



## Research Article

### Prediction of built-up changes and urban growth using remotely sensed data

Keyvan Ezimand<sup>1</sup>, Hossein Aghighi<sup>1\*</sup> , Yasaman Asadi<sup>2</sup>, Mohamad Javanbakht<sup>2</sup>

1-Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

2-Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 10 Oct 2019 Accepted: 04 Apr 2020

## Extended Abstract

### Introduction

The world is rapidly moving towards urbanization, and with large populations living in cities, and ever increasing population in urban areas, urban sprawl has occurred in many cities around the world. Lack of urban planning and management regarding the development of urban sprawl has been known as the source of many problems in cities around the world. Urban sprawl negatively impacts the environment, quality of life, social equity, climate change, air pollution and LST. Therefore, one of the goals of this study is to show the pattern of urban growth from the past to present, and predict the future of urban growth that may occur. It can be considered as an innovation of this study, which was less prominent in previous studies.

### Materials and Methods

The study area is Rasht, where its natural attractions and tourism characteristics have increased its population and physical development. This research utilized Landsat 5 (TM), 7 (ETM+), and 8 (OLI/TIRS) images. In the first step, the pre-processing operations including geometric correction, atmospheric correction, and radiometric correction were performed on the remote sensing images. In the next step, Normalized Difference Impervious Index (NDISI) values were computed and employed to extract the impervious surface information in urban area. Then a hybrid cellular automaton–Markov (CA–Markov) model was used to predict both the quantity and spatial distribution of impervious surfaces in the city of Rasht. The performances of these methods were evaluated using 300 randomly selected samples. Finally, statistical analysis has been used to show the growth pattern of Rasht from its past to present and also to predict the future.

### Results and Discussion

The results of this study indicated that the impervious surface of this city can be extracted with high accuracy (from 86.12 percent to 89.88 percent) using NDISI computed from Landsat images. Moreover, the accuracy of the CA–Markov model through prediction of impervious surface for the year 2018 was about 83.21 percent. With regard to the results of this work, the observed and expected urban growth results are not consistent with each other. The analysis of degree-of-freedom ( $\chi^2 = 2.96$ ) and Shannon's entropy ( $H = 3.08$ ) are reflecting the urban sprawl pattern. Then,  $H$  and  $\chi^2$  were used to compute the degree of goodness ( $G = -1.12$ ). This parameter demonstrated that the growth pattern of Rasht was inappropriate.

### Conclusion

This study shows that the sprawl of the city of Rasht can be characterized by a scattered growth that is expected to be worse in future, if management measures are not taken by governmental authorities. The results of this study can be useful for future urban planning and decision making such as preventing vertical land use changes.

**Keywords:** Shannon's entropy, Degree-of-freedom, Degree-of-goodness, Impervious surface, CA–Markov model.

**Citation:** Ezimand, K. et al, 2020. Prediction of built-up changes and urban growth using remotely sensed data, *Res. Earth. Sci.* 11(2), (67-88) DOI: 10.52547/esrj.11.2.67

\* Corresponding author E-mail address: H\_Aghighi@sbu.ac.ir



## پیش‌بینی تغییرات اراضی ساخته شده و رشد شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور

کیوان عزیزی<sup>۱</sup>، حسین عقیقی\*<sup>۱</sup>، یاسمن اسدی<sup>۲</sup>، محمد جوانبخت<sup>۲</sup>

۱- گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۷/۱۸

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱/۱۶

### چکیده

رشد پراکنده شهری منشأ بسیاری از مشکلات شهرهای جهان و در نتیجه عدم برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب است. این مطالعه به تحلیل فضایی و زمانی الگوی رشد شهری و پیش‌بینی آن در شهر رشت با هدف برنامه‌ریزی برای آینده پرداخته است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸ برای بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ است. روش انجام این تحقیق بدین صورت است که با استفاده از شاخص NDISI اقدام به استخراج سطوح نفوذناپذیر شهری شده است سپس با استفاده از مدل سلول‌های خودکار-مارکوف اقدام به پیش‌بینی سطوح نفوذناپذیر شهری برای سال ۲۰۳۲ شده است. عملکرد این روش‌ها با استفاده از ۳۰۰ نمونه که به صورت تصادفی انتخاب شده است مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه حاکی از دقت بالای شاخص NDISI برای استخراج سطوح نفوذناپذیر (۸۶/۱۲ تا ۸۹/۷۸ درصد) بوده است. علاوه بر این، دقت مدل CA-Markov برای پیش‌بینی سطح غیرقابل نفوذ در سال ۲۰۱۸ حدود ۸۳/۲۱ درصد بود. نتایج الگوی رشد شهری مشاهده شده و مورد انتظار با یکدیگر تطابق نداشته و دارای اختلاف بوده‌اند. نتایج کلی تحلیل درجه آزادی ( $\chi^2=2/96$ ) و آنتروپی شانون ( $H=3/08$ ) حاکی از الگوی رشد پراکنده بوده‌اند. سپس H و  $\chi^2$  برای محاسبه درجه خوب بودن شهری ( $G=1/12$ ) مورد استفاده قرار گرفتند و این پارامتر نشان داد که الگوی رشد رشت نامناسب و بد است. این مشکل را می‌توان با برنامه‌ریزی شهری حل کرد.

**واژه‌های کلیدی:** آنتروپی شانون، درجه آزادی شهر، درجه خوب بودن شهر، سطوح نفوذناپذیر شهر، مدل پیش‌بینی سلول‌های خودکار-مارکوف.

## مقدمه

زمین و تصمیم‌گیری مدیران شهری بسیار مهم است (Patino and Duque, 2013). در این بین سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش بسیار مهمی در بارزسازی و مدل‌سازی آن ایفا می‌کنند (Jat et al, 2008; Jhawar et al, 2013; Nielsen, 2015; Chakraborty and McMillan, 2018). در مطالعه حاضر نیز همانند مطالعه ونگ (Weng, 2012) ۲۰۱۲، اراضی ساخته شده و سطوح نفوذناپذیر شهری به یک مفهوم به‌کار رفته‌اند. امروزه در نتیجه گسترش و رشد شهرها، مساحت اراضی ساخته شده بسیار افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود مساحت آن از ۴۰۰ هزار کیلومترمربع در سال ۲۰۱۴ (Jaeger and Schwick, 2014) به حدود ۱ میلیون و ۲۰۰ هزار کیلومترمربع در سال ۲۰۳۰ افزایش یابد (Seto et al, 2012)؛ لذا پایش تغییرات پیوسته این اراضی برای برنامه‌ریزی شهری ضروری است. در این بین سنجش از دور نقش مهمی در مانیتور کردن و پایش این اراضی در قدرت تفکیک‌های مکانی مختلف دارد (Gamba and Herold, 2009). اگرچه در ابتدا استخراج اراضی ساخته شده و نقشه‌های مناطق شهری تهیه شده دارای قدرت تفکیک مکانی بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بود (Potere and Schneider, 2007; Mertes et al, 2015) ولی امروزه لندست به بهبود قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها کمک کرده است زیرا سری زمانی طولانی مدت آن به صورت رایگان در اختیار محققین قرار دارد و همچنین قدرت تفکیک‌های مکانی، طیفی و رادیومتریک آنها مطلوب است (Markham and Helder, 2012). بعلاوه شاخص‌های طیفی مختلفی برای طبقه‌بندی و استخراج سریعتر اراضی ساخته شده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده‌اند (Ezimand et al, 2018; Estoque and Murayama, 2015).

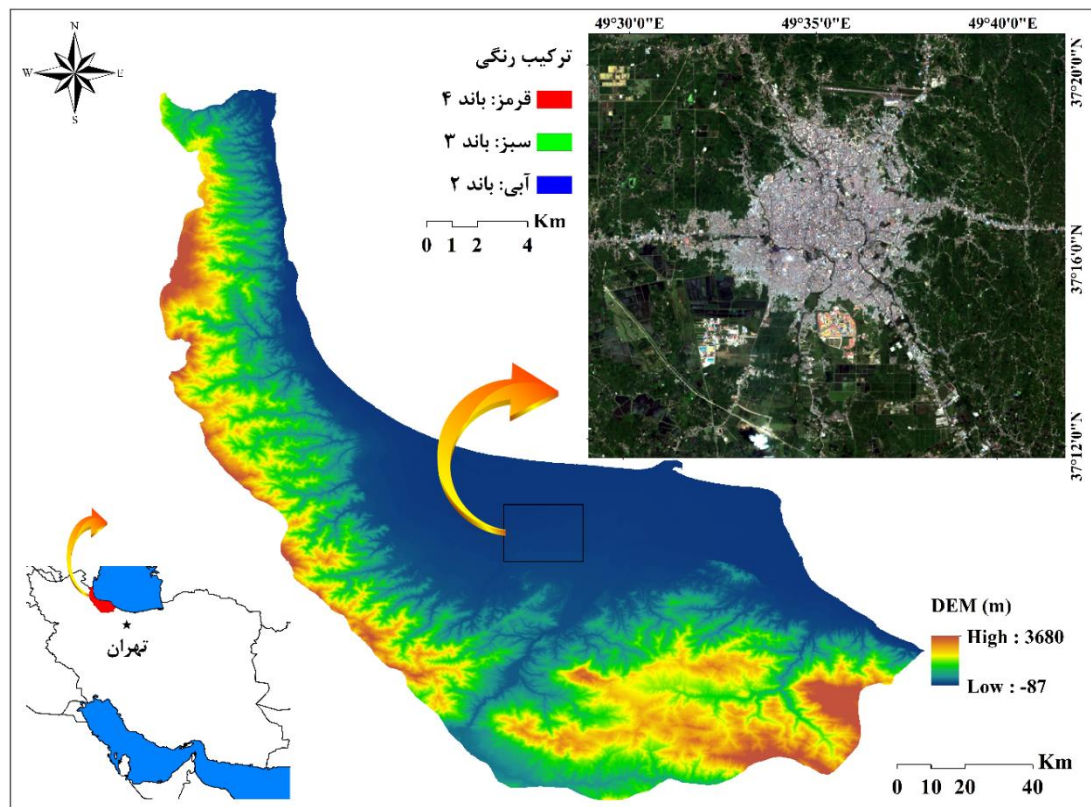
جهان به‌سرعت به سمت شهرنشینی پیش می‌رود (Wang and Upreti, 2019)؛ به‌طور مثال در سال ۱۹۵۰ حدود یک‌سوم جمعیت در شهرها زندگی می‌کردند در حالی که این مقدار در سال ۲۰۱۴ به بیش از ۵۰ درصد افزایش پیدا کرده است (UN, 2014) و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ این مقدار به بیش از ۷۰ درصد افزایش یابد (Blake et al, 2011, UN, 2014) از این مقدار جمعیت در سال ۲۰۵۰ حدود ۶۴ درصد متعلق به کشورهای در حال توسعه و ۸۶ درصد متعلق به کشورهای توسعه‌یافته خواهد بود (Zhou and Chen, 2018). این شهرنشینی سریع باعث ایجاد الگوی پیچیده و کنترل نشده رشد شهری (Mohamed and Worku, 2018) و تغییرات کاربری و پوشش زمین شده است (Zhou and Chen, 2018; Liu et al, 2019; Patra et al, 2018). رشد شهری با مفهوم افزایش اراضی ساخته شده همراه است (Sapena and Ruiz, 2019) و این رشد شهری دارای دو بعد جمعیت‌شناسی و مکانی است؛ بدین‌صورت که در نتیجه افزایش جمعیت، شهرها با رشد مکانی (افزایش اراضی ساخته شده) مواجه می‌شوند (Sheykhi et al, 2012). رشد شهری که گاهی نیز با عنوان توسعه پراکنده شهری یا اسپرال (Sun et al, 2013) نیز تعریف می‌شود باعث کاهش کیفیت زندگی (Kompil et al, 2013)، تخریب و اثرات منفی بر محیط‌زیست (Zhou et al, 2017)، تغییرات اقلیم (Lima and Magaña Rueda, 2018)، افزایش آلودگی هوا و کاهش کیفیت هوا (Mou et al, 2018; POURAHMAD et al, 2007) و افزایش دمای سطحی شهری می‌شود (Kohler et al, 2017; Bek et al, 2018; Ezimand et al, 2018). در نتیجه نظارت بر روند رشد شهری برای مدیریت

