۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه برداری

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی نقشه‌برداری -سیستم‌های اطلاعات مکانی

مدل‌سازی گسترش آتش‌سوزی جنگل با استفاده از اتوماسیون سلولی

مطالعه موردی: جنگل‌های استان گلستان

استاد راهنما:

دکتر علی‌اصغر آل‌شیخ

استاد مشاور:

دکتر محمد کریمی

توسط:

حسن گزمه

شماره دانشجوئی: 8904674

شهریور 1391

بسم الله الرحمن الرحيم

حق چاپ

حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده **مهندسی نقشه‌برداری** دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

1- ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

2- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیم به ...

همسر مهربانم

او که صادقانه در تمام غمها و شادیها یاورم بود

تقدیم به

پدر و مادر و خانواده محترمم

که در تمام مدت تحصیل از هیچ کوشش و زحمتی در نیل به اهدافم دریغ نفرمودند.

تقدیر و تشکر

"من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق"

با استعانت از درگاه خداوند متعال، تحقیق پیش روی با تحمل سختی‌ها و مشکلات و همراهی‌های فراوان به اتمام رسید. براستی جای آن دارد که در اینجا از تمامی کسانی که به هر نحوی مرا در اتمام این پایان نامه یاری رساندند و از هیچ کوششی دریغ نکردند تشکر نمایم. هر چند کلمات قاصر از بیان قدردانی می‌باشند، با این حال مراتب قدردانی خود را اعلام می‌نمایم.

جای دارد در ابتدا از زحمات و راهنمائی‌های مفید جناب دکتر آل شیخ، استاد راهنمای محترم که به حق از هیچ زحمتی دریغ نفرمودند تشکر و قدردانی نمایم.

از مشاور محترمم جناب دکتر کریمی و راهنمائیهای مفیدشان تشکر می‌نمایم. جای دارد در اینجا از تمامی معلمین، اساتید و تمامی دوستانی که نقشی در تحصیل و اتمام پایان نامه داشتند تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از جناب آقای مهندس چهرقان بخاطر کمک در تنظیم مطالب تشکر می‌نمایم.

پیش بردن این پایان نامه بدون در دست داشتن اطلاعات لازم مقدور نبود، جا دارد از جناب آقایان مهندسین مستوری، بهلکه، میر و حزینی و سایر پرسنل منابع طبیعی گرگان کمال تشکر را داشته باشم.

در پایان از همسر و خانواده محترمم که واقعا در تمام این مدت دلسوزانه مرا در پیشبرد تحقیق یاری فرمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

