بررسی توسعه مکانی و شبیه سازی رشد شهری

با روش Cellular Automated (CA)

(مطالعه موردی: شهر ساری)

ابوالفضل رنجبر[۱]

منصوره صدری کیا[۲]

محمد علی رجبی[۳]

۱-عضو هیات علمی دانشگاه تبریز – دانشجوی دکترای سیستم اطلاعات مکانی دانشگاه تهران abranjbar57@ut.ac.ir

۲-دانشجوی دکترای سیستم اطلاعات مکانی دانشگاه تهران

m.sadrykia@ut.ac.ir

۳-عضو هیات علمی پردیس دانشکده های فنی – استاد یار گروه مهندسی سیستم اطلاعات مکانی دانشگاه تهران arajabi@ut.ac.ir

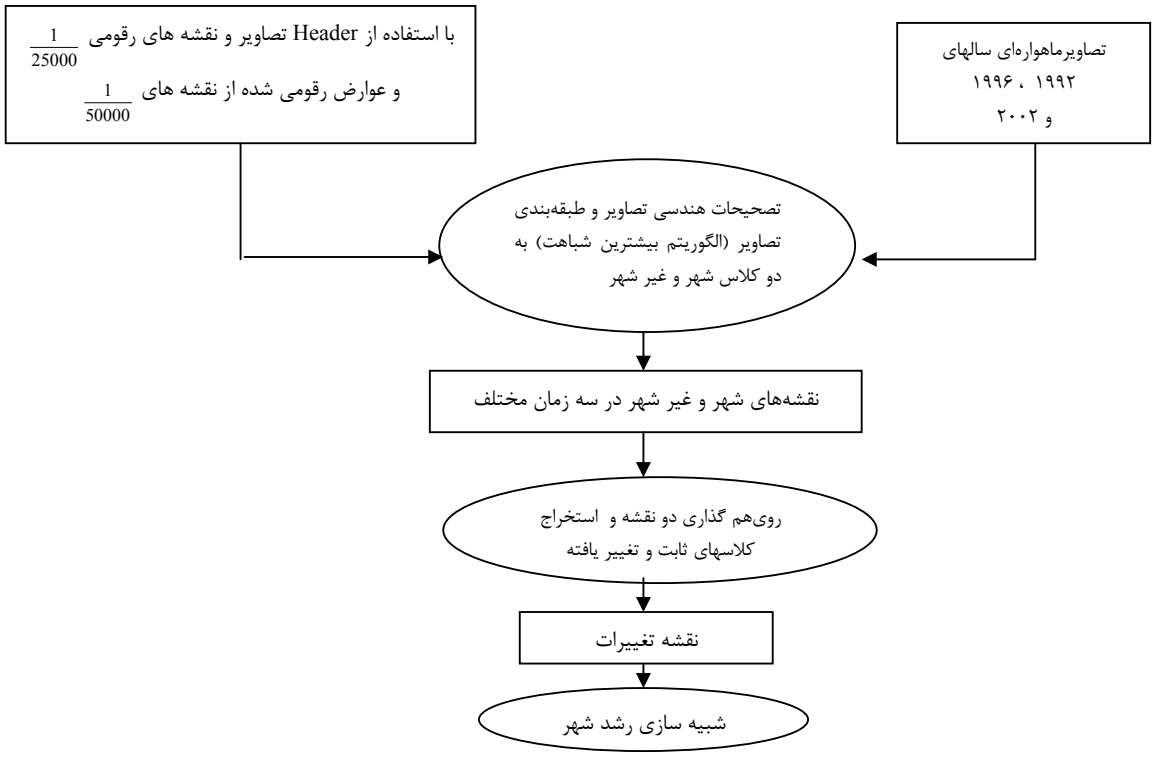
چکیده

یکی از ابزاری که از حدود دهه 1980، دهه ای که بشر توانست در آن تا حدی مشکلات ناشی از افزایش تدریجی اطلاعات محیط زندگی خود را کنترل نماید، سیستم اطلاعات مکانی می باشد. با توجه به اینکه توسعه مکانی شهرها در روند تصمیم گیری و برنامه‌ریزیها حائز اهمیت می‌باشد. برای کشف و ارزیابی تغییرات، داده‌های چند زمانه سنجش از دور به دلیل ارزانی و سرعت اخذ داده از آن و سیستم اطلاعات مکانی به خاطر برخورداری از امکانات تحلیلی می‌توانند نقش اساسی داشته باشند. برای تعیین تغییرات و شبیه سازی رشد محدوده شهرستان ساری از تصاویر ماهواره لندست سری سنجنده‌های MSS، ETM ،ETM+ (۱۹۹۶،۱۹۹۲و۲۰۰۲) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شده است. این تحقیق به طراحی و کالیبره کردن الگوریتم های CA به منظور شبیه سازی رشد شهر ساری در طول چند سال می پردازد. نتایج حاصله نشان می دهد که هر چقدر تصاویر مورد استفاده در CA بازه زمانی کمتری داشته باشند شبیه سازی رشد شهر به مراتب دارای دقت بیشتری خواهد بود و همچنین هر چقدر ابعاد پیکسل کرنل کوچکتر در نظر گرفته شود، دقت روش CA در شبیه سازی رشد شهر بهتر می شود.

واژگان کلیدی: سیستم اطلاعات مکانی، سنجش از دور، روش CA، ماهواره لندست، توسعه مکانی شهرها، شبیه سازی رشد شهر ساری

۱- مقدمه

