

## پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل در دوره زمانی ۱۴۱۹-۱۳۶۴ با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست

محمد کریمی فیروزجایی<sup>۱</sup>، مجید کیاورز<sup>۲\*</sup>، محسن کلانتری<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران

۲. استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران

۳. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان

(دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۲ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۳)

### Monitoring and prediction of land use changes and physical expansion of Babol city during 1985-2040 using multi-temporal Landsat imagery

Mohammad Karimi Firozjahi<sup>1</sup>, Majid Kiavarz<sup>2\*</sup>, Mohsen Kalantari<sup>3</sup>

1. PHD Student Department of Remote Sensing and GIS, University of Tehran

2. Assist. Prof. Department of Remote Sensing and GIS, University of Tehran

3. Associate Professor Department of Geography, University of Zanjan

(Received: 24/July/2017 Accepted: 04/Nov/2018)

#### Abstract:

Nowadays, interlinking of structural, social, environmental and economic aspects of cities is a major problem which results from unplanned horizontal expansion of cities and their land-use changes. The purpose of the present study is to investigate the land use changes and physical expansion of Babol city during the last 30 years and to predict the land use change's trend for the future. To do so, Landsat multi-temporal images of 1985, 1992, 2000, and 2015 were used. The maximum likelihood algorithm was applied for classification of land use and cross tab model was used for investigation of land use changes. The scattered expansion of the city was examined through Shannon's entropy index. Moreover, the CA-Markov model was applied to predict the land use change's trend as well as the physical expansion of Babol city. Results of the present study confirmed the extreme physical expansion of Babol city during the last three decades. Such an expansion was the main reason for degradation of agricultural lands and green spaces around the suburbs. The growth rate of the built-up areas was 92%. The more distance from the built-up areas the less changes occurred in land uses. Also, the Shannon entropy index was increased from 0.73 in 1985 to 0.8 in 2015 which is an indication of the scattered expansion of the city. It can be predicted that besides decreasing 704 hectares of agricultural areas, a 33% growth will be occurred in built up areas from 2015 to 2040. It consequently requires the specific attention of urban managers and planners.

**Keywords:** Prediction, land-use, physical expansion, Remote sensing, Babol.

#### چکیده

امروزه تغییرات کاربری اراضی و گسترش بی‌رویه فیزیکی شهرها سبب مشکلات متعددی از جمله، در هم تنیدگی کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی شده است. هدف پژوهش حاضر، بررسی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل طی ۳۰ سال گذشته و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی برای آینده می‌باشد. برای این منظور از تصاویر چند زمانه لندست برای سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۷۱، ۱۳۷۹، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ استفاده شده است. در پژوهش حاضر از الگوریتم بیشترین شباهت برای طبقه‌بندی کاربری اراضی، از مدل کراس‌تاب برای شناخت تغییرات کاربری اراضی و از شاخص آنتروپی شانون گسترش پراکنده شهر بررسی شد. در ادامه برای پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل نیز از مدل پیش‌بینی سلول‌های خودکار-مارکوف استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش، بیانگر گسترش بی‌رویه شهر بابل در طی ۳۰ سال گذشته است. به طوری که رشد ۹۲ درصدی مساحت اراضی ساخته شده سبب تخریب بیش از حد اراضی زراعی و فضای سبز در حاشیه شهر شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از اراضی ساخته شده میزان تغییرات کاربری اراضی کاهش چشمگیری داشته است. همچنین شاخص آنتروپی شانون طی سال‌های گذشته روند رو به رشدی داشته به طوری که از ۰/۷۳ در سال ۱۳۶۴ به ۰/۸ در سال ۱۳۹۴ رسیده است. نتایج تغییرات کاربری اراضی، رشد ۳۳ درصدی اراضی ساخته شده و کاهش ۷۰۴ هکتاری اراضی زراعی را برای سال ۱۴۱۹ نسبت به سال ۱۳۹۴ قابل پیش‌بینی است و این امر ضرورت توجه به موضوع گسترش شهری و پیامدهای آن در شهر و پیرامون را نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** پیش‌بینی، کاربری اراضی، گسترش فیزیکی، سنجش از دور، بابل.

\* نویسنده مسئول: مجید کیاورز

E-mail: j. kiavarzmajid@ut.ac.ir

\*Corresponding Author: Majid Kiavarz Mogaddam

## مقدمه

امروزه گسترش شهرنشینی شتابان و گرایش به شهرگرایی در پی افزایش جمعیت، منجر به ابعاد و تنوع الگوی توسعه‌ی شهرها شده است. گسترش فیزیکی و کالبدی شهر به دلیل افزایش سریع جمعیت شهری در تمام کشورهای جهان از جمله کشورهای در حال توسعه صورت می‌گیرد (Silveira et al., 2006: 446). توسعه فیزیکی شهر فرآیندی پویا و مداوم است که طی آن محدوده‌های فیزیکی شهر و فضای کالبدی آن در جهت‌های افقی و عمودی از حیث کمی و کیفی افزایش می‌یابد (جلالیان و همکاران، ۱۳۹۵) و اگر این روند سریع و بی‌برنامه باشد به توسعه فیزیکی متعادل و موزون شهری نمی‌انجامد (Nazarnia et al., 2016).

زمین اصلی‌ترین عنصر در توسعه شهری محسوب می‌شود، از این رو، تنظیم و کنترل نحوه‌ی استفاده از آن و همچنین محاسبه‌ی نیاز واقعی شهر به زمین به منظور تامین کاربری‌های مختلف، در حل مشکل گسترش فیزیکی شهر موثر است (Wakode et al., 2014). توسعه‌ی فیزیکی شهری به مفهوم گسترش و بسط فضای کالبدی شهر است که منجر به تبدیل سایر کاربری‌های اراضی به کاربری شهری و صنعتی می‌شود. بنابراین، نحوه استفاده از زمین و مشخص نمودن الگوهای مکانی کاربری و پوشش اراضی در یک منطقه ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، بررسی تغییرات و تحولات کاربری اراضی در یک دوره زمانی مشخص نیز اهمیت دارد. بنابراین، مطالعه و ارزیابی روند گسترش فیزیکی شهر و آگاهی از الگوهای تغییرات کاربری اراضی و بکارگیری نتایج مطالعه در برنامه‌ریزی شهری ضروری می‌باشد (فیضی‌زاده و حاجی میررحیمی، ۱۳۸۶: ۱؛ تقی‌زاده و معصومی، ۱۳۸۸: ۵۹). خاک‌پور و همکاران (۱۳۸۶)، عوامل تاثیرگذار بر تغییرات کاربری اراضی شهر بابل را بررسی کردند. در این مطالعه عوامل موثر بر تغییرات کاربری اراضی به سه دسته عوامل قانونی، عوامل اقتصادی و عوامل جمعیتی تقسیم شدند. نتایج پژوهش نشان داد که عوامل جمعیتی در تغییرات کاربری اراضی موثر بوده است و دو عامل دیگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که شهر بابل شاهد گسترش قابل توجه فضاهای ساخته شده طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۸ بوده، به گونه‌ای که در این بازه زمانی بیش از دیگر شهرهای استان رشد فیزیکی داشته است.

روش‌های مختلفی برای بررسی گسترش فیزیکی شهرها و تغییرات کاربری اراضی به کار گرفته شده است که به‌روزترین آن، استفاده از علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. با توجه به این که گسترش فیزیکی و تغییرات کاربری اراضی در مقیاس وسیع مکانی و زمانی صورت می‌گیرد، می‌توان با استفاده از داده‌های چند زمانه سنجش از دور نسبت به استخراج کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر اقدام نمود. سپس با مقایسه آن در دوره‌های زمانی مختلف، با بهره‌گیری از امکانات سیستم اطلاعات جغرافیایی نسبت تغییرات را ارزیابی کرده و روند آن را پیش‌بینی و برنامه‌ریزی کرد. در حال حاضر، سنجش از دور بهترین وسیله برای پایش تغییرات محیطی و استخراج کاربری اراضی بوده که بیشترین سرعت و دقت و کمترین هزینه را دارد (فارسی و یوسفی، ۱۳۹۲: ۹۶).

جمعیت شهر بابل در اثر رشد جمعیت و مهاجرت روستاییان پیوسته در حال افزایش است. این افزایش جمعیت باعث ساخت و سازهای بی‌رویه و بی‌برنامه، تغییر در مدل فیزیکی شهر و گسترش آن در جهت‌های مختلف می‌شود. این موضوع بیش از همه، شهرهای کشورهای در حال توسعه را با مشکلات فراوانی مواجه کرده است. این فرایند مشکلاتی از قبیل ناسازگاری در کاربری‌ها، آشفتنگی محیط شهری، تخریب اراضی کشاورزی و فضای سبز پیرامون شهر را به همراه دارد. به منظور ساماندهی و انجام فرآیند برنامه‌ریزی در جلوگیری از گسترش فیزیکی شهرها در جهات نامناسب و تعدیل مشکلات ناشی از آن، اهمیت و ضرورت مطالعه روی نحوه‌ی گسترش فیزیکی شهر و تغییرات کاربری اراضی ناشی از آن نمایان می‌شود.

پژوهش‌های زیادی در زمینه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است (George, 2016; Sidhu et al., 2016; Boori et al., 2012; Adami et al., 2015). تکنیک‌های زیادی برای کشف تغییرات پوشش و کاربری زمین توسط افراد مختلف توسعه داده شده است. برخی از این تکنیک‌ها عبارتند از: مقایسه پس از طبقه‌بندی تصاویر، روش تفاضل تصاویر، آنالیز مولفه‌های اصلی، روش اختلاف شاخص پوشش گیاهی و روش آنالیز برداری (Lu et al., 2005; Jensen., 2005). در زمینه بررسی گسترش فیزیکی شهر و اثرات مختلف آن بر شاخص‌های محیطی، اقتصادی،

افزایش اراضی ساخته‌شده موجب تخریب ۱۰۴۰۲ کیلومترمربع از اراضی جنگل و زمین‌های آیش شده است. همچنین مساحت اراضی کشاورزی ۶۹۰۲۳ کیلومترمربع کاهش یافته است (Singh and Khanduri, 2011).

در دو دهه گذشته تغییرات سریع و زیادی در کاربری اراضی بسیاری از شهرستان‌ها بزرگ چین مانند پکن صورت گرفته است. ویو و همکاران (۲۰۰۶) دینامیک تغییر کاربری اراضی شهر پکن با ادغام داده‌های ماهواره‌ای سنجنش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی را بررسی کرده و تغییرات کاربری اراضی را برای ۲۰ سال آینده با استفاده از زنجیره مارکوف و تجزیه و تحلیل‌های رگرسیونی پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج بیان می‌کند که رشد اراضی شهری در منطقه قابل توجه بوده و موجب تخریب بسیاری از اراضی زراعی بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۱ شده و تداوم این روند را برای آینده نیز پیش‌بینی کرده‌اند (Wu et al., 2006).

سیسودیا و همکاران (۲۰۱۶) پراکندگی شهری جیپور هند با ادغام علم سنجنش از دور، GIS و مدل شاخص آنتروپی شانون را بررسی کردند. تغییرات مقدار شاخص آنتروپی شانون در طول سال‌های ۲۰۱۳ - ۱۹۷۲ روند افزایشی داشته و رشد پراکنده شهر را نشان می‌دهد. اراضی ساخته شده در جیپور از ۴۰ کیلومتر مربع در سال ۱۹۷۲ به ۴۰۰ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۳ رسیده است. این مطالعه برای ۴۱ سال گذشته رشد پراکنده قابل توجه برای اراضی شهری در مناطق حاشیه‌ای شهرستان جیپور را نشان می‌دهد (Sisodia et al., 2016).

