

Modeling the Process of Spatio-Temporal Changes in Land-Use and Urban Development of Ahvaz Based on Spatial Planning Approach

Mohammad Abiyat¹, Mostefa Abiyat^{2*}, Morteza Abiyat³

1. MSc in Natural Resources and Environmental Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Khuzestan, Ahvaz, Iran

2. PhD Student in Geography and Rural Planning, Faculty of Geography and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran

3. PhD Student in Geography and Rural Planning, Faculty of Geography and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran

(Received: October 12, 2020 ; Accepted: December 13, 2020)

Abstract

The land-use changes and urban development are among the fundamental topics of spatial planning. Monitoring changes in previous years and predicting these changes in the coming years have a significant role in planning and organizing urban spaces. The purpose of this study was to investigate land-use change and urban development in Ahvaz with a landscaping approach based on balanced urban development. Images of TM (1989), ETM+ (2002), and OLI (2019) of the Landsat satellite are the basis for analyzing this trend. LCM model was used to identify the past changes, while CA-Markov chain model was applied to predict the future changes. These images were classified using a support vector machine algorithm of the object-oriented method, and the land-use maps were prepared using three sensors with four classes of vegetation, barren areas, constructed areas, and water zones. The accuracy of maps was improved separately using NDVI and SAVI indexes in the classification of the images. The efficiency of the indexes was measured by kappa coefficients and the overall accuracy of land-use maps, and then changes were investigated using maps related to the superior index. The results showed that maps related to the SAVI index were more accurate and accordingly, they were used in assessing land-use changes. The LCM model showed that in the periods 1989-2002 and 2002-2019, 2602.92 hectares and 31174.77 hectares were added to the built-up areas, respectively. In both periods, the most changes were about converting barren lands to built-up areas and the least changes were related to the transformation of the built-up areas to water areas. The results of the CA-Markov model until 2029 showed the continuity of the increasing trend of built-up areas, such that in ten years, 2238.82 hectares will be added to the built-up areas, and it is anticipated that the area will reach approximately 12345.63 hectares by 2029.

Keywords

Land-use change, Urban development, Spatial planning, LCM, CA-Markov, Ahvaz.

* **Corresponding Author, Email:** mostefa.abiyat@gmail.com

مدل سازی روند تغییرات زمانی- مکانی کاربری اراضی و توسعه شهری اهواز مبتنی بر رویکرد آمایشی

محمد عبیات^۱، مصطفی عبیات^۲، مرتضی عبیات^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست (ارزیابی و آمایش سرزمین)، دانشگاه آزاد اسلامی،

واحد علوم و تحقیقات خوزستان (تهران)، اهواز، ایران

۲. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه

اصفهان، اصفهان، ایران

۳. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه

اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۳)

چکیده

تغییرات کاربری زمین و توسعه شهری از مباحث اساسی در آمایش سرزمین به شمار می آیند. مطالعه میزان تغییرات در گذشته و پیش بینی این تغییرات در آینده نقشی بسزا در ساماندهی فضاهای شهری دارد. هدف این مطالعه، بررسی تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری در اهواز با رویکرد آمایشی مبتنی بر توسعه متوازن شهری است. تصاویر TM (۱۹۸۹)، ETM+ (۲۰۰۲) و OLI (۲۰۱۹) ماهواره لندست پایه تحلیل این روند هستند. جهت شناسایی تغییرات از مدل LCM و برای پیش بینی تغییرات از مدل زنجیره CA-Markov استفاده شد. تصاویر با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان روش شیء گرا طبقه بندی و نقشه های کاربری اراضی سه سنجنده با چهار کلاس پوشش گیاهی، نواحی بایر، نواحی ساخته شده، و پهله های آب تهیه شد. افزایش دقت نقشه ها با بهره گیری از دو شاخص NDVI و SAVI به طور مجزا در طبقه بندی تصاویر صورت پذیرفت. کارایی هر شاخص از طریق ضرایب کاپا و صحت کلی نقشه های کاربری اراضی تعیین شد و سپس با استفاده از نقشه های مربوط به شاخص برتر بررسی تغییرات انجام گرفت. یافته ها نشان داد نقشه های مربوط به شاخص SAVI از صحت بیشتری برخوردارند. آزمون رو، در بررسی تغییرات کاربری زمین به کار رفتند. نتایج مدل LCM نشان داد در بازه ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ میزان ۲۶۰۴/۹۲ هکتار و در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ میزان ۳۱۷۴/۷۷ هکتار به نواحی ساخته شده افزوده شده است. در هر دو بازه، بیشترین تغییرات در تبدیل اراضی بایر به نواحی ساخته شده و کمترین تغییرات در تبدیل نواحی ساخته شده به پهله های آبی بوده است. نتایج مدل CA-Markov تا سال ۲۰۲۹ نیز حاکی از ادامه روند افزایش نواحی ساخته شده بود؛ طوری که در ده سال میزان ۲۲۳۸/۸۲ هکتار به نواحی ساخته شده الحاق می یابد و مساحت آن به ۱۲۳۴۵/۶۳ هکتار در سال ۲۰۲۹ می رسد.

کلیدواژگان

آمایش سرزمین، اهواز، تغییرات کاربری زمین، توسعه شهری، LCM، CA-Markov.

مقدمه

امروزه رشد روزافزون شهرها به منزله برآیند حاصل از ازدیاد جمعیت و مهاجرت‌های بی‌رویه (Brøgger & Agergaard 2019) منجر به ساخت‌وسازهای بدون ضابطه و تحولات عمده در ساختار فضایی و گسترش شهرها شده است (Varol et al 2019) که این وضعیت تغییر در پوشش سطح زمین و تبدیل عوارض طبیعی، مانند خاک و پوشش گیاهی، به بافت‌های شهری را سبب می‌شود (عبداللهی و همکاران ۱۳۹۸). پس، اولین پیامدی که با گسترش شهرها ظهور می‌یابد تغییرات کاربری اراضی است (نورایی صفت و همکاران ۱۳۹۵)؛ تغییراتی برآمده از عوامل بیوفیزیکی و اقتصادی و اجتماعی، که با جریانات توسعه‌ای رابطه نزدیکی دارد (Dang & Kawasaki 2017) و بر بخش‌های وسیع سرمایه‌های طبیعی موجود، نظیر گیاهان و منابع آب و خاک و تنوع زیستی، اثر می‌گذارد (معبودی و حکیمی ۱۳۹۴). با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد منابع طبیعی (Giménez et al 2019) و چالش‌های رشد شتابان شهرها (Van Vliet et al 2020) توجه به آمایش سرزمین برای توسعه متوازن در شهرها ضروری است (Kim et al 2020). بدین منظور، در روند تهیه برنامه‌های آمایش سرزمین شناسایی دقیق و درک به‌موقع کاربری و پوشش زمین بسیار مهم است (Tewabe & Fentahun 2020). با پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، می‌توان رشد و تخریب منابع را تشخیص داد و آن‌ها را در مسیرهای درست هدایت کرد (پورخباز و همکاران ۱۳۹۴). از آنجا که تغییرات در سطح گسترده صورت می‌پذیرد، اجرای روش‌های سستی برای محققان کاری زمان‌بر و پرهزینه است (اکبری و همکاران ۱۳۹۴). در این میان، سنجش از دور ابزاری کارآمد برای پایش تغییرات و نیز پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مسائل مربوط به برنامه‌ریزی و آمایش شهری قلمداد می‌شود (Wellmann et al 2020). تصاویر چندزمانی ماهواره‌لندست یکی از منابع اصلی اطلاعات برای مطالعه انواع مختلف تغییر کاربری است (Dibs et al 2020؛ Gašparović et al 2019) که در آن استخراج داده‌ها با طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای پرکاربردترین روش است (Ge et al 2020؛ Murray et al 2018؛ اسماعیل‌پور و همکاران ۱۳۹۷). در فرایند بازیابی و کشف تغییرات، روش الگوریتم کار باید معین باشد (کاظمی نیا ۱۳۹۶) تا بر مبنای آن بتوان به شناخت قوانین، عوامل، و روابط اثرگذار در تبدیل اراضی موجود به کاربری‌های شهری و اجرای تصمیم‌ها و برنامه‌های بلندمدت و پیش‌بینی روند توسعه شهرها در آینده پرداخت (حیدریان و همکاران ۱۳۹۳).

مدل های فضایی به صورت هدفمند در ایجاد درک مناسب و دسترسی به اطلاعات درباره توسعه متوازن و برنامه‌ریزی و آمایش کاربری‌های شهری (Zhang et al 2019; Gomes 2020) و نیز زمینه‌یابی برای ارزیابی آثار رشد فیزیکی شهرها بر محیط زیست و اکوسیستم‌ها از توانایی بسیار برخوردارند (Choudhary et al 2018).

هدف تحقیق

اهواز، که یکی از شهرهای بزرگ ایران است، با توجه به موقعیت مکانی ای که دارد، با مشکلات کالبدی فراوان روبه روست؛ نظیر گسترش افقی و عمودی، توسعه در جهات مختلف، پذیرش و تراکم جمعیت مازاد بر ظرفیت، بازآفرینی و ساماندهی محلات، گسترش حومه‌نشینی، و امثال آن. این مشکلات بستر ساز وقوع تغییرات عمده به‌ویژه در حوزه کاربری اراضی شده است. این شهر در سال‌های اخیر رشدی فزاینده داشته و بخش‌های وسیعی از اراضی آن تغییر کاربری داده و به اراضی ساخته‌شده، شامل نواحی مسکونی و صنعتی و تجاری و راه‌های دسترسی، تبدیل شده است. زیرا تحولات اقتصادی و اجتماعی و فناوری جامعه در چند دهه اخیر و توسعه شهرنشینی و به تبع آن توسعه فیزیکی شهرها تمرکز شدید جمعیت و فعالیت را در شهرهای بزرگ دامن زده که شهر اهواز نیز از این قاعده مستثنا نبوده است. بررسی روند افزایش جمعیت و وسعت شهر اهواز در طول زمان نشان می‌دهد با وجود اینکه از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۵ جمعیت ۸/۲ برابر شده، وسعت شهر به ۳۵۷/۷ برابر رسیده که گویای رشد بدون برنامه بافت فیزیکی این شهر است. اهواز در بازه سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۷ بیشترین توسعه کالبدی را داشته که باعث تبدیل زمین‌ها به کاربری مسکونی و صنعتی شده است. همچنین، گسترش فیزیکی شهر عمدتاً به شکل افقی و در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی صورت گرفته که این امر ناشی از عوامل اجتماعی مانند مهاجرت و استقرار تعداد زیادی از کارخانجات و صنایع در آن محورهاست. بر این اساس، گستردگی شهری این منطقه توانسته موجب تغییر کاربری زمین شود. حال ممکن است این تغییر در پوشش گیاهی و فضای سبز، نواحی بایر و عاری از پوشش گیاهی اطراف شهر، یا رودخانه کارون به منزله پهنه آبی منطقه صورت پذیرد. از این رو، هدف پژوهش بررسی تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری در اهواز با رویکرد آمایشی مبتنی بر توسعه متوازن است.