پژوهش بررسی درجه آزادی، آنتروپی و خوب بودن رشد شهری و پیش‌بینی آن با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تحلیل‌های آماری است. به‌منظور رسیدن به اهداف فوق در این پژوهش پس از آماده‌سازی داده‌ها اقدام به طبقه‌بندی و استخراج اراضی ساخته شده در بازه زمانی ۱۹۸۷-۲۰۱۷ شده است، سپس با استفاده از مدل سلول‌های خودکار - مارکوف برای یک دوره ۱۵ ساله پیش‌بینی اراضی ساخته‌شده صورت گرفته است و در نهایت با استفاده از تحلیل‌های GIS نوع گسترش شهری و خوب بودن آن در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۳۲ مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار این مقاله بدین‌صورت است که پس از انتخاب محدوده مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده، یکسری پیش‌پردازش‌هایی بر روی تصاویر انجام گرفته است و پس از استخراج سطوح نفوذناپذیر شهری به پیش‌بینی رشد شهری پرداخته است و در نهایت الگوی رشد شهری مورد بررسی قرار داده است.

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شهر رشت است. این منطقه در ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. این شهر به لحاظ موقعیت نسبی در شمال ایران و در حاشیه جنوبی دریای خزر قرار دارد (شکل ۱). آب‌وهوای آن معتدل و بسیار مرطوب با بارندگی سالانه حدود ۱۵۰۰ میلی‌متر بوده و ارتفاع متوسط این شهر از سطح دریاها ۵ متر است. ویژگی‌های طبیعی، ارتباطی و گردشگری این شهر موجب بالا رفتن جمعیت و توسعه فیزیکی این شهر شده است.

روند پایش تغییرات گستره شهری را سریع‌تر می‌کند. بررسی مطالعات گذشته در رابطه با رشد شهری نشان می‌دهد که در مطالعات اولیه تعاریف یکنواخت و توضیحات کیفی از این مفهوم ارائه شده بود (Duncan et al, 1962; Winsborough, 1962) در حالی که با گسترش سیستم اطلاعات جغرافیایی و فناوری سنجش از دور، روش‌های کمی مختلفی در رابطه با مطالعات رشد شهری به کار گرفته شد (Jiao et al, 2015; Shi et al, 2012; Sun et al, 2013; Liu et al, 2010). به‌طور مثال در برخی از مطالعات برای بررسی رشد شهری از آنتروپی شانون استفاده کرده‌اند (Mohamed and Worku, 2018; Bhatta et al, 2015; Dadras et al, 2010) و در برخی از مطالعات دیگر نیز به شبیه‌سازی رشد شهری با استفاده از مدل‌های آماری و دینامیکی پرداخته شده است (Feng et al, 2011; Deep and Saklani, 2014; Belal and Moghanm, 2011). همچنین مدل‌های مختلف دیگر نیز در رابطه با رشد شهری به کار گرفته شده‌اند (Li and Gong, 2016). با بررسی مطالعات گذشته می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از مدل‌های تعیین نوع رشد و گسترش شهری در کنار مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری کمتر مورد توجه قرار گرفته است. اگرچه از مدل‌های تعیین نوع گسترش شهری برای بررسی الگوی رشد شهری از زمان گذشته تا به زمان حال استفاده شده است، اما از این مدل‌ها برای پیش‌بینی نوع الگوی رشد شهری در آینده استفاده نشده است؛ بنابراین این پژوهش با توجه به سایر مطالعات علاوه بر تعیین الگوی رشد شهری رشت تا زمان حال به پیش‌بینی الگوی رشدی در آینده با استفاده از سلول‌های خودکار- مارکوف و تحلیل‌های آماری به عنوان نوآوری کار خود پرداخته است. هدف از این



شکل ۱: ترکیب رنگی طبیعی (۴۳۲) لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS از منطقه مورد مطالعه

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای نمایش تغییرات رشد شهری و طبقه‌بندی اراضی ساخته شده از تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸ استفاده شده است. این تصاویر که به صورت رایگان در دسترس عموم قرار دارند با سطح تولید LIT از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (<https://earthexplorer.usgs.gov>) تهیه شده‌اند. تصاویر لندست مورد استفاده در این مطالعه به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که فاصله زمانی آن‌ها ثابت (۱۵ سال) و میزان پوشش ابری در آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد باشد. تصویر لندست ۵ مربوط به تاریخ ۱۹۸۷/۰۷/۰۵، تصویر لندست ۷ مربوط به تاریخ ۲۰۰۲/۰۸/۰۷ و تصویر لندست ۸ مربوط به تاریخ ۲۰۱۷/۰۷/۲۳ است. تمامی این تصاویر مربوط به فصل تابستان و در مسیر ۱۶۶ و

ردیف ۳۵ از سیستم مرجع جهانی (WRS)<sup>۱</sup> قرار دارند. بازه زمانی برای نمایش تغییرات و روند رشد شهری در سه دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۲، ۲۰۰۲-۲۰۱۷ و ۲۰۱۷-۲۰۳۲ در نظر گرفته شده است.

### پیش‌پردازش تصاویر

تصاویر خام اولیه که توسط ماهواره برداشت می‌شود به دلیل یکسری اعوجاجات مربوط به سنجنده و شرایط محیطی نیاز به تصحیحات اتمسفری، رادیومتریکی و هندسی دارند (Goward et al, 2003; Lillesand et al, 2014). از آنجایی که ماهواره لندست در قدرت تفکیک‌های مکانی مختلف تصاویر را برداشت می‌کند بنابراین تصاویر باندهای حرارتی لندست ۵ (۱۲۰ متر) لندست ۷ (۶۰ متر) و لندست ۸ (۱۰۰ متر) با استفاده از تبدیل مکعبی به قدرت تفکیک ۳۰ متر

تبدیل شده‌اند و با باندهای مالتی اسپکترال سنجنده OLI هم مرجع شده‌اند (Li et al, 2017; Roy et al, 2014). برای تصحیح رادیومتریکی باندهای لندست، ابتدا مقادیر خام DN های تمامی باندهای لندست ۵، ۷ و ۸ با استفاده از معادلات روابط ۱ و ۲ به رادیانس تبدیل شد (Markham and Helder, 2012; Chander and Markham, 2003).

رابطه (۱)

$$L_{\lambda}(Landsat - 5, 7) = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIM_{\lambda}}{Qcal_{max} - Qcal_{min}} \right) (Qcal - Qcal_{min}) + LMIM_{\lambda}$$

$L_{\lambda}$  تابش طیفی دریافت شده توسط سنجنده برحسب  $(w/m^2 * sr * \mu m)$ ،  $Qcal$  مقدار پیکسل،  $Qcal_{min}$  حداقل مقدار پیکسل،  $Qcal_{max}$  حداکثر مقدار پیکسل،  $LMIM_{\lambda}$  و  $LMAX_{\lambda}$  به ترتیب حداکثر و حداقل رادیانس طیفی سنجنده برحسب  $(w/m^2 * sr * \mu m)$  است (Markham and Helder, 2012). داده‌های موردنیاز از متادیتای تصاویر استخراج شده است.

رابطه (۲)

$$L_{\lambda}(Landsat-8) = M_L * Qcal + A_L$$

$M_L$  و  $A_L$  به ترتیب فاکتور تبدیل ضربی و ضریب تبدیل جمعی است که از متادیتای تصاویر به دست می‌آید و  $Qcal$  مقادیر پیکسل محصول استاندارد کوانتیزه شده و کالیبره شده (DN) است (USGS, 2013). پس از محاسبه رادیانس طیفی بالای اتمسفر، تصحیح اتمسفری با روش

از رابطه ۳ محاسبه شد.