تحقیقات گذشته در زمینه بررسی تغییرات کاربری اراضی طی دوره‌های زمانی مختلف، کارایی فناوری‌های سنجنش از دور در این زمینه را ثابت کرده است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه با توجه به پوشش سطح زمین طی سری‌های زمانی ثابت، این قابلیت را فراهم کرده تا با استفاده از این تصاویر بتوان تغییرات کاربری‌های مختلف سطح زمین را طی فواصل زمانی مختلف پایش کرد. همچنین می‌توان با بررسی این تغییرات طی یک دوره زمانی، روند تغییرات را مدلسازی کرده تا مدل حاصل شده برای پیش‌بینی تغییرات برای آینده به کار گرفته شود. تا با توجه به نتایج بدست آمده تصمیم‌های لازم گرفته شود. ماهواره لندست<sup>۱</sup> یکی از پرکاربردترین ماهواره‌ها در زمینه پایش تغییرات کاربری

اجتماعی مطالعات مختلفی انجام شده است (Sisodia et al., 2016; Nazarnia et al., 2016; Karna et al., 2013; Jat et al., 2008; Ji et al., 2006). جهت بررسی رشد فشرده یا پراکنده شهری مدل‌های مختلفی وجود دارد مانند شاخص آنتروپی شانون که مقالات متعددی از این شاخص برای بررسی نحوه گسترش فیزیکی شهر استفاده کرده‌اند (Sisodia et al., 2016; Jain et al., 2016; Dadras et al., 2015; Megahed et al., 2015; Effat and Shobaky, 2015). برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش شهری مدل‌های ریاضی و آماری متعددی وجود دارد که مقالات متعددی از مدل زنجیره‌های مارکوف و شبکه خودکار برای پیش‌بینی استفاده کرده‌اند (Azizi et al., 2016; Gong et al., 2015; Louca et al., 2015; Yang et al., 2012; Ajayi et al., 2016; Cabral and Zamyatin, 2009; Xu et al., 2013).

واکود و همکاران (۲۰۱۴) گسترش اراضی ساخته‌شده منطقه حیدرآباد هند را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست بررسی کردند. نتایج تحقیق بیانگر این بود که در طول دوره زمانی ۲۰۱۱-۱۹۸۹ گسترش شهری با چگالی بالا اتفاق افتاده است. تغییرات کاربری اراضی در جهت‌های جنوبی و شمال شرقی شهر نمود بیشتری داشته است. در جهت شمال شرقی، رشد شهری بیشتر به دلیل توسعه مناطق مسکونی و در جهت جنوبی بیشتر تحت تاثیر رشد و گسترش مناطق صنعتی و مسکونی بوده است (Wakode et al., 2014). میسرا و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی در شهر بونسوار مدلسازی گسترش شهری را با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و آمارهای جمعیتی بررسی کرده‌اند. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۰ و ۱۹۹۷ استفاده شده و میزان اراضی ساخته‌شده شهری برای سال ۲۰۳۱ با توجه به مدلسازی ارتباط بین جمعیت و گسترش شهری مربوط به دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۳۰ پیش‌بینی شده است. نتایج پژوهش بیان می‌کند که توسعه مناطق شهری جدید در منطقه مورد مطالعه بیشتر در جهت‌های شمال، شمال غربی و جنوب غربی در طول مسیر راه‌های حمل و نقل اصلی شهر و اراضی فضای سبز و کشاورزی رخ داده است (Mishra et al., 2014). سینگ و خاندوری (۲۰۱۱) از فن‌آوری سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای مطالعه تغییرات کاربری اراضی در منطقه پنجاب هند استفاده کردند. نتایج نشان داد که در طی این پانزده سال

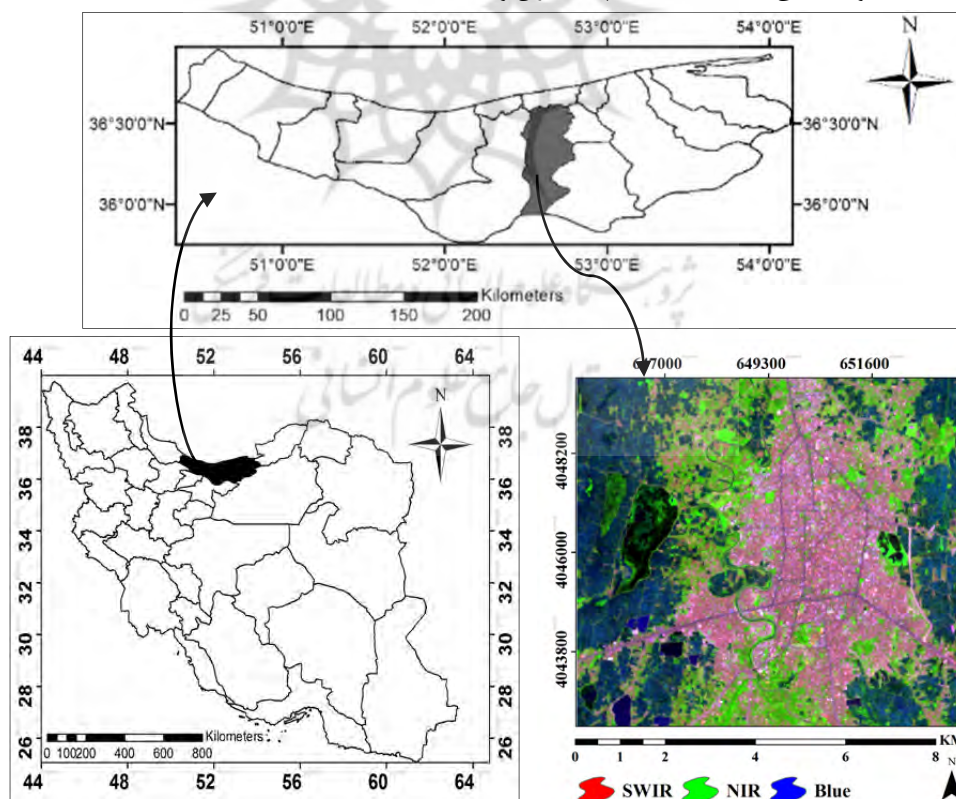
چگونه است. آیا گسترش فیزیکی شهر باعث تغییرات اراضی کشاورزی و منابع طبیعی پیرامون شهر شده است. پراکندگی توسعه فیزیکی شهر در دوره‌های زمانی مختلف به چه صورتی بوده و گسترش فیزیکی شهر بیشتر در کدام جهت جغرافیایی اتفاق افتاده است. روند تغییرات کاربری اراضی در ۱۴۰۲، ۱۴۱۰، ۱۴۱۹ و ۱۴۴۴ به چه صورتی خواهد بود.

### داده‌ها و روش کار

محدوده‌ی مورد مطالعه، شامل محدوده‌ای از شهر بابل و حومه آن با مساحت تقریبی ۶۶۶۶ هکتار در طول ۶۳°۳۵′۹۵″ تا ۶۳°۵۰′۴۵″ شرقی و عرض ۴۰°۴۲′۵۵″ تا ۴۰°۴۹′۸۶″ شمالی ناحیه N۳۹ سیستم تصویر UTM می‌باشد. بابل معروف به شهر بهارنارنج یکی از شهرهای استان مازندران و مرکز شهرستان بابل است. این شهر در حد فاصل دریای مازندران و رشته کوه البرز و در فاصله ۱۵ کیلومتری دریای مازندران و ۲۱۰ کیلومتری شمال شرقی تهران، واقع شده است. ارتفاع این شهر حدود ۲ متر از سطح دریاهای آزاد پایین‌تر است. شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

اراضی می‌باشد. سیستم اطلاعات جغرافیایی قابلیت تجزیه و تحلیل فضایی داده‌های مکانی، در زمینه بررسی و تحلیل تغییرات فضایی بسیار کارآمد است. بنابراین، استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در زمینه پایش تغییرات کاربری اراضی و بررسی میزان و نحوه گسترش فیزیکی شهر بسیار مفید است.

هدف پژوهش حاضر، بررسی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل در دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۴ می‌باشد. همچنین، با بهره‌گیری از مدل پیش‌بینی و اطلاعات بدست آمده از تجزیه و تحلیل‌های تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های گذشته، روند و میزان تغییرات کاربری اراضی برای سال‌های ۱۴۰۲، ۱۴۱۰، ۱۴۱۹ و ۱۴۴۴ پیش‌بینی خواهد شد. در این بین تاثیر اراضی ساخته شده بر تغییرات کاربری اراضی اطراف و میزان و نحوه پراکندگی گسترش شهری با استفاده از مدل آنتروپی شانون برای دوره‌های زمانی مختلف بررسی و مقایسه خواهد شد. این پژوهش درصدد پاسخ دادن به سوالات زیر می‌باشد. میزان گسترش فیزیکی شهر و تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۴ به چه میزان و



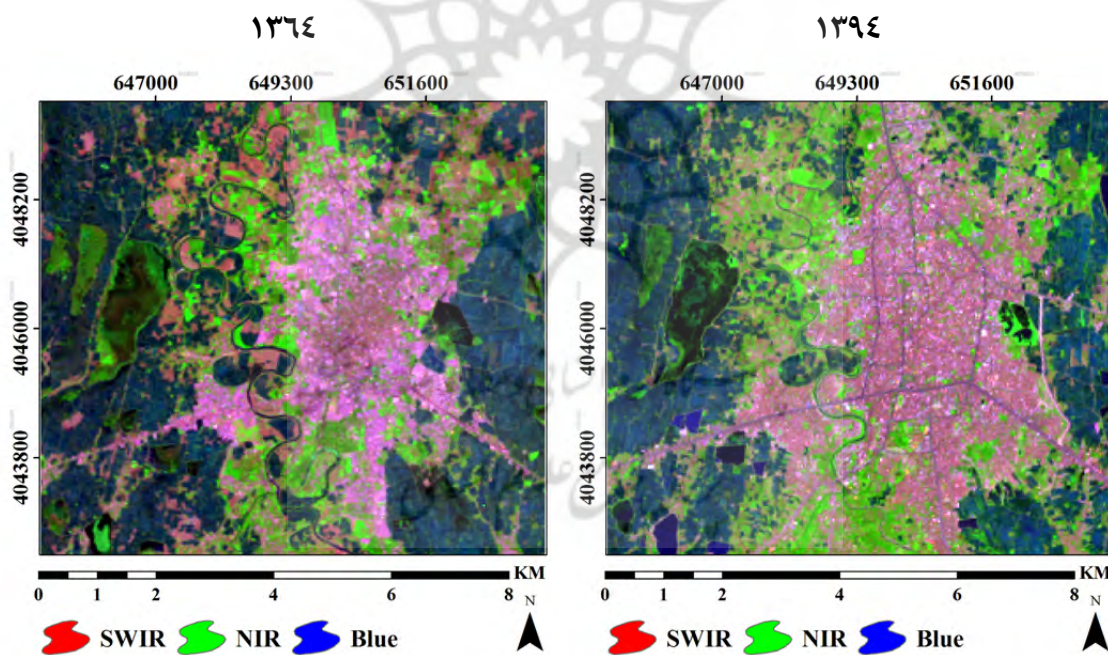
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

سیستم تصویر<sup>۱</sup> UTM در ناحیه N۳۹ قرار دارند. تصاویر مذکور در سایت زمین شناسی امریکا<sup>۲</sup> به رایگان در دسترس می‌باشد. همچنین به منظور ارزیابی صحت هندسی نقشه‌های حاضر از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده که توسط سازمان نقشه برداری استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در پژوهش در جدول (۱) و نمونه‌ای از تصاویر مورد استفاده در پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.

