دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه برداری (ژئودزی و ژئوماتیک)

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

گروه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی

توسعه CA با استفاده از نظریه فازی برای مدلسازی پروسه‌های مکانی

اساتید راهنما

دکتر محمدرضا ملک

دکتر محمد سعدی مسگری

نازنین عبدالقادری بوکانی

۸۶۰۱۶۴۴

شهریور ۸۹

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **نازنین عبدالقادری بوکانی** تایید می‌نمایم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب بوده است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده نقشه برداری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی می-باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: **نازنین عبدالقادری بوکانی**

امضاء دانشجو :

پدر و مادر عزیزم

برادران مهربانم

همسر فداکارم

تقدیم به شما

و تمام کسانی که خوبند

چکیده

مدلسازی پروسه‌های مکانی همواره یکی از مسائل مهم و بحث برانگیز در علوم مختلف بوده است. تاکنون، تحقیقات بسیار زیادی در این زمینه صورت پذیرفته و مدلهای متفاوتی گسترش یافته‌اند. در این میان مدلهای Geosimulation به دلیل ساختار پایین به بالا و توانایی مدلسازی تغییرات کلی بر اساس بررسی تعامل بین اجزای کوچک سیستم، مورد توجه بیشتری واقع شده است.

در این میان اتوماتای سلولی یکی از قدرتمندترین و در عین حال پرکاربردترین مدل در زمینه‌های مختلفی نظیر تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی، توسعه شهری، انتشار آتش، بخشهای رقیب و جریان ترافیک می‌باشد. اتوماتای سلولی (CA)، سیستمی دینامیک و متشکل از مولفه‌هایی در مقیاس محلی و در تعامل با یکدیگر بوده که به واسطه تخصیص قوانین محلی، قابلیت مدلسازی وقایع پیچیده را دارد. خصوصیات بیان شده توانمندی اتوماتای سلولی در مدلسازی وقایع پیچیده مکانی را بیان می‌کنند.

با وجود قابلیت‌های فراوان CA در مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی خصوصا پروسه توسعه شهری، محدودیت‌های آن موجب ظهور نسل جدیدی از مدل‌های CA بواسطه تلفیق مولفه‌های اصلی آن با روش‌های دیگر شده است. بنا به تعریف، یکی از اجزای بسیار مهم CA، قوانین انتقال بوده که چگونگی تعریف و بیان این فاکتور تاثیر بسیار زیادی بر ساختار مدل و خروجی‌های آن خواهد داشت. بیان قوانین انتقال در مدل‌های اتوماتای سلولی کلاسیک و نیز بسیاری از مدل‌های توسعه یافته امروزی به صورت جبری و بر پایه روش‌های ریاضی بوده است. در برخورد با سیستم‌های پیچیده، شناخت اجزا تشکیل دهنده و روابط میانشان غیرشفاف و همراه با سطوح مختلف ابهام خواهد بود. به‌همین دلیل، در مدلسازی این‌گونه سیستم‌ها بیان روابط میان اجزا در قالب قوانین قطعی نمی‌تواند نتیجه مطلوب را حاصل نماید. در حالی که بیان فازی قوانین مذکور به دلیل ماهیت غیرقطعی تئوری فازی، به واقعی‌تر شدن نتایج مدلسازی منجر خواهد شد. از اینرو نظریه فازی به دلیل پشتیبانی از عدم‌قطعیت و قابلیت توصیف واژگان طبیعی می‌تواند در بیان قوانین انتقال CA مورد استفاده قرار گیرد. این امر موجب افزایش قابلیت مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی خواهد شد.