رابطه (۳)

$$TB = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

$TB$  دمای روشنایی سنجنده<sup>۲</sup> برحسب کلوین،  $K_1$  و  $K_2$  ضرایب ثابت کالیبراسیون دمای روشنایی سنجنده که به ترتیب برحسب کلوین و  $(w/m^2 * sr * \mu m)$  و در متادیتای تصاویر موجود است (Chander et al, 2009). در جدول ۱ ضرایب ثابت کالیبراسیون دمای روشنایی برای ماهواره لندست ۵ (باند ۶)، ۷ (باند ۶) (Chander et al, 2009) و ماهواره لندست ۸ (باند ۱۰) نشان داده شده است (Li and Meng, 2018).

جدول ۱: ضرایب ثابت کالیبراسیون دمای روشنایی

$K_2$	$K_1$	ضریب
Kelvin	$(w/m^2 * sr * \mu m)$	واحد
۱۲۶۰/۵۶	۶۰۷/۷۶	لندست ۵
۱۲۸۲/۷۱	۶۶۶/۰۹	لندست ۷
۱۳۲۱/۰۷۸۹	۷۷۴/۸۸۵۳	لندست ۸

استخراج و پیش‌بینی سطوح نفوذناپذیر شهری همان‌طور که در مطالعه عزیزی منند و همکاران (Ezizmand et al, 2018) اشاره شده است، روش‌های مختلفی برای استخراج سطوح نفوذناپذیر شهری و اراضی ساخته شده وجود دارد که در این پژوهش با توجه به خصوصیات طیفی و نوع پوشش منطقه از شاخص تفاضل نرمال شده سطوح نفوذناپذیر (NDISI) <sup>۳</sup> استفاده شده است. این شاخص (رابطه ۴) در سال ۲۰۱۰ به‌عنوان روشی برای استخراج سطوح نفوذناپذیر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پیشنهاد شده است ( Xu, 2010).

رابطه ۴)

$$NDISI = \frac{\rho TIR_1 - ((\rho Green + \rho NIR + \rho SWIR_1) / 3)}{\rho TIR_1 + ((\rho Green + \rho NIR + \rho SWIR_1) / 3)}$$

در معادله فوق  $\rho Green$ ،  $\rho NIR$  و  $\rho SWIR_1$  مقدار بازتابندگی تصحیح‌شده اتمسفری از سطح برای باندهای ۲، ۴ و ۵ ماهواره لندست ۵ سنجنده TM و لندست ۷ سنجنده ETM+ و باندهای ۳، ۵ و ۶ ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI/TIR است. مقدار دمای روشنایی تصحیح‌شده اتمسفری برای باند حرارتی ۶ ماهواره لندست ۵، ۷ و باند حرارتی ۱۰ ماهواره لندست ۸ است. پس از اعمال این شاخص برای تعیین حد آستانه بین سطوح نفوذپذیر و سطوح نفوذناپذیر از روش آستانه گذاری اتسو استفاده شده است که هدف آن یافتن نقطه‌ای است که کمترین ادغام بین دو کلاس (برای مثال کلاس‌های سطوح نفوذپذیر و سطوح نفوذناپذیر) وجود داشته باشد ( Otsu, 1979). پس از طبقه‌بندی کردن سطوح نفوذناپذیر و تعیین حد آستانه مطلوب با استفاده از روش اتسو، ارزیابی دقت طبقه‌بندی نیز با استفاده از دقت کلی <sup>۴</sup> انجام شد. همانند سایر مطالعات گذشته ( Estoque and Murayama, 2013; Du

رابطه ۵)

$$s(t+1) = p_{ij} \times s(t)$$

$s(t)$  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 ۶ محاسبه می‌شود.

رابطه ۶)

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix}$$

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

خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالی شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (Yang et al, 2012). به دلیل عدم وجود اطلاعات وابستگی مکانی در مدل زنجیره مارکوف (Pontius, 2000)، از مدل شبکه

انتظار مقایسه شود که برای این کار از رابطه ۷ استفاده می‌شود.

رابطه ۷)

$$M_{ij}^E = \frac{M_i^S \times M_j^S}{M_g}$$

جدول ۴ را به‌عنوان ماتریس  $M$  با درایه‌های  $M_{ij}$ ، در نظر می‌گیریم، به طوری که  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  (سطرهای ماتریس) و  $j = 1, 2, 3, \dots, m$  (ستون‌های ماتریس) است.  $M_i^S$  مجموع سطرهای  $i$ ،  $M_j^S$  مجموع ستون  $j$  و  $M_g = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}$  است (Bhatta et al, 2010).

#### بررسی درجه آزادی رشد شهری

تفاوت بین رشد مشاهده‌شده و مورد انتظار سطوح نفوذناپذیر شهری، درجه انحراف رشد شهری را نشان می‌دهد. اگر درجه انحراف بالا باشد می‌توان نتیجه گرفت که این متغیر از دیگر متغیرهای کلاس خود مستقل است (Bhatta, 2009). آماره کای اسکور پیرسون، از آزادی میان جفت متغیرها برای توصیف تغییر در کاربری اراضی در همان کلاس استفاده می‌کند (Almeida et al, 2005)، بنابراین آماره کای اسکور، برای تعیین درجه آزادی با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌گردد.

رابطه ۸)

$$\chi_i^2 = \sum_{j=1}^m \frac{(M_j - M_j^E)^2}{M_j^E}$$

در رابطه فوق  $\chi_i^2$  درجه آزادی برای دوره زمانی  $i$  ام،  $M_j$  سطوح نفوذناپذیر مشاهده‌شده در ستون  $j$  ام برای سطر مشخص،  $M_j^E$  سطوح نفوذناپذیر مورد انتظار در ستون  $j$  ام برای سطر مشخص است. حال اگر  $i$  (سطر) را به جای  $j$  (ستون) و  $n$  (تعداد سطر) را به جای  $m$  (تعداد ستون) در رابطه ۸ جایگزین کنیم می‌توانیم درجه

خودکار برای اضافه کردن مشخصه مکانی به مدل استفاده می‌شود؛ بنابراین در مدل سلول‌های خودکار- مارکوف با استفاده از ماتریس انتقال مساحت، نقشه شبیه‌سازی شده کاربری اراضی برای آینده به دست خواهد آمد (Fan et al, 2000; Pontius, 2008). برای ارزیابی اعتبار مدل سازی، نقشه حاصل شده از مدل با داده‌های مرجع مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که اگر اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی کمتر از ۸ درصد باشد، نتیجه گرفته می‌شود که مدل سلول‌های خودکار- مارکوف قابلیت مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه را دارد (Rashmi and Lele, 2010). در این پژوهش با استفاده از نقشه‌های باینری NDISI در سال ۱۹۷۸ و ۲۰۰۲ به پیش‌بینی سطوح نفوذناپذیر در سال ۲۰۱۷ اقدام شد و پس از ارزیابی کمی دقت مدل مذکور و تأیید امکان استفاده از آن در منطقه مورد مطالعه، در نهایت نقشه سطوح نفوذناپذیر برای سال ۲۰۳۲ پیش‌بینی شده است.

#### تفاوت بین رشد شهری مشاهده‌شده و رشد شهری مورد انتظار

شهرها همواره مرکزی دارند که رشد شهر از آن نقطه شروع شده و در جهات مختلف گسترش می‌یابد. در این مطالعه برای نمایش دادن جهات گسترش شهر ابتدا سطوح نفوذناپذیر شهری برای سال ۱۹۸۷ استخراج شد و سپس مرکز هندسی آن به دست آمد و در مرحله بعد دایره‌ای به مرکز این نقطه ترسیم شد و در نهایت این دایره به ۸ قسمت با زوایای ۴۵ درجه تقسیم شد (Dadras et al, 2015). سپس با استفاده از آمار منطقه‌ای، میزان گسترش اراضی ساخته شده در جهات مختلف محاسبه شد. رشد شهری مشاهده شده باید برای درک ناهمخوانی با رشد شهری مورد



که در آن  $p_i$  سهم متغیر در سطر  $i$  ام (نسبت نرخ رشد سطوح نفوذناپذیر در بازه زمانی  $i$  ام) و  $n$  تعداد دوره‌های زمانی است که در این پژوهش برابر ۳ است. در نهایت پراکندگی کلی ( $H$ ) نیز با استفاده از رابطه ۱۲ محاسبه می‌گردد.

رابطه ۱۲)

$$H = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij})$$

که در آن  $p_{ij}$  سهم متغیر در سطر  $i$  ام و ستون  $j$  ام (نسبت نرخ رشد سطوح نفوذناپذیر در بازه زمانی  $i$  ام و جهت  $j$  ام) است (Bhatta et al, 2010).

#### درجه خوب بودن رشد شهری

از آنجایی که کای اسکور (درجه آزادی) و آنتروپی (درجه اسپرال) اندازه‌های متفاوتی هستند و ممکن است در برخی موارد باهم تناقض داشته باشند، لذا تعیین درجه خوب بودن رشد شهری ضرورت می‌یابد. درجه خوب بودن رشد شهری برای هر دوره زمانی ( $G_i$ ) به صورت رابطه ۱۳ محاسبه شود.

رابطه ۱۳)

$$G_i = \ln \left[ \frac{1}{\chi_i^2 \left( \frac{H_i}{\ln(m)} \right)} \right]$$

در معادله فوق  $G_i$  درجه خوب بودن برای دوره زمانی  $i$  ام،  $\chi_i^2$  درجه آزادی برای دوره زمانی  $i$  ام و  $H_i$  مقدار آنتروپی برای دوره زمانی  $i$  ام و  $m$  تعداد جهت‌های جغرافیایی است که در این پژوهش ۸ در نظر گرفته شده است. حال اگر  $j$  (ستون) را به جای  $i$  (سطر) و  $n$  (تعداد سطر) را به جای  $m$  (تعداد ستون) در رابطه ۱۳ جایگزین کنیم می‌توانیم درجه خوب بودن را برای هر جهت جغرافیایی ( $G_j$ ) محاسبه کنیم. در نهایت درجه کلی خوب بودن رشد شهری ( $G$ ) با استفاده از رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود.