جنگل‌ها جزو سرمایه‌های هر کشور محسوب شده و بقای انسان‌ها و این کره خاکی به وجود اکسیژن تولید شده توسط جنگل‌ها (درختان) استوار است. هر ساله میلیون‌ها هکتار از جنگل‌های سراسر دنیا طعمه حریق‌های طبیعی و انسانی می‌شوند. آتش‌سوزی‌های مهیب اتفاق افتاده در دنیا موید این قضیه می‌باشد که این پدیده مخرب، تاثیرات بسیار ناسازگاری بر اکوسیستم منطقه، پوشش گیاهی و حیات وحش دارد. بنابراین ارائه راهکارهائی موثر در راستای جلوگیری و مدیریت این پدیده پیچیده همواره مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان محیط زیست بوده است. به عبارت دیگر، مدلسازی گسترش آتش‌سوزی که بتوان با استفاده از آن نیروها و امکانات را به نحو احسن استفاده نمود به عنوان یک ضرورت محسوب می‌شود. اتوماسیون سلولی از روش‌های بسیار ساده با کارائی بالا محسوب می‌شود که قدرت و قابلیت بالائی در مدلسازی پدیده‌های پویا نظیر رشد و توسعه شهری، گسترش آتش‌سوزی جنگل، شیوع بیماری‌ها و ... دارد. یکی از چالش‌های مهم در خصوص استفاده از روش اتوماسیون سلولی، کالیبراسیون این مدل می‌باشد. استفاده از الگوریتم زنبور عسل برای کالیبراسیون اتوماسیون سلولی در آتش‌سوزی جنگل‌ها از نوآوری این تحقیق محسوب می‌شود. در این تحقیق لایه‌های نوع و تراکم پوشش گیاهی، توپوگرافی، سرعت و جهت باد و مناطق غیر قابل سوختن به عنوان مبنا مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج شبیه‌سازی بر پایه اتوماسیون سلولی و الگوریتم زنبور عسل، قدرت بالای این روش را در ادغام با سیستم اطلاعات مکانی نشان می دهد. مدل ارائه شده بر روی جنگل‌های جنوبی شهرستان مینودشت واقع در شرق استان گلستان آزمایش شد. منطقه مورد مطالعه به دو بخش تقسیم گشت، در بخش اول، مدل اولیه بر منطقه اجرا شد و کاپا 58% بدست آمد، سپس به منظور کالیبراسیون مدل، پس از 2000 تکرار الگوریتم زنبور عسل، این مقدار به 92% رسید. برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده، مدل کالیبره شده بر روی منطقه دوم اجرا گردید و نتایج خروجی آن ضریب کاپای 88 درصد و دقت کلی 98% را نشان داد. مدت زمان کل آتش‌سوزی واقعی در منطقه ارزیابی مدل تقریبا 11 ساعت بوده و کل مساحت سوخته در این مدت 351.62 هکتار می‌باشد و نتایج شبیه‌سازی مدت زمان 11/95 ساعت و مساحت سوخته 375/25 هکتار را پیش‌بینی نموده است. با توجه به مقدار کاپا و ارقام مذکور، می‌توان از این روش برای پیش‌بینی در سایر مناطق و همچنین به عنوان یک سیستم حامی تصمیم‌گیری در آتش‌سوزی جنگل استفاده نمود.

کلمات کلیدی: آتش‌سوزی جنگل، اتوماسیون سلولی، الگوریتم زنبور عسل، سیستم اطلاعات مکانی، شاخص کاپا