پیشینه تحقیق

در ارتباط با موضوع تحقیق، مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور به انجام رسیده است. کالدرون^۱ و همکارانش (۲۰۲۱) به بررسی تغییرات فضایی - مکانی کاربری و پوشش زمین در کشور استرالیا طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ با استفاده از گوگل ارث اینجین (GEE) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی پرداختند. نتایج نشان داد مناطق ساخته شده بیشترین افزایش را طی سال‌های مورد مطالعه داشته اند که از ۱۲۳۲۰ کیلومتر مربع در سال ۱۹۸۵ به ۱۵۰۱۳ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است. قراییبی^۲ و همکارانش (۲۰۲۰) به پیش‌بینی رشد شهری و تغییرات کاربری اراضی شهر اربید اردن با مدل‌های زنجیره مارکوف و شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج حاصل از نقشه‌های پیش‌بینی شده برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۷ مقامات محلی را در توسعه راهبردهای مدیریتی، که تعادل گسترش شهری و محافظت از مناطق کشاورزی را موجب می‌شود، یاری می‌کند. ژو^۳ و همکارانش (۲۰۲۰) پژوهشی به شبیه‌سازی سناریوهای تغییر کاربری زمین و توسعه شهری از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ در منطقه شانگهای چین با الگوریتم جنگل تصادفی و مدل زنجیره مارکوف پرداختند و پیش‌بینی کردند که مناطق شهری بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ با افزایش ۱۵۷/۷۹ کیلومتر مربع روبه‌رو می‌شود و رشد فضایی مناطق شهری با الگویی متحدالمرکز افزایش می‌یابد. پاول^۴ و همکارانش (۲۰۱۸) برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه رودخانه کیزکاتینو کانادا در سال‌های ۱۹۸۴ و ۱۹۹۹ و ۲۰۱۰ از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا استفاده کردند. در این مطالعه، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی طی دوره‌های یادشده و پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۰ با استفاده از مدل LCM و زنجیره مارکوف صورت گرفت. نتایج نشان داد مساحت نواحی ساخته شده افزایش یافته است، به شکلی که از هجده هکتار در سال ۱۹۸۴ به چهل هکتار در سال ۱۹۹۹ و پنجاه هکتار در سال ۲۰۱۰ رسیده است، و برآورد شده با ادامه روند افزایشی تا سال ۲۰۲۰ مساحت مناطق یادشده به حدود شصت هکتار در سال ۲۰۲۰ برسد. بیربراولو^۵ و همکارانش (۲۰۱۶) با نقشه‌های کاربری اراضی شهری و تصاویر ماهواره‌ای در دوره‌های زمانی مورد

1. Calderón
2. Gharaibeh
3. Zhou
4. Paul
5. Berberoglu

نظر به مقایسه نتایج حاصل از برخی تکنیک‌ها، از جمله زنجیره مارکوف در مدل‌سازی رشد شهری برای شهر آدانای کشور ترکیه، پرداختند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده دقت بسیار مناسب این مدل برای پیش‌بینی رشد شهری بود. گویان^۱ و همکارانش (۲۰۱۱) تغییرات کاربری استان ساگا در جزیره کیوشوی ژاپن را، طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۲، با استفاده از مدل زنجیره مارکوف بررسی کردند. نتایج این مطالعه افزایش زمین شهری و کاهش اراضی کشاورزی را نشان داد. ویکلاویک^۲ و روگان (۲۰۰۹) با روش LCM اقدام به آشکارسازی تغییرات در جمهوری چک کردند و به این نتیجه رسیدند که شش درصد از جنگل‌های مخلوط به جنگل پهن‌برگ تبدیل شده و تقریباً چهار درصد افزایش در مناطق مسکونی صورت گرفته است. گویان^۳ و همکارانش (۲۰۰۸) تغییرات کاربری سرزمین ناشی از رشد شهر کیتاکوشو در ژاپن را با استفاده از فنون سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، و رویکرد اکولوژی سیمای سرزمین بررسی کردند. بدین منظور با بهره‌گیری از چهار تصویر لندست در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، و ۲۰۰۵ نقشه‌های رشد شهری را تهیه کردند. سپس با مدل زنجیره مارکوف میزان و شدت تغییرات را تا سال ۲۰۵۰ محاسبه کردند. نتایج نشان داد رشد شهری شامل تغییرات انواع مختلفی از طبقات کاربری اراضی به کاربری مسکونی است. جیان^۴ و کرانی (۲۰۰۵) رشد شهری ناحیه خلیج تیمپای فلوریدا در ایالات متحده را با استفاده از داده‌های سنجش از دور مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این مطالعه، با اشاره به تبدیل مناظر طبیعی به اراضی ساخته‌شده شهری، در اثر رشد جمعیت، به طراحی نقشه‌های تغییرات کاربری زمین منطقه یادشده با استفاده از تصاویر ماهواره لندست اقدام و رشد اراضی شهری طی دوره را سه‌برابر برآورد کردند.

در ایران مؤذنی و پورمحمدی (۱۳۹۹) برای مدل‌سازی روند توسعه شهری پارس‌آباد مغان از مدل زنجیره مارکوف و تصاویر TM (۱۳۶۸)، ETM+ (۱۳۸۱)، و OLI (۱۳۹۴) لندست استفاده کردند. نتایج مدل‌سازی توسعه شهری و تغییرات کاربری اراضی برای سال ۱۴۰۷ نشان داد طی سیزده سال آینده به‌شدت از مساحت کاربری مزارع و بایر اطراف شهر کاسته و اراضی تولیدکننده محصولات زراعی به

1. Guan
2. Vaclavik
3. Guan
4. Xian

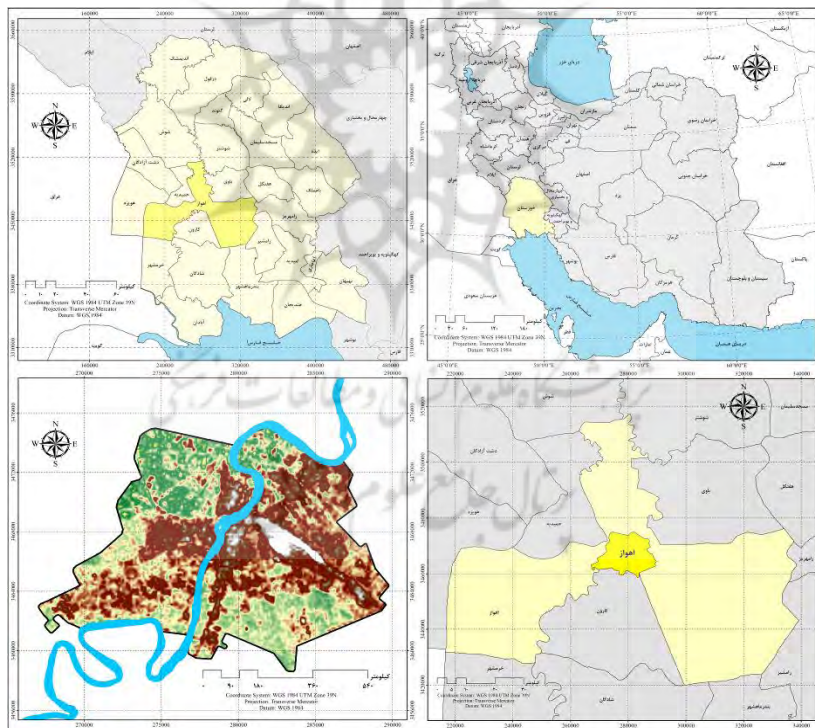
اراضی ساخته شده و مسکونی تبدیل می شوند. توسعه شهر نیز در سال های آتی بیشتر در قسمت جنوب غربی شهر صورت خواهد پذیرفت. اکبری و همکارانش (۱۳۹۹) به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و شبیه سازی رشد و توسعه شهری رشت طی سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ با استفاده از مدل شبکه عصبی و سلول های خودکار زنجیره مارکوف پرداختند. نتایج به دست آمده در فاصله زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ نشان داد تغییرات مساحت در اراضی شهری و شالیزار و جنگل به ترتیب به میزان ۹۰۴۱/۸۷ و ۷۸۴۱/۰۳ و ۵۵/۷۸ هکتار بوده که میزان آن در شهر رشت مثبت و در شالیزار و جنگل منفی است. نقشه پیش بینی سال ۲۰۲۷ با مدل زنجیره مارکوف نیز مؤید افزایش قابل توجه کاربری شهری به مقدار ۱۴۱۰۵/۰۴ هکتار در سال های آتی است. اکبری و همکارانش (۱۳۹۸) تصاویر لندست سال های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ را با استفاده از روش شبکه عصبی طبقه بندی کردند و با کمک زنجیره مارکوف به بررسی تغییرات کاربری اراضی و شبیه سازی رشد شهری رشت برای سال ۲۰۲۷ پرداختند. نتایج نشان داد تغییرات مساحت در اراضی شهری به میزان ۹۰۴۲ هکتار بوده و نقشه پیش بینی سال ۲۰۲۷ مبین افزایش قابل توجه کاربری شهری به ۱۴۱۰۵ هکتار در سال های آتی است. عبداللهی و همکارانش (۱۳۹۸) به شناسایی و پیش بینی تغییرات کاربری شهری لاهیجان در سال های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹، ۱۳۸۹، و ۱۳۹۷ با استفاده از مدل LCM و زنجیره مارکوف پرداختند. نتایج نشان داد مساحت نواحی ساخته شده از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷ به ۱۲۵۰ هکتار افزایش یافته و پیش بینی شده در سال ۱۴۰۹ به میزان ۵۳/۹۱ هکتار برسد. کریمی و همکارانش (۱۳۹۷) با طبقه بندی شیء گرای تصاویر سال های ۱۳۶۴، ۱۳۷۱، ۱۳۷۹، ۱۳۸۷، و ۱۳۹۴ لندست تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل را بررسی و در ادامه جهت پیش بینی روند تغییرات تا سال ۱۴۱۹ از مدل زنجیره مارکوف استفاده کردند. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر گسترش بی رویه شهر بابل طی سی سال گذشته است؛ طوری که رشد ۹۰ درصدی مساحت اراضی ساخته شده سبب تخریب بیش از اندازه اراضی زارعی و فضای سبز در حاشیه شهر شده است. همچنین، بر اساس نتایج مدل زنجیره مارکوف رشد ۳۰ درصد اراضی ساخته شده برای سال ۱۴۱۹ به نسبت سال ۱۳۹۴ قابل پیش بینی است. ابراهیمی و رسولی (۱۳۹۶) با پردازش شیء گرای تصاویر لندست سال های ۱۳۸۴، ۱۳۸۹، و ۱۳۹۴ به مدل سازی تغییرات دینامیک کاربری زمین شهر شیراز پرداختند و از مدل زنجیره مارکوف برای پیش بینی تغییرات کاربری استفاده

کردند. نتایج به دست آمده از بررسی تغییرات صورت گرفته در بازه بیست ساله نشان دهنده تغییر مساحت اراضی ساختمانی از چهل کیلومتر مربع در سال ۱۳۸۴ به یکصد و چهل کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۹ بود که تداعی کننده رشد اراضی مسکونی در منطقه زمانی مورد بررسی است و نیازمند تدوین برنامه‌های اصولی در حوزه بهبود مدیریت شهری.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر اهواز با مساحت $21901/03$ هکتار و ارتفاع حدود ۱۲ متر از سطح دریا در مختصات جغرافیایی 31 درجه و 20 دقیقه عرض شمالی و 48 درجه و 40 دقیقه طول شرقی و بخش جلگه‌ای استان خوزستان واقع شده است (شکل ۱). پهنه شهر یادشده با عبور رودخانه کارون در جهت شمالی تا جنوبی به دو بخش شرقی و غربی تقسیم شده است.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

روش بررسی

پژوهش حاضر به لحاظ ماهیت توصیفی و تحلیلی و از نظر هدف کاربردی است. در این نوشتار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، سنجنده TM، ETM+، OLI و روش طبقه‌بندی شیء‌گرا به طبقه‌بندی کاربری‌ها در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ میلادی پرداخته شد. در ادامه برای ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری از مدل LCM و زنجیره CA-Markov استفاده شد.

داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

تصاویر لندست طولانی‌ترین آرشیو از تصاویر جهانی با قدرت تفکیک متوسط، کالیبراسیون بالا، داده‌های چندطیفی از منابع منحصربه‌فرد برای برنامه‌ریزی کاربردی در مقیاس‌های مختلف، از جمله کاربری و پوشش اراضی، شناسایی تغییرات، و نظارت بر پویایی اکوسیستم را شامل می‌شوند (طاهرپرور و همکاران ۱۳۹۵). بنابراین، در این پژوهش، از تصاویر TM (۱۹۸۹)، ETM+ (۲۰۰۲)، و OLI (۲۰۱۹) ماهواره لندست استفاده شد (جدول ۱). تهیه تصاویر ماهواره‌ای از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS) صورت گرفت. جمع‌آوری نمونه‌های تعلیمی نیز از طریق بازدید میدانی و ایجاد ترکیب‌های رنگی کاذب انجام شد. ضمن مشاهده و برداشت نمونه، داده‌های مورد استفاده به کمک دستگاه GPS کنترل شد که این اطلاعات مناطق تعلیمی برای طبقه‌بندی بوده است. جهت تحلیل تصاویر، از نرم‌افزارهای ENVI، eCognition، Terrset، و ArcGIS استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

فرمت	تاریخ تصویر	ابعاد پوشش (کیلومتر)	ردیف و گذر	داده‌های ماهواره‌ای
TIFF	۲۴ می ۱۹۸۹	۱۸۵×۱۸۵	۱۶۵-۳۸	Landsat-5 TM
TIFF	۲۸ می ۲۰۰۲	۱۸۵×۱۸۵	۱۶۵-۳۸	Landsat-7 ETM+
TIFF	۱۵ ژانویه ۲۰۱۹	۱۸۵×۱۸۵	۱۶۵-۳۸	Landsat-8 OLI

پیش‌پردازش تصاویر

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای، به بررسی زمین‌مرجع بودن و خطاهای ناشی از اعوجاج تصویر پرداخته شد. در این پژوهش، از تصاویر Level-2 ماهواره لندست استفاده شد که خود در این زمینه جزء تصاویر مرجع برای ژئورفرنس‌دار کردن تصاویر و نقشه‌های فاقد زمین‌مرجع است. بنابراین، نیازی به تصحیح هندسی نداشت. تصحیح رادیومتریکی تصاویر نیز با استفاده از روش کاهش

پیکسل‌های تاریک^۱ در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد؛ با این فرضیه که پیکسل تاریک، با حداکثر احتمال، کمترین میزان انعکاس طیفی را دارد و متعلق به آب عمیق و سایه میان تصویر است که انعکاس آن صفر است. زیرا در صورت وجود ذرات پراکنده در جو پراکنش جوی باعث می‌شود عملاً انعکاس طیفی پیکسل‌های تاریک صفر نباشد. در این مطالعه، از نقاطی در رودخانه کارون که از آب عمیق و زلال برخوردارند برای تصحیح تصاویر ماهواره‌ای و رفع خطاهای اتمسفری استفاده شد.

طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای

روش‌های طبقه‌بندی به مثابه فنون و روش‌هایی با ضریب اطمینان بالا نسبت به روش‌های دیگر استخراج اطلاعات استفاده می‌شوند (ولی و همکاران ۱۳۹۸). طبقه‌بندی شیء‌گرا فرایندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیا یا تصاویری ارتباط می‌دهد (روستایی و همکاران ۱۳۹۷) و در آن، اضافه بر ارزش‌های عددی، از اطلاعات مربوط به بافت و شکل و تن رنگ در فرایند طبقه‌بندی استفاده می‌شود (Lillesand et al 2015؛ Lu et al 2012). فرایند طبقه‌بندی شیء‌گرا در سه مرحله کلی قابل انجام دادن است که شامل سگمنت‌سازی (قطعه‌بندی)، طبقه‌بندی، و ارزیابی صحت طبقه‌بندی است (سلمانی و همکاران ۱۳۹۶). سگمنت‌سازی مرحله مهمی در تحلیل شیء‌گرای تصاویر است. اشیا به وسیله گروهی از پیکسل‌ها مطابق با معیارهای همگنی و ناهمگنی شکل می‌گیرند که مهم‌ترین فرایند در پردازش شیء‌گرای تصاویرند (روستایی و همکاران ۱۳۹۷). برای سگمنت‌سازی از الگوریتم چندتفکیکه استفاده شد. این الگوریتم فرایندی پایین-بالاست که با شیء‌های یک پیکسل آغاز می‌شود (اندریانی و همکاران ۱۳۹۶) و از الگوریتم‌های عمومی برای این منظور به شمار می‌آید (Dragut et al 2014). نرم‌افزار eCognition برای سگمنت‌سازی چندتفکیکه از شاخصه‌های مقیاس، رنگ، شکل، نرمی، فشردگی، و وزن‌های متناسب (جدول ۴) برای هر یک از باندهای تصویری استفاده می‌کند (یاراحمدی و همکاران ۱۳۹۸). تعیین مقادیر بهینه برای مقادیر فوق در کیفیت سگمنت‌سازی اهمیت زیادی دارد (Blaschke 2010). مقیاس سگمنت‌سازی درجه کلی‌گرایی یا جزئی‌گرایی است. هر چه عددی بزرگ‌تر برای مقیاس تعریف شود، شیء‌های تصویری بزرگ‌تری ایجاد می‌شود و برعکس با انتخاب عددی کوچک‌تر برای پارامتر مقیاس شیء‌های تصویری کوچک‌تری ایجاد خواهد شد (خضری احمدآباد و

1. 'Dark Object Subtraction

سلیمانی (۱۳۹۶). از دیگر پارامترهای مؤثر در اندازه‌گیری‌ها رنگ و شکل است که جمع وزن هر دو عدد یک است (اندریانی و همکاران ۱۳۹۷). پیشینه‌ها نشان می‌دهد در اقلیم خشک و نیمه‌خشک عدد ۰/۹ در پارامتر رنگ بهترین سگمنت‌ها را داشته است (Mathieu et al 2007؛ Pu et al 2011) و در نهایت پارامتر فشردگی یا نرمی است که متناسب با بافت و ویژگی‌های هندسی عوارض زمینی تعیین می‌شود (اندریانی و همکاران ۱۳۹۶). در این پژوهش، بر اساس سعی و خطا (Trial and Error) و بررسی بصری نتیجه سگمنت‌سازی، مقادیر پارامترهای مقیاس و شکل و فشردگی تعیین شد. ترکیب نواری مناسب برای طبقه‌بندی نیز یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در کیفیت سگمنت‌سازی است. در تحلیل شیء‌گرایی تصاویر، علاوه بر امکان استفاده از بهترین ترکیب نواری برای سگمنت‌سازی، امکان اعمال وزن برای هر یک از نوارها نیز وجود دارد (فیضی‌زاده و همکاران ۱۳۹۷). در پژوهش حاضر، به دلیل ماهیت متفاوت باندهای حرارتی با باندهای انعکاسی در تصاویر مورد استفاده، باندهای حرارتی کنار گذاشته شد و فقط شش باند از این تصاویر استفاده شد. با تفسیر منحنی‌های انعکاس طیفی و همچنین ارزیابی هیستوگرام همبستگی نوارها بهترین ترکیب نواری با کمترین ضریب همبستگی و بیشترین واریانس بین ترکیبات باندهای مختلف برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شد.

در این پژوهش، به منظور افزایش دقت طبقه‌بندی در پردازش شیء‌گرایی تصاویر، از شاخص پوشش گیاهی در ترکیب نواری استفاده شد. NDVI بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی دارد (کاظمی‌نیا ۱۳۹۶) و SAVI واریانس بازتاب طیفی ناشی از تغییرات خاک زمینه را به حداقل کاهش می‌دهد (Pettorelli et al 2005). بنابراین، هر یک از این شاخص‌ها (جدول ۲) به منزله یک باند در ترکیب باندهای (جدول ۴) استفاده و میانگین و انحراف معیار سبزی‌نگی آن برای سگمنت‌ها در نظر گرفته شد (جدول ۳). کارایی هر شاخص در دقت طبقه‌بندی از طریق برآورد صحت و بررسی مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی تعیین و در ادامه از نقشه‌های کاربری اراضی مرتبط با شاخص مناسب‌تر جهت تحلیل تغییرات کاربری اراضی استفاده شد.

جدول ۲. روابط و دامنه تغییرات شاخص‌های گیاهی

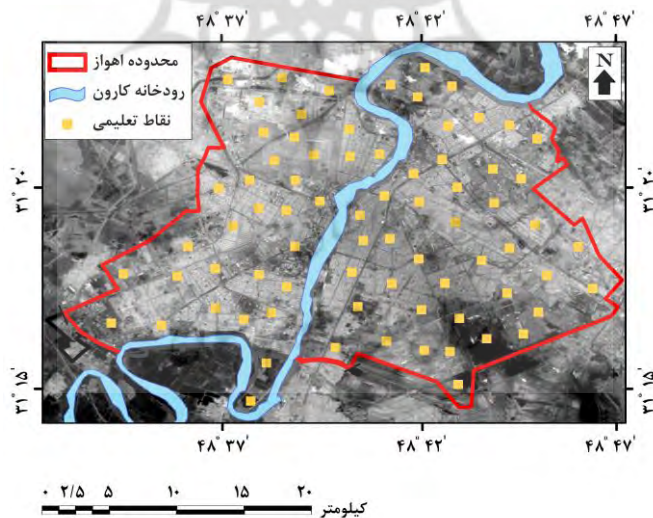
شاخص	رابطه	دامنه تغییرات	مأخذ
NDVI	$NDVI = (NIR-R) / (NIR+R)$	-۱ تا +۱	Tuker et al., 1979
SAVI	$SAVI = NIR-R / (NIR+R+L)(1+L)$	-۱ تا +۱	Pettorelli et al., 2015

L: فاکتور تصحیح تراکم‌های پوشش گیاهی (مقدار L برای نواحی با پوشش گیاهی کم ۱ است).

جدول ۳. دامنه عددی شاخص‌های پوشش گیاهی

شاخص	تاریخ تصویر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
NDVI	۲۴ می ۱۹۸۹	-۰/۴۹	۰/۴۴	-۰/۱۰	۰/۰۷
	۲۸ می ۲۰۰۲	-۰/۵۷	۰/۴۵	-۰/۱۰	۰/۰۸
	۱۵ ژانویه ۲۰۱۹	-۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۰۸	۰/۰۳
SAVI	۲۴ می ۱۹۸۹	-۰/۳۳	۰/۲۹	-۰/۰۷	۰/۰۵
	۲۸ می ۲۰۰۲	-۰/۳۸	۰/۳۰	-۰/۰۷	۰/۰۵
	۱۵ ژانویه ۲۰۱۹	-۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۲

در مرحله سگمنت‌سازی، پس از انتخاب ترکیب نواری مناسب، اقدام به اعمال وزن برای نوارهای تصویر شد. با در نظر گرفتن این موضوع که در اعمال وزن مجموع وزن‌های انتخاب‌شده باید ۱۰۰ باشد، از سه نوار منتخب برای طبقه‌بندی به نوار شاخص گیاهی وزن بیشتری داده شد که در مرحله ارزیابی کیفیت سگمنت‌ها با مقایسه نقاط برداشت‌شده به وسیله GPS به منزله نمونه‌های تعلیمی (شکل ۲) و انطباق سگمنت‌های ایجادشده با وضعیت موجود طبقات اراضی در سطح منطقه مشخص شد وزن‌های اعمال‌شده نتیجه مطلوبی را در سگمنت‌سازی ایجاد کرده است (جدول ۴).