آزادی را برای هر جهت جغرافیایی ( $\chi_j^2$ ) محاسبه کنیم. درجه آزادی کلی ( $\chi^2$ ) نیز با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

رابطه ۹)

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(M_{ij} - M_{ij}^E)^2}{M_{ij}^E}$$

کای اسکور دارای حد پایین صفر است و زمانی به دست می‌آید که ارزش مشاهده شده دقیقاً با ارزش مورد انتظار برابر باشد (Bhatta et al, 2010).

#### مدل آنتروپی شانون

مدل آنتروپی شانون پراکندگی اراضی ساخته شده در فضا را اندازه‌گیری می‌کند و در تخمین میزان گسترش شهری کاربرد دارد (Mohamed and Worku, 2018) از این مدل برای تجزیه و تحلیل مقدار پدیده رشد بی‌قواره شهری و تعیین الگوی شهری اسپرال استفاده می‌شود (Kumar et al, 2014; Ramachandra et al, 2007). در این پژوهش مقدار آنتروپی شانون برای هر دوره زمانی ( $H_i$ ) با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

رابطه ۱۰)

$$H_i = -\sum_{j=1}^m p_j \ln(p_j)$$

که در آن  $p_j$  سهم متغیر در ستون  $j$  ام (نسبت نرخ رشد در جهت  $j$  ام) و  $m$  تعداد جهت‌های جغرافیایی است که در این پژوهش برابر ۸ است. درجه پراکندگی شهری بین ۰ تا  $\ln(m)$  قرار دارد. بدین صورت که هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد؛ سطوح نفوذناپذیر فشرده‌تر توزیع یافته‌اند و هرچه مقدار آنتروپی به  $\ln(m)$  نزدیک‌تر باشد نشان دهند رشد سطوح نفوذناپذیر پراکنده‌تر است. برای تعیین درجه آنتروپی هر جهت جغرافیایی ( $H_j$ ) از رابطه ۱۱ استفاده می‌شود.

رابطه ۱۱)

$$H_j = -\sum_{i=1}^n p_i \ln(p_i)$$

رابطه ۱۴)

$$G = Ln \left[ \frac{1}{\chi \left( \frac{H}{Ln(m \times n)} \right)} \right]$$

که در رابطه فوق  $H$  آنتروپی کلی و  $\chi$  درجه آزادی کلی است (Dadras et al, 2015). درجه خوب بودن یک اندازه صریح است. مقادیر مثبت، خوب بودن رشد شهری را نشان می‌دهد و مقادیر منفی حاکی از بد بودن رشد شهری است (Bhatta et al, 2010; Mohamed and Worku, 2018).

### نتایج

#### طبقه‌بندی سطوح نفوذناپذیر شهری و ارزیابی دقت

نتایج ارزیابی دقت با استفاده از نقاط مرجع که کلاس آنها به صورت دقیق مشخص بود مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. در مقایسه بین نقشه پوشش اراضی طبقه‌بندی شده توسط شاخص NDISI و داده‌های مرجع؛ دقت کلی بیانگر نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به کل پیکسل‌های معلوم است ( Congalton, 1991; )

(Foody, 2002). همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است بیشترین دقت کلی مربوط به تصاویر لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS (۸۹/۷۸٪) و کمترین دقت مربوط به تصاویر لندست ۷ سنجنده ETM+ (۸۶/۱۲٪) بوده است. به‌منظور پیش‌بینی سطوح نفوذناپذیر برای سال ۲۰۳۲ از زنجیره مارکوف استفاده شد. در این مرحله ابتدا با استفاده از تصاویر باینری سال ۱۹۸۷ و سال ۲۰۰۲ اقدام به پیش‌بینی سطوح نفوذناپذیر برای سال ۲۰۱۷ شد و برای ارزیابی صحت پیش‌بینی مدل سلول‌های خودکار- مارکوف، این نقشه با استفاده از نقاط مرجع مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. از آنجایی که دقت پیش‌بینی این مدل با نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۷ مقدار ۸۳/۲۱ درصد است و لذا مقدار خطا کمتر از ۸ درصد است بنابراین می‌توان گفت که این مدل کارایی پیش‌بینی سطوح نفوذناپذیر برای شهر رشت را داشته است و در نهایت نقشه پیش‌بینی سطوح نفوذناپذیر شهری برای سال ۲۰۳۲ با استفاده از نقشه‌های باینری سال ۲۰۰۲ و ۲۰۱۷ تهیه شد (شکل ۲).

جدول ۲: نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی

سال	شاخص / مدل	دقت کلی (%)
۱۹۸۷	NDISI	۸۹/۰۴
۲۰۰۲	NDISI	۸۶/۱۲
۲۰۱۷	NDISI	۸۹/۷۸
۲۰۱۷	CA-Markov	۸۳/۲۱

تغییرات مکانی - زمانی سطوح نفوذناپذیر و رشد شهری  
نتایج طبقه‌بندی و استخراج سطوح نفوذناپذیر شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شکل ۲

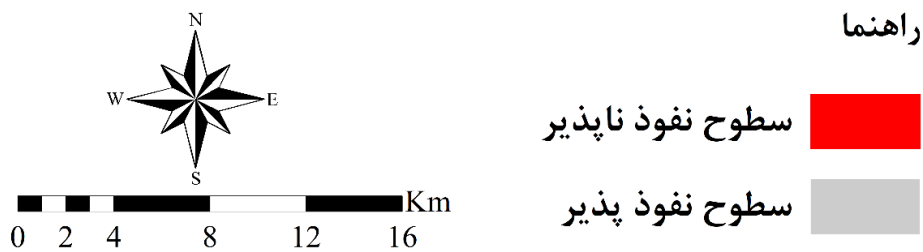
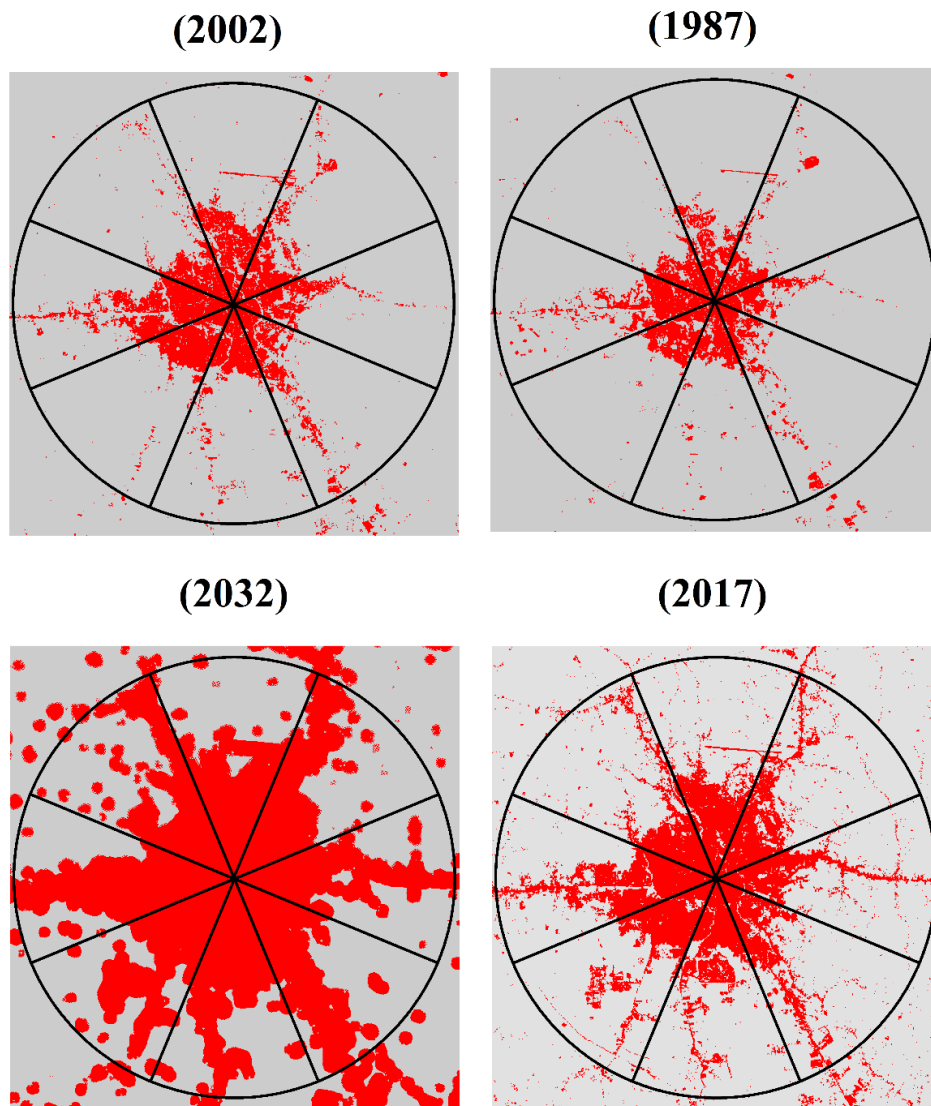
نشان داده شده است. تغییرات مکانی و زمانی سطوح نفوذناپذیر شهری از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۳۲ حاکی از رشد شهری در جهات مختلف است

از تصاویر باینری برای بحث و استنتاج نتایج مربوط به تغییرات مکانی و زمانی در جهات جغرافیایی و دوره‌های زمانی در جدول ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد مساحت و گستره شهری از سال ۱۹۸۷ با مقدار ۸۱/۳۰ هکتار به ۲۰۰/۲۸ هکتار در سال ۲۰۱۷ رسیده است و پیش‌بینی می‌شود که مقدار سطوح نفوذناپذیر شهری در سال ۲۰۳۲ به بیش از دو برابر یعنی ۴۴۳/۱۳ هکتار برسد. میزان سطوح نفوذناپذیر شهری برحسب جهات جغرافیایی (شکل ۲ و جدول ۳) نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ منطقه جغرافیایی غرب از بیشترین میزان سطوح نفوذناپذیر شهری برخوردار بوده است و بلعکس منطقه جغرافیایی شرق از کمترین میزان سطوح نفوذناپذیر شهری برخوردار بوده است. بعلاوه پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۳۰ منطقه غرب از بیشترین سطوح نفوذناپذیر و منطقه شمال از کمترین سطوح نفوذناپذیر شهری برخوردار باشد (جدول ۳).