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه 1

1-1- پیشگفتار 2

1-2- پیشینه تحقیق 3

1-3- روش اجرای تحقیق 7

1-4- اهداف و سوالات تحقیق 9

1-5- ضرورت موضوع تحقیق 10

1-6- مفروضات و محدودیتهای تحقیق 11

1-7- ساختار پایان‌نامه 12

فصل دوم: مدل‌های گسترش آتش‌سوزی 14

2-1- مقدمه 15

2-2- مدل‌های گسترش آتش‌سوزی 15

2-2-1- مدل‌های ریاضی 16

2-2-1-1- با توجه به ماهیت معادلات 16

2-2-1-1-1- مدل نظری 16

2-2-1-1-2- مدل تجربی 17

2-2-1-1-3- مدل نیمه تجربی 17

2-2-1-2- با توجه به متغیرهای مورد مطالعه 18

2-2-1-2-1- مدل گسترش آتش مهیب 18

2-2-1-2-2- مدل ویژگی‌های جبهه آتش‌سوزی 18

2-2-1-3- بر اساس مدل سیستم فیزیکی 19

2-2-1-3-1- مدل آتش سطحی 19

2-2-1-3-2- مدل آتش تاجی 19

2-2-1-3-3- مدل لکه‌ای 20

2-2-1-3-4- مدل آتش زمینی 21

2-2-1-4- مدل Rothermel 21

2-2-2- مدل‌های هوشمند 30

2-2-2-1- ادغام مدل ریاضی و اتوماسیون سلولی 31

2-2-2-1- ادغام مدل ریاضی، اتوماسیون سلولی و روش‌های بهینه‌سازی 36

2-2-2-1- ادغام مدل ریاضی، شبکه عصبی و سیستم استدلال فازی 37

فصل سوم: مدل‌های هوشمند 39

3-1- مقدمه 40

3-2- اتوماسیون سلولی 40

3-2-1- اجزای تشکیل دهنده اتوماسیون سلولی 41

2-2-3- فضای سلولی 42
3-2-3- همسایگی 42
4-2-3- توابع انتقال 44
5-2-3- مجموعه حالت‌ها 44
6-2-3- زمان 44
3-3- کلونی زنبورها 45
1-3-3- روش‌های بهینه‌سازی 45
2-3-3- روش‌های خرد جمعی 46
3-3-3- الگوریتم زنبورها 47
1-3-3-3- رفتار طبیعی زنبورها در جستجوی غذا 48
2-3-3-3- بهینه سازی به روش HBF 49
فصل چهارم: روش پیشنهادی 51
4-1- مقدمه 52
4-2- اجزای روش پیشنهادی 52
4-2-1- جایگاه سیستم اطلاعات مکانی 54
4-2-2- جایگاه اتوماسیون سلولی 55
4-2-3- جایگاه مدل ریاضی 56
4-3- ارزیابی پارامترهای تأثیرگذار 57
4-4- اعمال مدل پیشنهادی 59
4-4-1- مدل نوع و تراکم پوشش گیاهی 59
4-4-2- مدل سرعت و جهت باد 60
4-4-3- اثر ارتفاع زمین 60
4-5- کالیبراسیون و ارزیابی نتایج 61
4-5-1- شاخص کاپا 62
فصل پنجم: پیاده‌سازی 65
5-1- مقدمه 66
5-2- منطقه مورد مطالعه 66
5-3- آماده‌سازی و پیش پردازش اطلاعات 68
5-4- تشکیل پارامترهای تأثیرگذار از طریق GIS 68
5-5- تعیین گسترش جبهه آتش‌سوزی از طریق ادغام CA و مدل ریاضی 73
5-6- کالیبراسیون مدل ارائه شده 79
5-7- ارزیابی مدل کالیبره شده 82
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات 86
6-1- مقدمه 87
6-2- نتیجه‌گیری 87

6-3- پیشنهادات 89
مراجع 91

فهرست جداول

جدول 4- 1- تقسیم‌بندی نوع پوشش گیاهی 59
جدول 4- 2- تقسیم‌بندی تراکم پوشش گیاهی 59
جدول 5- 1- تقسیم‌بندی نوع پوشش گیاهی ۶۹
جدول 5- 2- تقسیم‌بندی تراکم پوشش گیاهی 70
جدول 5- 3- شرایط جوی در زمان آتش‌سوزی در منطقه اول 73
جدول 5- 4- شرایط جوی در زمان آتش‌سوزی در منطقه دوم 73
جدول 5- 5- مقادیر اولیه تجربی در نظر گرفته شده توسط Alexandridis et al (2008) 77
جدول 5- 6- ماتریس خطای بدست آمده از مقایسه اطلاعات واقعی و خروجی مدل در منطقه اول 79
جدول 5- 7- نتایج بدست آمده از مقایسه خروجی مدل و اطلاعات واقعی در منطقه اول 79
جدول 5- 8- ضرائب اولیه بدست آمده پس از کالیبراسیون 80
جدول 5- 9- ماتریس خطای بدست آمده از مقایسه اطلاعات واقعی و خروجی مدل کالیبره شده در منطقه اول 81
جدول 5- 10- نتایج بدست آمده از مقایسه خروجی مدل کالیبره شده و اطلاعات واقعی در منطقه اول 81
جدول 5- 11- ماتریس خطای بدست آمده از مقایسه اطلاعات واقعی و خروجی مدل اولیه در منطقه دوم 83
جدول 5- 12- نتایج بدست آمده از مقایسه خروجی مدل و اطلاعات واقعی در منطقه دوم 83
جدول 5- 13- ماتریس خطای بدست آمده از مقایسه اطلاعات واقعی و خروجی مدل کالیبره شده در منطقه دوم 85
جدول 5- 14- نتایج بدست آمده از مقایسه خروجی مدل کالیبره شده و اطلاعات واقعی در منطقه دوم 85