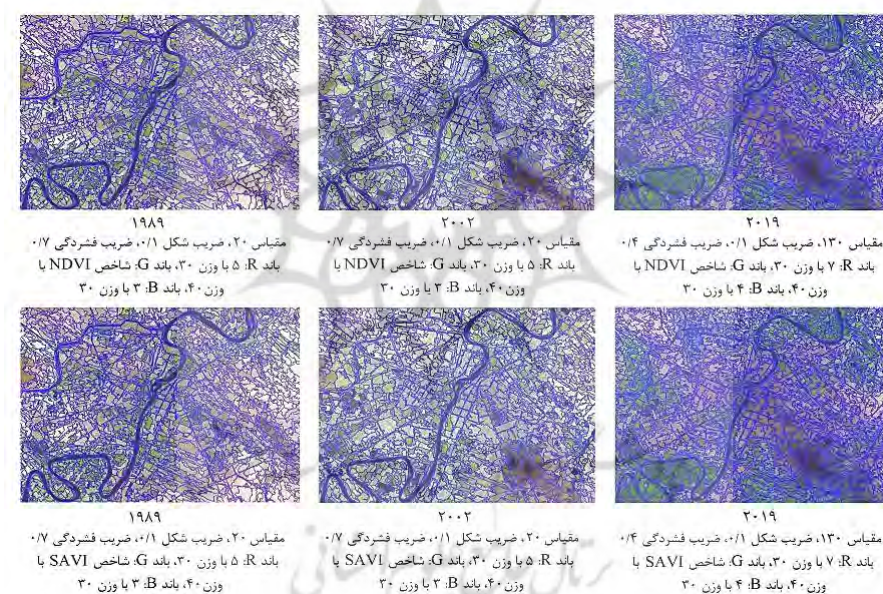


شکل ۲. پراکنش نقاط تعلیمی برداشت‌شده

جدول ۴. وزن‌های متناسب برای پارامترهای مؤثر در فرایند سگمنت‌سازی

تصویر ماهواره‌ای	مقیاس	شکل	فشرده‌گی	ترکیب نواری مناسب	وزن ترکیب نواری
TM (۱۹۸۹)	۲۰	۰/۱	۰/۷	R: ۵، G: شاخص گیاهی، B: ۳	
ETM+ (۲۰۰۲)	۲۰	۰/۱	۰/۷	R: ۵، G: شاخص گیاهی، B: ۳	R: ۳۰، G: ۴۰، B: ۳۰
OLI (۲۰۱۹)	۱۳۰	۰/۱	۰/۴	R: ۷، G: شاخص گیاهی، B: ۴	

بدین ترتیب مراحل سگمنت‌سازی تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی چندگانه جهت پردازش شیء‌گرا انجام شد. شکل ۳ تصاویر سگمنت‌سازی شده سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲، و ۲۰۱۹ میلادی را بر اساس مقادیر بهینه شاخصه‌های مقیاس، شکل، فشرده‌گی، ترکیب بانندی مناسب، و شاخص‌های NDVI و SAVI نشان می‌دهد.



شکل ۳. سگمنت‌سازی بر اساس مقادیر بهینه معیارها، ترکیب بانندی، و شاخص‌های گیاهی

در مرحله پردازش شیء‌گرا، سگمنت‌های تصویری موجود بر مبنای درجه عضویت آن‌ها به طبقات مختلف نسبت داده شد و هر یک از شیء‌های تصویری این روش با بیشترین درجه عضویت یک کلاس خاص و بر پایه منطق فازی طبقه‌بندی شد (اندیریانی و همکاران ۱۳۹۶). طبقه‌بندی

تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از پردازش شیء‌گرا تا کنون با بهره‌گیری از تکنیک‌های مختلف به طور گسترده استفاده شده است (سلمانی و همکاران ۱۳۹۶). صحت طبقه‌بندی و الگوریتم به‌کاررفته در طبقه‌بندی نقش مهمی در کاربرد و ارزش نقشه‌های شکل‌گرفته ایفا می‌کند (Brink et al 2013). در این رابطه، الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) از طبقه‌بندی‌های نظارت‌شده است که در سال ۱۹۶۵ میلادی محققان روسی، ولادیمیر نامویچ و پینک، مطرح کردند. این الگوریتم به خوبی می‌تواند پردازش‌های مربوط به طبقه‌بندی شیء‌گرا را انجام دهد (روستایی و همکاران ۱۳۹۷) و در بسیاری از تحقیقات به عنوان دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی معرفی شده (حاجی‌بیگلو و همکاران ۱۳۹۸؛ یوسفی و همکاران ۱۳۹۳؛ Brian et al 2011) و می‌تواند مشکلات اختلاف غیر متعادل بین نمونه‌های تعلیمی را حل کند (Jensen 2005). بنابراین، در این پژوهش، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا در محیط نرم‌افزار eCognition با استفاده از نمونه‌های تعلیمی صورت گرفت و در آن شیء‌های تصویری بر اساس الگوریتم تعیین شده (چندتفکیکه) به کلاس‌های طبقه‌بندی اختصاص یافت.

ارزیابی صحت گام نهایی طبقه‌بندی تصویر در روش هاست (یاراحمدی و همکاران ۱۳۹۸). پس از تهیه نقشه‌های کاربری زمین، دقت طبقه‌بندی انجام‌شده با به‌کارگیری ماتریس خطا، صحت کلی، و آماره کاپا ارزیابی شد. در این مرحله، با مقایسه صحت نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده از دو شاخص NDVI و SAVI میزان برتری شاخص‌ها در تفکیک پوشش گیاهی منطقه مشخص شد تا در مرحله بعد از نقشه‌های کاربری زمین، متعلق به شاخص منتخب، برای تحلیل روند تغییرات کاربری زمین در بازه زمانی سی‌ساله استفاده شود.

ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی ابزاری ضروری برای تحلیل‌های محیط زیستی و آمایش شهری است (عبداللهی و همکاران ۱۳۹۸). بر این اساس روش‌های متنوعی برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی وجود دارد که نسبت تبدیل کاربری اراضی مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده را فراهم می‌آورند (میرعلی‌زاده‌فرد و علی‌بخشی ۱۳۹۵). از مدل‌هایی که با استفاده از آن می‌توان

تغییرات کاربری اراضی و علت و برآیندهای آن را شناسایی کرد مدل ساز تغییر کاربری^۱ (LCM) است (فتح‌اللهی و همکاران ۱۳۹۷). مدل‌ساز تغییر کاربری زمین تحلیلی کامل از تغییرات اراضی با ایجاد نقشه‌های تغییرات کاربری، نمودار، انتقال طبقه کاربری، و روند آن‌ها فراهم می‌آورد (محمدیاری و همکاران ۱۳۹۵). به علاوه استفاده ترکیبی از مدل‌های مارکوف و CA رهیافتی قوی از مدل‌سازی پویایی فضایی و زمانی تغییر کاربری زمین ارائه می‌دهد (Sang et al 2011) و کاربری زمین را برای آینده شبیه‌سازی می‌کند (حلبیان و سلطانیان ۱۳۹۵). در این پژوهش، جهت تحلیل روند توسعه شهری در نقشه‌های کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ میلادی، از مدل‌ساز تغییر سرزمین LCM در محیط نرم افزار Terrset استفاده شد. این مدل ابزاری را در اختیار قرار می‌دهد که به کمک آن می‌توان به ارزیابی و مدل‌سازی تجربی تغییرات کاربری و تأثیر آن بر زیستگاه گونه‌ها و تنوع زیستی پرداخت (عبداللهی و همکاران ۱۳۹۸). در مرحله بعد، توسعه شهری در سال ۲۰۲۹ با مدل سلول‌های خودکار مارکوف CA-Markov و بر پایه تغییرات مشاهده‌شده بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ میلادی شبیه‌سازی شد. مدل CA-Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار زنجیره مارکف و تخصیص چندمنظوره اراضی است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری زمین به کار می‌آید (محمدیان بهبهانی و حیدری‌زادی ۱۳۹۷). برای تعیین اعتبار پیش‌بینی از شاخص انطباق کاپا استفاده شد که هر چه به عدد یک یا بر حسب درصد به عدد صد نزدیک تر باشد مبین اعتبار بالای مدل در پیش‌بینی مورد نظر است (حلبیان و سلطانیان ۱۳۹۵).

یافته‌ها

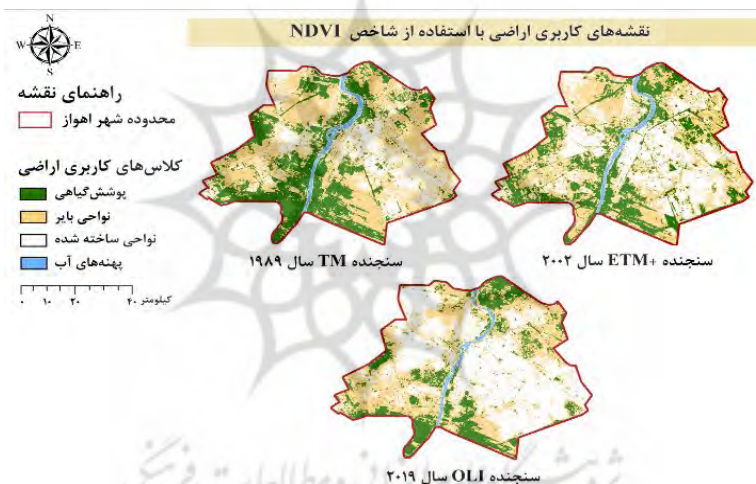
نتایج طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای

پس از طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، نقشه‌های کاربری اراضی به چهار کلاس شامل پوشش گیاهی، نواحی بایر، نواحی ساخته‌شده، و پهنه‌های آب تفکیک (جدول ۵ و شکل‌های ۴ تا ۵) و مساحت هر یک از کاربری‌ها برای هر سال مشخص شد (جدول‌های ۶ تا ۷). در این پژوهش، شاخص‌های NDVI و SAVI به طور مجزا در فرایند

طبقه‌بندی تصاویر مورد استفاده قرار گرفت تا با مقایسه مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای هر یک از نقشه‌های کاربری زمین به دست آید و میزان برتری آن شاخص در افزایش دقت طبقه‌بندی و تفکیک پوشش گیاهی از سایر طبقات کاربری ارزیابی شود.

جدول ۵. کاربری‌های طبقه‌بندی‌شده در تصاویر ماهواره‌ای

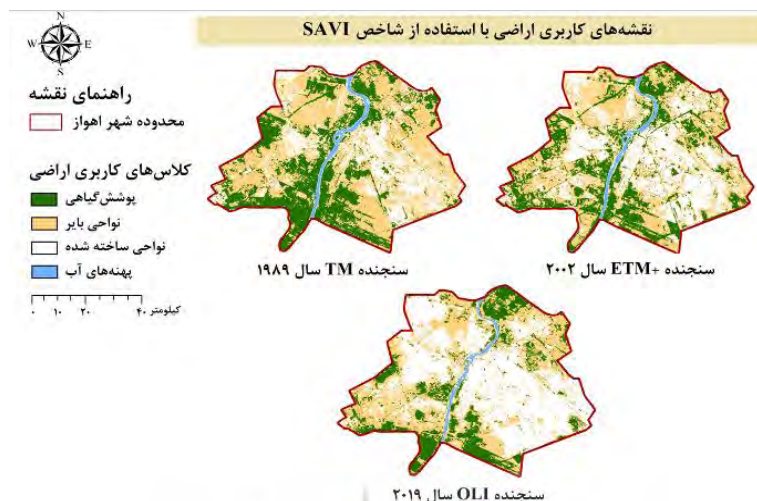
کلاس	کاربری
پوشش گیاهی	پارک‌ها، مجتمع‌های درختی، چمن، باغات، فضای سبز
نواحی بایر	فضاهای باز و نواحی بدون پوشش گیاهی اطراف شهر
نواحی ساخته‌شده	مناطق مسکونی، مراکز تجاری و صنعتی، خیابان‌ها، راه‌های ارتباطی
پهنه‌های آب	رودخانه کارون



شکل ۴. نقشه‌های کاربری اراضی برای هر سنجنده با استفاده از شاخص NDVI

جدول ۶. مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال با استفاده از شاخص NDVI

شاخص	مساحت (هکتار)			طبقات کاربری اراضی
	۲۰۱۹	۲۰۰۲	۱۹۸۹	
NDVI	۳۶۹۶/۸۹	۵۵۵۷/۳۹	۶۸۹۷/۰۴	پوشش گیاهی
	۷۷۱۰/۹۰	۸۹۸۵/۵۴	۱۰۲۳۲/۵۶	نواحی بایر
	۱۰۱۱۸/۹۳	۶۹۴۴/۱۶	۴۳۳۹/۲۴	نواحی ساخته‌شده
	۳۷۴/۳۱	۴۱۳/۹۴	۴۳۲/۲۰	پهنه‌های آب