زمانی نیز مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاکی از رشد ۴۶/۰۳ درصدی برای بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ و رشد ۶۸/۷۰ درصدی در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ و در نهایت پیش‌بینی نرخ رشد ۱۲۱/۲۶ درصدی برای بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲ است. نرخ رشد برحسب مناطق جغرافیایی نشان داده است (شکل ۲ و جدول ۵) که در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲، منطقه جغرافیایی شمال شرق از بیشترین درصد رشد (۶۱/۹۰) و در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ منطقه شمال غرب از بیشترین درصد رشد (۸۸/۹۲) برخوردار بوده است. پیش‌بینی می‌شود که از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲ منطقه جغرافیایی شمال غرب از بیشترین درصد رشد (۱۵۱/۳۸) برخوردار باشد.

(شکل ۲). اکتفا کردن به بررسی بصری و استفاده تصمیم‌گیری درباره الگوی رشد شهری مناسب نیست؛ بنابراین برای نمایش تغییرات سطوح نفوذناپذیر شهری و نمایش جهات گسترش شهری نیاز داریم که پارامترهای آماری را محاسبه کنیم. در این پژوهش نتایج تغییرات مکانی و پیش‌بینی سطوح نفوذناپذیر شهری از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۳۲ مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۲ نشان می‌دهد که میزان سطوح نفوذناپذیر شهری به لحاظ مکانی و زمانی متغیر بوده است و میزان گسترش شهری در جهات مختلف متفاوت است. همان‌طور که قبلاً بیان شد، به‌منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات مکانی و زمانی در جهات و دوره‌های زمانی مختلف منطقه مورد مطالعه با استفاده از برش‌هایی با اندازه ۴۵ درجه به ۸ قسمت تقسیم شد و با استفاده از تحلیل آماری منطقه‌ای، میزان تغییرات در جهات مختلف محاسبه شده و سپس تغییرات زمانی سطوح نفوذناپذیر شهری در سه بازه زمانی ثابت و ۱۵ ساله مورد بررسی قرار گرفته میزان نرخ رشد مشاهده شده سطوح نفوذناپذیر در بازه‌های زمانی ۱۵ ساله برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شده است و نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود بیشترین نرخ رشد برحسب هکتار مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ است. بیشترین نرخ رشد برحسب هکتار در دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ مربوط به منطقه جغرافیایی غرب بوده در حالی که در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ بیشترین نرخ رشد برحسب هکتار در جغرافیایی جنوب غرب وجود داشته است. پیش‌بینی می‌شود که از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲ منطقه شمال غرب از بیشترین نرخ رشد برخوردار باشد. درصد رشد سطوح نفوذناپذیر شهری (جدول ۵) در بازه‌های



شکل ۲: تغییرات مکانی- زمانی سطوح نفوذناپذیر شهر رشت در بازه زمانی ۱۹۸۷-۲۰۳۲

جدول ۳: مساحت سطوح نفوذناپذیر شهری برحسب هکتار

	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب	The city
۱۹۸۷	۱۰/۴۶	۸/۶۱	۷/۷۸	۹/۵۱	۸/۸۷	۱۰/۸۸	۱۶/۹۱	۸/۲۸	۸۱/۳۰
۲۰۰۲	۱۵/۸۳	۱۳/۹۴	۱۱/۱۳	۱۳/۷۴	۱۳/۳۲	۱۵/۴۷	۲۳/۳۸	۱۱/۹۱	۱۱۸/۷۲
۲۰۱۷	۲۴/۶۹	۲۵/۱۶	۲۰/۳۶	۲۳/۷۹	۲۴/۲۸	۲۶/۹۹	۳۲/۵۱	۲۲/۵۰	۲۰۰/۲۸
۲۰۳۲	۴۸/۷۲	۵۴/۲۱	۵۰/۱۴	۵۶/۸۷	۵۷/۲۱	۵۹/۲۷	۶۰/۱۵	۵۶/۵۶	۴۴۳/۱۳

جدول ۴: نرخ رشد مشاهده شده سطوح نفوذناپذیر شهری برحسب هکتار

Row total	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب	جنوب شرق	شرق	شمال شرق	شمال	بازه زمانی
۳۷/۴۲	۳/۶۳	۶/۴۷	۴/۵۹	۴/۴۵	۴/۲۳	۳/۳۵	۵/۳۳	۵/۳۷	۱۹۸۷-۲۰۰۲
۸۱/۵۶	۱۰/۵۹	۹/۱۳	۱۱/۵۲	۱۰/۹۶	۱۰/۰۵	۹/۲۳	۱۱/۲۲	۸/۸۶	۲۰۰۲-۲۰۱۷
۲۴۲/۸۵	۳۴/۰۶	۲۷/۶۴	۳۲/۲۸	۳۲/۹۳	۳۳/۰۸	۲۹/۷۸	۲۹/۰۵	۲۴/۰۳	۲۰۱۷-۲۰۳۲
۳۶۱/۸۳	۴۸/۲۸	۴۳/۲۴	۴۸/۳۹	۴۸/۳۴	۴۷/۳۶	۴۲/۳۶	۴۵/۶۰	۳۸/۲۶	Column total

جدول ۵: درصد رشد سطوح نفوذناپذیر

The city	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب	جنوب شرق	شرق	شمال شرق	شمال	بازه زمانی
۴۶/۰۳	۴۳/۸۴	۳۸/۲۶	۴۲/۱۹	۵۰/۱۷	۴۴/۴۸	۴۳/۰۶	۶۱/۹۰	۵۱/۳۴	۱۹۸۷-۲۰۰۲
۶۸/۷۰	۸۸/۹۲	۳۹/۰۵	۷۴/۴۷	۸۲/۲۸	۷۳/۱۴	۸۲/۹۳	۸۰/۴۹	۵۵/۹۷	۲۰۰۲-۲۰۱۷
۱۲۱/۲۶	۱۵۱/۳۸	۸۵/۰۲	۱۱۹/۶۰	۱۳۵/۶۳	۱۳۹/۰۵	۱۴۶/۲۷	۱۱۵/۴۶	۹۷/۳۳	۲۰۱۷-۲۰۳۲

### اختلاف بین رشد شهری مشاهده شده و مورد انتظار

جدول شماره ۴ نرخ رشد شهری مشاهده شده برحسب هکتار را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد و اکنون نیاز است که رشد مورد انتظار نیز برای آن منطقه نیز محاسبه شود. بدین منظور با استفاده از رابطه شماره ۷ مقدار رشد مورد انتظار

برای شهر رشت محاسبه شده و در جدول ۶ آمده است. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که از بین ۳ بازه زمانی مورد مطالعه در این پژوهش، بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲ از بیشترین نرخ رشد مورد انتظار برخوردار است و بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ کمترین نرخ رشد مورد انتظار را دارد.

جدول ۶: نرخ رشد مورد انتظار برحسب هکتار

شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب	جنوب شرق	شرق	شمال شرق	شمال	بازه زمانی
۴/۹۹	۴/۴۷	۵/۰۰	۵/۰۰	۴/۹۰	۴/۳۸	۴/۷۲	۳/۹۶	۱۹۸۷-۲۰۰۲
۱۰/۸۸	۹/۷۵	۱۰/۹۱	۱۰/۹۰	۱۰/۶۸	۹/۵۵	۱۰/۲۸	۸/۶۲	۲۰۰۲-۲۰۱۷
۳۲/۴۰	۲۹/۰۲	۳۲/۴۸	۳۲/۴۴	۳۱/۷۹	۲۸/۴۳	۳۰/۶۱	۲۵/۶۸	۲۰۱۷-۲۰۳۲

برای درک میزان آزادی یا درجه انحراف رشد شهری باید اقدام به مقایسه مکانی و زمانی رشد شهری مشاهده شده و مورد انتظار شود. تفاوت بین رشد شهری مورد انتظار و رشد شهری مشاهده شده از تفاضل بین مقادیر دو جدول ۴ و ۶ به دست می‌آید که نتایج آن در جدول ۷ نشان

داده شده است. جدول ۷ نشان می‌دهد که میزان انحراف رشد شهری برحسب زمان و مکان متفاوت بوده است. بدین صورت مناطقی که منفی هستند رشد کمتر و مناطقی که مثبت هستند رشد بیشتر از حد انتظار را دارا می‌باشند.

جدول ۷: تفاوت بین رشد شهری مورد انتظار و رشد شهری مشاهده شده

شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب	جنوب شرق	شرق	شمال شرق	شمال	بازه زمانی
-۱/۳۶	۲/۰۰	-۰/۴۱	-۰/۵۵	-۰/۶۷	-۱/۰۳	۰/۶۱	۱/۴۱	۱۹۸۷-۲۰۰۲
-۰/۲۹	-۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۰۶	-۰/۶۳	-۰/۳۲	۰/۹۴	۰/۲۴	۲۰۰۲-۲۰۱۷
۱/۶۶	-۱/۳۸	-۰/۲۰	۰/۴۹	۱/۲۹	۱/۳۵	-۱/۵۶	-۱/۶۵	۲۰۱۷-۲۰۳۲

جدول ۷ همچنین نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف بین رشد شهری مورد انتظار و رشد شهری مشاهده شده در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ مربوط به منطقه غرب و بلعکس کمترین اختلاف بین رشد شهری مورد انتظار و رشد شهری مشاهده شده مربوط به منطقه شمال غرب و در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ بیشترین اختلاف بین رشد شهری مورد انتظار و رشد شهری مشاهده شده مربوط به منطقه جغرافیایی شمال شرق و بلعکس کمترین آن مربوط به منطقه جنوب شرق است. همچنین برای سال ۲۰۳۲ پیش‌بینی می‌شود که بیشترین رشد فراتر از حد انتظار را منطقه شمال غرب و کمترین مقدار را منطقه شمال داشته باشد.