هدف اصلی تحقیق حاضر، افزایش قابلیت مدل اتوماتای سلولی در مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی، از طریق بیان فازی قوانین انتقال بوده است. در این راستا، مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی بوسیله مدل اتوماتای سلولی توسعه یافته با تئوری فازی بر پایه کنترل منطق فازی انجام شده که بر این اساس مدل اتوماتی سلولی فازی FCA ارائه شده است. مدل ارائه شده روشی کلی جهت شبیه‌سازی و نیز پیش‌بینی تمامی پروسه‌های مکانی می‌باشد. واسنجش مدل به صورت غیر اتوماتیک و بر پایه روش پیش‌بینی بازنگرانه انجام شده است. در این مرحله، امکان بررسی نتایج شبیه‌سازی شده با واقعیت بر اساس بررسی ضریب کاپا و در نهایت انتخاب عناصر بهینه مدل فراهم شده است. پس از این مرحله، امکان پیش‌بینی روند مورد مطالعه و نیز بررسی تاثیر سناریوهای مختلف بر روند آتی پروسه فراهم آمده است. به صورت عملی، مدل مذکور جهت شبیه‌سازی پروسه توسعه شهری اصفهان در طول سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۹ مورد استفاده قرار گرفته است. این شبیه‌سازی امکان ارزیابی مدل را از طریق داده‌های واقعی فراهم کرده است. شبیه-سازی پروسه توسعه شهری اصفهان بر اساس مدل ارائه شده بیانگر توانایی بالای این مدل در برخورد با پروسه‌های پیچیده مکانی است. دقت کلی ۸۸.۵٪ و ضریب کاپای ۷۶.۳٪ ، مربوط به سال۲۰۰۱ و نیز دقت کلی ۸۸.۴٪ و ضریب کاپای ۷۳.۴٪ ، سال ۲۰۰۹ بیانگر این واقعیت است. همچنین بررسی نتایج شبیه‌سازی حاصل از مدل واسنجیده شده بر اساس سه همسایگی کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس که به ترتیب حاوی ۸، ۲۴ و ۴۸ سلول مجاور بوده، بیانگر حساسیت نتایج مدل CA به شکل و اندازه همسایگی است. از این میان همسایگی کوچک مقیاس نتایج بهتری را در بر داشته است.

تقدیر و تشکر

برخود لازم می‌دانم که از این طریق، مراتب سپاس و قدردانی خود را از زحمات و راهنمایی‌های بی‌شائبه اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر محمدرضا ملک و جناب آقای دکتر محمد سعدی مسگری ابراز نمایم.

فهرست

فصل اول مقدمه

۱-۱بیان مسئله ۲

۱-۲ضرورت تحقیق ۳

۱-۳پیشینه تحقیق ۵

۱-۴ اهداف پایان‌نامه ۵

۱-۵ پرسشهای تحقیق ۶

۱-۶ ساختار پایان‌نامه ۶

فصل دوم اتوماتای سلولی

۲-۱ مقدمه ۱۰

۲-۲ تاریخچه اتوماتای سلولی ۱۱

۲-۳ اتوماتای سلولی کلاسیک ۱۲

۲-۳-۱ فضای سلولی ۱۳

۲-۳-۲ وضعیت سلول ۱۴

۲-۳-۳ همسایگی ۱۴

۲-۳-۴ قوانین انتقال ۱۴

۲-۳-۵ بازه زمانی ۱۴

۲-۴ خصوصیات اتوماتای سلولی ۱۵

۲-۵ محدودیتهای اتوماتای سلولی در مدلسازی سیستمهای مکانی ۱۶

۲-۵-۱ فضای سلولی ۱۶

۲-۵-۲ همسایگی ۱۷

۲-۵-۳ قوانین انتقال ۱۸
۲-۵-۳-۱ استفاده از مدلهای قطعی در بیان قوانین انتقال اتوماتای سلولی ۱۹
۲-۵-۳-۲ استفاده از مدلهای غیر قطعی در بیان قوانین انتقال اتوماتای سلولی ۲۰

فصل سوم تئوری فازی

۳-۱ مقدمه ۲۳
۳-۲ کاربردپذیری سیستمهای فازی ۲۳
۳-۳ اطلاعات و عدم قطعیت ۲۴
۳-۴ مجموعه های فازی ۲۴
۳-۴-۱ توابع عضویت ۲۵
۳-۴-۲ فازی‌سازی ۲۶
۳-۴-۳ غیر فازی‌سازی ۲۶
۳-۵ منطق فازی و سیستمهای فازی ۲۷
۳-۵-۱ منطق فازی ۲۷
۳-۵-۲ متغیرهای زبانی ۲۹
۳-۵-۳ سیستمهای فازی قانونمند ۳۰
۳-۶ شبیه‌سازی سیستمهای فازی ۳۲
۳-۷ سیستمهای کنترل فازی ۳۷