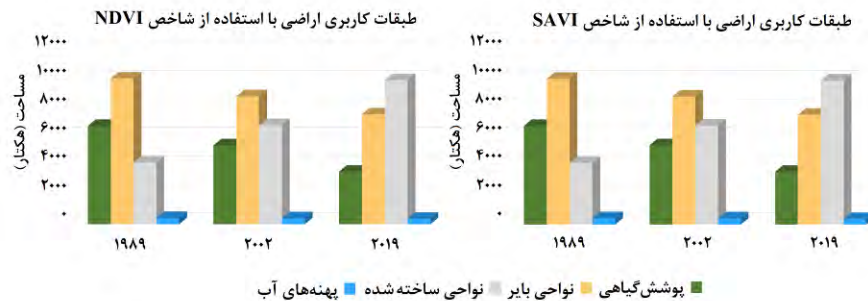


شکل ۵. نقشه‌های کاربری اراضی برای هر سنجنده با استفاده از شاخص SAVI

جدول ۷. مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال با استفاده از شاخص SAVI

شاخص	مساحت (هکتار)			طبقات کاربری اراضی
	۲۰۱۹	۲۰۰۲	۱۹۸۹	
SAVI	۳۷۰۹/۰۱	۵۵۶۹/۵۱	۶۹۰۹/۱۶	پوشش گیاهی
	۷۶۹۸/۷۸	۸۹۷۳/۴۲	۱۰۲۲۰/۴۴	نواحی بایر
	۱۰۱۰۶/۸۱	۶۹۳۲/۰۴	۴۳۲۷/۱۲	نواحی ساخته شده
	۳۸۶/۴۳	۴۲۶/۰۶	۴۴۴/۳۲	پهنه‌های آب

شکل ۶ نمودار طبقات کاربری اراضی در هر سال با استفاده از دو شاخص گیاهی مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بررسی نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به هر دو شاخص، در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۲ نواحی بایر و در سال ۲۰۱۹ نواحی ساخته شده بیشترین مساحت را داشته‌اند. کلاس پهنه‌های آب نیز در هر سه سال کمترین مساحت را به خود اختصاص داده است. در نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به شاخص NDVI مساحت پوشش گیاهی از ۶۸۹۷/۰۴ هکتار در سال ۱۹۸۹ به ۵۵۵۷/۳۹ هکتار در سال ۲۰۰۲ و ۳۶۹۶/۸۹ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است. بررسی نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به شاخص SAVI نشان داد مساحت پوشش گیاهی در سال ۱۹۸۹ حدود ۶۹۰۹/۱۶ هکتار بوده که در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ به ترتیب ۵۵۶۹/۵۱ و ۳۷۰۹/۰۱ هکتار شده است.



شکل ۶. نمودار طبقات کاربری اراضی در هر سال با استفاده از شاخص NDVI و SAVI

بررسی صحت نقشه‌های کاربری اراضی

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، صحت نقشه‌های به‌دست‌آمده برای سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ با استفاده از صد نقطه کنترل زمینی و تصویر رنگی کاذب همان سال‌ها بررسی شد (جدول ۸).

جدول ۸. ضرایب کاپا و صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی سنجنده‌ها بر اساس دو شاخص گیاهی

شاخص	سنجنده TM		سنجنده ETM+		سنجنده OLI	
	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی
NDVI	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۳
SAVI	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۹۶

همان‌طور که ملاحظه شد، نقشه‌های کاربری اراضی در هر سه سنجنده از ضرایب کاپا و صحت کلی بالای ۰/۷۰ برخوردار بودند. بالاترین مقادیر ضرایب کاپا و صحت کلی در تصاویر سنجنده OLI و پایین‌ترین مقادیر آن‌ها در تصاویر سنجنده TM بوده است. مقادیر ضرایب کاپا و صحت کلی نقشه‌های کاربری زمین حاصل از شاخص SAVI در تصاویر سه سنجنده نسبت به شاخص NDVI بیشتر است. بنابراین، با توجه به نتایج اعتبارسنجی نقشه‌های کاربری زمین، شاخص SAVI کارایی بیشتری در افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نسبت به شاخص NDVI داشته است. در ادامه جهت تحلیل تغییرات کاربری اراضی از نقشه‌های مربوط به شاخص SAVI استفاده شد.

نتایج ارزیابی روند توسعه شهری در نقشه‌های کاربری اراضی

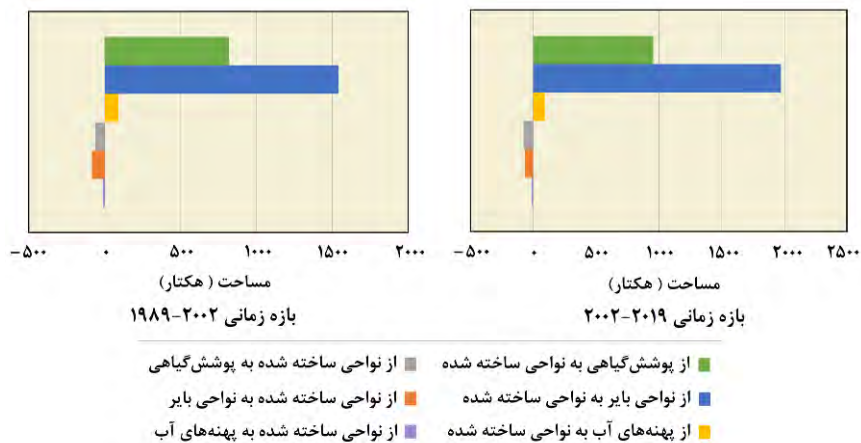
جهت ارزیابی روند توسعه شهری در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ از نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده از شاخص SAVI، به دلیل دقت بالاتر تفکیک طبقات کاربری اراضی، استفاده شد. از نقشه‌های کاربری اراضی به دست آمده به منزله ورودی مدل LCM استفاده شد و با بررسی تبدیل کاربری اراضی و کاهش‌ها و افزایش‌ها در هر کاربری میزان تغییرات مساحت نواحی ساخته شده مشخص شد. جدول ۹ میزان تغییرات مساحت نواحی ساخته شده نسبت به کاربری‌های دیگر را طی دو بازه ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد.

جدول ۹. میزان تغییرات مساحت نواحی ساخته شده در ارتباط با سایر کاربری‌ها

مساحت تغییرات (هکتار)		تغییرات
سال‌های ۲۰۱۹ - ۲۰۰۲	سال‌های ۱۹۸۹ - ۲۰۰۲	
۱۲/۶۸	۱۱/۴۸	از نواحی ساخته شده به پهنه‌های آبی
۶۶/۵۱	۸۴/۸۴	از نواحی ساخته شده به نواحی بایر
۷۵/۳۶	۶۲/۶۷	از نواحی ساخته شده به پوشش گیاهی
۹۲/۳۸	۸۷/۷۲	از پهنه‌های آب به نواحی ساخته شده
۱۹۷۱/۵۹	۱۵۳۹/۹۵	از نواحی بایر به نواحی ساخته شده
۹۵۶/۲۵	۸۱۷/۲۶	از پوشش گیاهی به نواحی ساخته شده

شکل ۷ تغییرات کاربری نواحی ساخته شده و میزان کاهش‌ها و افزایش‌ها در مساحت آن را طی دو بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، مساحت افزایش‌ها در کلاس نواحی ساخته شده بسیار بیشتر از مساحت کاهش‌ها بوده است که این موضوع نشان‌دهنده رشد شتابان توسعه شهری و تبدیل کاربری‌های دیگر به نواحی مسکونی و صنعتی و شبکه راه‌های ارتباطی است. در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ تغییرات نواحی ساخته شده روندی رو به افزایش داشته؛ طوری که به میزان ۲۶۰۴/۹۲ هکتار مساحت آن افزایش یافته است. در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ نیز مساحت نواحی ساخته شده افزایش یافته و میزان این افزایش نسبت به دوره قبل بیشتر بوده است؛ طوری که به میزان ۳۱۷۴/۷۷ هکتار به مساحت نواحی

ساخته‌شده افزوده شده است. یکی از موارد تأثیرگذار در افزایش ساخت‌وسازها و توسعه مناطق مسکونی افزایش تعداد پروانه‌های احداث ساختمان در دوره مورد بررسی است. بر اساس آمار و اطلاعات پروانه‌های ساختمانی صادرشده توسط شهرداری‌های کشور، در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ تعداد ۱۳۰۱۹ پروانه و در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ تعداد ۲۴۸۷۱ پروانه در شهر اهواز جهت احداث ساختمان صادر شده که بیانگر افزایش مساحت نواحی ساخته‌شده و تبدیل کاربری‌های دیگر به‌خصوص اراضی بایر به مناطق مسکونی است. در هر دو بازه زمانی، تغییرات مربوط به تبدیل نواحی بایر به نواحی ساخته‌شده چشمگیر است. در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ به میزان ۱۵۳۹/۹۵ هکتار و در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ به میزان ۱۹۷۱/۵۹ هکتار از نواحی بایر به نواحی ساخته‌شده تبدیل شده‌اند. تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده نیز مقادیر بالایی را نشان می‌دهد؛ طوری که در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ به میزان ۸۱۷/۲۶ هکتار و در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ به میزان ۹۵۶/۲۵ هکتار از مساحت پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده تبدیل شده است. کمترین تغییرات مربوط به تبدیل نواحی ساخته‌شده به پهنه‌های آب است؛ طوری که فقط ۱۱/۴۸ هکتار در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ و ۱۲/۶۸ هکتار در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ از اراضی ساخته‌شده به پهنه‌های آب تبدیل شده است. نتایج حاصل از مقایسه تصاویر دو دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ نشان داد مناطق جنوبی و شرقی اهواز در معرض بیشترین تغییرات بوده است. با مراجعه به این مناطق مشخص می‌شود که این مناطق قلمرو مهاجرت روستاییان از شهرها و روستاهای مختلف استان خوزستان به این مناطق است. اکثر سکونتگاه‌های این مناطق دارای بافت سکونتگاهی غیررسمی است؛ بدین صورت که مهاجران در این مناطق بدون نظارت ارگان‌های ذی‌ربط به ساختن مسکن اقدام کرده‌اند که به نوعی حاشیه‌نشینی در شهر انجامیده است و باعث مشکلات بسیار، از جمله آلودگی بصری و بحران‌های اجتماعی و فرهنگی و امثال آن‌ها، شده است. مناطق مرکزی (هسته اولیه شهر) در بازه زمانی مورد مطالعه بافت اولیه خود را حفظ کرده‌اند.



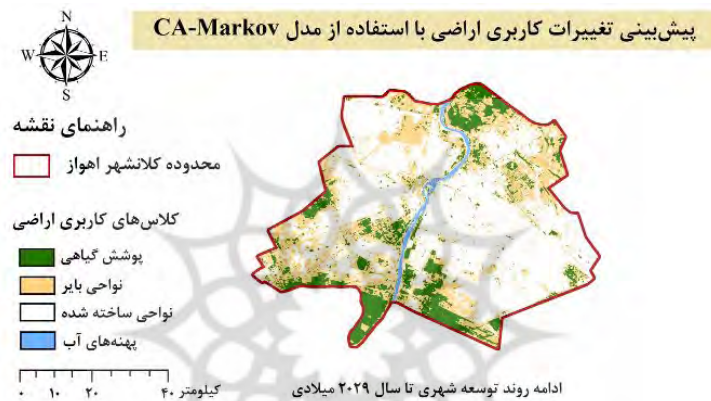
شکل ۷. تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی در بازه‌های زمانی مختلف

نتایج پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری با مدل CA-Markov

پس از بررسی نتایج حاصل از صحت مکانی مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۹، از مدل CA-Markov برای پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری در محیط نرم‌افزار Terrset استفاده شد. با توجه به تطابق نتایج تحلیل کاربری‌ها با واقعیت، ضریب کاپای حاصل از ماتریس خطا بین نقشه به دست آمده از مدل‌سازی و نقشه کاربری اراضی به دست آمده از تصویر ماهواره ای سال ۲۰۱۹ مقدار ۰/۸۲ را نشان داد. در ادامه، اقدام به ساخت سناریوی آینده در دوره ده سال بعدی (۲۰۱۹ - ۲۰۲۹) شد. این کار با توجه به تغییرات رخ داده در دوره قبل (۲۰۰۲ - ۲۰۱۹) اجرا شد. شکل ۸ و جدول ۱۰ به ترتیب نشان دهنده مساحت طبقات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۹ است.