#### کای اسکور پیرسون و رشد شهری

آمارهای کای اسکور پیرسون بررسی آزادی میان زوجی از متغیرهای انتخاب شده برای توضیح تغییر

همان طبقه پوشش اراضی را در نظر می‌گیرد (Almeida et al, 2005). برای تعیین درجه آزادی، تست کای اسکور با معادله کای اسکور پیرسون اجرا شده است و میزان آزادی یا درجه انحراف رشد شهری مشاهده را از رشد شهری مورد انتظار آشکار ساخته است. نتایج این آزمون برای دوره‌های زمانی با استفاده از جدول‌های ۶ و ۷ و رابطه ۸ محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۸ نشان داده شده است. نتایج آزمون کای اسکور زمانی که مقدار رشد مشاهده شده و رشد مورد انتظار باهم برابر باشند صفر می‌شود (Bhatta et al, 2010). همان‌طور که در جدول ۸ نشان داده شده است مقدار کای اسکور در هیچ دوره‌ای صفر نیست بنابراین رشد مشاهده شده و مورد انتظار با یکدیگر اختلاف دارند.

جدول ۸: درجه آزادی رشد شهری برای هر دوره زمانی

دوره زمانی	درجه آزادی
۱۹۸۷-۲۰۰۲	۲/۲۸
۲۰۰۲-۲۰۱۷	۰/۲۲
۲۰۱۷-۲۰۳۲	۰/۴۶

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود بیشترین درجه آزادی برای دور زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ محاسبه شده و کم‌ترین درجه آزادی در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ اتفاق افتاده است. نتایج جدول ۸ همچنین نشان داده است که برای

هر منطقه، مقدار اختلافی بین رشد مشاهده شده و رشد مورد انتظار وجود دارد. درجه آزادی برای هر منطقه نیز محاسبه شده که نتایج آن در جدول ۹ نشان داده است.

جدول ۹: درجه آزادی رشد شهری برای هر منطقه

منطقه	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب
درجه آزادی	۰/۶۲	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۱/۰۰	۰/۴۶

همان‌طور که جدول ۹ نشان می‌دهد بیشترین درجه آزادی و یا رشد بدقواره مربوط به منطقه

غرب و بلعکس کم‌ترین درجه آزادی در مناطق جنوب و جنوب غرب رخ داده است. از آنجایی که

تغییرات مکانی و زمانی گسترش شهری مورد بررسی قرار گیرد. نتایج محاسبات آنترپوی شانون برای هر دوره زمانی با استفاده از رابطه ۱۰ به دست آمده و نتایج آن نیز در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

درجه آزادی بالا در واقع نشان‌دهنده رشد بی‌ثبات در دوره‌های زمانی مختلف است بنابراین بیشترین رشد بی‌ثبات در دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۰۲ و در منطقه غرب شهر اتفاق افتاده است.

#### آنترپوی شانون و رشد شهری

محاسبات آنترپوی شانون برای هر دوره زمانی و جهات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است تا

جدول ۱۰: آنترپوی شانون برای هر دوره زمانی

دوره زمانی	آنترپوی	$Ln(n)$	$Ln(n)/2$
۱۹۸۷-۲۰۰۲	۲/۰۷	۲/۰۸	۱/۰۴
۲۰۰۲-۲۰۱۷	۲/۰۵	۲/۰۸	۱/۰۴
۲۰۱۷-۲۰۲۲	۲/۰۶	۲/۰۸	۱/۰۴

آینده نیز چنین روندی را ادامه دهد. نتایج آنترپوی رشد شهری برای هر یک از جهات جغرافیایی با استفاده از معادله ۱۱ به دست آمده و در جدول ۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۱۱ نشان داده شده است آنترپوی به صورت کلی برای تمامی مناطق بالاست و مقدار آنترپوی تمامی مناطق از نصف آنترپوی بیشتر است و به حد نهایی نزدیک‌تر است که حاکی از رشد پراکنده برای جهات جغرافیایی است.

همان‌طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود میزان آنترپوی در هر سه دوره زمانی به صورت کلی بالا است و بیانگر رشد شدید پراکنده (اسپرال) است. بدین صورت که حد نهایی آنترپوی برای جهات جغرافیایی برابر با ۲/۰۸ است و نصف آنترپوی برابر با ۱/۰۴ است. در تمامی سال‌ها مقدار آنترپوی از نصف بیشتر بوده و به حد نهایی نزدیک است. به صورت کلی رشد رشت از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۱۷ یک رشد پراکنده را شاهد بوده است و پیش‌بینی می‌شود که در ۱۵ سال

جدول ۱۱: آنترپوی شانون برای هر یک از منطقه‌های جغرافیایی

منطقه	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب
آنترپوی	۱/۰۵	۱/۰۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۹۹
$Ln(n)$	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۰
$Ln(n)/2$	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵

#### خوب بودن رشد شهر

نتایج حاصل از درجه خوب بودن شهر رشت در بازه زمانی ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۷ و جهات جغرافیایی به استفاده از رابطه ۱۳ محاسبه شده است و در جدول‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۱ همچنین نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۳۲ بیشترین رشد پراکنده در جهت شمال شرق اتفاق می‌افتد و بلعکس کم‌ترین میزان رشد پراکنده در جهات شمال غرب، جنوب-شرق و شرق اتفاق می‌افتد.

همان طور که در جدول ۱۲ مشاهده می شود شاخص خوب بودن رشد شهری حاکی از نتیجه مثبت و خوب بودن رشد شهر در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۳۲ دارد اما در سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ نتیجه آن حاکی از بد بودن رشد شهری است.

جدول ۱۲: درجه خوب بودن رشد شهری برای هر یک از دوره های زمانی

بازه زمانی	درجه خوب بودن
۱۹۸۷-۲۰۰۲	-۰/۸۳
۲۰۰۲-۲۰۱۷	۱/۴۹
۲۰۱۷-۲۰۳۲	۰/۷۷

جدول ۱۳ نتایج خوب بودن رشد شهری برای جهات مختلف شهر را نشان می دهد و نتایج آن حاکی از رشد خوب برای اکثر جهات جغرافیایی است؛ و در بین جهات جغرافیایی بهترین رشد شهری متعلق به جنوب غرب و بدترین جهت رشد شهری متعلق به غرب بوده است.

جدول ۱۳: درجه خوب بودن رشد شهری برای هریک از جهات جغرافیایی

	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب	جنوب شرق	شرق	شمال شرق	شمال
درجه خوب بودن	۰/۶۶	-۰/۰۷	۲/۵۸	۲/۶۲	۱/۶۱	۱/۰۴	۱/۳۸	۰/۴۴

## بحث

سنجش از دوری بسیار متداول گشته است (Ezimand et al, 2018; Zhang et al, 2018) و دقت بالایی نیز ارائه داده اند. در این مطالعه نیز برای طبقه بندی سطوح نفوذناپذیر شهری از شاخص NDISI استفاده شد که همانند سایر مطالعات دقت بالایی در طبقه بندی این سطوح ارائه داده است (XU, 2010). پس از طبقه بندی سطوح نفوذناپذیر و اعمال روش آستانه گذاری اتسو برای تهیه نقشه باینری سطوح نفوذناپذیر و سطوح نفوذناپذیر، خروجی آن به عنوان ورودی مدل پیش بینی سلول های خودکار- مارکوف استفاده شده است و برای آینده پیش بینی انجام گرفته است. نتایج مدل سلول های خودکار- مارکوف برای سال ۲۰۱۷ با اختلاف کمتر از ۸ درصد نسبت به نقشه واقعیت مورد تائید قرار گرفت و سپس برای سال ۲۰۳۲ نقشه پیش بینی سطوح نفوذناپذیر شهری تهیه شد. با استفاده از محاسبات و بررسی های آماری الگوی رشد شهر رشت در سه

تحقیقات انجام شده در زمینه رشد در نتیجه به وجود آمدن اسپرال شهری و تعیین الگوی رشد در بازه های زمانی مختلف متعدد بوده است (Bhatta et al, 2010; Dadras et al, 2015; Wondrade et al, 2014) با این حال در تمامی این مطالعات الگوی گسترش شهری تا زمان حال مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه با استفاده از داده های سنجش از دور و بررسی های آماری الگوی رشد از گذشته تا زمان آینده را مورد بررسی قرار داده که به عنوان نوآوری این کار نسبت به سایر مطالعات گذشته است. به منظور پیش بینی سطوح نفوذناپذیر شهری و تعیین الگوی رشد شهری در سال ۲۰۳۲ از مدل پیش بینی سلول های خودکار- مارکوف استفاده شده که در سایر مطالعات نیز نتایج این مدل برای پیش بینی کاربری اراضی مورد تائید قرار گرفته است (Firozjaei et al, 2018; Gidey et al, 2017; Lu et al, 2018). استخراج سطوح نفوذناپذیر با استفاده از داده های



حاکی از رشد اسپرال و پراکنده شهری بوده است و در نهایت درجه خوب بودن شهری نیز نتایج چندان بالایی از خوب بودن رشد شهری ارائه نداده است. نتایج کلی از الگوی رشد شهری و درجه خوب بودن آن در جدول ۱۴ ارائه شده است. همان‌طور که از این جدول مشاهده می‌شود درجه آزادی در شهر نسبتاً بالاست و تأییدی بر رشد بدقواره شهری است. نتایج آنتروپی کلی شانون از نصف حد نهایی یعنی  $1/59$  بسیار بالاتر بوده و به حد نهایی یعنی  $3/18$  بسیار نزدیک است بنابراین نتایج الگوی رشد شهری حاکی از رشد پراکنده و اسپرال شهری است. در نهایت درجه کلی خوب بودن شهری منفی است که در نتایج به بد بودن رشد شهری تحلیل می‌شود؛ بنابراین به صورت کلی می‌توان گفت که الگوی رشد شهری در رشت مناسب نیست و به برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در جهت حل این مشکل نیاز است.

