام شده روی تصویر، براساس تقسیم‌بندی ارائه شده در شکل (۵) و در چهار دسته زیر تهیه و نتایج این طبقه‌بندی در شکل‌های (۶) تا (۸) به تفکیک روش‌های به کاررفته ارائه شده است:

IS-H: سطوح نفوذناپذیر با آلبیدوی بالا (شامل سطوح ساختمان و خیابان دارای پراکنش زیاد و بافت‌های جدید شهری)؛

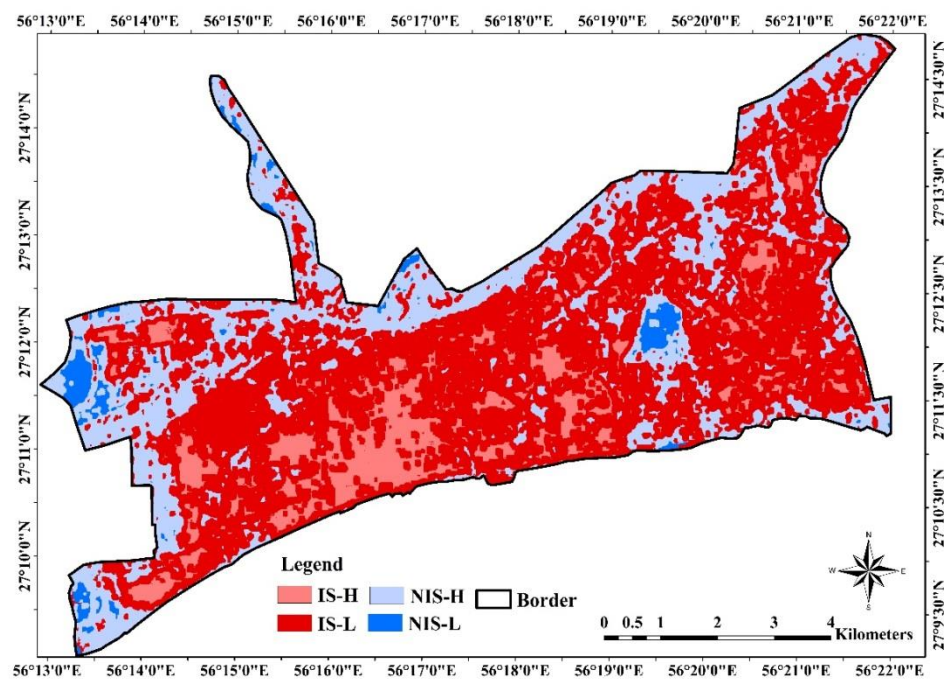
IS-L: سطوح نفوذناپذیر با آلبیدوی پایین (شامل ساختمان و خیابان دارای پراکنش کم و بافت‌های قدیمی‌تر شهری)؛