نتایج پیش‌بینی تغییرات در سال ۲۰۲۹ به گونه‌ای است که در صورت ادامه روند موجود به میزان ۷۸۵/۷۷ هکتار از پوشش گیاهی منطقه کاسته و به کاربری‌های نواحی بایر و نواحی ساخته شده تبدیل می‌شود. نواحی بایر با کاهش حدود ۱۴۴۰/۶۵ هکتار روند رو به کاهش خود را در این بازه زمانی نیز حفظ کرده و به میزان ۶۲۵۸/۱۳ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است. کمترین تغییرات مربوط به مساحت رودخانه کارون به منزله پهنه آبی منطقه مورد مطالعه بوده که به میزان ۱۲/۴ هکتار کاهش یافته و به حدود ۳۷۴/۰۳ هکتار در سال ۲۰۲۹ می‌رسد. از جدول پیش‌بینی

مساحت‌ها می‌توان دریافت که فقط نواحی ساخته‌شده روند افزایشی داشته‌اند و بقیه کاربری‌ها با روندی کاهشی روبه‌رو بوده و خواهند بود. کاربری نواحی ساخته‌شده به میزان ۲۲۳۸/۸۲ هکتار بیشترین رشد را داشته که این طبقه مربوط به مناطق مسکونی و تجاری و صنعتی و خیابان‌ها و راه‌های ارتباطی است. البته این میزان افزایش در مساحت کاربری نواحی ساخته‌شده در مقایسه با دوره قبلی (۳۱۷۴/۷۷ هکتار افزایش) کمتر بوده و مساحت کمتری از کاربری‌های دیگر به کاربری نواحی ساخته‌شده تبدیل شده است.



شکل ۸. پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری در سال ۲۰۲۹ با مدل CA-Markov

جدول ۱۰. مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال ۲۰۲۹

مساحت (هکتار)	طبقات کاربری اراضی
۲۹۲۳/۲۴	پوشش گیاهی
۶۲۵۸/۱۳	نواحی بایر
۱۲۳۴۵/۶۳	نواحی ساخته شده
۳۷۴/۰۳	پهنه‌های آب

بحث و نتیجه

در این پژوهش، از تصاویر سه سنجنده TM (۱۹۸۹)، ETM+ (۲۰۰۲)، و OLI (۲۰۱۹) ماهواره لندست جهت ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری در شهر اهواز استفاده شد. استفاده از داده‌های ماهواره لندست و تکنیک پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در این

پژوهش نشان‌دهنده کارایی بالای تکنیک به‌کاررفته در زمینه آشکارسازی و مدل‌سازی رشد شهری بود. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مشخص شد استفاده از تصاویر سنجنده OLI نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد. در مرحله سگمنت‌سازی تصاویر ماهواره‌ای وزن‌های در نظر گرفته شده برای پارامترهای مقیاس، شکل، فشردگی، و باندهای تصویری به شکل کاملاً محسوس در وضوح و کیفیت تصویر تأثیر می‌گذارد و از این یافته می‌توان به توجیه افزایش کیفیت سگمنت‌سازی به‌خوبی استفاده کرد. همچنین، استفاده از شاخص گیاهی در مراحل سگمنت‌سازی و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای موجب افزایش صحت نقشه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده شد. در این تحقیق، با توجه به اقلیم خشک و پوشش کم منطقه، نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به شاخص SAVI دارای بالاترین مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی بودند. چون در این شاخص شیب خط خاک به کار گرفته شده و اثر منفی خاک زمینه‌ای به‌خوبی حذف شده و تفکیک کاربری‌ها با دقت بالاتری انجام شده است. با بررسی نتایج مدل LCM و مقایسه مساحت کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، می‌توان نتیجه گرفت که طی سی سال مساحت کاربری نواحی ساخته‌شده روند رو به افزایش داشته است؛ طوری که در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ به میزان $2604/92$ هکتار و در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ به میزان $3174/77$ هکتار به مساحت نواحی ساخته‌شده افزوده شده است. این بدین معناست که در هفده سال منتهی به سال ۲۰۱۹ نسبت به دوره قبل مساحت بیشتری از کاربری‌های دیگر به کاربری نواحی ساخته‌شده تبدیل شده است. نتایج پیش‌بینی تغییرات با استفاده از مدل CA-Markov تا سال ۲۰۲۹ نیز نشان‌دهنده ادامه روند افزایشی مساحت کلاس نواحی ساخته‌شده بود؛ طوری که طی ده سال به میزان $2238/82$ هکتار به نواحی ساخته‌شده افزوده شده است و مساحت آن به $12345/63$ هکتار در سال ۲۰۲۹ خواهد رسید. نتایج این مطالعه نیز مانند اکثر پژوهش‌های گذشته (ابراهیمی و رسولی ۱۳۹۶؛ کریمی فیروزجانی و همکاران ۱۳۹۷؛ اکبری و همکاران ۱۳۹۸؛ عبداللهی و همکاران ۱۳۹۸؛ مؤذنی و پورمحمدی ۱۳۹۹؛ جیان و کرانی ۲۰۰۵؛ گویان و همکاران ۲۰۰۸؛ گویان و همکاران ۲۰۱۱؛ پاول و همکاران ۲۰۱۸) گویای رشد نامتوازن مناطق شهری و متقابلاً کاهش کلاس‌های دیگر کاربری‌های اراضی بود که این روند در آینده نیز ادامه خواهد داشت. یکی از دلایل این وضعیت تغییرات جمعیتی و رشد در سال‌های مختلف است که نیاز به مسکن و

گسترش ساخت‌وسازهای مسکونی را در پی دارد. جمعیت شهر اهواز در سال ۱۹۸۹ حدود ۵۳۴۳۸۱ نفر، در سال ۲۰۰۲ حدود ۹۸۵۶۱۴ نفر، و در سال ۲۰۱۹ حدود ۱۱۸۴۷۸۸ بوده که به افزایش تعداد ساخت‌وساز واحدهای مسکونی انجامیده است. تغییرات مشاهده‌شده در زمینه توسعه زمین‌های شهری طی سال‌های یادشده نشان داد مناطقی که بیشترین توسعه را به لحاظ ساخت‌وساز اراضی به خود دیده‌اند دارای بیشترین جمعیت و در عین حال مهاجرنشین‌ترین مناطق در شهر هستند که این موضوع خود می‌تواند گویای رشد ناموزون شهری به‌ویژه در قسمت‌های جنوبی شهر باشد. بیشترین توسعه اراضی در اهواز در قسمت‌های جنوبی و شرقی شهر مشاهده شده است. هرچند داشتن اراضی برای توسعه آتی شهری یک فرصت برای هر شهر محسوب می‌شود، تغییرات گسترده و فاقد برنامه، که همان مفهوم رشد نامتوازن را در شهر اهواز تداعی می‌کند، می‌تواند به لحاظ مدیریت و توسعه شهر را در داشتن امکانات و زیرساخت‌ها و خدمات مربوط به توسعه شهری برای شهروندان با مشکل مواجه سازد. به دلیل آنکه توزیع ساختارهای کارکردی و فضایی در شهر با قابلیت‌ها و منابع طبیعی و انسانی هماهنگ نیست، تدوین برنامه‌های جامع آمایش سرزمین برای سازماندهی فضایی شهر الزامی به نظر می‌رسد. در این زمینه، می‌توان از ابزارهای تحلیلی جدید برای نشان دادن تغییرات توسعه آتی شهر و نیز مدیریت پایگاه داده در سازمان‌های ذی‌ربط استفاده کرد. همچنین می‌توان با ایجاد شیوه‌های نوین، مانند کمربند سبز، به‌خصوص در قسمت‌های جنوبی و شرقی شهر، از گسترش‌های نامتوازن جلوگیری کرد. تشویق و برنامه‌ریزی برای توسعه میان‌افزا یا درون‌گرا در اراضی بایر و ساخته‌نشده شهر می‌تواند به توسعه متعادل شهر کمک کند. با توجه به اینکه در حال حاضر آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابزاری سودمند برای درک تغییرات زیست‌محیطی در رابطه با فعالیت‌های انسانی به حساب می‌آیند، پیشنهاد می‌شود برای مناطق شهری به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر جهت تولید نقشه‌های کاربری‌ها استفاده شود. همچنین، ضروری است نتایج حاصل از این دسته تحقیقات با طرح‌های جامع آمایش شهری مقایسه و در صورت امکان از یافته‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین برای برنامه‌ریزی آتی در این طرح‌ها استفاده شود.

منابع

- ابراهیمی، حمید؛ علی اکبر رسولی؛ احمد احمدپور (۱۳۹۶). «مدل‌سازی تغییرات دینامیک کاربری اراضی با استفاده از پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: شهر شیراز)»، *اطلاعات جغرافیایی*، د ۲۷، ش ۱۰۸، صص ۱۳۷ - ۱۴۹.
- اسماعیل پور، فاطمه؛ محمدحسین سرایی؛ محمدرضا رضایی؛ نجما اسماعیل پور (۱۳۹۷). «پیش‌بینی تغییر کاربری زمین و تعیین الگوی رشد شهری با مدل زنجیره مارکوف و تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه (موردپژوهی: شهر اراک)»، *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، د ۷، ش ۱، صص ۱۱۳ - ۱۴۷.
- اکبری، الهه؛ محمدعلی زنگنه اسدی؛ ابراهیم تقوی مقدم (۱۳۹۴). «پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های مختلف تئوری آموزش آماری منطقه نیشابور»، *آمایش جغرافیایی فضا*، د ۶، ش ۲۰، صص ۳۵ - ۴۹.
- اکبری، داود؛ مینا مرادی‌زاده؛ محمد اکبری (۱۳۹۹). «تغییرات کاربری اراضی و شبیه‌سازی رشد و توسعه شهری رشت با استفاده از مدل شبکه عصبی و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف»، *برنامه‌ریزی شهری*، د ۱۰، ش ۳۹، صص ۱۵۷ - ۱۷۰.
- اندریانی، صغری؛ محمدرضا نیک‌جو؛ محمدحسین رضایی مقدم؛ داوود مختاری (۱۳۹۶). «تحلیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های شیء‌گرا و زنجیره مارکف در حوضه آبریز زلیبیرجای واقع در آذربایجان شرقی و غربی»، *جغرافیا و توسعه*، د ۱۶، ش ۵۳، صص ۳۷ - ۵۰.
- پوراحمد، احمد؛ بهار حبیبیان؛ محمدرضا احمدنیا (۱۳۹۴). «تحلیلی بر فضای کالبدی شهر اهواز»، *باغ نظر*، د ۱۳، ش ۳۹، صص ۲۵ - ۳۸.
- پورخباز، حمیدرضا؛ فاطمه محمدیاری؛ حسین اقدر؛ مرتضی توکلی (۱۳۹۴). «رویکرد آمایشی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان بهبهان با به‌کارگیری از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای»، *آمایش سرزمین*، د ۷، ش ۲، صص ۱۸۷ - ۲۰۷.
- حاجی بیگللو، محبوبه؛ واحدبردی شیخ؛ هادی معماریان؛ چوقی کمکی (۱۳۹۸). «ارزیابی طبقه بندی نظارت‌شده شیء‌گرا و پیکسل پایه در استخراج کاربری اراضی بر مبنای دو شاخص اختلاف کمی و مکانی در حوزه آبخیز گرگان‌رود»، *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، د ۱۰، ش ۴، صص ۱ - ۲۰.