این پژوهش از نوع پژوهش کاربردی و روش پژوهش تحلیلی است. روش گردآوری داده‌ها به صورت میدانی و با بهره‌گیری از سایت‌های مرجع تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. از حیث زمان روش تحقیق مقطعی است. زیرا، از یک سو روند توسعه فیزیکی شهر و تغییرات کاربری آن بین سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۹۴ مورد مطالعه قرار گرفت و از سوی دیگر تغییرات کاربری‌ها برای سال‌های آینده پیش‌بینی شد. در مطالعه حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، لندست ۷ و لندست ۸ استفاده شده است. این تصاویر زمین مرجع شده و در

جدول ۱. تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی مورد استفاده

تاریخ (شمسی)	قدرت تفکیک/مقیاس	ماهواره (سنجنده)	نوع داده
۱۳۶۴/۰۳/۰۹	۳۰ متر	لندست ۵ (TM)	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۷۱/۰۳/۲۸	۳۰ متر	لندست ۵ (TM)	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۷۹/۰۳/۱۳	۳۰ متر	لندست ۷ (ETM)	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۸۷/۰۴/۱۰	۳۰ متر	لندست ۵ (TM)	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۹۴/۰۲/۲۷	۳۰ متر	لندست ۸	تصاویر ماهواره‌ای
۱۳۶۴-۷۱-۷۹-۸۷-۹۴	۱:۲۵۰۰۰	---	نقشه توپوگرافی



شکل ۲. نمونه‌ای از تصاویر مورد استفاده در پژوهش

مطلوبیت<sup>۱</sup> استفاده شده است. این شاخص یک شاخص آماری مبتنی بر انحراف معیار و ضریب همبستگی بین باندها می‌باشد. ترکیب باندی که ضریب شاخص مطلوبیت بالاتری

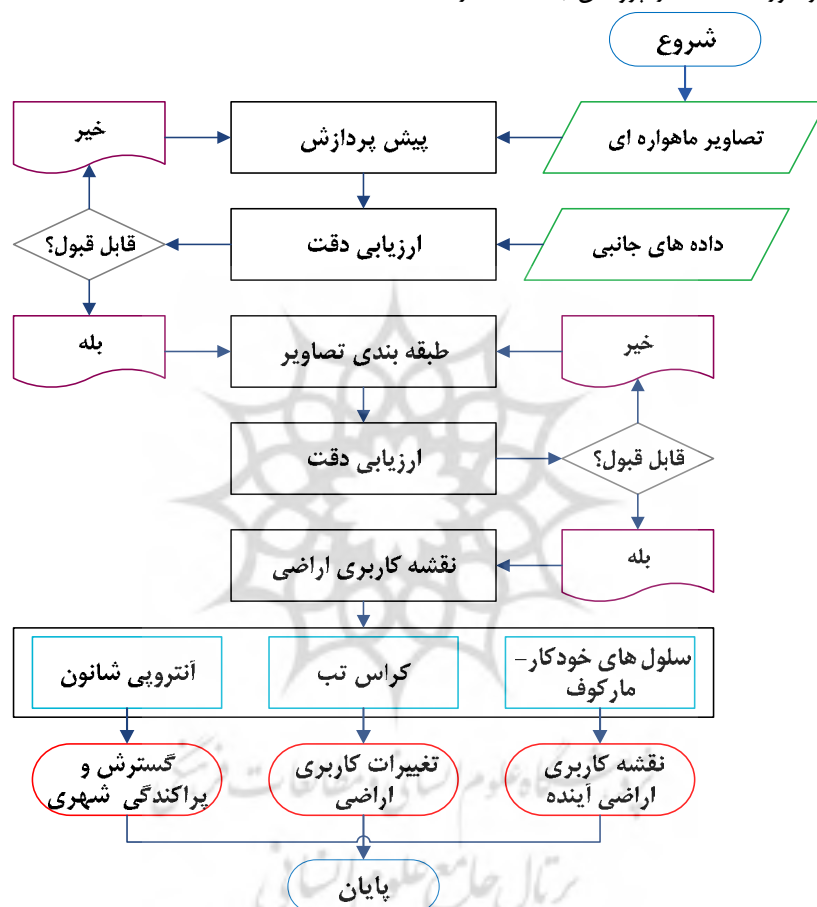
مراحل اصلی انجام پژوهش به صورت شکل (۳) نشان داده شده است. پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای جهت تعیین بهترین ترکیب باندی برای طبقه‌بندی از ضریب شاخص

1. Optimum Index Factor(OIF).



مدل تصحیح اتمسفری فلش<sup>۱</sup> تصحیح شدند. نظر به اهمیت دقت تصحیح هندسی بر صحت نتایج آشکارسازی تغییرات به دلیل مقایسه پیکسل<sup>۲</sup> به پیکسل تصاویر ماهواره‌ای با یکدیگر، این تصاویر باید کاملاً از نظر هندسی بر یکدیگر منطبق باشند. قبل از شروع پردازش و مقایسه تصاویر مذکور، با توجه به زمین مرجع بودن این تصاویر، تصحیح هندسی به روش ثبت تصویر به نقشه انجام شد.

داشته باشد، دارای اطلاعات بالاتری است (علوی پناه، ۱۳۸۷: ۲۴۱). با در نظر گرفتن تفکیک‌پذیری باندها و ضریب شاخص مطلوبیت، باندهای مناسب برای ایجاد تصاویر رنگی کاذب و طبقه‌بندی منظور شد. برای تصاویر لندست ۵ و ۷ باندهای ۷، ۴، ۱ و برای تصویر لندست ۸ باندهای ۷، ۵، ۲ مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور کنترل کیفیت داده‌ها و آگاهی از وجود خطاهای هندسی و رادیومتری تصاویر مورد بررسی اولیه قرار گرفتند. تمام تصاویر مورد استفاده در پژوهش با استفاده از



شکل ۳. مراحل کلی روند انجام تحقیق

در این مرحله، با استفاده از تفسیر بصری ترکیب‌های مختلف باندی تصاویر لندست، تصاویر گوگل ارث و نقشه توپوگرافی منطقه اقدام به تهیه داده‌های آموزشی برای هر چهار طبقه جهت استفاده در عملیات طبقه‌بندی نظارت شده شد.

در این تحقیق، از روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت<sup>۱</sup> برای طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده شد. در این روش، پس از ارزیابی احتمالات در هر کلاس، پیکسل‌ها به

در مرحله بعد، طبقه‌های کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه با توجه به بازدهی‌های میدانی و تفسیر چشمی روی تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شد. این طبقه‌ها شامل اراضی ساخته‌شده، زراعی، فضای سبز و اراضی آبی می‌باشند.

داده‌های آموزشی باید قبل از طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر، به دقت انتخاب شوند. برای دستیابی به نتایج قابل قبول لازم است تا داده‌های آموزشی الگوی مناسبی از پوشش‌های مختلف سطح زمین باشند (علوی پناه، ۱۳۸۲: ۵۷).

1. Maximum likelihood classification

$p_i$ : احتمال حضور متغیر  $X$  در ناحیه‌ی  $i$  یا به عبارت دیگر بیانگر نسبت مساحت اراضی ساخته‌شده در ناحیه  $i$  به کل مساحت اراضی ساخته‌شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که بصورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$p_i = \frac{X_i}{\sum_k^n X_k} \quad (2)$$

همچنین مقدار شاخص آنتروپی نسبی با استفاده رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Sarvestani et al., 2013: 324; Yeh and Xia, 2001: 84).

$$H_n = \sum_i^n p_i * \log\left(\frac{1}{p_i}\right) / \log(n) \quad (3)$$

بر اساس نظریه لیو، ناحیه‌های تعریف شده بر حسب پراکندگی باید بصورت حلقه‌هایی متحدالمرکز نسبت مراکز شهر یا نسبت به جاده‌های اصلی قرار گرفته باشند (Yeh and Xia, 2001: 85). شاخص آنتروپی نسبی و مطلق شانون برای هر پنج تصویر در بازه زمانی ۳۰ ساله مورد مطالعه برای شهر بابل بررسی و تغییرات پراکندگی و گسترش افقی شهر در ابعاد مکانی و زمانی تحلیل شد.

جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و میزان گسترش فیزیکی شهر از روش ریاضی و احتمالی زنجیره مارکوف<sup>۲</sup> استفاده می‌شود (Yang et al., 2012: 14). در این مدل، همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل نامیده می‌شوند. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. بر اساس احتمال شرطی قانون بیز، پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی در مدل مارکوف با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Rajitha et al., 2010: 8).

$$s(t+1) = p_{ij} * s(t) \quad (4)$$

در این رابطه،  $s(t)$  و  $s(t+1)$  حالت‌های سیستم در زمان  $t$  و  $t+1$  هستند، و  $p_{ij}$  ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

کلاس‌هایی که بیشترین شباهت را دارند، اختصاص می‌یابند و چنانچه مقادیر احتمال پایین‌تر از حد آستانه معرفی شده باشند، به‌عنوان بیکسل طبقه‌بندی نشده معرفی می‌شوند (علوی پناه، ۱۳۸۲). پس از پایان عملیات طبقه‌بندی تصاویر، اقدام به ارزیابی و تعیین دقت طبقه‌بندی شد. برای این منظور از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ محدوده استفاده و نمونه‌برداری بصورت تصادفی انجام شده است. سپس این نمونه‌ها و نقشه کاربری اراضی هر تصویر به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته و دقت طبقه‌بندی نقشه‌ها محاسبه شد. در نهایت، پس از انجام کنترل دقت طبقه‌بندی و تأیید معنی‌دار بودن خطاها، مساحت مربوط به کاربری‌ها در تمام سال‌ها استخراج شد. جهت دستیابی به تغییرات حادث شده در مقطع زمانی مورد مطالعه، تصاویر طبقه‌بندی شده مورد مقایسه قرار گرفتند. برای بررسی و تحلیل دقیق تغییرات کاربری اراضی، از مدل کراس تب<sup>۱</sup> استفاده شده است. در این مدل هم محاسبه تعداد بیکسل‌های که در بین دو تاریخ تصویربرداری، تغییر یافته امکان‌پذیر شده و هم می‌توان ماهیت تغییرات اراضی را مشخص کرد.

از عواملی را که بر روی تغییر کاربری و شدت تغییرات آن اثر می‌گذارد فاصله از مناطق مسکونی می‌باشد. اثر فاصله از مناطق ساخته‌شده در تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۶۴ بررسی شده است. برای این منظور از سه طبقه حریم با فواصل ۸۰۰ متر استفاده شده است (۲۴۰۰-۰ متر). پس از تکمیل بررسی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه، به منظور بررسی رشد افقی و میزان رشد پراکنده‌ی شهر بابل از شاخص آنتروپی شانون استفاده شده است. آنتروپی شانون شاخصی برای بیان رشد فشرده یا پراکنده شهری می‌باشد که از آن می‌توان در موقعیت‌های مختلف جغرافیایی استفاده کرد (Sarvestani et al., 2013: 324; Yeh and Xia, 2001: 84). در این شاخص فرض بر آن است که منطقه مورد مطالعه به  $n$  ناحیه تقسیم شده است و متغیر  $X$  در هر ناحیه مقدار  $X_i$  را شامل می‌شود. شاخص آنتروپی مطلق شانون از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$H_n = \sum_i^n p_i * \log\left(\frac{1}{p_i}\right) \quad (1)$$

$\{i=1,2,3,\dots,n\}$

$H_n$ : شاخص آنتروپی مطلق شانون

مشخصه مکانی به مدل استفاده می‌شود. از فیلتر CA برای توسعه یک فاکتور وزن‌دهی مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول‌ها بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده خواهد شد. بنابراین در مدل CA-Markov با استفاده از ماتریس مساحت انتقال، نقشه کاربری اراضی برای آینده پیش‌بینی می‌شود (Pontius, 2000: 1; Fan et al., 2008: 7).

برای ارزیابی اعتبار مدل‌سازی نقشه حاصل از آن در یک زمان خاص معمولاً با نقشه واقعی مربوط به همان زمان مقایسه می‌شود. اگر اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی برای کاربری‌ها کمتر از ۸ درصد باشد، مدل CA-Markov قابلیت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه دارد (Rashmi and Lele, 2010: 6).