NIS-L: سطوح نفوذپذیر با آلبیدوی پایین (شامل زمین‌های بایر)؛

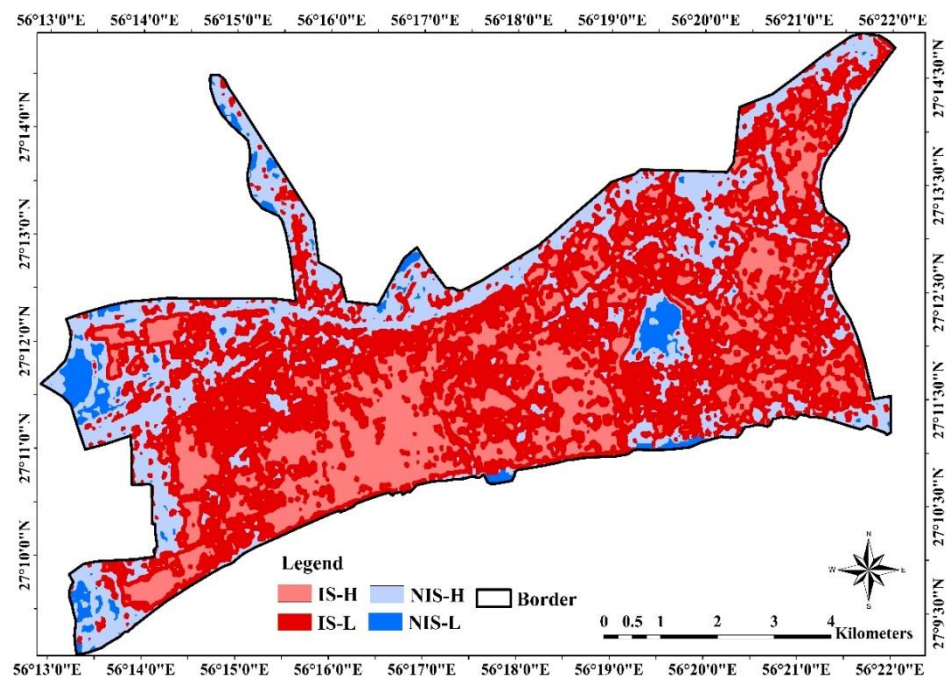
NIS-H: سطوح نفوذپذیر با آلبیدوی بالا (تلفیقی از زمین بایر دارای پوشش گیاهی نازک، زمین بایر، پوشش گیاهی و سطوح آب).



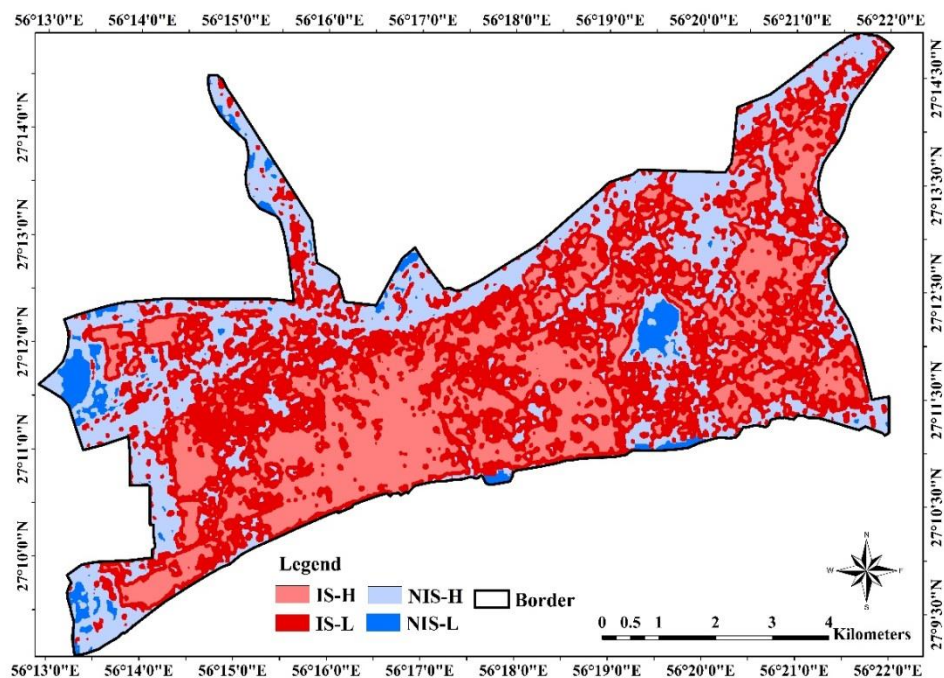
شکل - ۵: سطوح مختلف شهری



شکل - ۶: طبقه‌بندی حداکثر احتمال محدوده شهر بندرعباس



شکل - ۷: طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی محدوده شهر بندرعباس



شکل - ۸: طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان محدوده شهر بندرعباس

ارزیابی نتایج و صحت‌سنجی (جدول ۴) نشان داد در هر سه روش، سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر در حد مطلوبی شناسایی و تفکیک شده‌اند. مساحت محاسبه شده هریک از این سطوح محدوده‌های سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر بسیار نزدیک به هم بود؛ بیشترین تفاوت از نظر مساحت در کلاس‌های استخراجی مربوط به محدوده‌های با آلودگی بالا و آلودگی پایین در هریک از سطوح شهری به‌ویژه در سطوح نفوذناپذیر وجود داشت.