فهرست شکل‌ها

شکل2- 1- نمونه‌ای از مواد سوخت نوع اول 23
شکل2- 2- نمونه‌ای از مواد سوخت نوع دوم 24
شکل2- 3- نمونه‌ای از مدل سوخت نوع سوم 24
شکل2- 4- نمونه‌ای از مدل سوخت نوع چهارم 25
شکل2- 5- نمونه‌ای از مدل سوخت نوع پنجم 26
شکل2- 6- نمونه‌ای از مواد سوخت نوع ششم 26
شکل2- 7- نمونه‌ای از مدل سوخت نوع هفتم 27
شکل2- 8- نمونه‌ای از مدل سوخت نوع هشتم 28
شکل2- 9- نمونه‌ای از مدل سوخت نوع نهم 28
شکل2- 10- نمونه‌ای از مدل سوخت نوع دهم 29
شکل2- 11- نمونه‌ای از مدل سوخت نوع یازدهم 29
شکل2- 12- نمونه‌ای از مدل سوخت نوع دوازدهم 30
شکل2- 13- نمونه‌ای از مدل سوخت نوع سیزدهم 30
شکل2- 14- گسترش آتشسوزی در جنگلهای همگن 32
شکل2- 15- گسترش آتش‌سوزی با دو نوع پوشش گیاهی و بدون حضور باد و توپوگرافی 33
شکل2- 16- گسترش آتش‌سوزی در جنگل همگن دارای منطقه غیر قابل سوختن و بدون حضور باد و توپوگرافی 33
شکل2- 17- گسترش آتش‌سوزی در جنگل همگن که باد از غرب به شرق می‌وزد 34
شکل 3- 1- نمایش فضای سلولی 42
شکل 3- 2- همسایگی در مدل اتوماسیون سلولی 43
شکل 3- 3- همسایگی در سلول‌های شش ضلعی 43
شکل 3- 4 – روش‌های جستجو در حل مسائل بهینه‌سازی 46
شکل 3- 5- رقص زنبورها برای اعلان مقدار غذای یافت شده (چهرقان، 1390) 49
شکل 3- 6- حرکت زنبورها برای یافتن غذا (چهرقان، 1390) 49
شکل 3- 7- مراحل حل مسائل بهینه سازی با استفاده از روش HBF. 50
شکل 4- 1- مؤلفه‌های روش پیشنهادی برای مدلسازی گسترش آتش‌سوزی جنگل 54
شکل 5- 1- موقعیت جنگل‌های منطقه مورد مطالعه اول در مینودشت 67
شکل 5- 2- موقعیت جنگل‌های منطقه مورد مطالعه دوم در مینودشت 68
شکل 5- 3- نوع پوشش گیاهی برای منطقه مورد مطالعه اول 69
شکل 5- 4- نوع پوشش گیاهی برای منطقه مورد مطالعه دوم 70
شکل 5- 5- تراکم پوشش گیاهی برای منطقه مورد مطالعه اول 71
شکل 5- 6- تراکم پوشش گیاهی برای منطقه مورد مطالعه دوم 71
شکل 5- 7- مدل رقومی منطقه مورد مطالعه اول 72
شکل 5- 8- مدل رقومی منطقه مورد مطالعه دوم 72
شکل 5- 9- همسایگی Moore در منطقه مورد مطالعه 75

شکل 5- 10- سلول مرکزی و همسایگی آن ۷۵
شکل 5- 11- گسترش جبهه آتش‌سوزی با استفاده از مقادیر اولیه 77
شکل 5- 12- آتش‌سوزی واقعی اتفاق افتاده در منطقه مورد مطالعه اول 78
شکل 5- 13- نمودار همگرایی الگوریتم HBF 80
شکل 5- 14- نقشه گسترش جبهه آتش‌سوزی با استفاده از مدل کالیبره شده برای منطقه اول 82
شکل 5- 15- مناطق واقعی آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه دوم 83
شکل 5- 16- نقشه پیش‌بینی گسترش جبهه آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه دوم توسط مدل اولیه 84
شکل 5- 17- نقشه پیش‌بینی گسترش جبهه آتش‌سوزی با اعمال مدل کالیبره شده در منطقه مورد مطالعه دوم 84