با توجه به اهمیت تحلیل گسترش فضای شهری با توسعه سایر منابع و لزوم برنامه ریزی صحیح در تخصیص منابع و توزیع عادلانه آن لازم است تا با توجه به گسترش روزافزون اطلاعات و تکنولوژی های وابسته از این امکانات در جهت برنامه ریزی های صحیح بهره جست. یکی از این تکنولوژی ها سیستم های اطلاعات مکانی و تکنولوزی نوین سنجش از دور می باشد.[2] مهمترین چالش های اساسی در جهان امروز که دارای ابعاد مکانی بوده و زندگی بشر را تهدید می‌کند افزایش جمعیت، آلودگی منابع طبیعی و نابودی آن به دلیل گسترش روزافزون شهرها می‌باشد. بدلیل ابعاد بزرگ این مسائل نیاز به شناخت ارتباط مکانی، اطلاعات و داده های مورد نیاز و مرتبط با آنان می‌باشد. یکی از ابزاری که از حدود دهه 1980، دهه ای که بشر توانست در آن تا حدی مشکلات ناشی از افزایش تدریجی اطلاعات محیط زندگی خود را کنترل نماید، سیستم اطلاعات مکانی می باشد. GIS علم و فن آوری دریافت و مدیریت بهینه اطلاعات مکان مرجع بوده و مبتنی بر یک سیستم کامپیوتری برای مشاهده نقشه‌ها و آنالیز پروژه‌های مرتبط با داده‌های توصیفی و مکانی می‌باشد. در این راستا تکنولوژی سنجش از دور می تواند به عنوان ابزای مهم در تهیه اطلاعات مکانی و توصیفی مربوط به مکان نقش مهم و ارزنده ای ایفا نماید. در حقیقت سنجش از دور را می‌توان به عنوان ابزار مهم گردآوری اطلاعات معرفی نموده و مزیت آنرا در ایجاد اطلاعات مکانی و توصیفی با هزینه کمتر قلمداد کرد. با توجه به اینکه توسعه مکانی شهرها در روند تصمیم گیری و برنامه‌ریزیها حایز اهمیت می‌باشد. Cellular automata متداولترین تعریف برای CA عبارتست از یک سیستم گسسته پویا در زمان و مکان که در یک فضای شبکه ای براساس قوانین یا rule های محلی کار می کند. فلوچارت تحقیق در شکل ۱ آورده شده است.[6]



شکل ۱: دیاگرام مراحل پردازش داده‌ها

۲- معرفی منطقه و داده های مورد مطالعه

شهر ساری مرکز استان مازندران در $\varphi: 36°33'N$ و $\lambda: 53°3'E$ واقع می‌باشد. جدول شماره ۱ جزئیات استفاده از تصاویر ماهواره لندست را نشان می‌دهد. برای تعیین تغییرات محدوده شهرستان ساری از تصاویر ماهواره لندست سری سنجنده‌های MSS، ETM، ETM+ استفاده شده است. در این تحقیق تغییرات محدوده شهر ساری در فاصله زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۲ مورد بررسی قرار گرفت.