فصل چهارم مدل پیشنهادی

۴-۱ مقدمه ۴۰
۴-۲ کاربرد تئوری فازی در بیان قوانین انتقال اتوماتای سلولی ۴۱
۴-۳ ساختار مدل پیشنهادی ۴۲

۴-۳-۱ بخش شبیه سازی ۴۴
۴-۳-۱-۱ مدل اتوماتای سلولی ۴۴
۴-۳-۱-۲ مدل منطق فازی(FL) ۴۵
۴-۳-۱-۲-۱ فازی سازی ۴۶
۴-۳-۱-۲-۲ استنتاج ۴۶
۴-۳-۱-۲-۳غیر فازی سازی ۴۸
۴-۳-۱-۳ عملکرد مدل اتوماتای سلولی و مدل منطق فازی ۴۸
۴-۳-۲ بخش واسنجش ۴۹
۴-۳-۲-۱ ماتریس خطا ۵۱
۴-۳-۲-۲ ماتریس خطای اصلاح شده ۵۳
۴-۳-۲-۳ آنالیز ضریب کاپا ۵۴
۴-۳-۳ بخش پیشبینی ۵۵

فصل پنجم پیاده‌سازی

۵-۱ مقدمه ۵۷
۵-۲ منطقه مورد مطالعه ۵۸
۵-۳ داده‌ها ۶۰
۵-۳-۱ شبکه حمل و نقل ۶۱
۵-۳-۲ تراکم شهری و جذابیت شهری ۶۲
۵-۳-۳ فاکتور محدودیت توپوگرافی ۶۳
۵-۳-۴ سیاستهای برنامه‌ریزی و آیین‌نامه‌ها ۶۴
۵-۴ انتخاب عنصرهای مدل(FCAUGM) ۶۶
۵-۴-۱ فضای سلولی ۶۷

۵-۴-۲ وضعیت سلولی..... ۶۷
۵-۴-۳ همسایگی..... ۶۸
۵-۴-۴ زمان..... ۷۰
۵-۴-۵ قوانین انتقال..... ۷۰
۵-۵ بررسی نتایج حاصل از مدلسازی..... ۷۹
۵-۶ تاثیر مقیاس همسایگی بر نتایج مدلسازی..... ۸۲

فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱ مقدمه..... ۸۵
۶-۲ نتیجه گیری..... ۸۵
۶-۳ پیشنهادات..... ۸۷
منابع..... ۸۸

فهرست جدول‌ها

جدول۲-۱ روشهای مختلف بیان واحدهای مکانی نامنظم..... ۱۷

جدول ۲-۲ روشهای مختلف بیان همسایگی نامنظم..... ۱۸

جدول ۳-۱ روشهای مختلف غیرفازی‌سازی..... ۲۷

جدول۳-۲ تعاریف فازی پیوندهای منطقی..... ۲۸

جدول ۳-۳ فرم کلی یک سیستم قانون مبنا فازی..... ۳۱

جدول ۳-۴ متداولترین روشهای تجزیه قوانین مرکب و گردآوری نتایج حاصل از قوانین..... ۳۱

جدول ۴- ۱ مولفه های اصلی مدل پیشنهادی..... ۴۴

جدول ۴-۲ تعاریف اصطلاحات مورد استفاده در ماتریس خطا و محاسباتشان..... ۵۲

جدول ۵-۱ مشخصات تصاویر ماهوارهای شهر اصفهان مورد استفاده درپروژه..... ۶۰

جدول ۵-۲ توصیف متغیرهای مکانی و عوامل موثر تشکیل شده از آن‌ها..... ۶۰

جدول۵-۳ دقت‌های شبیه‌سازی مدل توسعه شهری با اعمال قوانین انتقال مختلف، سال ۲۰۰۱..... ۷۴

جدول۵-۴ دقت‌های شبیه‌سازی مدل توسعه شهری با اعمال قوانین انتقال مختلف، سال ۲۰۰۹..... ۷۶