فهرست اختصارات

ABC	Artificial Bee Colony	الگوریتم زنبور عسل
AI	Artificial Intelligence	هوش مصنوعی
CA	Cellular Automata	اتوماسیون سلولی
FPAB	Flower Pollination with Artificial Bee Method	روش گرده افشانی گل‌ها توسط زنبور عسل
GIS	Geospatial Information System	سیستم اطلاعات مکانی
HBF	Honey Bee Foraging Method	روش جستجوی غذای زنبور عسل
HBM	Honey Bee Mating Method	روش جفت‌گیری زنبور عسل

فصل اول

مقدمه

1-1- پیشگفتار

جنگل‌ها جزو سرمایه‌های هر کشوری محسوب می‌شوند، حفظ مناظر پایدار از جنبه زیست محیطی و زیبائی یک وظیفه انسانی و ملی می‌باشد. در راستای نگهداری از جنگل‌ها و حفظ منابع طبیعی راهبردها و راهکارهای متفاوتی در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این بین حفظ این منابع از دام حریق از موضوعات مهم و بحث‌برانگیز در بین مدیران محیط زیست در سطح جهانی می‌باشد. آتش‌سوزی جنگل‌ها یکی از عوامل زیست محیطی عمده در جنگل است. هر ساله، آتش بین شش تا چهارده میلیون هکتار از جنگل‌های جهان را از بین می‌برد، در نتیجه ساختار و ترکیب جنگل‌ها را تغییر می‌دهد و اثر نامطلوبی حتی بر سلامت انسان و عرضه کالاها و خدمات وابسته دارد. بنابراین، آتش‌سوزی جنگل توجه عمومی در سراسر جهان را به خود افزایش داده است [1]. به راحتی قابل درک است که نیاز به طراحی و توسعه راه‌های موثر برای برخورد با آتش‌سوزی جنگل‌ها، به عنوان پدیده‌ای که اغلب اتفاق می‌افتد، به طور مداوم در حال افزایش است. سیاست سرکوبی آتش می‌تواند به طور کلی به دو حالت پیشگیرانه و عملیاتی طبقه‌بندی شود. سیاست‌های پیشگیرانه در اصل بیشتر استراتژیک هستند که برای به حداقل رساندن احتمال یک آتش سوزی پشت سر هم از طریق سازماندهی منابع موجود و ساخت مناطق ضد آتش برای جلوگیری از گسترش آتش‌سوزی بکار می‌روند. هنگامی که یک آتش‌سوزی رخ می‌دهد، مداخلات عملیاتی شامل تخصیص کارآمد مکانیسم‌های دفاعی و تخلیه سریع روستاها مورد نیاز می‌باشد. در هر دو مورد مبارزه استراتژیک و عملیاتی در برابر آتش‌سوزی، می‌توان برای پیش‌بینی گسترش آتش در مکان و زمان تا حدودی از مدل‌های ریاضی استفاده نمود [2]. شبیه‌سازی آتش‌سوزی جنگل به دو دلیل از اهمیت بسزایی برخوردار است. اولاً عملیاتی است، که به منظور برآورد گسترش آتش در طی حادثه و در نتیجه مدیریت منابع موجود در طول بحران انجام می‌گیرد. ثانیاً، استفاده از یک ابزار برای کمّی کردن آتش‌سوزی از طریق شبیه‌سازی میزان خطرپذیری منابع در طول این بحران امکان پذیر است. که نتیجه آن تعیین کارآمدترین راه برای مسئولین برای اعزام واحدهای اورژانسی به نقاط با میزان خطر و ریسک بالا می‌باشد [3].