بازه زمانی ۱۵ ساله مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مربوط به گسترش شهر نشان می‌دهد که مساحت و گستره شهری در بازه زمانی ۴۵ ساله ۱۹۸۷ تا ۲۰۳۲ از  $81/30$  هکتار به  $443/13$  هکتار یعنی حدود ۵ برابر رسیده است. نرخ رشد برحسب درصد در مناطق جغرافیایی نشان داده است که به‌طور میانگین منطقه جغرافیایی شمال غرب از بیشترین درصد رشد برخوردار خواهد بود. بررسی‌های آماری درباره الگوی رشد شهری مشاهده شده و مورد انتظار نشان می‌دهد که میزان نرخ رشد برحسب زمان و مکان متفاوت بوده است و در هیچ دوره‌ای منطبق با یکدیگر نبوده و همواره با یکدیگر اختلاف داشته‌اند. بیشترین اختلاف برحسب دوره‌های زمانی در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۲ و برحسب مناطق جغرافیایی متعلق به منطقه غرب بوده است. تحلیل درجه آزادی برحسب مناطق و دوره‌های زمانی نسبتاً بالا است لذا شهر رشت در حال رشد پراکنده و بدقواره است. همچنین نتایج آنتروپی شانون نیز

جدول ۱۴: نتایج کلی الگوی رشد شهر رشت

آزادی کلی	آنتروپی کلی	خوب بودن کلی
۲/۹۶	۳/۰۸	-۱/۱۲

### نتیجه‌گیری

کار خود، که در مطالعات گذشته نبوده است، توجه کرده است. نتایج این مطالعه نشان داده است که شهر رشت از معضل رشد بدقواره رنج می‌برد و پیش‌بینی می‌شود که چنانچه اقدامات مدیریتی اتخاذ نشود الگوی رشد بدتر نیز شود. همچنین نتایج آنتروپی شانون نیز یک الگوی رشد پراکنده شدید را نشان داده است و در نهایت شاخص درجه خوب بودن شهری نتایجی منفی ارائه داده است که حاکی از بد بودن رشد شهر

این مطالعه با استفاده از تصاویر سنجش از دور و ارائه مدل‌های آماری درصد نمایش الگوی رشد شهری و پیش‌بینی آینده شهری است. بدین منظور از شاخص‌های مختلف برای بررسی و تحلیل الگوی رشد شهری بهره جسته است. این مطالعه با در نظر گرفتن مطالعات گذشته که به بررسی الگوی رشد شهری تا زمان حال اقدام نموده‌اند به مسئله آینده شهری به‌عنوان نوآوری

جهاتی که بیشترین رشد پراکنده در آن اتفاق افتاده اشاره نمود. همچنین احیای بافت‌های فرسوده شهری موجود در مراکز شهری و به عبارت دیگر نوسازی این بافت‌ها به‌جای احداث ساختمان‌های جدید در حاشیه شهرها می‌تواند در پیشگیری از رشد نامناسب شهر موثر واقع شود.

رشت است. با این تفاسیر و در جهت حل این مشکل، ارائه راهکارهایی برای حل این معضل ضروری است. نتایج این مطالعه جهت راهنمایی مدیران شهری در برنامه‌ریزی‌های آتی و تصمیم‌گیری آن‌ها مفید خواهد بود و از جمله این پیشنهادها می‌توان به جلوگیری از تغییرات کاربری اراضی و زمین‌های کشاورزی حاشیه شهر از طریق توسعه عمودی و بلندمرتبه‌سازی در

#### پانویس

1-Worldwide Reference System (WRS)  
2-at-sensor Brightness Temperature

3-Normalized Difference Impervious  
Surface Index (NDISI)  
4-Overall Accuracy

#### منابع

-Almeida, C.M.D., Monteiro, A.M.V., Camara, G., Soares-Filho, B.S., Cerqueira, G.C., Pennachin, C.L. and Batty, M., 2005. Gis And Remote Sensing As Tools For The Simulation Of Urban Land-Use Change. *International Journal Of Remote Sensing*, v. 26, p. 759-774.  
-Bek, M.A., Azmy, N. and Elkafrawy, S., 2018. The Effect Of Unplanned Growth Of Urban Areas On Heat Island Phenomena. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 9(4), p. 3169-3177.  
-Belal, A.A. and Moghanm, F.S., 2011. Detecting Urban Growth Using Remote Sensing And Gis Techniques In Al Gharbiya Governorate, Egypt, *The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Science*, v. 14, p. 73-79.  
-Bhatta, B., 2009. Modelling Of Urban Growth Boundary Using Geoinformatics. *International Journal Of Digital Earth*, v. 2, p. 359-381.  
-Bhatta, B., Saraswati, S. and Bandyopadhyay, D., 2010. Quantifying The Degree-Of-Freedom, Degree-Of-Sprawl, And Degree-Of-Goodness Of

Urban Growth From Remote Sensing Data, *Applied Geography*, v. 30, p. 96-111.  
-Blake, R., Grimm, A., Ichinose, T., Horton, R., Gaffin, S., Jiong, S., Bader, D. and Cecil, L., 2011. Urban Climate: Processes, Trends, And Projections. *Climate Change And Cities: First Assessment Report Of The Urban Climate Change Research Network*, p. 43-81.  
-Chakraborty, A. and Mcmillan, A., 2018. 2.17 - Gis And Scenario Analysis: Tools For Better Urban Planning. In: Huang, B. (Ed.) *Comprehensive Geographic Information Systems*. Oxford: Elsevier, 385 p.  
-Chander, G. and Markham, B., 2003. Revised Landsat-5 Tm Radiometric Calibration Procedures And Postcalibration Dynamic Ranges. *Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, v. 41, p. 2674-2677.  
-Chander, G., Markham, B.L. and Helder, D.L., 2009. Summary Of Current Radiometric Calibration Coefficients For Landsat Mss, Tm,

- Etm+, And Eo-1 Ali Sensors, Remote Sensing Of Environment, v. 113, p. 893-903.
- Congalton, R.G., 1991. A Review Of Assessing The Accuracy Of Classifications Of Remotely Sensed Data. Remote Sensing Of Environment, v. 37, p. 35-46.
- Dadras, M., Shafri, H.Z.M., Ahmad, N., Pradhan, B. and 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, v. 18, p. 35-52.
- Deep, S. and Saklani, A., 2014. Urban Sprawl Modeling Using Cellular Automata. The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Science, v. 17, p. 179-187.
- Du, Z., Li, W., Zhou, D., Tian, L., Ling, F., Wang, H., Gui, Y. and Sun, B., 2014. Analysis Of Landsat-8 Oli Imagery For Land Surface Water Mapping. Remote Sensing Letters, v. 5, p. 672-681.
- Duncan, B., Sabagh, G. and Van Arsdol, M.D., 1962. Patterns Of City Growth, American Journal Of Sociology, v. 67, p. 418-429.
- ENVI, 2009. Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide, Accessed 19 December 2014.
- Estoque, R.C. and Murayama, Y., 2013. Landscape Pattern And Ecosystem Service Value Changes: Implications For Environmental Sustainability Planning For The Rapidly Urbanizing Summer Capital Of The Philippines, Landscape And Urban Planning, v. 116, p. 60-72.
- Estoque, R.C. and Murayama, Y., 2015. Classification And Change Detection Of Built-Up Lands From Landsat-7 Etm+ And Landsat-8 Oli/Tirs Imageries: A Comparative Assessment Of Various Spectral Indices. Ecological Indicators, v. 56, p. 205-217.
- Ezimand, K., Kakroodi, A.A. and Kiavarz, M., 2018. The development of spectral indices for detecting built-up land areas and their relationship with land-surface temperature. International journal of remote sensing, v. 39(23), p. 8428-8449.
- Fan, F., Wang, Y. and Wang, Z., 2008. Temporal And Spatial Change Detecting (1998–2003) And Predicting Of Land Use And Land Cover In Core Corridor Of Pearl River Delta (China) By Using Tm And Etm+ Images. Environmental Monitoring And Assessment, v. 137, p. 127-147.
- Feng, Y., Liu, Y., Tong, X., Liu, M. and Deng, S., 2011. Modeling Dynamic Urban Growth Using Cellular Automata And Particle Swarm Optimization Rules, Landscape And Urban Planning, v. 102, p. 188-196.
- Firozjaei, M.K., Kiavarz, M., Alavipanah, S.K., Lakes, T. and Qureshi, S., 2018. Monitoring And Forecasting Heat Island Intensity Through Multi-Temporal Image Analysis And Cellular Automata-Markov Chain Modelling: A Case Of Babol City, Iran, Ecological Indicators, v. 91, p. 155-170.
- Foody, G.M., 2002. Status Of Land Cover Classification Accuracy Assessment, Remote Sensing Of Environment, v. 80, p. 185-201.
- Gamba, P. and Herold, M., 2009. Global Mapping Of Human Settlement: Experiences, Datasets, And Prospects, Crc Press, 285 p.
- Gidey, E., Dikinya, O., Sebege, R., Segosebe, E. and Zenebe, A., 2017. Cellular Automata And Markov Chain (Ca\_Markov) Model-Based Predictions Of Future Land Use And Land Cover Scenarios (2015–2033) In Raya, Northern Ethiopia, Modeling Earth Systems And Environment, v. 3, p. 1245-1262.