### شرح و تفسیر نتایج

به طور کلی با توجه به شرایط خاص اکولوژیکی، آب و هوایی مساعد، حاصل‌خیزی خاک و عبور رودخانه بابلرود از کنار شهر بابل، از دوران گذشته کاربری‌های کشاورزی و باغات در محدوده مورد مطالعه توسعه یافته بودند. ولی در چندین سال اخیر افزایش جمعیت شهرنشین و در نتیجه آن گسترش فیزیکی شهر این کاربری‌ها را به خطر انداخته است. نتایج تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای در جدول (۲)، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های مختلف در شکل شماره (۴) و نتایج ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی در جدول (۳) نشان داده شده است.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\left( 0 \leq p_{ij} \leq 1 \text{ and } \sum_{j=1}^n p_{ij} = 1, (i,j=1,2,\dots,n) \right)$$

خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل شده هر کلاس و در نهایت تصاویر احتمالی شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (Yang et al., 2012: 14).

مدل CA<sup>۱</sup> سیستمی دینامیک است که از شبکه سلولی، وضعیت سلول، همسایگی، قوانین انتقال و زمان تشکیل شده است. در این مدل فضا به واحدهای فضایی با اشکال منظم یا غیرمنظم (سلول) و زمان به دوره‌های ناپیوسته تقسیم می‌شود. هر یک از سلول‌ها دارای یک وضعیت است. حالت هر سلول در زمان  $t + 1$  به وسیله حالت سلول‌های همسایگی در زمان  $t$  و مطابق قوانین از پیش تعریف شده تعیین می‌شود (Azizi et al., 2016: 63).

مدل CA-Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف است. زنجیره مارکوف و CA هر دو مدل دینامیک گسسته زمان و گسسته موقعیت‌اند. در مدل زنجیره‌های مارکوف اگر چه احتمالات انتقال در هر کاربری دقت زیادی دارد، اما اطلاعاتی از توزیع مکانی مربوط به کاربری‌ها وجود ندارد. بنابراین مدل تصادفی مارکوف فاقد هرگونه اطلاعات وابستگی مکانی است (Azizi et al., 2016: 63). به همین دلیل از مدل CA برای اضافه کردن

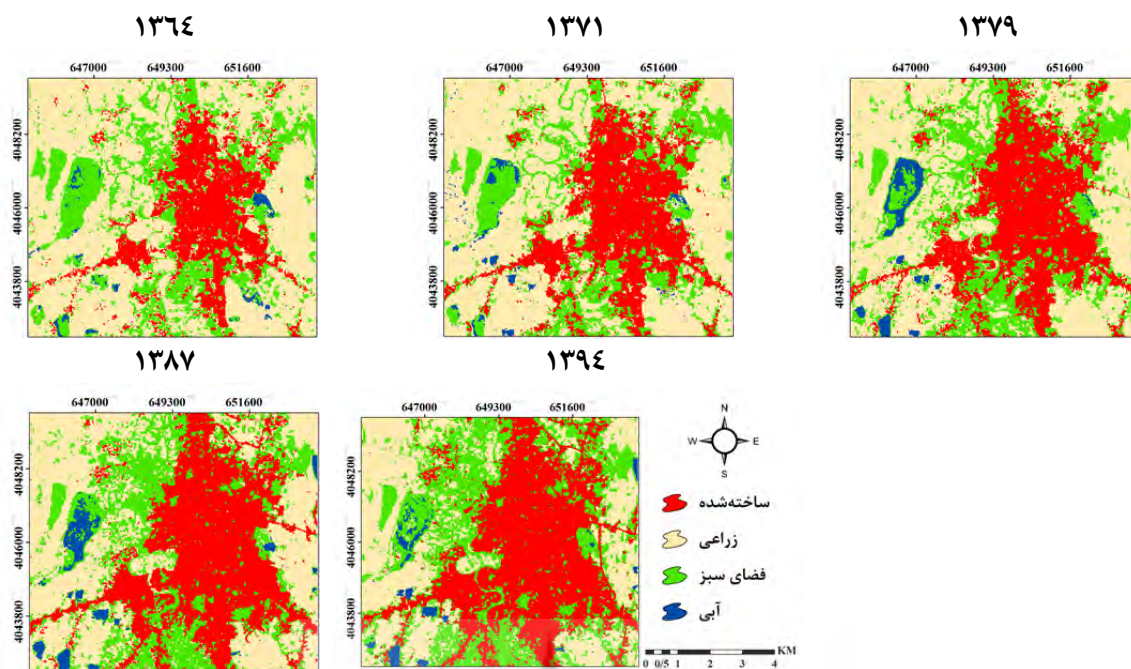
### جدول ۲. نتایج ارزیابی خطا تصحیح هندسی تصاویر (پیکسل)

نقشه کاربری اراضی	۱۳۶۴	۱۳۷۱	۱۳۷۹	۱۳۸۷	۱۳۹۴
خطا در جهت X	۰/۳۷	۰/۴۲	۰/۳۴	۰/۵	۰/۲۹
خطا در جهت Y	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۳۴

### جدول ۳. نتایج ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده

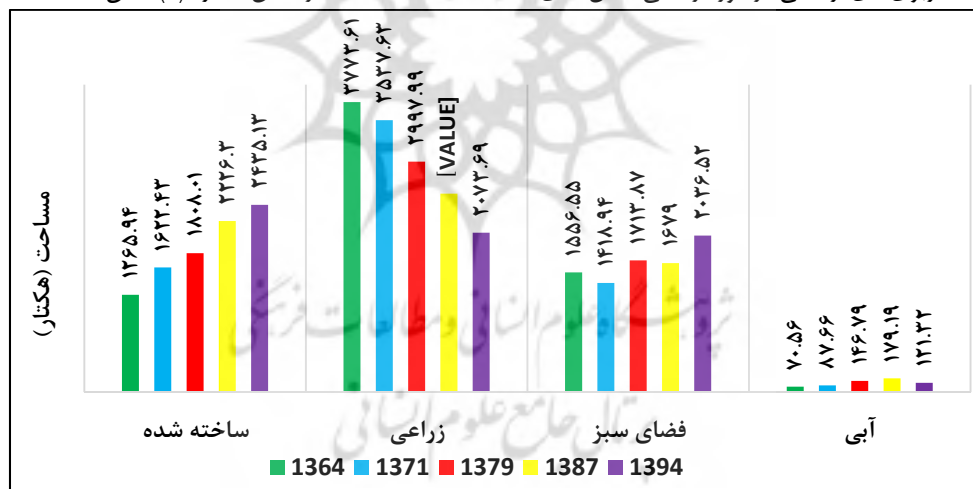
نقشه کاربری اراضی	۱۳۶۴	۱۳۷۱	۱۳۷۹	۱۳۸۷	۱۳۹۴
ضریب کاپا	۰/۹	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۹۳
صحت کلی	۹۱	۹۳/۲	۹۰/۱	۸۹/۵	۹۴/۷





شکل ۴. نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۹۴

مساحت کاربری‌های اراضی در دوره زمانی سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ در شکل شماره (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵. مساحت طبقه‌های مختلف کاربری اراضی (هکتار)

جدول ماتریسی می‌باشد که ستون‌های آن نشان دهنده تصویر طبقه‌بندی شده سال اول و ردیف آن نشان دهنده تصویر طبقه‌بندی شده سال دوم است. نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی مورد بررسی در جدول (۴) و (۵) و در قالب شکل (۶) ارائه شده است.

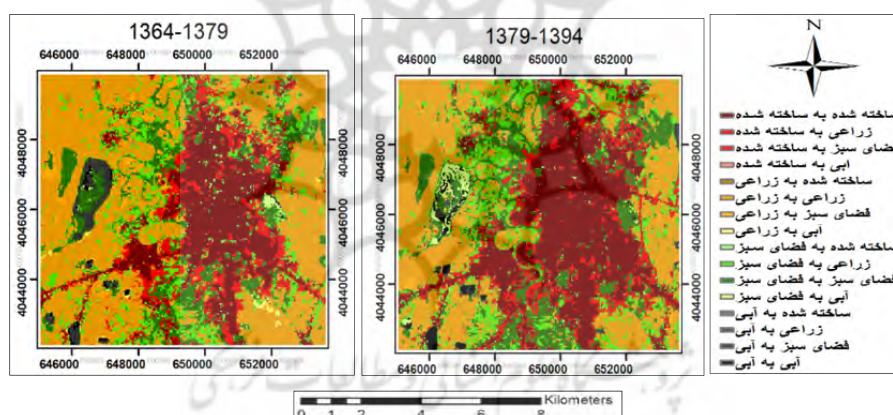
بر اساس شکل (۵)، طی دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ شاهد افزایش مساحت کاربری اراضی ساخته شده و کاهش زیاد اراضی زراعی هستیم. طبق جدول ماتریسی می‌توان گفت که محدوده مورد مطالعه از لحاظ تغییر و دگرگونی کاربری‌ها در چهار کلاس، طی مقطع زمانی مورد مطالعه چه مقدار تغییرات داشته است. نتیجه بررسی میزان تغییرات کاربری اراضی به صورت یک

جدول ۴. تغییرات کاربری اراضی محدوده از سال ۱۳۶۴-۱۳۷۹ (هکتار)

مجموع	آبی	فضای سبز	زراعی	ساخته شده	۱۳۶۴-۱۳۷۹
۱۸۰۸/۰۱	۳/۵۱	۲۳۹/۲۲	۳۹۱/۳۲	۱۱۷۷/۲	ساخته شده
۲۹۹۷/۹۹	۰/۵۴۱۸	۳۰۶/۹	۲۶۳۵/۶۵	۳۶/۹	زراعی
۱۷۱۳/۸۷	۲۵/۹۲	۸۹۳/۶۱	۷۴۲/۵۹	۰/۵۱۷۵	فضای سبز
۱۴۶/۷۹	۲۵/۸۳	۱۱۶/۸۲	۴/۰۵	۰/۰۹	آبی
۶۶۶۶/۶۶	۷۰/۵۶	۱۵۵۶/۵۵	۳۷۷۳/۶۱	۱۲۶۵/۹۴	مجموع

جدول ۵. تغییرات کاربری اراضی محدوده از سال ۱۳۷۹-۱۳۹۴ (هکتار)

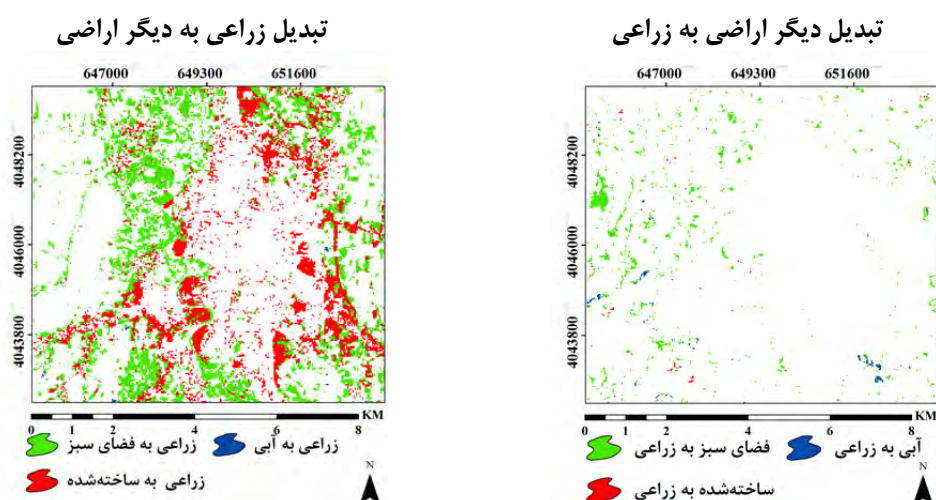
مجموع	آبی	فضای سبز	زراعی	ساخته شده	۱۳۷۹-۱۳۹۴
۲۴۳۵/۱۳	۰	۴۰۳/۹۲	۲۸۸/۷۲	۱۷۴۲/۴۹	ساخته شده
۲۰۷۳/۶۹	۳/۰۶	۱۹۷/۷۳	۱۸۵۵/۲۲	۱۳/۶۸	زراعی
۲۰۳۶/۵۲	۷۱/۱	۱۰۷۲/۱۷	۸۴۱/۵	۵۱/۷۵	فضای سبز
۱۲۱/۳۲	۷۲/۶۳	۴۰/۰۵	۸/۵۵	۰/۰۹	آبی
۶۶۶۶/۶۶	۱۴۶/۷۹	۱۷۱۳/۸۷	۲۹۹۷/۹۹	۱۸۰۸/۰۱	مجموع



شکل ۶. تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه از سال ۱۳۶۴-۱۳۹۴

صورتی که مساحت اراضی زراعی در دوره ۱۵ سال اول و دوم به ترتیب ۷۷۵/۶۲ و ۹۲۴/۳ هکتار کاهش یافته است. از دلایل اصلی افزایش سرعت تبدیل اراضی کشاورزی به فضای سبز (باغ مرکبات در اطراف شهر) و کاهش تبدیل برعکس آن است. در دوره ۱۵ ساله اول از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۷۹ میزان تغییر کاربری اراضی زراعی به فضای سبز و برعکس به ترتیب ۴۴۲/۵۲ و ۳۰۶/۹ هکتار بوده است و بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴ این مقادیر به ترتیب به ۸۴۱/۵ و ۱۹۷/۷۳ هکتار رسیده است.