جدول - ۴: مقایسه دقت نتایج به تفکیک روش

روش	کلاس‌ها	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	دقت کلی	ضریب کاپا
بیشترین شباهت	IS-H	۹۹/۷۵	۹۹/۸۰	۹۷/۰۰	۰/۹۵
	IS-L	۸۸/۱۷	۹۶/۹۵		
	NIS-L	۹۶/۹۷	۹۹/۱۰		
	NIS-H	۹۸/۱۳	۷۹/۹۵		
شبکه عصبی	IS-H	۹۹/۰۶	۹۹/۶۰	۹۸/۱۴	۰/۹۷
	IS-L	۸۹/۹۹	۹۵/۹۱		
	NIS-L	۹۹/۰۱	۹۹/۳۲		
	NIS-H	۹۳/۴۵	۸۹/۹۳		
ماشین بردار پشتیبان	IS-H	۹۹/۹۵	۹۹/۶۰	۹۸/۴۰	۰/۹۷
	IS-L	۸۹/۹۵	۹۶/۹۱		
	NIS-L	۹۹/۰۵	۹۹/۴۶		
	NIS-H	۹۵/۰۸	۹۰/۸۸		

دقت تولیدشده برای روش بیشترین شباهت در کلاس IS-H با ۹۹/۷۵ درصد، بیشترین و کلاس IS-L با ۸۸/۱۷ درصد، کمترین است. برای روش شبکه عصبی کلاس‌های IS-H با ۹۹/۰۶ درصد و NIS-L با ۹۹/۰۱ درصد، بیشترین و کلاس IS-L با ۸۹/۹۹ درصد، کمترین است. در روش ماشین بردار پشتیبان کلاس‌های IS-H با ۹۹/۹۵ درصد و NIS-L با ۹۹/۰۵ درصد، بیشترین و کلاس IS-L با ۸۹/۹۵ درصد، کمترین است. در کل بیشترین دقت تولیدشده در هر سه روش مربوط به کلاس IS-H و کمترین مربوط به کلاس IS-L است.

در دقت کاربر در روش بیشترین شباهت کلاس‌های IS-H با ۹۹/۸۰ درصد و NIS-L با ۹۹/۱۰ درصد، بیشترین و کلاس NIS-H با ۷۹/۹۵ درصد، کمترین است. در روش شبکه عصبی مصنوعی، روش‌های IS-H و NIS-L با ۹۹/۶۰ درصد و ۹۹/۳۲ درصد، بیشترین و روش NIS-H با ۸۹/۹۳ درصد، کمترین است. در روش ماشین بردار پشتیبان، روش‌های IS-H و NIS-L با ۹۹/۶۰ درصد و ۹۹/۴۶ درصد، بیشترین و روش NIS-H با ۹۰/۸۸ درصد، کمترین است. در کل بیشترین دقت کاربر در کلاس‌های IS-H و NIS-L و کمترین در کلاس NIS-H مشاهده می‌شود.