جدول شماره ۱: تصاویر مورد استفاده در تعیین تغییرات محدوده شهر ساری

تصویر مورد استفاده	سال برداشت
MSS	1992
ETM	1996
ETM+	2002

۳- آماده‌سازی اطلاعات و پردازش آنها

هنگامی که سنجنده‌ها مشغول ثبت امواج بازتابی می‌باشند اصولا سه دسته خطا می‌تواند رخ دهد که نوع اول مربوط به خطای سنجنده‌ها، نوع دوم خطاهای مربوط به عوامل جوی موثر در میزان انعکاس رسیده به سنجنده‌ها و نوع سوم خطاهای هندسی مربوط به کرویت زمین، چرخش زمین، ارتفاع، موقعیت و وضعیت ماهواره در فضا و غیره می‌باشند. لذا جهت استفاده از اطلاعات رقومی ثبت شده توسط سنجنده‌ها تصحیحات زیر ضروری می‌باشند:[1]

الف- اصلاح خطاهای دستگاهی

این خطاها قبلا توسط سازمان ارائه دهنده تصاویر اصلاح شده بودند و چون تصویرهای مورد استفاده عاری از این خطاها بودند پس اعمال تصحیح این خطاها لازم نشد.

ب - تصحیح رادیومتریک[۱]

اتمسفر طول موجهای کوتاهتر را به صورت انتخابی پخش می‌کند و این پخش اتمسفری سبب کاهش مغایرت در تصویر می شود. ارزش عددی هر پیکسل در تصاویر ماهواره‌ای، ثبت واقعی تابندگی در سطح زمین نیست زیرا بر اثر جذب امواج و یا بر اثر پراکنش آن در طول مسیر توسط اتمسفر تغییر می‌کند. به طور کلی خطاهای اتمسفری به سه بخش Haze، Sunangle و Skylight تقسیم می‌شوند. تصحیح اتمسفری در سه مورد زیر لازم و ضروری می‌باشد:[1]

- مواقعیکه لازم است تصاویر مربوط به دو زمان مقایسه شود: به دلیل متفاوت بودن اثرات اتمسفری در زمانهای مختلف، در روشهای آشکارسازی تغییرات نظیر تفریق و تقسیم تصاویر اعمال این تصحیح ضروری می‌باشد.
- مواقعیکه در یک تصویر نسبت دو باند محاسبه شود. به خاطر متفاوت بودن اثرات اتمسفری روی طول موجهای مختلف در دو باند.

---

[۱] Radiometric Correction

- مواقعیکه هدف بررسی خصوصیات طیفی پدیده‌ها باشد.

اگر بخواهیم تصاویر مربوط به دو زمان را بررسی و مقایسه کنیم، باید تصحیحات رادیومتریک که شامل خطاهای Haze، Sunangle و Skylight می‌باشد، را اعمال کنیم. در این تحقیق ما به دنبال نشان دادن نوع تغییرات و مقدار تغییرات جنگل بودیم و برای نشان دادن نوع تغییرات از روش طبقه‌بندی تصاویر استفاده کردیم. پس لزومی به انجام تصحیح خطاهای رادیومتریک ذکر شده در بالا پیش از انجام طبقه‌بندی مورد مطالعه نمی‌باشد. به عبارتی دیگر طبقه‌بندی کاربری زمین با استفاده از تصاویر خام بهتر صورت می‌گیرد.

پ – تصحیح هندسی[1]

تحلیل داده‌های چند زمانه تنها با هم مختصات کردن دقیق هندسی آنها حاصل می‌شود. این تصاویر بایستی با دقت کمتر از یک پیکسل با همدیگر، هم مختصات شوند و گرنه خطاهای ناشی از هم مختصات نبودن تصاویر می‌تواند به طور بالقوه به عنوان تغییر کاربری و یا تغییر پوشش تفسیر شود. برای مقایسه داده‌های چند زمانه ابتدا باید یکی از تصاویر را با استفاده از نقشه‌های موجود ژئورفرنس کرده و برای ژئورفرنس کردن تصویر یا تصاویر اخذ شده دیگر نسبت به هم، از روش هم مختصات کردن تصویر به تصویر[2] استفاده می‌شود.[2]

برای انتخاب نقاط کنترل در تصویر و نقشه باید دقت بسیاری اعمال شود، خصوصا اگر فاصله زمانی بین تصویربرداری و تهیه نقشه مورد نظر زیاد باشد. در انتخاب نقاط کنترل باید سعی کرد از محلهای غیر قابل تغییر یا با میزان تغییرپذیری کم در طی سالهای زیاد از قبیل مسیرهای ثابت گذر رودخانه‌ها و تقاطع جاده‌ها و غیره استفاده کرد.