- Goward, S.N., Davis, P.E., Fleming, D., Miller, L. and Townshend, J.R., 2003. Empirical Comparison Of Landsat 7 And Ikonos Multispectral Measurements For Selected Earth Observation System (Eos) Validation Sites, *Remote Sensing Of Environment*, v. 88, p. 80-99.
- Jaeger, J.A. and Schwick, C., 2014. Improving The Measurement Of Urban Sprawl: Weighted Urban Proliferation (Wup) And Its Application To Switzerland, *Ecological Indicators*, v. 38, p. 294-308.
- Jat, M.K., Garg, P.K. and Khare, D., 2008. Monitoring And Modelling Of Urban Sprawl Using Remote Sensing And Gis Techniques. *International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation*, v. 10, p. 26-43.
- Jhavar, M., Tyagi, N. and Dasgupta, V., 2013. Urban Planning Using Remote Sensing. *International Journal Of Innovative Research In Science, Engineering And Technology*, v. 1, p. 42-57.
- Jiao, L., Mao, L. and Liu, Y., 2015. Multi-Order Landscape Expansion Index: Characterizing Urban Expansion Dynamics. *Landscape And Urban Planning*, v. 137, p. 30-39.
- Kohler, M., Tannier, C., Blond, N., Aguejdad, R. and Clappier, A., 2017. Impacts Of Several Urban-Sprawl Countermeasures On Building (Space Heating) Energy Demands And Urban Heat Island Intensities. A Case Study. *Urban Climate*, v. 19, p. 92-121.
- Kompil, M., Aurambout, J., Ribeiro Barranco, R., Jacobs-Crisioni, C., Pisoni, E. and Zulian, G., 2013. European Cities: Territorial Analysis Of Characteristics And Trends-An Application Of The Luisa Modelling Platform (Eu Reference Scenario 2013-Updated Configuration 2014). Eur.
- Kumar, J.A.V., Pathan, S. and Bhandari, R., 2007. Spatio-Temporal Analysis For Monitoring Urban Growth—A Case Study Of Indore City. *Journal Of The Indian Society Of Remote Sensing*, v. 35, p. 11-20.
- Li, T. and Meng, Q., 2018. A Mixture Emissivity Analysis Method For Urban Land Surface Temperature Retrieval From Landsat 8 Data. *Landscape And Urban Planning*, v. 179, p. 63-71, p. 63-71.
- Li, X. and Gong, P., 2016. Urban Growth Models: Progress And Perspective, *Science Bulletin*, v. 61, p. 1637-1650.
- Li, Z., Goldstein, R.H. and Franseen, E.K., 2017. Meteoric Calcite Cementation: Diagenetic Response To Relative Fall In Sea-Level And Effect On Porosity And Permeability, Las Negras Area, Southeastern Spain, *Sedimentary Geology*, v. 348, p. 1-18.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W. and Chipman, J., 2014. *Remote Sensing And Image Interpretation*, John Wiley & Sons, 420 p.
- Lima, G.N.D. and Magaña Rueda, V.O., 2018. The Urban Growth Of The Metropolitan Area Of Sao Paulo And Its Impact On The Climate. *Weather And Climate Extremes*, v. 21, p. 17-26.
- Liu, W., Zhan, J., Zhao, F., Yan, H., Zhang, F. and Wei, X., 2019. Impacts Of Urbanization-Induced Land-Use Changes On Ecosystem Services :A Case Study Of The Pearl River Delta Metropolitan Region, China. *Ecological Indicators*, v. 98, p. 228-238.
- Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tan, Z., Li, S. and Ai, B., 2010. A New Landscape Index For Quantifying Urban Expansion Using Multi-Temporal Remotely Sensed Data, *Landscape Ecology*, v. 25, p. 671-682.
- Lu, Q., Chang, N.B., Joyce, J., Chen, A.S., Savic, D.A., Djordjevic, S. and

- Fu, G., 2018. Exploring The Potential Climate Change Impact On Urban Growth In London By A Cellular Automata-Based Markov Chain Model, *Computers, Environment And Urban Systems*, v. 68, p. 121-132.
- Markham, B.L. and Helder, D.L., 2012. Forty-Year Calibrated Record Of Earth-Reflected Radiance From Landsat: A Review. *Remote Sensing Of Environment*, v. 122, p. 30-40.
- Mertes, C.M., Schneider, A., Sulla-Menashe, D., Tatem, A. and Tan, B., 2015. Detecting Change In Urban Areas At Continental Scales With Modis Data, *Remote Sensing Of Environment*, v. 158, p. 331-347.
- Mitsova, D., Shuster, W. and Wang, X., 2011. A Cellular Automata Model Of Land Cover Change To Integrate Urban Growth With Open Space Conservation, *Landscape And Urban Planning*, v. 99, p. 141-153.
- Mohamed, A. and Worku, H., 2018. Quantification Of The Land Use/Land Cover Dynamics And The Degree Of Urban Growth Goodness For Sustainable Urban Land Use Planning In Addis Ababa And The Surrounding Oromia Special Zone, *Journal Of Urban Management*, v. 7(2), p. 129-143.
- Mou, Y., Song, Y., Xu, Q., He, Q. and Hu, A., 2018. Influence Of Urban-Growth Pattern On Air Quality In China: A Study Of 338 Cities, *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, v. 15, p. 1805-1821.
- Nations, U., 2015. World Population Prospects: The 2015 Revision, *United Nations Econ Soc Aff*, v. 33, p. 1-66.
- Nielsen, M.M., 2015. Remote Sensing For Urban Planning And Management: The Use Of Window-Independent Context Segmentation To Extract Urban Features In Stockholm. *Computers, Environment And Urban Systems*, v. 52, p. 1-9.
- Otsu, N., 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, v. 9, p. 62-66.
- Patino, J.E. and Duque, J.C., 2013. A Review Of Regional Science Applications Of Satellite Remote Sensing In Urban Settings. *Computers, Environment And Urban Systems*, v. 37, p. 1-17.
- Patra, S., Sahoo, S., Mishra, P. and Mahapatra, S.C., 2018. Impacts Of Urbanization On Land Use /Cover Changes And Its Probable Implications On Local Climate And Groundwater Level. *Journal Of Urban Management*, v. 7, p. 70-84.
- Pontius, R.G., 2000. Quantification Error Versus Location Error In Comparison Of Categorical Maps. *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, v. 66, p. 1011-1016.
- Potere, D. and Schneider, A., 2007. A Critical Look At Representations Of Urban Areas In Global Maps. *Geojournal*, v. 69, p. 55-80.
- Pourahmad, A., Bagh, V.A., Zangenehe, S.S. and Givehchi, S., 2007. The Impact Of Urban Sprawl Up On Air Pollution, v. 1(3), p. 347-353.
- Rajitha, K., Mukherjee, C., Vinu Chandran, R. and Prakash Mohan, 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*, v. 31, p. 4423-4442.
- Ramachandra, T., Bharath, H. and Sowmyashree, M., 2014. Urban Footprint Of Mumbai-The Commercial Capital Of India. *Journal Of Urban And Regional Analysis*, v. 6, p. 71-89.
- Rashmi, M. and Lele, N., 2010. Spatial Modeling And Validation Of Forest Cover Change In Kanakapura Region Using Geomod, *Journal Of The Indian*

- Society Of Remote Sensing, v. 38, p. 45-54.
- Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R., Scambos, T.A., Schaaf, C.B., Schott, J.R., Sheng, Y., Vermote, E.F., Belward, A.S., Bindschadler, R., Cohen, W.B., Gao, F., Hipple, J.D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C.O., Kilic, A., Kovalsky, V., Lee, Z.P., Lymburner, L., Masek, J.G., Mccorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J., Wynne, R.H. and Zhu, Z., 2014. Landsat-8: Science And Product Vision For Terrestrial Global Change Research. *Remote Sensing Of Environment*, v. 145, p. 154-172.
- Sapena, M. and Ruiz, L.Á., 2019. Analysis Of Land Use/Land Cover Spatio-Temporal Metrics And Population Dynamics For Urban Growth Characterization, *Computers, Environment And Urban Systems*, v. 73, p. 27-39.
- Seto, K.C., Guneralp, B. and Hutyrá, L.R., 2012. Global Forecasts Of Urban Expansion To 2030 And Direct Impacts On Biodiversity And Carbon Pools, *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, v. 109, p. 16083-16088.
- Sheykhi, H., Parizadi, T., Rezaei, M. and Sajadi, M., 2012. Determining The Physical Form Of Isfahan Using Gary And Moran Model, v. 3(9), p. 119-136.
- Shi, Y., Sun, X., Zhu, X., Li, Y. and Mei, L., 2012. Characterizing Growth Types And Analyzing Growth Density Distribution In Response To Urban Growth Patterns In Peri-Urban Areas Of Lianyungang City. *Landscape And Urban Planning*, v. 105, p. 425-433.
- Sun, C., Wu, Z.F., Lv, Z.Q., Yao, N. and Wei, J.B., 2013. Quantifying Different Types Of Urban Growth And The Change Dynamic In Guangzhou Using Multi-Temporal Remote Sensing Data. *International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation*, v. 21, p. 409-417.
- Un, 2014. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision-Highlights*, Un.
- Wang, Z.H. and Upreti, R., 2019. A Scenario Analysis Of Thermal Environmental Changes Induced By Urban Growth In Colorado River Basin, Usa. *Landscape And Urban Planning*, v. 181, p. 125-138.
- Weng, Q., 2012. Remote Sensing Of Impervious Surfaces In The Urban Areas: Requirements, Methods, And Trends. *Remote Sensing Of Environment*, v. 117, p. 34-49.
- Winsborough, H.H., 1962. City Growth And City Structure. *Journal Of Regional Science*, v. 4, p. 35-49.
- Wondrade, N., Dick, B. and Tveite, H., 2014. Landscape Mapping To Quantify Degree-Of-Freedom, Degree-Of-Sprawl, And Degree-Of-Goodness Of Urban Growth In Hawassa, Ethiopia. *Environment And Natural Resources Research*, v. 4, p. 223-241.
- Xu, H., 2010. Analysis Of Impervious Surface And Its Impact On Urban Heat Environment Using The Normalized Difference Impervious Surface Index (Ndisi), *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 76, p. 557-565.
- Yang, X., Zheng, X.Q. and Lv, L.N., 2012. A Spatiotemporal Model Of Land Use Change Based On Ant Colony Optimization, Markov Chain And Cellular Automata. *Ecological Modelling*, v. 233, p. 11-19.
- Zhang, L., Zhang, M. and Yao, Y., 2018. Mapping Seasonal Impervious Surface Dynamics In Wuhan Urban Agglomeration, China From 2000 To 2016. *International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation*, v. 70, p. 51-61.

---

-Zhou, W., Jiao, M., Yu, W. and Wang, J., 2017. Urban Sprawl In A Megaregion: A Multiple Spatial And Temporal Perspective, Ecological Indicators, DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.10.035.

-Zhou, X. and Chen, H., 2018. Impact Of Urbanization-Related Land Use Land Cover Changes And Urban Morphology Changes On The Urban Heat Island Phenomenon, Science Of The Total Environment, v. 635, p. 1467-1476.