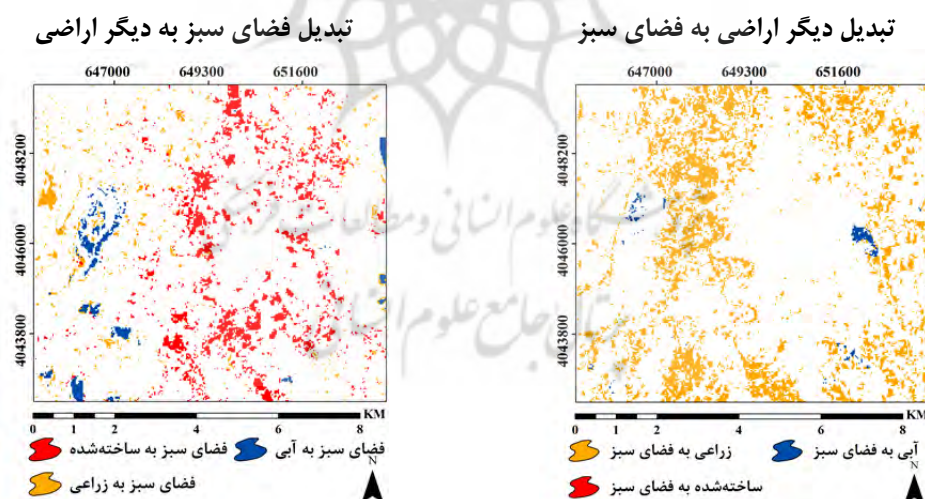
نتایج حاصل از این پژوهش بیان می‌کند که وسعت اراضی زراعی از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۴ روند کاهشی داشته است. به طوری که ۷۴۰/۵۲ هکتار به اراضی ساخته شده، ۱۱۳۲/۹۲ هکتار به اراضی فضای سبز و ۵/۴۹ هکتار به اراضی آبی تبدیل شده است. این تغییرات در حاشیه کناری شهر نمود بیشتری دارد (شکل ۷). با بررسی روند تغییرات اراضی زراعی طی دو دوره ۱۵ ساله، ۱۳۶۴-۱۳۷۹ و ۱۳۷۹-۱۳۹۴ نشان داده شد که روند کاهش مساحت اراضی زراعی طی سال‌های اخیر سریع‌تر شده است. به



شکل ۷. نقشه تغییرات کاربری اراضی زراعی در سال‌های ۱۳۹۴ - ۱۳۶۴

رشد مساحت کاربری فضای سبز طی سال‌های اخیر سریع‌تر شده است. بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۷۹ میزان افزایش مساحت کاربری فضای سبز برابر با ۱۴۸/۳۲ هکتار بوده که این مقدار در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴ به ۳۲۲/۶۵ هکتار افزایش یافته است.

کاربری فضای سبز از ۱۵۵۶/۵۵ هکتار در سال ۱۳۶۴ به ۲۰۳۶/۵۲ هکتار در سال ۱۳۹۴ افزایش است که رشد ۲۴ درصدی را نشان می‌دهد (شکل ۸). روند رشد کاربری فضای سبز در حاشیه شهر با تبدیل زمین‌های کشاورزی به باغ مرکبات کاملاً مشخص می‌باشد. رشد کاربری فضای سبز به نسبت رشد کاربری ساخته شده سرعت کمتری دارد. روند

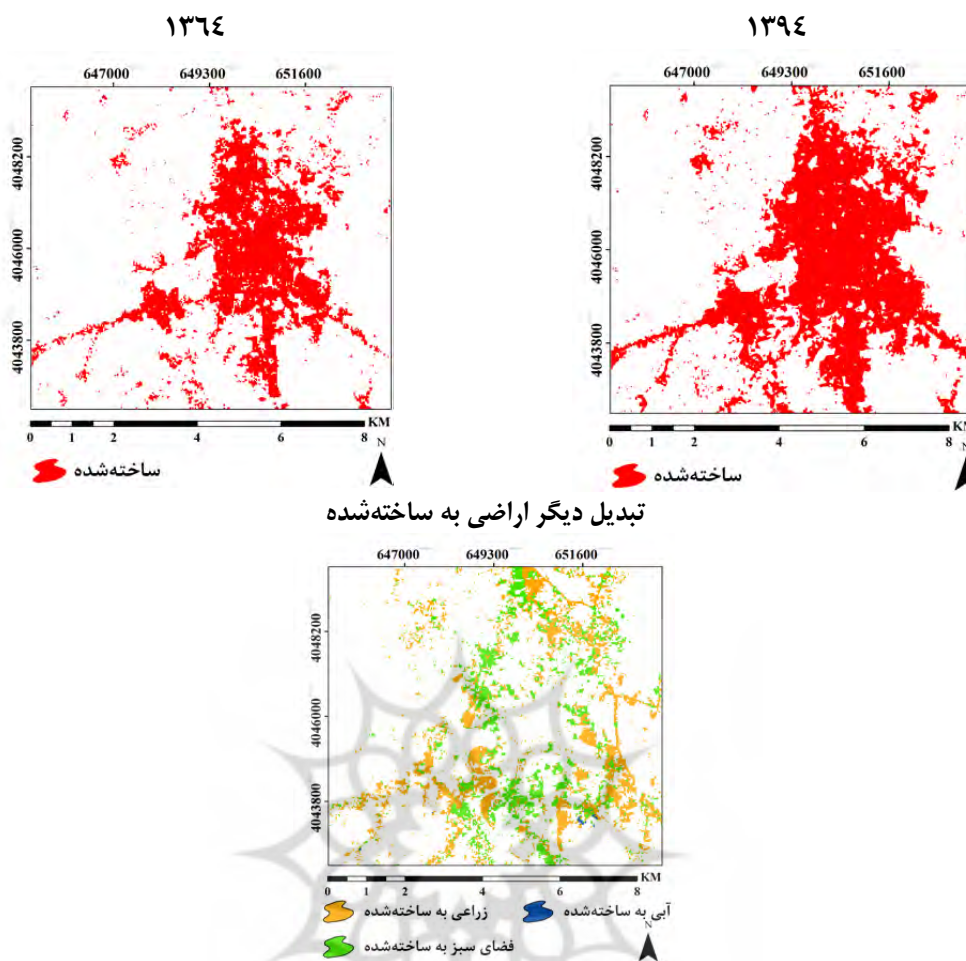


شکل ۸. نقشه تغییرات کاربری اراضی فضای سبز از سال ۱۳۶۹ - ۱۳۹۴

تخریب دیگر کاربری‌ها شده است (شکل ۹). گسترش شهری در حاشیه راه‌های کناری و خروجی از شهر به وضوح قابل مشاهده است. در این دوره ۷۴۰/۵۲ هکتار از اراضی زراعی و ۴۷۲/۱۴ هکتار از اراضی فضای سبز به اراضی ساخته شده تبدیل شده‌اند.

اراضی ساخته شده روند رو به رشد قابل ملاحظه‌ای در دوره زمانی مورد مطالعه داشته است، به طوری که از ۱۹ درصد کل محدوده در سال ۱۳۶۴، با ۱۱۶۹/۱۹ هکتار افزایش وسعت، به ۳۸ درصد کل مساحت محدوده در سال ۱۳۹۴ رسیده است. گسترش فیزیکی شهر در جهت افقی باعث

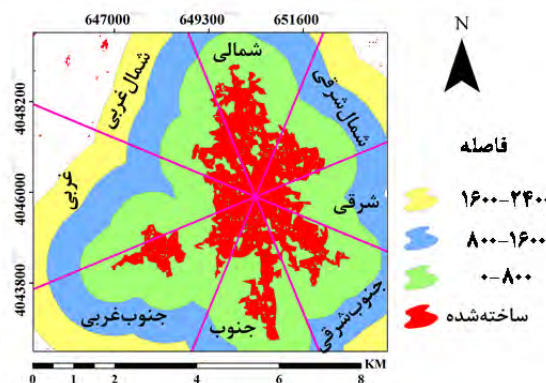




شکل ۹. نقشه گسترش فیزیکی شهر از سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۹۴

بودن مقادیر در نتایج صرف نظر شده است. همچنین میزان تغییرات کاربری اراضی در جهت‌های جغرافیایی مختلف نیز بررسی شده است (شکل ۱۰). نتایج بدست آمده بصورت جدول (۶) و (۷) نشان داده شده است.

پس از تهیه نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی مربوط به دوره‌های زمانی مورد بررسی، اثر فاصله از مناطق مسکونی بر تغییرات کاربری اراضی بررسی شده است. برای این منظور از ۳ طبقه حریم تا فاصله ۲۴۰۰ متری مناطق ساخته شده استفاده شده است. از تغییرات کاربری آبی به علت اندک



شکل ۱۰. نقشه فاصله از اراضی ساخته شده سال ۱۳۶۴ و جهت‌های جغرافیایی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۶. میزان تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر در فواصل مختلف از مناطق مسکونی طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۶۴ (هکتار)

تغییرات اراضی	حریم برحسب متر		
	۰-۸۰۰	۸۰۰-۱۶۰۰	۱۶۰۰-۲۴۰۰
زراعی به ساخته شده	۵۵۶/۹۲	۱۲۷/۹۸	۴۹/۳۶
فضای سبز به ساخته شده	۳۹۵/۷۳	۵۹/۰۴	۷/۸۲
ساخته شده به زراعی	۲/۰۷	۳/۶۹	۱/۰۸
فضای سبز به زراعی	۳۲/۴۹	۴۹/۴۱	۳۵/۳۷
ساخته شده به فضای سبز	۲۰/۷۹	۹/۵۲	۷/۰۲
زراعی به فضای سبز	۲۰۲/۹۹	۴۳/۳۶	۸۱/۵۲
مجموع تغییرات	۱۲۶۳/۶۴	۳۶۱/۱۷	۲۴۷/۳۱

جدول ۷. میزان تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر در جهت‌های جغرافیایی مختلف طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۶۴ (هکتار)