در این میان سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS[1]) با ابزار و توانمندی‌هایشان می‌تواند فرایند حل مسئله را تسهیل بخشد. همچنین یکی از رویکردهائی که برای افزایش قابلیت مدل‌سازی دینامیکی سیستم‌های اطلاعات مکانی رستر مبنا استفاده می‌شود، اتوماسیون سلولی (CA[2]) می‌باشد. از این رو CA به راحتی می‌تواند با داده‌های مکانی و غیرمکانی GIS ترکیب شود و آن را گزینه مناسبی برای مدل‌سازی رفتار پیچیده گسترش آتش‌سوزی نماید [2].

مدل‌های پیش‌بینی گسترش آتش‌سوزی بر پایه عوامل خارجی زیست محیطی، مانند شرایط هواشناسی و همچنین ویژگی‌های خاص زمین می‌باشند. مهم‌ترین عواملی که بر میزان گسترش و شکل جبهه آتش‌سوزی جنگل‌ها تاثیر می‌گذارند عبارتند از: نوع سوخت (نوع پوشش گیاهی) و رطوبت، سرعت و جهت باد، توپوگرافی جنگل (شیب و موانع طبیعی)، تداوم سوخت (ضخامت پوشش گیاهی) و پدیده لکه‌ای. پدیده لکه‌ای پدیده‌ای است که باعث می‌شود مواد سوختنی توسط باد یا دلایل دیگر از مجاورت جبهه آتش به اطراف پرتاب شده و سبب ایجاد نقاط جدید حریق شوند [2].

با توجه به نکات فوق و همچنین در نظر گرفتن مهمترین اثرهایی که مدلسازی گسترش آتش‌سوزی جنگل‌ها را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد یعنی محافظت از سلامت انسان‌ها و محیط زیست، پرداختن به این مسأله امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود و تلاش فراوانی را می‌طلبد.در این تحقیق با در نظر گرفتن مطالب مذکور، سعی بر آن شده است که با استفاده از روش اتوماسیون سلولی مدلسازی گسترش آتش‌سوزی انجام شود، در این بین بحث کالیبراسیون اتوماسیون سلولی از چالش‌های پیش‌رو محسوب می‌شود. این مسئله با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی بررسی شده است. روش مورد استفاده در این تحقیق الگوریتم زنبور عسل می‌باشد. استفاده از این روش بدلیل قابلیت‌های بالای آن در اولویت قرار گرفت.

1-2- پیشینه تحقیق

در طول پنجاه سال گذشته، تعداد زیادی از دانشمندان به پژوهش در زمینه انتشار آتش و درک و برآورد مناسب از مسئله، و تعیین مهم ترین عامل ها برای شبیه‌سازی موفق آتش سوزی جنگل پرداخته اند

[1] - Geospatial Information System
[2] - Cellular Automata

[4]. شروع مدل‌سازی آتش‌سوزی با اتوماسیون سلولی به سال 1950 باز می‌گردد. اولام (Ulam) این مدل را برای بهینه‌سازی مدلسازی گسترش آتش‌سوزی و در حالت کلی‌تر برای نمایش پدیده‌های دینامیکی ارائه داد. ایشان یک چارچوب مدل‌سازی عمومی بر مبنای مدل‌های مکانی سلولی در زمان‌های گسسته پیشنهاد کرد (Coleman, 1996). در این خصوص می‌توان به تحقیقات Kourtz and Regan (1971) و Richards (1988) اشاره نمود.