در مقایسه روش‌ها در شناسایی سطوح مشخص شد روش بیشترین شباهت در شناسایی طبقه NIS-H، بیشترین دقت و در تعیین سطوح IS-L و NIS-L، کمترین دقت را نسبت به دو روش دیگر داشته است. با توجه به اینکه در روش بیشترین شباهت، فرض اصلی بر نرمال بودن توزیع داده‌هاست و در مناطق شهری به علت پیچیدگی مناظر این وضعیت اغلب نقض می‌شود، این نتیجه توجیه‌کردنی است. درمقابل از آنجایی که در طبقه‌بندی‌های ناپارامتری مانند روش‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان، فرض توزیع نرمال در مجموعه داده لازم نیست، نتایج بهتر را نسبت به طبقه‌بندی روش بیشترین شباهت در منظره‌های پیچیده شهری ارائه می‌دهند. همان‌گونه که در نتایج صحت‌سنجی دیده می‌شود روش شبکه عصبی برای کلاس IS-L، بیشترین دقت را داشت که علت آن، آزاد بودن توزیع این روش جست‌وجو است. کلاس‌های NIS-H و IS-H نسبت به دو روش دیگر، کمترین دقت را داشتند که علت آن احتمالاً همگرایی‌های تصادفی است که یکی از معایب این روش به شمار می‌آید. روش ماشین بردار پشتیبان در شناسایی کلاس‌های IS-H و NIS-L دقت زیادی داشت که علت آن در واضح بودن حاشیه جداسازی این روش است. روش ماشین بردار پشتیبان در آشکارسازی کلاس NIS-H، پس از روش بیشترین شباهت و در رتبه دوم قرار دارد که علت آن، تأکید بر نرمال بودن داده‌ها در روش بیشترین شباهت است.

نتیجه‌گیری

مطالعه سطوح نفوذناپذیر به‌مثابه شاخصی از میزان شهرنشینی و همچنین یکی از شاخص‌های کیفیت محیط زیست شهری در سال‌های اخیر توجهات زیادی را به خود جلب کرده است؛ از این رو در این مطالعه با استفاده از ویژگی‌های بافتی GLCM، داده راداری Sentinel و روش‌های طبقه‌بندی بیشترین شباهت، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان، سطوح مختلف شهری شامل IS-H (سطوح نفوذناپذیر با آلبیدوی بالا)، IS-L (سطوح نفوذناپذیر با آلبیدوی پایین)، NIS-L (سطوح نفوذپذیر با آلبیدوی پایین) و NIS-H (سطوح نفوذپذیر با آلبیدوی بالا) در شهر بندرعباس استخراج شدند. یافته‌ها نشان داد با وجود تفاوت‌ها در محدوده‌های سطوح نفوذناپذیر با

آلبدوی بالا و پایین در نقشه‌های خروجی، داده‌های راداری در تفکیک سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر شهری عملکرد خوبی دارند؛ به‌طوری که در این پژوهش نتایج صحت کلی، $97/0$ ، $98/14$ و $98/40$ درصد و ضریب کاپا $0/95$ ، $0/97$ و $0/97$ به ترتیب در روش‌های طبقه‌بندی بیشترین شباهت، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان محاسبه شد. همچنین نتایج یافته‌ها نشان داد روش بیشترین شباهت در استخراج سطوح نفوذپذیر، روش شبکه عصبی مصنوعی در استخراج سطوح نفوذناپذیر و روش ماشین بردار پشتیبان در استخراج هر دو سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر، عملکرد بهتری داشتند؛ این نتایج نشان از کارایی زیاد روش‌های مبتنی بر پیکسل به‌ویژه روش ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی برای آشکارسازی سطوح نفوذناپذیر شهری داشت.

نتایج این پژوهش با یافته‌های چتزیانتونیو و همکاران^۱ (۲۰۱۷) که با استفاده از داده‌های Sentinel1 و Sentinel2 و با روش ماشین بردار پشتیبان به نقشه‌برداری کاربری و پوشش اراضی اقدام کردند و همچنین پژوهش ژانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۶) همسوست. این نتایج نشان داد استفاده از داده‌های راداری در آشکارسازی سطوح شهری با روش ماشین بردار پشتیبان پتانسیل زیادی دارد.