- حلبیان، امیرحسین؛ محمود سلطانیان (۱۳۹۵). «ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات بیابان‌زایی در شرق و جنوب اصفهان با مدل زنجیره مارکوف»، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، د ۳، ش ۴، صص ۷۱-۸۸.
- حیدریان، پیمان؛ کاظم رنگزن؛ سعید ملکی؛ ایوب تقی‌زاده (۱۳۹۳). «تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، و مدل LCM با رویکرد مدل‌سازی توسعه شهری (مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران)»، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، د ۵، ش ۱۷، صص ۸۷-۱۰۰.
- خضری، محمد؛ کریم سلیمانی (۱۳۹۶). «کاربرد تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز قزل‌اوزن با استفاده از تکنیک فیوژن و پردازش شیء‌گرا»، *کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی*، د ۸، ش ۳، صص ۱۳-۲۱.
- روستایی، شهرام؛ داوود مختاری؛ خلیل ولی‌زاده کامران؛ لیلیا خدایی‌قشلاق (۱۳۹۷). «مقایسه روش پیکسل پایه (بیشترین شباهت) و شیء‌گرا (ماشین بردار پشتیبان) در طبقه‌بندی کاربری اراضی، منطقه اهر و ورزقان»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، د ۸، ش ۱، صص ۱۱۸-۱۲۹.
- سلمانی، سعید؛ حمید ابراهیمی؛ کیوان محمدزاده؛ خلیل ولی‌زاده کامران (۱۳۹۶). «ارزیابی تکنیک‌های مختلف طبقه‌بندی شیء‌گرا در استخراج کاربری اراضی از تصاویر ماهواره آکونوس»، *اطلاعات جغرافیایی*، د ۲۸، ش ۱۱۱، صص ۲۰۵-۲۱۵.
- ظاهرپور، مریم؛ نادر پیرمردیان؛ مجید وظیفه‌دوست (۱۳۹۵). «مقایسه روش‌های پر کردن پیکسل‌های فاقد داده در تصاویر ماهواره لندست هفت ETM+ در برآورد نقشه ضریب گیاهی»، *تحقیقات آب و خاک ایران*، د ۴۷، ش ۴، صص ۶۶۵-۶۷۶.
- عبداللهی، علی‌اصغر؛ مصطفی خبازی؛ زهرا درانی (۱۳۹۸). «مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر لاهیجان با رویکرد توسعه پایدار»، *شهر پایدار*، د ۲، ش ۴، صص ۱۷-۳۰.
- فتح‌اللهی، معصومه؛ کامران نصیراحمدی؛ مهرداد خان‌محمدی (۱۳۹۷). «مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل‌سازی تغییر سرزمین LCM (مطالعه موردی: شهرستان نکا)»، *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*، د ۹، ش ۱، صص ۵۳-۶۹.
- فیضی‌زاده، بختیار؛ علی خدمت‌زاده؛ محمدرضا نیک‌جو (۱۳۹۷). «ریزطبقه‌بندی اراضی باغی و زراعی با استفاده از تکنیک‌های پردازش شیء‌پایه و الگوریتم‌های فازی با هدف تخمین سطح زیر کشت»، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، د ۱۸، ش ۴۸، صص ۲۰۱-۲۱۶.

- کاظمی نیا، عبدالرضا (۱۳۹۶). «کاربرد سنجش از دور و GIS در بررسی پوشش گیاهی»، مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، د ۹، ش ۱، صص ۷۵ - ۸۵.
- کریمی، محمد؛ مجید کیاورز؛ محسن کلانتری (۱۳۹۷). «پایش و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل در دوره زمانی ۱۳۶۴ - ۱۴۱۹ با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست»، برنامه ریزی توسعه کالبدی، د ۵، ش ۳، صص ۳۲ - ۵۲.
- محمدیاری، فاطمه؛ حمیدرضا پورخجاز؛ مرتضی توکلی؛ حسین اقدر (۱۳۹۳). «تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)»، اطلاعات جغرافیایی، د ۲۳، ش ۹۲، صص ۲۳ - ۳۴.
- محمدیان بهبهانی، علی؛ زاهده حیدری زادی (۱۳۹۷). «پایش و پیش بینی روند تغییرات پهنه های ماسه ای با استفاده از مدل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: دشت ابوغویر دهلران، استان ایلام)»، علوم محیطی، د ۱۶، ش ۴، صص ۱۵۳ - ۱۶۶.
- معبودی، محمدتقی؛ هادی حکیمی (۱۳۹۴). «تحلیلی بر تغییرات کاربری اراضی و شبیه سازی گسترش شهرهای میانه اندام (مطالعه موردی: شهر خوی)»، پژوهش های جغرافیایی برنامه ریزی شهری، د ۳، ش ۲، صص ۲۱۱ - ۲۲۶.
- مؤذنی، مهدی؛ محمدرضا پورمحمدی (۱۳۹۹). «مدل سازی زمانی - مکانی روند توسعه شهرها با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: شهر پارس آباد مغان)»، جغرافیا و برنامه ریزی، د ۲۴، ش ۷۳، صص ۳۴۹ - ۳۷۷.
- میرعلی زاده فرد، رضا؛ مریم علی بخشی (۱۳۹۵). «پایش و پیش بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و مدل ساز تغییر کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت برتش دهلران ایلام)»، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، د ۷، ش ۲، صص ۳۳ - ۴۵.
- نورایی صفت، ایثار؛ سجاد نظری؛ سعید کریمی (۱۳۹۵). «بررسی روند تغییرات رشد و گسترش کالبدی شهر رشت و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی زمین های اطراف آن با تصاویر ماهواره ای»، جغرافیا و مطالعات محیطی، د ۵، ش ۱۷، صص ۲۱ - ۳۱.
- ولی، عباس علی؛ حجت موسوی؛ هاجر عباسی (۱۳۹۸). «تحلیل و ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی مبارکه در راستای تحقق توسعه پایدار»، جغرافیای اجتماعی شهری، د ۶، ش ۲، صص ۷۳ - ۸۶.

یاراحمدی، جمشید؛ قباد رستمی‌زاد؛ حسین ساعی (۱۳۹۸). «آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی به روش شیء‌گرا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوزه آبخیز ایلگنه‌چای جنگل‌های ارسباران»، *حفاظت و بهره‌برداری جنگل‌های میرکائی*، د ۱، ش ۲، صص ۵۹ - ۷۰.

یوسفی، صالح؛ مهدی تازه؛ سمیه میرزایی؛ حمیدرضا مرادی؛ شهلا توانگر (۱۳۹۳). «مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی»، *سنجش‌از‌دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، د ۵، ش ۳، صص ۶۷ - ۷۶.

References

- Abdollahi, A.A., Khabazi, M., & Dorani, Z. (2020). "Modeling and Predicting Land-Use Changes in Lahijan City with a Sustainable Development Approach", *Sustainable City*, 2(4), pp. 17-30. (in Persian)
- Akbari, D., Moradizadeh, M., & Akbari, M. (2020). "Land-Use Changes and Urban Development Simulation Using Neural Network and Markov Chain Cellular Automata", *Research and Urban Planning*, 10(39), pp. 157-170. (in Persian)
- Akbari, E., Zangane-Asadi, M.A., & Taghavi-Moghadam, E. (2016). "Change Detection Land-Use and Land Cover Regional Neyshabour Using Different Methods of Statistical Training Theory", *Geographical Planning of Space*, 6(20), pp. 35-49. (in Persian)
- Andareiani, S., Nikgoo, M.R., Rezaei, M.H., & Mokhtari, D. (1396). "Analysis of Land-Use Change Using Object Oriented and Markov Chains in the Zilberhay Basin in East Azarbaijan and West", *Geography And Development*, 16(53), pp. 37-50. (in Persian)
- Berberoglu, S., Akin, A., & Clarke, K. (2016). "Cellular Automata Modeling Approaches to Forecast Urban Growth for Adana Turkey: A Comparative Approach", *Landscape and Urban Planning*, 153, pp. 11-27.
- Blaschke, T., Feizizadeh, B., & Holbling, D., (2014). "Object-Based Image Analysis and Digital Terrain Analysis for locating Landslides in the Urmia Lake Basin, Iran", *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(12), pp. 4806-4817.
- Brian, W.S., Chen, Q., & Borger, M. (2011). "A Comparison of Classification Techniques to Support Land Cover and Land-Use Analysis in Tropical Coastal Zones", *Applied Geography*, 31(2), pp. 525-532.
- Brink, A.B., Bodart, C., Brodsky, L., Defourney, P., Ernst, C., Donney, F., Lupi, A., & Tuckova, K., (2013). "Anthropogenic Pressure in East Africa-Monitoring 20 Years of Land Cover Changes by Means of Medium Resolution Satellite Data", *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28(1), pp. 60-69.
- Brøgger, D.R. & Agergaard, J. (2019). "The Migration Urbanisation Nexus in Nepal's Exceptional Urban Transformation", *Population, Space and Place*, 25(8), pp. 1-13.
- Calderón, M., Hadjikakou, M., & Bryan, B.A. (2021). "High Resolution Wall to Wall Land-Cover Mapping and Land Change Assessment for Australia from 1985 to 2015", *Remote Sensing of Environment*, 252, pp. 1-15.
- Choudhary, K., Boori, M.S., & Kupriyanov, A.V. (2019). "Spatial Modelling for Natural

- and Environmental Vulnerability through Remote Sensing and GIS in Astrakhan, Russia”, *Remote Sensing and Space Science*, 21(2), pp. 139-147.
- Dang, N. & Kawasaki, A. (2017). “Integrating Biophysical and Socio Economic Factors for Land Use and Land Cover Change Projection in Agricultural Economic Regions”, *Ecological Modelling*, 344, pp. 29-37.
- Dibs, H., Hasab, H. A., Al-Rifaie, J. K., & Al-Ansari, N. (2020). “An Optimal Approach for Land-Use/Land-Cover Mapping by Integration and Fusion of Multispectral Landsat OLI Images: Case Study in Baghdad, Iraq”, *Water, Air and Soil Pollution*, 231(9), pp. 1-15.
- Dragut, L., Csillik, O., Eisank, C., & Tiede, D. (2014). “Automated Parameterisation for Multi-Scale Image Segmentation on Multiple Layers”, *Photogrammetry and Remote Sensing*, 88(100), pp. 119-127.
- Ebrahimi, H., Rasuly A.A., & Ahmadpour A. (2019). “Modeling Dynamic Changes of Land-Use with Object Based Image Analysis and CA-Markov Approach: Case Study of Shiraz City”, *Geographical Data (Sepehr)*, 27(108), pp. 137-149. (in Persian)
- Esmailpour, F., Saraei, M.H., Mohammad Reza Rezaei, M.R., & Esmailpour, N. (2019). “Prediction of Land-Use Change and Determination of Urban Growth Patterns Using Markov Chain Model and Multi-Chip Satellite Images: Case Study of Arak City”, *Geographical Research on Desert Areas*, 7(1), pp. 113-147. (in Persian)
- Fathollahi-Roudbary, M., Nasirahmadi, K., & Khanmohamadi, M. (2018). “Land-Use Change Modeling Using LCM Module: Case Study of Neka Region”, *Natural Ecosystems Of Iran*, 9(1), pp. 53-69. (in Persian)
- Feizizadeh, B., KHedmat-Zadeh, A., & Nikjoo, M.R. (2018). “Micro-Classification of Orchards and Agricultural Croplands by Applying Object Based Image Analysis and Fuzzy Algorithms for Estimating the Area under Cultivation”, *Researches in Geographical Sciences*, 18(48), pp. 201-216. (in Persian)
- Firozjahi, M.K., Kiavarz, M., & Kalantari, M. (2018). “Monitoring and Prediction of Land-Use Changes and Physical Expansion of Babol City During 1985-2040 Using Multi-Temporal Landsat Imagery”, *Physical Development Planning*, 3(11), pp. 32-52. (in Persian)
- Gašparović, M., Zrinjski, M., & Gudelj, M. (2019). “Automatic Cost Effective Method for Land Cover Classification (ALCC)”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 76, pp. 1-10.
- Ge, G., Shi, Z., Zhu, Y., Yang, X., & Hao, Y. (2020). “Land Use/Cover Classification in an Arid Desert Oasis Mosaic Landscape of China using Remote Sensed Imagery: Performance Assessment of Four Machine Learning Algorithms”, *Global Ecology and Conservation*, 22, pp. 1-13.
- Gharaibeh, A., Shaamala, A., Obeidat, R., & Al-Kofahi, S. (2020). “Improving Land-Use Change Modeling by Integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain Model”, *Heliyon*, 6(9), pp. 1-18.
- Giménez, M.E.F., Jennings, L.B., & Wilmer, H. (2019). “Poetic Inquiry as a Research and Engagement Method in Natural Resource Science”, *Society & Natural Resources*, 32(10), pp. 1080-1091.
- Gomes, E. (2020). “Sustainable Population Growth in Low Density Areas in a New Technological Era: Prospective Thinking on How to Support Planning Policies using