جدول ۵-۵ دقت‌های شبیه‌سازی مدل توسعه شهری با اعمال کلیه قوانین انتقال..... ۷۸

جدول ۵-۶ دقت‌های شبیه‌سازی حاصل از اعمال همسایگی‌های مختلف، در سالهای ۲۰۰۱و ۲۰۰۹..... ۸۳

فهرست شکل‌ها

شکل۱–۱ ساختار کلی پایان نامه و مشارکت مولف..... ۸

شکل ۲-۱ شبیه‌سازی ساده‌ای از مدل بازی زندگی Conway (سلولهای سفید رنگ وضعیت مرده و سلولهای مشکی رنگ وضعیت زنده دارند.) ۱۴

شکل ۲-۲ (الف)-همسایگی Moore (ب)-همسایگی Von Neumann..... ۱۴

شکل۳-۱، نگاشت عنصر α، به مجموعه فازی $\sim A$..... ۲۹

شکل ۳-۲ پیچیدگی و عدم قطعیت..... ۳۵

شکل ۳-۳ سیستم قانون مبنا فازی..... ۳۵

شکل ۳-۴ دو روش آگاهانه و ناآگاهانه برای ساختاردهی دانش..... ۳۶

شکل ۳- ۵ اجزاء کنترل کننده منطق فازی..... ۳۷

شکل ۴-۱ مدلسازی روند پیشنهادی برای حل مسائل مکانی با استفاده از FCA..... ۴۳

شکل ۵-۱ نمودار جمعیتی شهر اصفهان بین سالهای ۱۳۸۵-۱۳۳۵..... ۵۸

شکل ۵-۲ تصاویر ماهوارهای از شهر اصفهان در سال:۱۹۹۰ (الف)، ۲۰۰۱ (ب)، ۲۰۰۹ (ج)..... ۵۹

شکل ۵-۳ نمایی ازشبکه راه (الف)، دسترسی به آزادراه ها و بزرگراهها (ب)..... ۶۲

شکل۵-۴ تراکم شهری سال ۱۹۹۰ (الف) ، تراکم شهری سال ۲۰۰۱ (ب)..... ۶۳

شکل۵-۵ نقشه شیب (الف)، نقشه ارتفع از سطح دریا (ب)..... ۶۴

شکل۵-۶ نواحی برنامه ریزی و نواحی مستثنی..... ۶۵

شکل۵-۷تصاویر ماهواره‌ای کلاسه‌بندی شده با ابعاد ۵۰*۵۰، از شهر اصفهان در سال: ۱۹۹۰(الف)،۲۰۰۱(ب)، ۲۰۰۹(ج)..... ۶۸

شکل۵-۸ تراکم شهری اصفهان در سال ۱۹۹۰، بر اساس سه همسایگی کوچک (الف)، متوسط (ب) و بزرگ (ج)..... ۶۹

شکل۵-۹ فلوچارت روند شبیه‌سازی و کالیبراسیون مدل..... ۷۲

شکل۵-۱۰ مقایسه بصری دقتهای شبیه‌سازی شده مربوط به سال ۲۰۰۱..... ۷۵

شکل۵-۱۱ مقایسه بصری دقتهای شبیه‌سازی شده مربوط به سال ۲۰۰۹..... ۷۶
شکل۵-۱۲ نقشه‌های حاصل از شبیه‌سازی پروسه توسعه شهری اصفهان در سال: ۲۰۰۱(الف)، ۲۰۰۹ (ب) ۷۷
شکل۵-۱۳ مقایسه بصری دقتهای شبیه‌سازی شده مربوط به سالهای ۲۰۰۱ و ۲۰۰۹..... ۷۸
شکل۵-۱۴ دقت کلی (الف) و ضرب کاپا(ب)، براساس قوانین انتقال مختلف در طول زمان..... ۷۹

برابر نهاده‌ها و کلمات اختصاری

CA	**Cellular Automata**
DP	**Development Possibility Matrix**
FCA	**Fuzzy Cellular Automata**
FL	**Fuzzy Logic Model**
FLC	**Fuzzy Logic Control**
SM	**Simulated Map**