همچنین نتایج این پژوهش با پژوهش حسنلو و همکاران (۱۳۹۴) که با تلفیق داده‌های نوری، راداری و لیدار، عوارض خاص شهری را با دقت کلی ۹۰ درصد در شهر سانفرانسیسکو شناسایی کردند و پژوهش‌های شائو و همکاران^۳ (۲۰۱۶)، لو و همکاران^۴ (۲۰۱۱) و گلشنی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد و تأییدکننده این یافته است که داده‌های راداری با توجه به ویژگی‌های کامل‌تری که نسبت به داده‌های نوری دارند، به بهبود آشکارسازی سطوح نفوذناپذیر شهری کمک می‌کنند. همچنین نشان می‌دهد استفاده از روش‌هایی چون بررسی بافت در این نوع تصاویر که الگوها و روابط مکانی و تغییرات بین پیکسل‌های تصویر و پیکسل‌های مجاور را در نظر می‌گیرند، دقت نتایج را به میزان زیادی در مناظر پیچیده شهری افزایش می‌دهد.

در این زمینه نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش همانند پژوهش‌های گلشنی و همکاران (۱۳۹۳) و رضایی مطلق و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد روش‌های طبقه‌بندی هنگام ترکیب با ویژگی‌های آماری بررسی بافت برای آشکارسازی و تفکیک سطوح شهری نتایج مناسب‌تری ارائه می‌دهند. از نظر دقت در مقایسه با پژوهش‌های مشابه همچون چتزیانتونیو و همکاران (۲۰۱۷) با دقت $94/82$ درصد و ضریب کاپای $0/93$ و پژوهش شائو و همکاران (۲۰۱۶) با دقت کلی $95/33$ درصد، این پژوهش در نقشه‌های نهایی حاصل از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان به دقت کلی $98/40$ درصد و ضریب کاپای $0/97$ دست یافت. علت این دقت زیاد در استفاده همزمان از ویژگی‌های بافتی تصاویر راداری است.

با توجه به نتایج، پیشنهاد می‌شود از ویژگی‌های بافتی تصاویر راداری در کنار ویژگی‌های طیفی تصاویر نوری بهره‌برده شود تا سطوح نفوذناپذیر با استفاده همزمان از این دو ویژگی با جزئیات بیشتر (مشخص کردن زیرکلاس در هریک از سطوح شهری) استخراج شوند.

¹ Chatziantoniou et al

² Zhang et al

³ Shao et al

⁴ Lu et al

منابع

- ۱- حسنلو، مهدی، پهلوانی، پرهام، امینی، حامد، طالبی‌نهر، سیامک، (۱۳۹۴). بررسی توانایی تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک طیفی بالا، لیدار و تمام‌پلاریزه راداری به منظور شناسایی عوارض خاص شهری، نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۵، شماره ۳، تهران، ۴۷-۳۵.
- ۲- خصالی، الهه، ولدان زوج، محمدجواد، دهقانی، مریم، مختارزاده، مهدی، (۱۳۹۲). مقایسه استخراج عارضه راه در مناطق شهری از تصاویر با حد تفکیک بالای TerraSER-X و آیکونوس با استفاده از اطلاعات بافت در الگوریتم‌های شبکه عصبی، سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۵، شماره ۴، ۳۶-۲۳.
- ۳- دریاباری، سید جمال‌الدین، لطفی، حیدر، (۱۳۹۰). مدیریت و ساماندهی اسکان‌های غیررسمی در شهر بندرعباس، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، دوره ۸، شماره ۲۹، تهران، ۹۲-۷۹.
- ۴- رضایی مطلق، عظیم، شهریاری، غلامرضا، رضایی مطلق، امیر، ابراهیمی، اصغر، پاپری، جوهر، (۱۳۹۱). طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای براساس تلفیق مدل‌های مبتنی بر بافت با استفاده از شبکه عصبی MLP، چهارمین کنفرانس مهندسی برق و الکترونیک ایران، دانشگاه آزاد اسلامی گناباد، ۱۴۷۶-۱۴۸۳.
- ۵- زائری امیرانی، آزاده، سفیانیان، علیرضا، (۱۳۹۱). تهیه نقشه سطوح نفوذناپذیر به عنوان یک شاخص زیست‌محیطی، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۱، شماره ۸۳، تهران، ۶۹-۶۵.
- ۶- سعیدزاده، فاطمه، محمدنژادنیازی، سعید، صاحبی، محمدرضا، مختارزاده، مهدی، (۱۳۹۴). استخراج، بهینه‌سازی و بررسی تأثیر اطلاعات مختلف بافت تصویر در طبقه‌بندی تصاویر بزرگ مقیاس، بیست و دومین همایش و نمایشگاه ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری ایران، تهران، ۱۴-۱.
- ۷- صادقی، وحید، عنایتی، حمید، عبادی، حمید، (۱۳۹۴). بهبود شناسایی تغییرات در مناطق شهری با انتخاب ویژگی‌های طیفی و مکانی بهینه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۴، شماره ۹۶، تهران، ۱۳۵-۱۵۲.
- ۸- قنادی، محمد، سعادت‌سرشت، محمد، افتخاری، اکرم، (۱۳۹۳). بهبود تناظریابی ماهواره‌ای TerraSAR-X به کمک ویژگی‌های بافت تصویری، مجله علمی پژوهشی رادار، سال ۲، شماره ۴، تهران، ۲۰-۹.
- ۹- گلشنی، پری، فلاح، اصغر، اولادی قادیکلایی، جعفر، کلبی، سیاوش، (۱۳۹۳). ارزیابی قابلیت داده‌های سنجنده GeoEye-1 و پارامترهای بافت تصویر به منظور طبقه‌بندی مناظر شهری (مطالعه موردی: منطقه ۳ تهران)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۶، شماره ۲، تهران، ۱۵۷-۱۶۸.
- ۱۰- ملک‌نژاد، احمد، قاسمیان، حسن، میرزاپور، فردین، (۱۳۹۴). سنجش کارایی ویژگی‌های بافتی GLCM در افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر حاصل از ادغام تصاویر تک‌باند و ابرطیفی مناطق مسکونی و صنعتی