- Complex Spatial Models”, *Land*, 9(7), pp. 1-14.
- Guan, D., Gao, W., Watari, K., & Fukahori, H. (2008). “Land-Use Change of Kitakyushu Based on Landscape Ecology and Markov Model”, *Geographical Sciences*, 18(4), pp. 455-468.
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., & Hokao, K. (2011). “Modeling Urban Land-Use Change by the Integration of Cellular Automaton and Markov Model”, *Ecological Modelling*, 222(22), pp. 3761-3772.
- Hajibigloo, M., Sheikh, V.B., Memarian, H., & Komaki, C.B. (2019). “Determination of Quantity and Allocation Disagreement Indices in Selection of Appropriate Algorithm for Land-Use Classification in Pixel and Objected Base in Gorgarood River Basin”, *RS and GIS for Natural Resources*, 10(4), pp. 1-20. (in Persian)
- Halabian, A.H. & Soltanian, M. (2017). “Assessment and Forecasting the Desertification Changes in the East and South of Isfahan by CA-Markov Model”, *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 3(4), pp. 71-88. (in Persian)
- Pourkhabbaz, H.R., Mohammadyari, F., Aghdar, H., & Tavakoly, M. (2015). “Planning Approach to Land Use Change Modeling Using Satellite Images Several Times Behbahan City”, *Town and Country Planning*, 7(2), pp.187-207. (in Persian)
- Heydarian, P., Rangzan, K., Maleki, S., & Taghi Zadeh, A. (2014). “Application of Remote Sensing and GIS Techniques and LCM Model in Modeling Urban Development: Case Study of Tehran Metropolitan”, *Arid Regions Geographic Studies*, 5(17), pp. 87-100. (in Persian)
- Jensen, J. (2005). “Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective”, 3rd Edition, *Prentice Hal: New Jersey*.
- Kazemina, A. (2018). “Application of Remote Sensing and GIS in the Investigating Vegetation Coverage”, *Geospatial Engineering*, 9 (1), pp. 75-85. (in Persian)
- Khezri, M. & Solaimani, K. (2017). “Application of Satellite Images for Mapping Land-Use in Ghezel Ozan Watershed Using Fusion Techniques and Object-Oriented Processing”, *GIS & RS Application in Planning*, 8(3), pp. 13-21. (in Persian)
- Kim, Y., Oh, J., & Kim (2020). “The Transition from Traditional Infrastructure to Living SOC and Its Effectiveness for Community Sustainability: The Case of South Korea”, *Sustainability*, 12(24), pp. 1-16.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). “Remote Sensing and Image Interpretation”, *John Wiley and Sons*, New Jersey.
- Lu, D., Li, G., Moran, E., Freitas, C., Dutra, L., & Sant’Anna, S. (2012). “A Comparison of Maximum Likelihood Classifier and Object-Based Method Based on Multiple Sensor Datasets for Land-Use/Cover Classification in the Brazilian Amazon”, *Proceedings of 4th Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia)*, Rio de Janeiro, Brazil.
- Mathieu, R., Aryal, J., & Chong, A.K. (2007). “Object-Based Classification of IKONOS Imagery for Mapping Large-Scale Vegetation Communities in Urban Areas”, *Sensors*, 7(11), pp. 2860-2880.
- Mir Alizadehfard, R., & Alibakhshi, M. (2017). “Monitoring and Forecasting Of Land-Use Change By Applying Markov Chain Model and Land Change Modeler: Case Study of Dehloran Bartash Plains, Ilam”, *RS and GIS for Natural Resources*, 7(2). pp. 33-45. (in Persian)

- Moazeni, M. & Pour-Mohammadi, M.R. (2020). "Spatio-Temporal Modeling Of Urban Development, With an Emphasis on Land-Use Change by Using Of Markov-Ca Model: Case Study of Parsabad Moghan City", *Geography and Planning*, 24(73), pp. 349-377. (in Persian)
- Mohamadian Behbahani, A. & Zahedeh Heidarizadi, A. (2018). "Monitoring and Predicting the Trend of Sand Zone Changes Using the Ca-Markov Model: Case Study of Abu Ghovair Plain, Dehloran, Ilam Province", *Environmental Science*, 16(4), pp. 153-166. (in Persian)
- Mohammadyari, F., Pourkhabaz, H.R., Tavakoli, M., & Aghdar, H. (2015). "Mapping vegetation and Monitoring Its Changes Using Remote Sensing and GIS Techniques: Case Study of Behbahan City", *Geographical Data*, 23(92), pp. 23-92. (in Persian)
- Murray, N.J., Keith, D.A., Simpson, D., Wilshire, J. H., & Lucas, R.M. (2018). "REMAP: An Online Remote Sensing Application for Land Cover Classification and Monitoring", *Methods in Ecology and Evolution*, 9(9), pp. 2019-2027.
- Noraisfat, I., Nazari, S., & Karimi, S. (2016). "Change of the Physical Development of the City of Rasht and the Surrounding Land Evaluation Land-Use Changes with Satellite Images", *Geography and Environmental Studies*, 5(17), pp. 21-31. (in Persian)
- Paul, S.S., Li, J., Wheate, R., & Li, Y. (2018). "Application of Object Oriented Image Classification and Markov Chain Modeling for Land-Use and Land Cover Change Analysis", *Environmental Informatics*, 31(1), pp. 30-40.
- Pettorelli, N., Vik, O., Mysterud, A., Gaillard, J.M., Tucker, C. J., & Stenseth, N.C. (2005). "Using the Satellite-Derived NDVI to Assess Ecological Responses to Environmental Change", *Trends in Ecology and Evolution*, 9(20), pp. 200-216.
- Pourahmad, A., Habibian, B., & Ahmadnia, M.R. (2016). "An Analysis of the Physical Space of Ahvaz City", *Bagh Nazar*, 13(39), pp. 25-38. (in Persian)
- Pu, R. L., Landry, S., & Yu, Q. (2011). "Objectbased Urban Detailed Land Cover Classification with High Spatial Resolution IKONOS Imagery", *Remote Sensing*, 32(12), pp. 3285-3308.
- Rawat, J.S., Biswas, V., & Kumar, M. (2013). "Changes in Land-Use/Cover Using Geospatial Techniques: Case Study of Ramnagar Town Area, District Nainital, Uttarakhand, India", *Remote Sensing and Space Science*, 16(1), pp. 111-117.
- Roostaei, S., Mokhtari, D., Kamran, K.V., & Geshlag, L.K. (2019). "Comparison of Pixel-based Algorithm (Maximum Likelihood) and Object-Based Method (Support Vector Machine) in Classification of Land-Use: Case Study of Ahar-Varzeghan Area", *Quantitative Geomorphological Researches*, 8(1), pp. 118-129. (in Persian)
- Salmani, S., Ebrahimi, H., Mohammadzade, K., & Valizadeh Kamran, K. (2019). "Evaluating Efficiency of Object-Based Classification Techniques Used To Extract Land Use from IKONOS Satellite Imageries", *Geographical Data*, 28(111), pp. 205-215. (in Persian)
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). "Simulation of Land-Use Spatial Pattern of Towns and Villages Based on CA-Markov Model", *Mathematical and Computer Modeling*, 54(3-4), pp. 938-943.
- Taghi-Maboodi, M. & Hakimi, H. (2015). "Analysis of Land-Use Changes and Urban Sprawl Simulation in Mid-Sized Cities: Case Study of Khoy City", *Geographical*

- Urban Planning Research*, 3(2), pp. 211-226. (in Persian)
- Taherparvar, M., Pirmoradian, N., & Vazifedoust, M. (2017). "Comparison of Gap Filling Methods in Landsat 7 ETM+ Images to Estimate Crop Coefficient", *Soil and Water Research*, 47(4), pp. 665-676. (in Persian)
- Tewabe, D. & Fentahun, T. (2020). "Assessing Land Use and Land Cover Change Detection using Remote Sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia", *Cogent Environmental Science*, 6(1), pp. 1-12.
- Vaclavik, T. & Rogan, J. (2009). "Identifying Trends in Land-Use/Cover Changes in the Context of Post-Socialist Transformation in Central Europe: A Case Study of the Greater Olomouc Region, Czech Republic", *GIScience & Remote Sensing*, 46(1), pp. 24-12.
- Vali, A.A., Mousavi, H., & Abbasi, H. (2019). "Analysis and Evaluation of Land-Use Changes Trend in Mobarakeh in order to Achieve the Sustainable Development", *Urban Social Geography*, 6(2), pp. 73-86. (in Persian)
- Van Vliet, J., Birch-Thomsen, T., Gallardo, M., Hemerijckx, L.M., Hersperger, A.M., Li, M., Li, M., Tumwesigye, S., Twongyirwe, R., & Van Rompaey, A. (2020). "Bridging the Rural-Urban Dichotomy in Land Use Science", *Land Use Science*, 15(5), pp. 585-591.
- Varol, B., Yilmaz, E. Ö., Maktav, D., Bayburt, S., & Gürdal, S. (2019). "Detection of Illegal Constructions in Urban Cities: Comparing LIDAR Data and Stereo KOMPSAT-3 Images with Development Plans", *Remote Sensing*, 52(1), pp. 335-344.
- Wellmann, T., Lausch, A., Andersson, E., Knapp, S., Cortinovis, C., Jache, J., Scheuer, S., Kremer, P., Mascarenhas, A., Kraemera, R., Haasej, A., Schuga, F., & Haase, A. (2020). "Remote Sensing in Urban Planning: Contributions Towards Ecologically Sound Policies", *Landscape and Urban Planning*, 204, pp. 1-13.
- Xian, G. & Crane, M. (2005). "Assessments of Urban Growth in the Tampa Bay Watershed Using Remote Sensing Data", *Remote Sensing of Environment*, 97(2), pp. 203-215.
- Yarahmadi, J., Rostamizad, G.H., & Hossein S. (1398). "Discovering the Changes of the Turbulent Deflection in a Justified Way by Using the Images of the Industrial Gins in the Ilginechai Water Complexes in Arasbaran", *Conservation and Exploitation of Hyrcanian Forests*, 1(2), pp. 59-70. (in Persian)
- Yousefi, S., Tazeh, M., Mirzaee, S., Moradi, H.R., & Tavangar, Sh. (2014). "Comparison of Different Classification Algorithms in Satellite Imagery to Produce Land-Use Maps: Case Study of Noor City", *RS and GIS for Natural Resources*, 5(3), pp. 67-76. (in Persian)
- Zheng, W., Ke, X., Xiao, B., & Zhou, T. (2019). "Optimising Land Use Allocation to Balance Ecosystem Services and Sconomic Benefits: A Case Study in Wuhan, China", *Environmental Management*, 248, pp. 1-10.
- Zhou, L., Dang, X., Sun, Q., & Wang, Sh. (2020). "Multi Scenario Simulation of Urban Land Change in Shanghai by Random Forest and CA-Markov Model", *Sustainable Cities and Society*, 55, pp. 1-36.