از معادلات درجه اول برای ژئورفرنس کردن تصاویر به صورت زیر استفاده شد که می‌تواند خطاهای نظیر تغییر مقیاس و چرخش تصویر را از روی تصاویر حذف کند.

$$\begin{cases} X = a_{\circ} + a_1 x + a_2 y \\ Y = b_{\circ} + b_1 x + b_2 y \end{cases}$$

که در آن x,y مختصات نقاط در سیستم مختصات اولیه و X,Y مختصات جدید می‌باشند.

روند تصحیح هندسی تصاویر در این تحقیق به صورت کلی به این صورت می‌باشد که ابتدا با استفاده از Header تصاویر، تصویر سال ۲۰۰۲ را ژئورفرنس تقریبی کرده و سپس با استفاده از نقشه‌های $\frac{1}{25000}$ رقومی سازمان نقشه‌برداری کشور و عوارض رقومی شده از نقشه‌های $\frac{1}{50000}$ ژئورفرنس دقیق بر روی آن انجام شد. لازم به ذکر است که انتخاب نقاط کنترل بر روی تصاویر ترکیب رنگی ۷۵۴، ۴۳۲ و ۵۴۳ انجام شد. تصویر سال ۱۹۹۲ ، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۰ به وسیله ژئورفرنس تصویر به تصویر نسبت به تصویر ۲۰۰۲، مختصات‌دار شد.

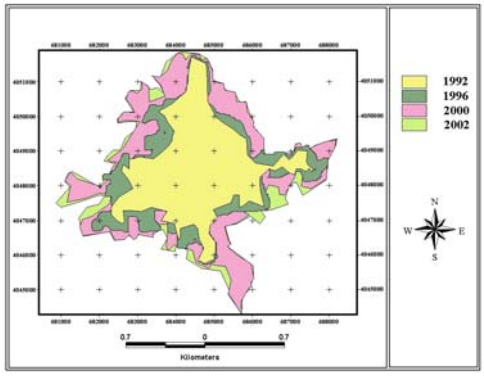
از آنجاییکه در این تحقیق یکی از اهداف اصلی، طبقه‌بندی تصاویر مورد مطالعه است و تغییرات ارزشهای عددی پیکسلها در اثر واسطه‌یابی آثار نامطلوبی بر تصویر طبقه‌بندی شده می‌گذارند، بنابراین جهت حداقل نمودن این آثار

---

[1] Geometric Correction
[2] Image to Image Registeration

نامطلوب برای بازنویسی و تولید مقادیر و ارزشهای جدید برای پیکسلهای تصاویر تصحیح شده از روش واسطه‌یابی نزدیکترین همسایه استفاده شد. از روش بیشترین شباهت جهت طبقه بندی تصاویر استفاده شده است.

با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی می توان با ارتباط اطلاعات توصیفی مربوط به مکان مورد نظر تحلیل‌های مورد نظر را انجام داد. شکل شماره ۲ تغییرات محدوده شهر ساری را در طی سال های ۱۹۹۲ میلادی تا ۲۰۰۲ میلادی را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۲: تغییرات محدوده شهر ساری را در طی سال های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲

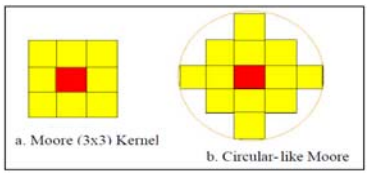
جدول شماره ۲ میزان مساحت محدوده شهر ساری را طی سالهای ۱۹۹۲ الی۲۰۰۲ نشان می‌دهد.