اولین مدل آتش‌سوزی جنگل در کانادا توسط Wanger (1981) [5] و در ایالات متحده توسط Rothermel (1991) [6] توسعه داده شد. این مدل‌ها برای محاسبه سرعت گسترش، شدت جبهه آتش و میزان سوخت تاج طراحی شده بودند که در عمل نیز قابل اجرا می باشند. Wanger (1981) یک مدل نیمه‌تجربی برای بدست آوردن سرعت گسترش آتش تاجی فعال و غیر فعال در جنگل‌های مخروطی برگ کانادا ارائه داد. او این نوع پوشش گیاهی را به دلیل طبقه بندی روشن آن و تنوع کم مواد سوختی در مقایسه با سایر مناطق طبیعی، انتخاب نمود. نتایج اعتبارسنجی قابل قبول بود و بلافاصله مدل در سیستم‌های پیش‌بینی جهانی آمریکای شمالی استفاده گردید.

Rothermel (1991) با استفاده از روش پیش‌بینی آتش سطح اصلاح شده توسط Albini and Stocks (1986) [7] و تجزیه و تحلیل گسترش هشت آتش مهیب در شمال کوه‌های راکی (غرب ایالات متحده) بین دهه شصت و هشتاد، یک ارتباط آماری برای گسترش نرخ آتش تاجی فعال پیشنهاد کرد. وی تخمین زد که نرخ گسترش آتش تاجی فعال 3/34 بار بیشتر از نرخ پیش بینی شده توسط مدل خودش و ویژگی‌های زیست محیطی واقعی بود. علاوه بر این، متغیرهای موثر بر رفتار آتش تاجی نظیر ارتفاع تاج، تراکم و رطوبت برگ، در مدل بکار گرفته نشدند. با این تجزیه و تحلیل می‌توان نتیجه گرفت که این مدل باید تنها در آتش‌سوزی‌های مشابه مورد مطالعه استفاده گردد [8].

Karafyllidis and Thanailakis (1997) یک مدل مبتنی بر CA را برای پیش‌بینی گسترش آتش‌سوزی توسعه دادند که تحت سناریوهای مختلف آب و هوا و توپوگرافی قابل استفاده بود [9]. اگرچه نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های در مقایسه با انتظارات مناسب به نظر می رسید، با این وجود کاستی‌هائی نیز

در مدل وجود داشت. برای مثال در حالی که شکل جبهه آتش شبیه به جبهه مورد انتظار از آتش‌سوزی بود، موقعیت جبهه آتش اشتباه محاسبه می‌گردید.

Encinas et al. (2007) از مدل اتوماسیون سلولی مبتنی بر انتقال منطقه سوخته کسری استفاده کردند. در واقع این مدل، بهبود یافته مدل پیشنهادی Karafyllidis and Thanailakis (1997) است. در اینجا از اتوماسیون سلولی دو بعدی با سلول‌های شش ضلعی استفاده شده است. معیارهای در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی: توپوگرافی، باد و نرخ گسترش آتش‌سوزی می‌باشند. در اکثر مدل‌های ارائه شده، دو نوع سلول‌های همسایه برای سلول مرکزی در نظر گرفته می‌شود، ولی در واقعیت همه سلول‌ها به یک اندازه بر سلول مرکزی اثر دارند. در این مقاله با ارائه سلول‌های شش ضلعی، ناهمگونی بین سلول‌های همسایه از بین برده شده و برای هر سلول مرکزی، شش سلول در اطراف آن وجود دارد که اثری یکسان بر آن دارند. مدل ارائه شده تحت چند سناریوی متفاوت، کارائی خود را در جنگل‌های فرضی نشان داده است. خروجی سناریوها با مدل Karafyllidis and Thanailakis (1997) مقایسه شده است و نشان‌دهنده سازگاری نسبی مدل ارائه شده با واقعیت می‌باشد [10].

همچنین Encinas et al. (2007) مدل جدیدی را بر اساس مدل پیشنهادی Karafyllidis and Thanailakis (1997) برای گسترش جبهه آتش با استفاده از اتوماسیون سلولی دو بعدی پیشنهاد داده‌اند. این مدل بر اساس انتقال از منطقه سوخته کسری می‌باشد. مدل پیشنهادی به معرفی دقیق‌تر نحوه انتشار آتش از سلول‌های همسایه مورب به سلول مرکزی می‌پردازد و شامل نرخ گسترش آتش به صورت جزئی است. علاوه بر این، این مدل برای محیط های همگن و ناهمگن تحت سناریوهای متفاوت کارائی خود را نشان داده است [11].