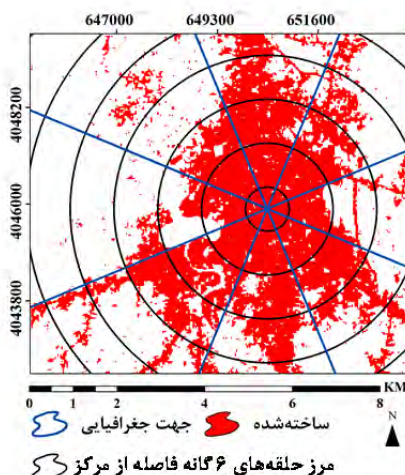
تغییرات اراضی	جهت جغرافیایی							
	شمال	شمال غربی	غربی	جنوب غربی	جنوبی	جنوب شرقی	شرقی	شمال شرقی
زراعی به ساخته شده	۱۱/۲۲	۵۵/۶۲	۴۹/۱	۱۸۴/۱۴	۶۳/۹۹	۱۳۱/۴۹	۶۰/۰۳	۷۶/۱۴
فضای سبز به ساخته شده	۷۹/۹۲	۶۱/۹۲	۳۰/۷	۶۷/۲۳	۹۱/۳۵	۵۳/۰۱	۲۲/۱۴	۵۵/۲۶
ساخته شده به زراعی	۰/۱۸	۱۰/۸	۱۶/۲	۲۷	۳/۶	۰/۳۶	۰	۱۰/۸
فضای سبز به زراعی	۶/۸۴	۳۱/۱۵	۶۸/۹۴	۱۳/۵	۳۷/۸	۷۹/۲	۵/۸	۱۲/۳۳
ساخته شده به فضای سبز	۵/۴	۵۷/۶	۲۶/۱	۹۰	۴۴/۱	۲۷/۹	۰/۸۱	۶۵/۷
زراعی به فضای سبز	۱۰/۳۱	۲۸۰/۴۴	۱۶۴/۶	۱۹۶/۲	۱۰۲/۷۸	۹۸/۵۵	۵۹/۵۸	۱۰۸/۰۹
مجموع تغییرات	۳۱/۰۵	۴۹۷/۹۸	۵۳۱/۲	۴۶۹/۳۵	۳۰۷/۷۱	۲۹۴/۲۱	۱۷۰/۰۳	۳۳۶/۶

طرف شهرهای اطراف از جمله شهر بابلسر در جهت شمالی، شهر قائمشهر در جهت جنوب شرقی، شهر آمل در جهت جنوب غربی و شهرهای گلوگاه و گتاب در جهت جغرافیایی جنوبی را نام برد که سبب گسترش اراضی ساخته شده و تخریب اراضی زراعی و فضای سبز ناشی از آن شده است. همچنین، بیشترین مقدار تبدیل اراضی زراعی به اراضی فضای سبز (باغ مرکبات) در جهت شمال غربی مرکز شهر قرار گرفته است.

به منظور محاسبه شاخص آنتروپی شانون و بررسی پراکندگی و فشردگی گسترش شهری منطقه، ۶ حلقه متحدالمرکز با نقطه کانونی مرکز شهر بابل با عرض ۵۰۰ متر ایجاد شد. این شاخص برای هر ۵ تصویر مربوط به بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ در جهت‌های جغرافیایی مختلف بررسی شده است. جدول (۹) و شکل شماره (۱۱)، نتایج مربوط به شاخص آنتروپی شانون را نشان می‌دهند.

نتایج جدول (۷) نشان می‌دهد که مجموع تغییرات کاربری اراضی در فاصله نزدیک به اراضی ساخته شده بیشتر از فواصل دور می‌باشد، به طوری که مجموع تغییرات کاربری اراضی در فاصله ۸۰۰ متری از اراضی ساخته شده برابر با ۱۲۶۳/۶۴ هکتار و در فاصله ۸۰۰-۱۶۰۰ متری برابر با ۳۶۱/۱۷ هکتار بوده و این روند به همین صورت ادامه دارد. بیشترین تغییرات در ۸۰۰-۰ متری از اراضی ساخته شده، مربوط به تبدیل اراضی زراعی به اراضی ساخته شده به میزان ۵۵۶/۹۲ هکتار و تبدیل اراضی فضای سبز به اراضی ساخته شده به میزان ۳۹۵/۷۳ هکتار می‌باشد. در این محدوده تبدیل اراضی زراعی به فضای سبز به میزان ۲۰۲/۹۹ هکتار نیز مشهود است.

بیشترین تغییرات کاربری اراضی زراعی و فضای سبز به اراضی ساخته شده، مربوط به جهت‌های جغرافیایی شمالی، جنوب غربی، جنوب شرقی و جنوبی می‌باشد که از دلایل عمده آن قرارگیری راه‌های اصلی خروجی از شهر بابل به



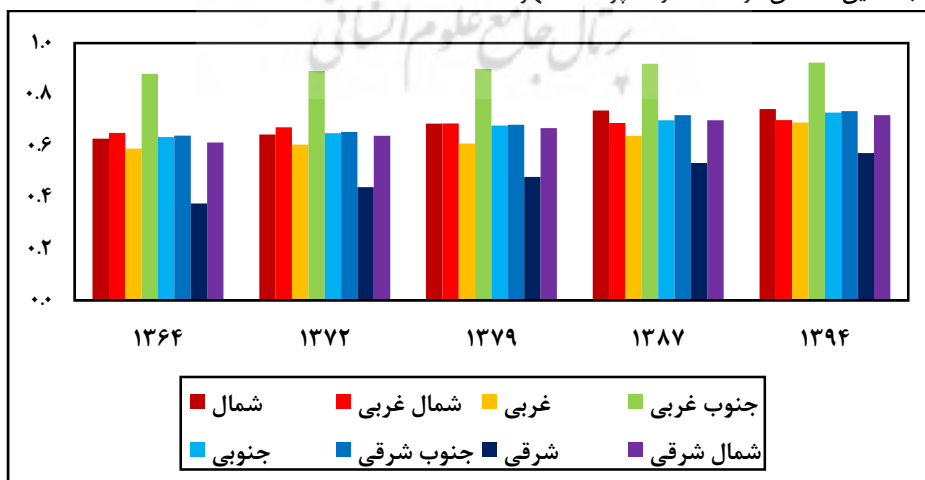
شکل ۱۱. حلقه‌ها و جهت‌های جغرافیایی جهت محاسبه شاخص آنتروپی شانون

جدول ۸. نسبت اراضی ساخته‌شده، مقادیر آنتروپی مطلق و نسبی شانون

سال	نسبت اراضی ساخته شده	شاخص آنتروپی نسبی شانون	شاخص آنتروپی مطلق شانون
۱۳۶۴	۰/۱۹	۰/۶۸۲۱	۰/۷۳۶۲
۱۳۷۲	۰/۲۴	۰/۶۹۶۹	۰/۷۵۲۱
۱۳۷۹	۰/۲۷	۰/۷۲۵۶	۰/۷۶۱۵
۱۳۸۷	۰/۳۳	۰/۷۲۳۲	۰/۷۸۰۵
۱۳۹۴	۰/۳۶	۰/۷۴۱۳	۰/۸۰۰۱

بابل را نشان می‌دهد که این روند طی سال‌های اخیر سرعت بیشتری به خود گرفته است. به‌طوری‌که تفاوت مقادیر شاخص آنتروپی مطلق شانون از سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۷۹ طی ۱۵ سال اول مورد مطالعه ۰/۰۲۵ بوده که همین مقدار در ۱۵ سال دوم به ۰/۰۳۸ رسیده است.

بر اساس مقادیر بدست آمده از شاخص آنتروپی شانون (جدول ۸)، مقادیر این شاخص طی سال‌های گذشته به دلیل افزایش وسعت اراضی سکونتگاهی با سیر صعودی همراه بوده است. مقادیر نسبی این شاخص در سال ۱۳۶۴ برابر با ۰/۶۸ بوده که در سال ۱۳۹۴ به ۰/۷۴ رسیده است. مقادیر نزدیک به ۱ این شاخص در منطقه، رشد پراکنده شهر



شکل ۱۲. شاخص آنتروپی شانون در جهت‌های جغرافیایی مختلف



است. جهت شرقی کمترین مقدار شاخص آنتروپی شانون را دارد ولی طی سال‌های گذشته با احداث کنار گذر شهری در جهت شرق، مقدار پراکندگی در این جهت با سرعت بالایی در حال افزایش است. در مجموع، توسعه و رشد شهری طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۶۴ در نیمه جنوبی شهر بیشتر از نیمه شمالی بوده است و این مقدار در جهت‌های شمالی و جنوبی بیشتر از جهت‌های شرقی و غربی بوده است. بنابراین، برای جلوگیری از رشد نامتوازن شهری می‌توان برنامه‌ریزی‌های لازم جهت انتقال بیشتر گسترش شهری به جهت‌های شرقی و غربی را مدنظر قرار داد.

جهت پیش‌بینی میزان تغییرات کاربری اراضی برای دوره‌های زمانی آینده از مدل CA-Markov استفاده شده است. نتایج ارزیابی دقت پیش‌بینی با مدل زنجیره‌ای مارکوف، به کمک نقشه کاربری موجود برای سال ۱۳۹۴ در جدول (۹) نشان داده شده است.

جدول ۹. ارزیابی دقت پیش‌بینی با مدل زنجیره‌ای مارکوف برای کاربری اراضی سال ۱۳۹۴

کاربری اراضی	ساخته شده	زراعی	فضای سبز	آبی
پیش‌بینی برای سال ۱۳۹۴ (هکتار)	۲۳۹۶/۱۲	۲۲۲۳/۲۴	۲۰۰۱/۷۲	۱۴۵/۵۸
مساحت در نقشه سال ۱۳۹۴ (هکتار)	۲۴۳۵/۱۳	۲۰۷۳/۶۹	۲۰۳۶/۵۲	۱۲۱/۳۲
اختلاف مساحت (هکتار)	۱۳۹/۰۱	۱۴۹/۵۵	۱۳۴/۳۵	۲۴/۲۶
درصد اختلاف	۱/۶	۷/۲	۶/۶	۱۹/۹

مساحت کاربری اراضی برای سال‌های ۱۴۴۴-۱۴۱۹-۱۴۱۰-۱۴۰۲ پیش‌بینی شده است. جزئیات تغییرات احتمالی کاربری اراضی و ماتریس تغییرات برای دوره زمانی ۱۴۱۹-۱۳۹۴ بر اساس مدل زنجیره‌ای مارکوف، در جدول (۱۰) و (۱۱) بیان شده است. سپس با استفاده از مساحت انتقال یافته و تصاویر احتمال شرطی به دست آمده، مدل CA-Markov به منظور تهیه نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی سال ۱۴۱۹ اجرا و نقشه حاصل از پیش‌بینی به صورت شکل (۱۳) نشان داده شده است.

بررسی شاخص آنتروپی شانون برای جهت‌های مختلف شکل (۱۲) نشان می‌دهد که رشد و پراکندگی شهری طی سال‌های ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۴ در جهت‌های جغرافیایی مختلف متفاوت بوده است. شاخص آنتروپی شانون در تمام جهت‌ها طی سال‌های گذشته با روند افزایشی روبه‌رو بوده است. بیشترین پراکندگی اراضی ساخته شده در تمام سال‌ها مربوط به جهت جنوب‌غربی بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شاخص پراکندگی در گذشته برای جهت شمالی، پایین‌تر از مقدار شاخص برای جهت شمال‌غربی بوده است ولی طی سال‌های اخیر مقدار شاخص آنتروپی شانون در جهت شمالی بیشتر از جهت شمال‌غربی شده است که از علل اصلی آن قرارگیری راه ارتباطی بین شهر بابل و بابلسر در جهت شمالی شهر می‌باشد. جهت‌های را که در آن‌ها راه‌های اصلی خروجی از شهر قرار دارند بیشترین مقدار شاخص پراکندگی را دارد و طی سال‌های گذشته مقدار این شاخص در این جهت‌ها با سرعت بیشتری در حال افزایش

نتایج نشان می‌دهد که اختلاف مساحت در طبقات کاربری اراضی، متفاوت است و بزرگی آن‌ها به غیر از کاربری آبی کمتر از ۸ درصد است. این رقم نشان دهنده قابلیت و مفید بودن بهره‌گیری از مدل مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری منطقه می‌باشد. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در مطالعه برای بررسی تغییرات کاربری اراضی دارای فاصله زمانی تقریبی ۸ سال از یکدیگر هستند. مدل پیش‌بینی به‌دلیل استفاده از تصاویر گذشته، برای پیش‌بینی مساحت و نقشه کاربری اراضی سال‌ها با فواصل زمانی مضرب تقریبی ۸ دقت بالاتری دارد.