جدول شماره۲: میزان تغییرات محدوده شهری شهرستان ساری

سنجنده	سال برداشت	مساحت محدوده شهری به کیلومتر مربع
MSS	۱۹۹۲	۱۱/۰۷
ETM	۱۹۹۶	۱۲/۸۱
ETM+	۲۰۰۲	۲۴/۶۵

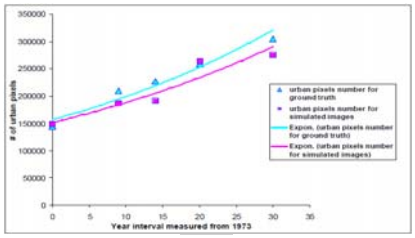
۴- اتومالی سلولی

اولین بار در دهه ۱۹۴۰ توسط Ulam و von Neumann برای مطالعه سیستم های پیچیده معرفی شد. در ۱۹۹۷ شخصی به نام Sipper عملا یک بردار سه بعدی متشکل از سلول ها مورد استفاده قرار داد و نشان داد که قوانین مشخصی برای هر سلول می توان در نظر گرفت که در قالب "جدول قوانین یا جدول انتقال" به کمک بررسی وضعیت همسایه ها تشکیل می شود. در شکل ۳ نمونه ای از همسایگی های متداول در CA نشان داده شده است.[12]



شکل ۳: نمو نه های از همسایگی های متداول در CA

نتایج بدست آمده از تحقیقات نشان می دهند که مدل رشد شهر شبیه سازی شده با روش CA قابل مقایسه با مدل بدست آمده برای رشد شهر براساس تابع نمایی نیز می باشد.



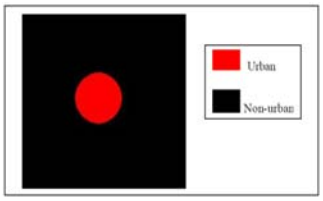
$y = 156850e^{0.0239x}$ و $y = 151538e^{0.0217x}$

شکل ۴

متداولترین تعریف برای CA عبارتست از یک سیستم گسسته پویا در زمان و مکان که در یک فضای شبکه ای براساس قوانین یا ruleهای محلی کار می کند. حالت یا وضعیت آینده یک سلول از شبکه، براساس توابع همسایگی که قانون تبدیل را مشخص می کنند، تعیین می شود. هر سیستم CA متشکل از بخشهای زیر می باشد:[5]

- ✓ سلول ها یا پیکسل ها در یک شبکه گسسته در GIS
- ✓ وضعیت سلول ها (کلاس های مربوط به کاربری در یک تصویر طبقه بندی شده)
- ✓ همسایگی (Moore و غیره)
- ✓ قوانین تبدیل

تستهای انجام شده در این زمینه نشان می دهند که اندازه و شکل همسایگی ها در شبیه سازی رشد شهر موثرند، همچنین اندازه همسایگی ها علاوه بر تحت تاثیر قراردادن performance، تعداد قوانینی که باید تعریف شوند را نیز تحت تاثیر قرار می دهند. در این زمینه توصیه شده است که ابعاد کوچک برای سلولهای همسایگی در نظر گرفته شود. دو نمونه از قوانین ساده if…then… که برای تصویر زیر در نظر گرفت شده و نتیجه اعمال آنها به صورت ذیل می باشد؛

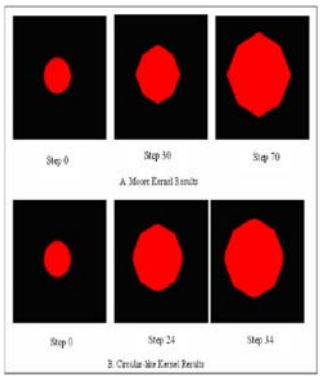


شکل ۵

اگر قوانین را به عنوان مثال به صورت زیر در نظر بگیریم:

- اگر پیکسل مورد بررسی غیر شهری بوده و توسط ۳ یا بیشتر از پیکسل های شهری احاطه شده باشد، تبدیل به شهری شود.
- اگر پیکسل مورد بررسی شهری است، شهری باقی بماند.

در هر مرحله کل سطح تصویر یکبار اسکن می شود و سپس کلیه سلولها به صورت همزمان بروز می شوند. نتیجه اعمال قوانین فوق یکبار با همسایگی Moore (شکل ۶-A) و یکبار با همسایگی Moore دایره ای (شکل۶ -B) نشان داده شده است.