جنوب شهر تهران، نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۵، شماره ۱، تهران، ۵۵-۶۴.

- 11- Anuradha, K., Sankaranarayanan, K., (2013). **Comparison of Feature Extraction Techniques to classify Oral Cancers using Image Processing**, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM), Vol 6, No 2, Pp 456-462.
- 12- Anys, H., He, D.C., (1995). **Evaluation of textural and multipolarization radar features for crop classification**, IEEE Trans, Geosci, Remote Sens, Vol 33, Pp 1170-1181.
- 13- Chatziantoniou, A., Petropoulos George P., Psomiadis, E., (2017). **Co-Orbital Sentinel 1 and 2 for LULC Mapping with Emphasis on Wetlands in a Mediterranean Setting Based on Machine Learning**, Remote Sensing, Vol 9, 1259 p.
- 14- Dabbiru, L., Aanstoos, J.V., Ball, J.E., Younan, N.H., (2017). **Screening Mississippi River Levees Using Texture-Based and Polarimetric-Based Features from Synthetic Aperture Radar Data**, Vol 6, 29 p.
- 15- Dengsheng, Lu, Guiying Li, Wenhui, Kuang, Emilio, Moran, (2014). **Methods to extract impervious surface areas from satellite images**, International Journal of Digital Earth, Vol 7, No 2, Pp 93-112, DOI: 10.1080/17538947.2013.866173.
- 16- Elvidge, C.D., Tuttle, B.T., Sutton, P.C., Baugh, K.E., Howard, A.T., Milesi, C., Bhaduri, B., Emani, R., (2007). **Global Distribution and Density of Constructed Impervious Surfaces**, Sensors 7 (9), 1962-1979. doi:10.3390/s7091962.
- 17- FU, Huyan, Shao, Zhenfeng, (2016). **Impacts of feature selection for urban impervious surface extraction using optical image and SAR data**, IEEE, School of Electronics Information and Communications Huazhong University of Science and Technology Wuhan, China, 978-1-5090-14 79-8/16.
- 18- Haralick, R.M., Shanmugam, K., (1973). **Textural features for image classification**, IEEE Trans, Syst. Man Cybern, Vol 3, Pp 610-621.
- 19- Kuang, W., Liu, J., Zhang, Z., Lu, D., Xiang, B., (2013). **Spatiotemporal Dynamics of Impervious Surface Areas across China During the Early 21st Century**, Chinese Science Bulletin 58 (14), 1691-1701, doi: 10.1007/s11434-012-5568-2.
- 20- Kuang, Wenhui, (2012). **Evaluating impervious surface growth and its impacts on water environment in Beijing-Tianjin-Tangshan Metropolitan Area**, Journal of Geographical Sciences, Vol 22, No 3, Pp 535-547.
- 21- Lepeška, T., (2016). **The impact of impervious surfaces on ecohydrology and health in urban ecosystems of Banská Bystrica (Slovakia)**, Soil Water Res 11 (1), Pp 29-36.
- 22- Lu, Dengsheng, Moran, Emilio, Hetrick, Scott, (2011). **Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban-rural frontier**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Pp 298-299.
- 23- Pohl, C., Van Genderen, J.L., (1998). **Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods, and applications**, International Journal of Remote Sensing, Vol 19, Pp 823-854.
- 24- Schneider, A., (2012). **Monitoring land cover change in urban and pen-urban areas using dense time stacks of landsat satellite data and a data mining approach**, Remote Sens, Environ, Vol 124, Pp 689-704.
- 25- Schneider, A., Friedl, M.A., Potere, D., (2010). **Mapping Global Urban Areas Using MODIS 500-m Data: New Methods and Datasets Based on Urban Ecoregions**, Remote Sensing of Environment, Vol 8, No 114, Pp 1733-1746, doi: 10.1016/j.rse.2010.03.003.
- 26- **Sentinel-1 User Handbook**, (2013). European Space Agency, ESA Standard Document, Date