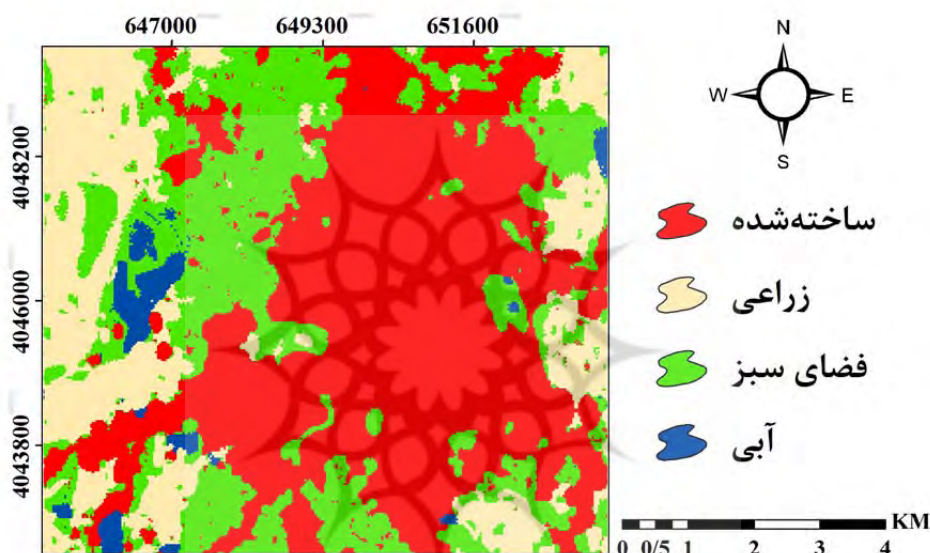
جدول ۱۰. احتمال تغییر کاربری اراضی تا سال ۱۴۱۹ بر اساس مدل زنجیره‌ای مارکوف (درصد)

۱۳۹۴-۱۴۱۹	ساخته شده	زراعی	فضای سبز	آبی
ساخته شده	۹۶/۷۸	۰/۵۲	۲/۷	۰
زراعی	۱۶/۰۷	۵۴/۹۶	۲۸/۹۷	۰
فضای سبز	۲۶/۸۶	۹/۵۸	۵۷/۴۸	۶/۰۸
آبی	۱/۷۳	۱۸/۱۶	۴۳/۸	۳۶/۳۲

جدول ۱۱. مساحت تغییرات کاربری اراضی محدوده از سال ۱۴۱۹-۱۳۹۴ (هکتار)

مجموع	آبی	فضای سبز	زراعی	ساخته شده	۱۳۹۴-۱۴۱۹
۳۲۳۹/۱	۲/۰۷	۵۴۷/۰۲	۳۳۳/۲۷	۲۳۵۶/۷۴	ساخته شده
۱۳۶۹/۵۳	۲۲/۰۵	۱۹۵/۰۳	۱۱۳۹/۶۷	۱۲/۷۸	زراعی
۱۸۹۰	۵۳/۱۰	۱۱۷۰/۵۴	۶۰۰/۷۵	۶۵/۶۱	فضای سبز
۱۶۷/۰۳	۴۴/۱۰	۱۲۳/۹۳	۰	۰	آبی
۶۶۶۶/۶۶	۱۲۱/۳۲	۲۰۳۶/۵۲	۲۰۳۷/۶۹	۲۴۳۵/۱۳	مجموع

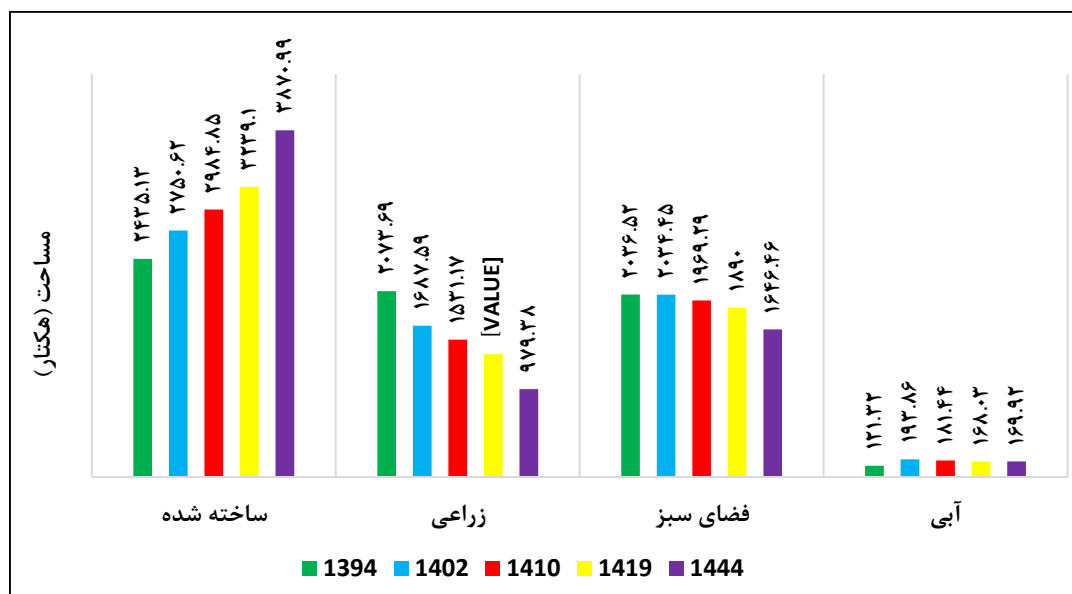
شکل ۱۳. نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری سال ۱۴۱۹



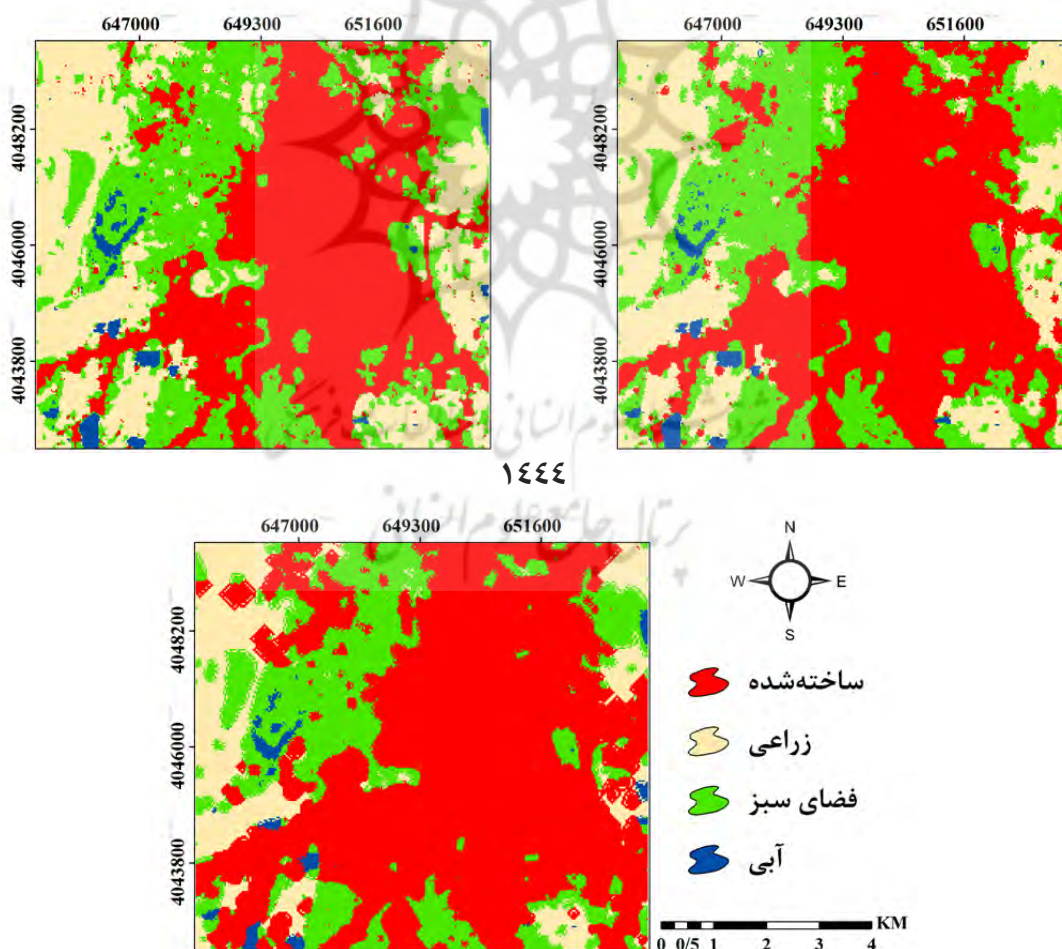
بدلیل آن که درصد احتمالی تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی فضای سبز نسبت به درصد احتمالی تبدیل اراضی فضای سبز به اراضی کشاورزی بیشتر است، کاهش مساحت اراضی کشاورزی نسبت به فضای سبز، روند سریع‌تری دارد. اگر روند تغییرات کاربری اراضی و گسترش شهری به همین نحو ادامه داشته باشد، در سال‌های آینده شاهد کمتر شدن مساحت کاربری اراضی کشاورزی از مساحت کاربری اراضی فضای سبز خواهیم بود.

نتایج حاصل از پیش‌بینی وسعت کاربری‌های مختلف طی ۵۰-۲۵-۱۶-۸ سال آینده با شکل (۱۴) نشان داده شده است. همچنین، نقشه‌های حاصل از پیش‌بینی سال‌های ۱۴۰۲، ۱۴۱۰ و ۱۴۴۴ به صورت شکل (۱۵) نشان داده شده است.

نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای ۲۵ سال آینده بر اساس تغییرات گذشته بیانگر این مساله است که گسترش بی‌رویه شهر در سال‌های آینده نیز ادامه خواهد داشت و موجب تخریب اراضی زراعی و فضای سبز اطراف خود خواهد شد. در این بین احتمال تبدیل اراضی فضای سبز و کشاورزی به اراضی ساخته‌شده به ترتیب ۲۶/۸۶ و ۱۶/۰۷ درصد می‌باشد. به دلیل این که اراضی فضای سبز نسبت به اراضی کشاورزی در فاصله نزدیکتر به اراضی ساخته شده قرار دارند که احتمال تغییر کاربری فضای سبز به کاربری ساخته شده افزایش می‌دهد. همچنین احتمال تبدیل اراضی فضای سبز به کشاورزی ۹/۵۸ درصد و احتمال تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی فضای سبز ۲۸/۹۷ درصد است. درصد بیشتری از اراضی فضای سبز نسبت به اراضی کشاورزی به اراضی ساخته شده تبدیل می‌شود ولی



شکل ۱۴. مساحت پیش‌بینی شده کاربری‌های مختلف (هکتار)



شکل ۱۵. نقشه‌های حاصل از پیش‌بینی سال‌های ۱۴۰۲، ۱۴۱۰ و ۱۴۴۴.