شکل ۶

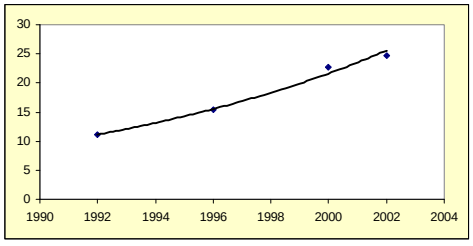
همانطور که در شکل ۶ دیده می شود، در Moore دایره ای الگوی رشد شهر نرم تر در لبه ها نسبت به همسایگی Moore معمولی می باشد و همچنین تعداد دفعات تکرار در Moore دایره ای نسبت به همسایگی Moore کمتر است.

۵- نتایج

☒ آهنگ رشد

با توجه به روند افزایش جمعیت و همچنین متغیرهای وابسته رشد وتوسعه فضای مکانی شهرها می توان دریافت که آهنگ رشد شهرها با پدیده های متعدد اجتماعی مانند مهاجرت، بیکاری، سرمایه‌گذاری در بخش هایی چون مسکن و غیره در ارتباط تنگاتنگ است و به وسیله سیستمهای اطلاعات مکانی می توان سری اطلاعات که با مکان در ارتباط می باشند را دسته بندی و مدیریت نمود. بررسی نمودار بدست آمده از تغییرات مکانی شهرستان ساری نشان می‌دهد که نرخ رشد و توسعه فضای شهری این شهرستان از یک معادله نمایی تبعیت می کند. معادله زیر نرخ رشد و توسعه مکانی شهرستان ساری را نشان می‌دهد. نمودار زیر آهنگ رشد و توسعه فضای شهری شهرستان ساری را در طی سال های ۱۹۹۲ الی ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد.

$Y = 10 - 71e^{0.083X}$ X: متغیر فضای شهری Y: تابع رشد



نمودار ۱: آهنگ رشد فضای شهری شهرستان ساری در طی سال های ۲۰۰۲-۱۹۹۲

☒ اتومالی سلولی

در سیستم CA پیاده سازی شده مشخصات سلولها، همسایگی ها و قوانین به صورت زیر می باشد:

- ✓ سلول ها یا پیکسل ها در یک شبکه گسسته در GIS
- ✓ وضعیت سلول ها

عدد ۱ در تصویر نشان دهنده شهر ساری و عدد ۰ نشان دهنده غیرشهر می باشد.

- ✓ همسایگی

همسایگی در نظر گرفته شده در این تحقیق Moore می باشد.

- ✓ قوانین تبدیل

اگر پیکسل مورد بررسی غیر شهری بوده و توسط ۴ یا بیشتر از پیکسل های شهری احاطه شده باشد، تبدیل به شهری شود و همچنین اگر پیکسل مورد بررسی شهری است، شهری باقی بماند.

موارد ذکر شده در بالا به صورت خلاصه در جدول ۳ زیر آورده شده است.

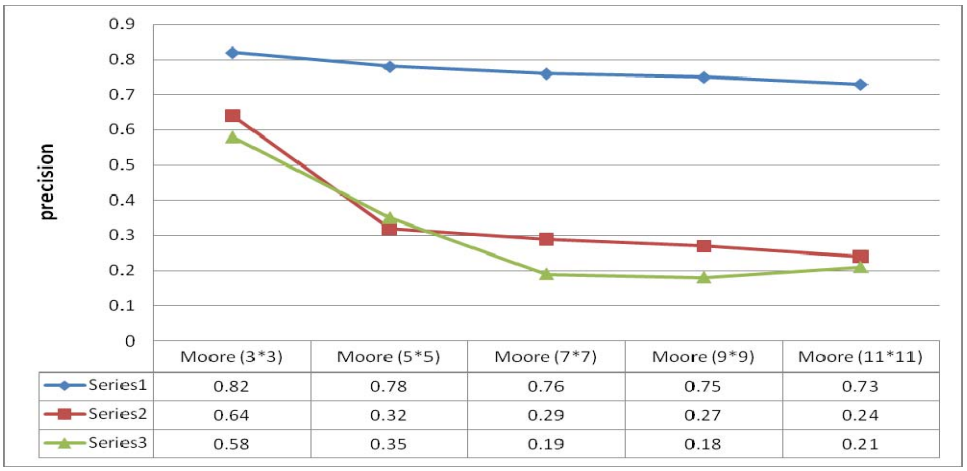
جدول ۳: مشخصات CA اجرا شده

Cells	411*335
States	Urban Nonurban
Neighborhood	**Moore (3*3)**
Transition rules	IF there are 4 Urban pixels in the neighborhood, THEN change center pixel to Urban IF there is a Urban pixel, THEN fixed Urban pixel