1/09/2013.1-80.

- 27- Shao, Zhenfeng, Fu, Huyan, Fu, Peng, Yin, Li, (2016). **Mapping Urban Impervious Surface by Fusing Optical and SAR Data at the Decision Level**, remote sensing, Pp 1-21.
- 28- Singh, R., (2016). **A comparison of gray-level run length matrix and gray-level co-occurrence matrix towards cereal grain classification**, Int. J. Comp. Eng. Technol. (IJCET), Vol 6, No 7, Pp 9-17.
- 29- **SNAP.HELP**, GLCM Operator and Help-GLCM.
- 30- Sterling, S.M., Ducharne, A., Polcher, J., (2013). **The impact of global land cover change on the terrestrial water cycle**, Nat Clim Change, Vol 3, Pp 385–390.
- 31- Weng, Q., Hu, X., Liu, H., (2009). **Estimating impervious surfaces using linear spectral mixture analysis with multi-temporal ASTER images**, International Journal of Remote Sensing, Vol 18, No 30, Pp 4807–4830.
- 32- Weng, Qihao, (2012). **Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods and trends**, Remote Sensing of Environment, Vol 117, Pp 34–49.
- 33- Wu, C., (2009). **Quantifying high-resolution impervious surfaces using spectral mixture analysis**, Int. J. Remote Sens, Vol 30, Pp 2915–2932.
- 34- Yan, Y., Kuang, W.H., Zhang, C., Chen, C.B., (2015). **Impacts of impervious surface expansion on soil organic carbon: A spatially explicit study**, Sci Rep, 5: 17905, doi: 10.1038/srep17905.
- 35- Yang, Jian, He, Yuhong, (2017). **Automated mapping of impervious surfaces in urban and suburban areas: Linear spectral unmixing of high spatial resolution imagery**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Pp 53-64.
- 36- Zhang, Hongsheng, Lina, Hui, Li, Yu, Zhang, Yuanzhi, Fang, ChaoYang, (2016). **Mapping impervious surfaces with the integrated use of Landsat Thematic Mapper and radar data: A case study in an urban–rural landscape**, Landscape and Urban Planning, Pp 4812-4815.