فصل اول

مقدمه

۱-۱ بیان مسئله

جهان پیرامون ما، متشکل از سیستم‌های پیچیده مکانی گوناگونی بوده که تاثیرات بسیاری را در زندگی روزمره و آتی بشر دارند. افزایش جنبه‌های مثبت و تعدیل جنبه‌های منفی اینگونه سیستم‌ها نقش مهمی را در اعتلا سطح کیفی زندگی بشر ایفا می‌کند. این امر از طریق بررسی سیستم‌ها به منظور مدیریت، برنامه‌ریزی، تخصیص منابع، پیش‌بینی ونیز بررسی تاثیرات تئوریها و رفتارهای مختلف تصمیم‌گیرنده انسانی امکان‌پذیر می‌باشد. بنابراین می‌توان اهمیت شناخت و بررسی سیستم‌های پیچیده مکانی را در زندگی بشر درک نمود. در این راستا مدلسازی یکی از اساسی‌ترین مراحل بررسی سیستم‌های پیچیده مکانی بوده که امکان درک و مدیریت بهتر آن‌ها را فراهم می‌آورد. بررسی سیستم‌های پیچیده مکانی، همواره توام با سوالات بسیاری نظیر: اتفاقات رخ داده در طول پروسه، فاکتورهای موثر بر آن، چگونگی کارکرد پروسه، چگونگی تعامل بین فاکتورها و به طور کلی " چگونگی درک سیستم " می‌باشد.

اتوماتای سلولی (CA)، سیستمی دینامیک و متشکل از مولفه‌هایی در مقیاس محلی و در تعامل با یکدیگر بوده که به واسطه تخصیص قوانین محلی، قابلیت مدلسازی وقایع پیچیده را دارد. خصوصیات بیان شده توانمندی اتوماتای سلولی در مدلسازی وقایع پیچیده مکانی را بیان می‌کنند. کاربرد مدل اتوماتای سلولی در شبیه‌سازی پروسه‌های پیچیده مکانی توام با خطا و عدم قطعیت‌های بسیاری است. این امر به دلیل متفاوت بودن کاربرد کنونی آن با اتوماتی سلولی تعریف شده بوسیله Wolfram است. مدل اتوماتای سلولی Wolfram، دارای تعاریف قطعی و داده‌های ورودی بسیار محدود بوده که منجر به تولید خروجی‌های قطعی می‌شود. این در حالی است که مدل‌های اتوماتای سلولی به کارگرفته شده در شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده مکانی، نیازمند داده‌های مکانی بسیار زیاد به منظور شبیه‌سازی واقعی بوده که این امر خود، موجب تاثیرپذیری این گونه مدل‌ها از مجموعه خطای داده‌ها و نیز عدم قطعیت ناشی از ساختار مدل می‌شود. استفاده از سیستم اطلاعات مکانی، موجب حصول داده‌ها و اطلاعات دقیق‌تری نسبت به سایر روش‌های سنتی می‌شود. این در حالی است که، خطای ناشی از منابع داده در طول پروسه شبیه‌سازی به‌دلیل اعمال تاثیرات همسایگی کاهش می‌یابد [1].

بسیاری از خطاهای اتوماتای سلولی در مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی، ناشی از عدم قطعیت مدل به دلیل محدودیت دانش، پیچیدگی پروسه و محدودیت تکنولوژی است. همانند سایر مدل‌های کامپیوتری، عاری از خطا بودن داده‌های مورد استفاده نیز موجب تطبیق کامل مدل با واقعیت نخواهد شد. این خطا و عدم قطعیت ناشی از چگونگی تعریف مولفه‌های اصلی اتوماتای سلولی می‌باشد. بنابراین چگونگی بیان مولفه‌های اتوماتای سلولی نقش مهمی در مدلسازی واقعی‌تر پروسه‌های پیچیده مکانی ایفا می‌کند.

۱-۲ ضرورت تحقیق

جهان واقعی پیچیده بوده و این پیچیدگی عموما ناشی از عدم قطعیت است. انسان به دلیل قدرت تفکر، قادر به بررسی مشکلات پیچیده و مبهم نظیر مسایل اقتصادی، اجتماعی و تکنولوژیک می‌باشد. حال این سوال مطرح می شود که ناتوانی کامپیوترهای طراحی شده توسط بشر در بررسی اینگونه پیچیدگی‌ها چیست؟ بشر چگونه سیستم‌های واقعی را که توصیف کامل آن‌ها نیازمند جزئیات و داده‌های فراتر از قدرت تشخیص و فهم هم‌زمان توسط بشر است را استدلال می‌کند؟ جواب این سوالات در قابلیت استدلال تقریبی است. قابلیتی که کامپیوترهای کنونی از آن برخوردار نیستاند. انسان به صورت تقریبی رفتار یک سیستم را استدلال کرده و بنابراین تنها درک کلی از آن مساله ایجاد شده که این میزان ابهام و کلیت برای فهم انسان از سیستم‌های پیچیده کافی است.