سی سال گذشته نشان از رشد پراکنده شهر بابل را دارد و آنچه اهمیت دارد تغییر کاربری اراضی فضای سبز و زراعی به اراضی ساخته‌شده، به ویژه در اطراف شهر می‌باشد. بیشترین تغییرات کاربری اراضی زراعی و فضای سبز به اراضی ساخته‌شده مربوط به جهت‌های جغرافیایی شمالی، جنوب‌غربی، جنوب‌شرقی و جنوبی می‌باشد که از دلایل عمده آن قرارگیری راه‌های اصلی خروجی از شهر بابل در این موقعیت می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به پیش‌بینی صورت گرفته برای سال ۱۴۱۹ احتمال تغییر دیگر کاربری‌ها به کاربری ساخته‌شده اهمیت فراوانی دارد. در این میان، اراضی زراعی و فضای سبز ۴۳ درصد احتمال تبدیل به اراضی ساخته‌شده را دارند، که این امر نیازمند توجه بیش از پیش مسئولان و برنامه‌ریزان شهری است تا با اجرای برنامه‌های لازم از گسترش بی‌رویه اراضی ساخته‌شده جلوگیری نمایند و یا از سرعت رشد آن بکاهند. نتایج این مطالعه گویای این است که تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در اجرای مدل‌های ارزیابی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی، به منظور آگاهی از نوع و درصد کاربری اراضی و میزان تغییرات آن‌ها، در منابع طبیعی و بخش‌های دیگر بسیار کارآمد است. همچنین نقشه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی‌های آینده مفید بوده و قابلیت استفاده از آن‌ها به عنوان سامانه هشدار دهنده پیامدها و تاثیر آینده تغییرات کاربری وجود دارد.

از جمله پیشنهادات اصولی برای برنامه‌ریزان شهری بابل در رابطه با موضوع تغییر کاربری اراضی و رشد شهری بابل، بلند مرتبه‌سازی و استفاده از الگوی شهر فشرده، به کارگیری رشد هوشمند شهری در زمینه مدیریت گسترش، اعمال قوانین محدوده‌کننده ساخت و ساز و گسترش شهری در محدوده‌های مربوط به کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز اطراف شهر، تدوین برنامه‌های بلندمدت و نظارت دقیق بر ساخت و سازها و انجام عملیات نوسازی بر روی بافت‌های فرسوده است.

جلالیان، حمید؛ پرویزضیائیان، پرستو دارویی و خدیجه کریمی (۱۳۹۴). تحلیل خزش شهری و تحولات کاربری اراضی (مطالعات تطبیقی شهرهای ارومیه و اصفهان)، فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۲(۴)، ۷۳-۹۸.

نتایج حاصل از پیش‌بینی مساحت برای دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که مساحت اراضی ساخته‌شده در سال ۱۴۱۹ به ۳۲۳۹/۱ هکتار خواهد رسید که نسبت به سال ۱۳۹۴ رشد ۳۳ درصدی را نشان می‌دهد. همچنین مساحت‌های کاربری‌های زراعی و فضای سبز به ترتیب کاهش ۳۳ و ۷ درصدی را نشان می‌دهند که این امر نشان دهنده سرعت بیشتر تبدیل اراضی زراعی به اراضی فضای سبز است. با ادامه این روند در سال‌های آینده شاهد بیشتر شدن مساحت اراضی فضای سبز به نسبت اراضی زراعی خواهیم بود. همچنین مساحت کاربری‌ها برای سال‌های دورتر نشان‌دهنده روند رو به رشد اراضی ساخته‌شده و روند کاهش اراضی زراعی و فضای سبز می‌باشد. با توجه به گسترش بی‌رویه افقی شهر طی سال‌های آینده، وسعت کاربری‌های دیگر کاهش چشمگیر داشته و در خطر نابودی کامل قرار می‌گیرند که در این بین، اراضی زراعی در خطر بیشتری قرار دارند. پیش‌بینی مساحت کاربری اراضی زراعی در سال ۱۴۴۴ به صورت واضح بیانگر این موضوع است که این مسئله توجه جدی مسئولان و برنامه‌ریزان شهری را می‌طلبد تا برنامه‌های لازم برای کنترل و کاهش تخریب اراضی زراعی و فضای سبز اطراف شهر را به کار گیرند.

### بحث و نتیجه‌گیری

امروزه سرعت تغییرات کاربری اراضی در اثر گسترش فیزیکی شهر در اکثر شهرهای ایران افزایش یافته است، از این فرایند برنامه‌ریزی مسائل شهری با پیچیدگی‌ها و چالش‌های جدی مواجه است. شهر بابل گسترش کالبدی قابل توجهی طی دهه‌های قبل را تجربه کرده است که با توجه به شرایط خاص منطقه از نظر آب و هوایی، شرایط خاک، وجود اراضی زراعی و فضای سبز در منطقه، ضرورت ارزیابی اصولی گسترش شهری و اثرات سوء آن بر دیگر کاربری‌ها را نمایان می‌شود. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده در این پژوهش، مساحت شهر بابل طی ۲۵ سال گذشته از ۱۲۶۵/۹۴ هکتار به ۲۴۳۵/۱۳ هکتار رسیده که رشد ۹۲ درصدی را نشان می‌دهد. تحلیل شاخص آنتروپی شانون طی

### منابع

تقی زاده، سیامک؛ منوچهر معصومی. (۱۳۸۸)، بررسی تغییرات کاربری اراضی شهرستان نقده با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در بازه زمانی (۱۳۴۳-۱۳۸۸)، سپهر، ۵۹-۶۵.

- (مطالعه موردی: دشت بجنورد)، نشریه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۲(۷)، ۹۵-۱۰۶.
- فیضی زاده، بختیار و سید محمود حاجی میر رحیمی (۱۳۸۶)، اشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی شی گرا (مطالعه موردی: شهرک اندیشه)، همایش ژئوماتیک ۸۷، سازمان نقشه‌برداری، ۴۰-۵۰.
- Adami, M., Rudorff, B. F. T., Freitas, R. M., Aguiar, D. A., Sugawara, L. M., & Mello, M. P. (2012). Remote sensing time series to evaluate direct land use change of recent expanded sugarcane crop in Brazil. *Sustainability*, 4(4), 574-585.
- Ajayi, Adedeji, H., Adeofun, C & Awokola, S. (2016). Land Use Change Assessment, Prediction Using Remote Sensing, and GIS Aided Markov Chain Modelling at Eleyele Wetland Area, Nigeria. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, 7(1), 51.
- Azizi, A., Malakmohamadi, B., & Jafari, H. (2016). Land use and land cover spatiotemporal dynamic pattern and predicting changes using integrated CA-Markov model. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(3), 223-234.
- Boori, M. S., Voženílek, V., & Choudhary, K. (2015). Land use/cover disturbance due to tourism in Jeseníky Mountain, Czech Republic: A remote sensing and GIS based approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 17-26.
- Cabral, P., & Zamyatin, A. (2009). Markov processes in modeling land use and land cover changes in Sintra-Cascais, Portugal. *Dyna*, 76(158), 191-198.
- Dadras, M., Shafri, H. Z., Ahmad, N., Pradhan, B., & Safarpour, S. (2015). Spatio-temporal analysis of urban growth from remote sensing data in Bandar Abbas city, Iran. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 35-52.
- Effat, H. A., & El Shobaky, M. A. (2015). Modeling and Mapping of Urban Sprawl Pattern in Cairo Using Multi-Temporal Landsat Images, and Shannon's Entropy. *Advances in Remote Sensing*, 4(04), 303.
- George, J. (2016). Land Use/Land Cover Mapping With Change Detection Analysis of Aluva Taluk Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 4(2), 383-389.
- Gong, W., Yuan, L., Fan, W., & Stott, P. (2015). Analysis and simulation of land use spatial pattern in Harbin prefecture based on trajectories and cellular automata—Markov modelling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 207-216.
- Jain, M., Dimri, A. P., & Niyogi, D. (2016). Urban Sprawl Patterns and Processes in Delhi from 1977 to 2014 Based on Remote Sensing and Spatial Metrics Approaches. *Earth Interactions*, 20(14), 1-29.
- Jat, M. K., Garg, P. K., & Khare, D. (2008). Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International journal of Applied earth Observation and Geoinformation*, 10(1), 26-43.
- Jensen, J. R.; (2005). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective (3rd Edn)*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Ji, W., Ma, J., Twibell, R. W., & Underhill, K. (2006). Characterizing urban sprawl using multi-stage remote sensing images and landscape metrics. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(6), 861-879.
- Karna, B. K., Mandal, U. K., & Bhardwaj, A. (2013). Urban sprawl modeling using RS and GIS technique in Kirtipur municipality. *Nepalese Journal of Geoinformatics*, 12, 50-56.

- Louca, M., Vogiatzakis, I. N., & Moustakas, A. (2015). Modelling the combined effects of land use and climatic changes: Coupling bioclimatic modelling with Markov-chain Cellular Automata in a case study in Cyprus. *Ecological Informatics*, 30, 241-249.
- Lu, D., Mausel, P., Batistella, M., & Moran, E. (2005). Land-cover binary change detection methods for use in the moist tropical region of the Amazon: a comparative study. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 101-114.
- Megahed, Y., Cabral, P., Silva, J., & Caetano, M. (2015). Land cover mapping analysis and urban growth modelling using remote sensing techniques in Greater Cairo Region—Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(3), 1750-1769.
- Mishra, Monalisha, Mishra, Kamal Kant & Subudhi, A. P., (2014). Urban sprawl mapping and land use change analysis using remote sensing and GIS (Case study of Bhubaneswar City, Orissa). Retrieved from [www.gisresources.com](http://www.gisresources.com)
- Nazarnia, N., Schwick, C., & Jaeger, J. A. (2016). Accelerated urban sprawl in Montreal, Quebec City, and Zurich: Investigating the differences using time series 1951–2011. *Ecological Indicators*, 60, 1229-1251.
- Pontius, R. G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 66(8), 1011-1016.
- Rajitha, K., Mukherjee, C. K., Vinu Chandran, R., & Prakash Mohan, M. M. (2010). Land-cover change dynamics and coastal aquaculture development: a case study in the East Godavari delta, Andhra Pradesh, India using multi-temporal satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 31(16), 4423-4442.
- Rashmi, M. K., & Lele, N. (2010). Spatial modeling and validation of forest cover change in Kanakapura region using GEOMOD. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38(1), 45-54.
- Sarvestani, M. S., Ibrahim, A. L., & Kanaroglou, P. (2011). Three decades of urban growth in the city of Shiraz, Iran: A remote sensing and geographic information systems application. *Cities*, 28(4), 320-329.
- Sidhu, N., Rishi, M. S., & Singh, R. (2016). Spatio-Temporal Study of the Distribution of Land Use and Land Cover Change Pattern in Chandigarh, India Using Remote Sensing and GIS Techniques. In *Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment* (pp. 785-789). Springer International Publishing.
- Silveira, J. J., Espíndola, A. L., & Penna, T. J. P. (2006). Agent-based model to rural–urban migration analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 364, 445-456.
- Singh, P., & Khanduri, K. (2011). Land use and land cover change detection through remote sensing & GIS technology: case study of Pathankot and Dhar Kalan Tehsils, Punjab. *Journal, of. Geomatics and Geosciences*, 1(4), 839-846.
- Sisodia, P. S., Tiwari, V., & Dahiya, A. K. (2016). Urban Sprawl Monitoring using Remote Sensing and GIS Techniques of the City Jaipur, India. *International Journal of Applied Geospatial Research (IJAGR)*, 7(3), 93-104.
- Wakode, Hemant Balwant, Klaus, Baier, Ramakar, Jha. & Raffig, Azzam, (2014). Analysis of urban growth using Lands at TM/ETM data and GIS- a case study of Hyderabad, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 109-121.
- Wu, Q., Li, H. Q., Wang, R. S., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., ... & Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and urban planning*, 78(4), 322-333.
- Xu, C. H. E. N., Shi-Xiao, Y. U., & ZHANG, Y. P. (2013). Evaluation of spatiotemporal dynamics of simulated land use/cover in China using a probabilistic cellular automata-Markov Model. *Pedosphere*, 23(2), 243-255.
- Yang, X., Zheng, X. Q., & Lv, L. N. (2012). A



spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata. *Ecological Modelling*, 233, 11-19.

Yeh, A. G. O., & Xia, L. (2001). Measurement

and monitoring of urban sprawl in a rapidly growing region using entropy. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 67(1), 83-90.