نتایج حاصل از اجرای برنامه نوشته شده در نرم افزار Matlab در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: نتایج اجرای برنامه اتومالی سلولی

	1992-1996		1996-2002		1992-2002	
Neighborhood	iteration	precision	iteration	precision	iteration	precision
Moore (3*3)	72	0.82	82	0.64	103	0.58
Moore (5*5)	93	0.78	86	0.32	121	0.35
Moore (7*7)	109	0.76	88	0.29	70	0.19
Moore (9*9)	108	0.75	88	0.27	65	0.18
Moore (11*11)	103	0.73	73	0.24	80	0.21



	Moore (3*3)	Moore (5*5)	Moore (7*7)	Moore (9*9)	Moore (11*11)
Series1	0.82	0.78	0.76	0.75	0.73
Series2	0.64	0.32	0.29	0.27	0.24
Series3	0.58	0.35	0.19	0.18	0.21

نمودار ۲: بررسی دقت روش CA

نتایج حاصله نشان می دهد که هر چقدر تصاویر مورد استفاده در CA بازه زمانی کمتری داشته باشند شبیه سازی رشد شهر به مراتب دارای دقت بیشتری خواهد بود. به عنوان مثال بین بازه زمانی 1992-1996 با همسایگی Moore (3*3) دارای دقت 0.82 در صورتیکه بین بازه زمانی 1996-2002 با همسایگی Moore (3*3) دارای دقت 0.64 می باشد. همچنین از جدول فوق مشخص است که تعداد تکرار برای رسیدن به دقت های مورد نظر برای فواصل زمانی کوتاه تر به مراتب کمتر می باشد.

از نمودارها و جداول فوق مشخص می شود که هر چقدر ابعاد پیکسل کرنل کوچکتر می باشد دقت روش CA در شبیه سازی رشد شهر بهتر می شود. به عنوان مثال بین بازه زمانی 1992-1996 با همسایگی Moore (3*3) دارای دقت 0.82 در صورتیکه با همسایگی Moore (5*5) دارای دقت 0.78 می باشد.

منابع:

۱- رنجبر، ابوالفضل، بررسی و برآورد روند تخریب جنگلها با استفاده از GIS و داده های سنجش از دور، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۲

۲- زبیری محمود، مجد علیرضا، آشنایی با فن سنجش از دور، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۲

۳- مطیعی، همایون، آشنایی با سیستم های اطلاعات مکانی، انتشارات دانشگاه شهید عباسپور، ۱۳۸۲

4- Hayes J. (1999): "Remote Sensing for Monitoring Land Cover and Land use Change in the Maya Biosphere Reserve", Thesis, University of Maine, Orono.

5- Johan Lahti (2008), Modelling Urban Growth Using Cellular Automata: A case study of Sydney, Australia, March, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.

6-Leao, S., Bishop, I. and Evans, D. (2004). Simulation Urban Growth in a Developing Nation's Region Using a Cellular Automata-Base Model. Journal of Urban Planning and Development Vol. 130, No.3, pp.145-158.

7- Sharaf Alkheder and Jie Shan, "Cellular Automata Urban Growth Simulation and Evaluation - A Case Study of Indianapolis", 2005.

8- Shekhar S. (2006), modeling urban development with Fuzzy logic and cellular automata. Asian journal of Geoinformatics, 6, 39882.

9- Sipper, M., 1997, Evolution of Parallel Cellular Machines: The Cellular Programming Approach. 3-10, Springer-Verlag, Heidelberg.

10- Tabachnick, B. G., and Fidell, L. S. (1996): "Using Multivariate Statistics. New York: Harper and Row".

11- Torren P. M., Benenson I., 2005, Geographic Automata Systems. Geographical Information Science, vol. 19, no.4, p.385–412.

12- Von Neumann, J., 1966, Theory of Self-Reproducing Automata. University of Illinois Press, Illinois. Edited and completed by A. W. Burks.

13- Yang, X., and Lo, C. P., 2003, Modelling urban growth and landscape changes in the Atlanta metropolitan area.