پرفسور عسکری زاده، دراصول ناسازگاری [۱] به همبستگی[۲] بین پیچیدگی و ابهام اشاره می‌کند [2]. هرچه دانش در مورد یک سیستم افزایش یابد، پیچیدگی آن کاهش و درک آن افزایش می یابد. با کاهش پیچیدگی دقت حاصله از روش‌های محاسباتی[۳] جهت مدلسازی سیستم مناسب‌تر خواهد بود. عبارات ریاضی بسته[۴] تعاریف دقیقی از سیستم‌های با پیچیدگی کم ارائه می دهند. در سیستمی با پیچیدگی کمی بیشتر و با حضور

---

[۱] Principle of Incompatibility

[۲] Correlation

[۳] Computational Methods

[۴] Closed-Form Mathematical Expression

داده‌های قابل توجه، روش‌های فاقد مدل[1] نظیر شبکه‌های عصبی، ابزارهای قدرتمندی در کاهش ابهامات موجود از طریق آموزش بر مبنای الگوهای موجود در داده‌های قابل دسترسی ارائه می‌دهند. با این حال این آموزش بسیار سطحی[2] است. بخش عمده‌ای از پروسه‌های مکانی بسیار پیچیده بوده، بطوریکه تبدیل آنها به الگوریتم‌های خطی یا غیرخطی امکان‌پذیر نمی‌باشد. بیشتر پروسه‌های قابل مشاهده دارای اطلاعات قابل دسترس بسیار کمی جهت توسعه الگوریتم‌ها بوده و حجم کثیری از اطلاعات قابل دسترس آنها به صورت فازی و زبانی است. با وجود اینکه می‌توان، پروسه‌های پیچیده را در فرم ریاضی ساده‌ای خلاصه نمود اما استناد به مدل‌های خطی و یا غیرخطی ساده می‌تواند به تولید نتایج شکست‌خورده بدست آمده توسط محققین گذشته، منجر شود. نکته حائز اهمیت این است که مدل‌های الگوریتمی تنها در صورتی که تمام فیزیک اصلی یک پروسه قابل درک و مشاهده باشند، مفید خواهند بود. سیستم‌هایی که با روشهای متداول الگوریتمی و قطعی قابل شبیه‌سازی نبوده، اما دارای مجموعه اطلاعات قابل مشاهده و یا زبانی هستند، قابلیت شبیه‌سازی بوسیله روش‌های شبیه‌سازی غیرخطی فازی را دارند.

با وجود قابلیت‌های فراوان CA در مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی خصوصا پروسه توسعه شهری، محدودیت‌های آن موجب ظهور نسل جدیدی از مدل‌های CA بواسطه تلفیق مولفه‌های اصلی آن با روش‌های دیگر شده است. بنا به تعریف، یکی از اجزای بسیار مهم CA، قوانین انتقال بوده که چگونگی تعریف و بیان این فاکتور، تاثیر بسیار زیادی بر ساختار مدل و خروجی‌های آن خواهد داشت. بیان قوانین انتقال در مدل‌های اتوماتی سلولی کلاسیک و نیز بسیاری از مدل‌های توسعه یافته امروزی به صورت جبری و بر پایه روش‌های ریاضی بوده است. بیان جبری قوانین انتقال در جهت مدلسازی واقعی پروسه‌های پیچیده مکانی نیازمند داده-های بسیار زیاد است. حال اینکه دسترسی به داده‌های دقیق، کافی و عاری از ابهام به دلیل گستردگی و حجم بالای فاکتورهای موثر در پروسه‌های پیچیده مکانی کار ساده‌ای نیست. بنابراین بیان جبری قوانین انتقال CA نمی‌تواند در امر مدلسازی این گونه پروسه‌ها مفید باشد.