مدل Berjak and Hearne (2002) بر اساس مدل فیزیکی Rothermel (1991) می‌باشد و به منظور بهبود مدل اتوماسیون سلولی از مدل ارائه شده توسط Karafyllidis and Thanailakis (1997) استفاده نموده است. مدل ارائه شده بر اساس میزان گرمای دریافت شده به یک سلول از سلول‌های اطراف پایه‌ریزی شده است. هر سلول باید به حد کافی انرژی گرمائی دریافت کند تا در مرحله بعد آتش بگیرد. در این مدل عوامل موثر بر آتش‌سوزی عبارتند از: شیب، سرعت و جهت باد، پوشش گیاهی، رطوبت و نرخ گسترش آتش‌سوزی. با

در نظر گرفتن این عوامل، مدل تحت چندین سناریوی متفاوت اجرا و با توجه به رضایت‌بخش بودن نتایج، مدل مذکور بر داده‌های اصلی اجرا شد. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه دشت‌های بدون درخت و اغلب شامل علفزار می‌باشد، چند سناریوی مرتبط با میزان رطوبت اجرا شد که نتایج با آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده سازگاری مناسبی داشت [12]. Trunfio (2004) [13]، Yongzhong et al. (2005) [14] و Mark (1998) [15]نیز از جمله محققانی هستند که از مدل Rothermel (1991) برای توسعه روش پیشنهادی خود استفاده کرده‌اند.

Alexandridis et al. (2008) با بکارگیری اتوماسیون سلولی دوبعدی و ارائه مدلی برپایه عواملی مانند نوع و تراکم پوشش گیاهی، سرعت و جهت باد، توپوگرافی و پدیده لکه‌ای، گسترش آتش‌سوزی را شبیه‌سازی نموده‌اند. در این مدل از ساختار سلولی مربعی با همسایگی 8 تائی استفاده شده است. مولفان اذعان داشته اند که سلول‌های شش ضلعی فقط حجم محاسبات را بالاتر برده و نمایش گرافیکی بهتری دارند. ایشان از یک رویکرد بهینه‌سازی غیرخطی برای کالیبره کردن برخی از پارامترهای مدل بر اساس داده های موجود در سیستم اطلاعات مکانی از یک آتش‌سوزی واقعی جنگل، استفاده نمودند. مقایسه بین شبیه‌سازی و نتایج واقعی نشان داد که مدل پیشنهادی، پیش‌بینی را به شیوه‌ای کاملا مناسب با ویژگی‌های مکانی و زمانی از آتش‌سوزی واقعی، ارائه می‌دهد [2].

Yassemia et al. (2008) رفتار آتش مبتنی بر CA را با قوانین انتقال ساده و شهودی توسعه دادند. این تحقیق مدل‌های قبلی اتوماسیون سلولی را با استفاده از قواعد انتقال خاص و منحصر به فردی که قادر به محاسبه دقیق آتش گسترش یافته در داخل و بین سلول‌ها و همچنین هماهنگ‌سازی آتش با جهت باد و شیب، با روشی واقع‌گرایانه بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، ابزار مدل‌سازی سیستم اطلاعات مکانی مبتنی بر رابط کاربر، برای فراهم کردن محیطی انعطاف پذیر برای مدل‌سازی و تسهیل در نمایش نتایج شبیه‌سازی ایجاد نمودند. همچنین مقایسه ای بین روش‌های اتوماسیون سلولی و رویکرد موجی گسترش آتش، ارائه شده است [16]. از جمله دیگر تحقیقاتی که CA را با قوانین انتقال ساده و شهودی مورد استفاده قرار دادند Camara and Ferreira (1998) [17]، Meisner (1999) [18] وLi and Magill (2001) [19] می‌باشند.