---

[1] Model Free

[2] Shallow

از اینرو نظریه فازی به دلیل پشتیبانی از عدم قطعیت و قابلیت توصیف واژگان طبیعی می‌تواند در بیان قوانین انتقال CA مورد استفاده قرار گیرد. این امر موجب افزایش قابلیت مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی خواهد شد.

۱-۳ پیشینه تحقیق

در سالیان اخیر، یکی از جنبه‌های توسعه در زمینه مدلسازی روندهای مکانی، کاربرد مجموعه فازی و منطق فازی بوده است. نیاز به روشی متفاوت در جایی که ریاضات دقیق روشی مناسب برای مدلسازی رفتار سیستم‌های پیچیده نیست، موجب ظهور نسل جدیدی از ریاضات یعنی ریاضات فازی شده است [3]. پرفسور عسکری زاده در سال ۱۹۶۵، تئوری مجموعه فازی را ارائه نمود [4]. در ابتدا کاربرد این تئوری تنها در مهندسی کنترل بوده است [5,6]. در سالیان بعد، این کاربردها افزایش یافته و در مسائل مختلفی نظیر آنالیز داده‌ها و مدلسازی‌های مکانی مورد توجه واقع شده است [7]. بیشتر روندهای مکانی مورد توجه بشر، در نتیجه مجموعه‌ای از فرایندهای تصمیم‌گیری بوده که شامل عدم قطعیت‌های بسیاری است. تئوری فازی، روش‌هایی را برای بررسی این عدم قطعیت‌ها ارائه می‌دهد [4]. در این راستا می‌توان به کاربردهای مجموعه فازی در انالیز کاربری زمین اشاره نمود [8,9]. در مقالات بعدی به کاربرد، کنترل منطق فازی در ساخت مدل‌های شبیه‌سازی پویایی اشاره شده است [10,11]

۱-۴ اهداف پایان نامه

- **هدف اصلی**

هدف اصلی تحقیق حاضر، افزایش قابلیت مدل اتوماتای سلولی در مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی، از طریق بیان فازی قوانین انتقال می‌باشد .

- **اهداف فرعی**

در راستای تحقق هدف اصلی پایان‌نامه، اهداف دیگری نیز تعریف شده است :

- طراحی مدل اتوماتای سلولی فازی و بیان مولفه‌های اصلی آن
- امکان بررسی سناریوهای مختلف در پروسه‌های پیچیده مکانی
- ارزیابی مدل ارائه شده
- مدلسازی پروسه توسعه شهری اصفهان

۱-۵ پرسشهای تحقیق

- نحوه توسعه اتوماتای سلولی جهت افزایش قابلیت مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی به چه صورت است؟
- چگونه می‌توان قوانین انتقال اتوماتای سلولی در مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی را بصورت فازی بیان کرد؟
- ارزیابی و واسنجش اتوماتای سلولی پروسه‌های پیچیده مکانی به چه صورت می‌باشد؟

۱-۶ ساختار پایان نامه

هدف اصلی تحقیق حاضر، افزایش قابلیت اتوماتای سلولی در مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی، بواسطه تلفیق آن با نظریه فازی می‌باشد. به همین منظور، مراحل انجام تحقیق در شش فصل به قرار زیر تدوین شده است:

- فصل اول (مقدمه)، به بیان مفاهیم کلی موضوع تحقیق از جمله بیان مسئله، ضرورت و اهداف انجام آن اختصاص دارد. همچنین، اهم تلاشهای سایر محققین در قالب پیشینه تحقیق تدوین شده است. در نهایت با اشاره به پرسش‌های تحقیق، ساختار کلی پایان‌نامه معرفی شده است.
- فصل دوم (اتوماتای سلولی)، به بیان کلیه مفاهیم مورد نیاز در رابطه با اتوماتای سلولی کلاسیک، خصوصیات و کاربردهای آن در مدلسازی سیستم‌های پیچیده مکانی و نیز محدودیت‌های چنین مدلسازی‌هایی می‌پردازد. در پایان این فصل، روش‌های کاهش این محدودیت‌ها و نیز افزایش دقت