



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)  
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

پایان نامه کارشناسی ارشد  
گرایش نرم افزار

مطالعه رفتار اتوماتای یادگیر سلولی و کاربرد آن در حل مسایل بفرنج

نگارش: مهدی عنایت زارع  
استاد راهنما: دکتر محمد رضا میبیدی



بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان نامه  
کارشناسی ارشد و دکترا

شماره :

تاریخ :

معاونت پژوهشی

فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی : مهدی عنایت زارع

دانشجو آزاد  بورسیه  معادل

شماره دانشجویی : ۸۳۱۳۱۱۶۱

دانشکده : کامپیوتر

رشته تحصیلی : مهندسی کامپیوتر - نرم افزار

نام و نام خانوادگی استاد راهنما : دکتر محمدرضا میبیدی

عنوان به فارسی : مطالعه رفتار اتوماتای یادگیر سلولی و کاربرد آن در حل مسایل بفرنج

عنوان به انگلیسی : Studying the Behavior of Cellular Learning Automata and its Application to Solving NP-Complete Problems

کارشناسی ارشد

کاربردی  بنیادی  توسعه‌ای  نظری

نوع پروژه :

دکترا

تعداد واحد : ۶

تاریخ خاتمه : ۸۶/۶/۲۶

تاریخ شروع : ۸۵/۲/۱

سازمان تأمین کننده اعتبار : معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

واژه‌های کلیدی به فارسی : اتوماتای یادگیر سلولی, فراکتال, رنگ‌آمیزی گراف, بزرگترین برش, الگوریتم‌های تقریبی, مسایل بفرنج.  
واژه‌های کلیدی به انگلیسی :

Cellular Learning Automata, Fractal, Graph Coloring, Maximum Cut, Approximation Algorithm, NP-Complete Problems

نظرها و پیشنهادهای به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه :

استاد راهنما :

دانشجو : اختصاص بودجه و زمان بیشتر جهت تکمیل پروژه

تاریخ :

امضا استاد راهنما :

نسخه (۱) معاونت پژوهشی

نسخه (۲) کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان نامه به منظور تصفیه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

سپاسی خرد برای محبتی بزرگ

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که از سپاس‌گزاری زحمات بی‌دریغشان قاصرم

و تقدیم به برادران و خواهرانم

که همواره یار و پشتیبان من بوده‌اند.

بر خود لازم می‌دانم از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمدرضا میبدی به خاطر  
راهنمایی‌های گرانقدر و صبوری بزرگوارانه ایشان در جهت پیشبرد و انجام هرچه  
بهتر این پایان‌نامه کمال سپاس‌گزاری را بنمایم.

## چکیده

اتوماتای یادگیر سلولی، یک مدل ریاضی برای سیستم‌هایی است که از اجزاء ساده‌ای تشکیل شده‌اند و رفتار هر جزء بر اساس رفتار همسایگانش و نیز تجربیات گذشته‌اش تعیین و اصلاح می‌شود. اجزاء ساده تشکیل دهنده این مدل، از طریق تعامل با یکدیگر می‌توانند رفتار پیچیده‌ای از خود نشان دهند. هر اتوماتای یادگیر سلولی، از یک اتوماتای سلولی تشکیل شده است که هر سلول آن به یک یا چند اتوماتای یادگیر مجهز می‌باشد که وضعیت این سلول را مشخص می‌سازد. در این اتوماتا، قانون محلی در محیط حاکم است و این قانون تعیین می‌کند که آیا عمل انتخاب شده توسط یک اتوماتا در یک سلول باید پاداش داده شود و یا جریمه شود. عمل دادن پاداش و یا جریمه منجر به بروز شدن ساختار اتوماتای یادگیر سلولی برای رسیدن به یک هدف مشخص می‌گردد. این پایان‌نامه از سه بخش تشکیل شده است. در بخش اول از این پایان‌نامه، رفتار اتوماتای یادگیر سلولی در مورد قوانین متفاوت بررسی شده و یک طبقه‌بندی برای اتوماتای یادگیر سلولی ارائه شده است. در بخش دوم از این پایان‌نامه، سه الگوریتم تقریبی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی برای حل مسأله رنگ‌آمیزی گراف پیشنهاد شده و الگوریتم‌های پیشنهادی با الگوریتم‌های تقریبی بلام، کارگر و هالپرین مقایسه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده الگوریتم‌های پیشنهادی نتایج بهتری را در مقایسه با الگوریتم‌های فوق‌الذکر تولید می‌کنند. در بخش سوم این پایان‌نامه، مسأله بزرگترین برش در گراف بررسی شده و سه الگوریتم تقریبی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی برای حل این مسأله پیشنهاد شده است. الگوریتم‌های پیشنهادی با الگوریتم‌های تقریبی سه‌نی، ژئومنس، ترکیبی و نیز الگوریتم ژنتیک مقایسه شده‌اند. طبق نتایج به‌دست آمده الگوریتم‌های پیشنهادی نتایج بهتری را در مقایسه با الگوریتم‌های ذکر شده تولید می‌کنند.

کلمات کلیدی: اتوماتای یادگیر سلولی، فراکتال، رنگ‌آمیزی گراف، بزرگترین برش، الگوریتم‌های تقریبی، مسایل

بغرنج.

## فهرست مطالب

.....۱.....	۱- مقدمه
.....۶.....	۲- اتوماتای یادگیر
.....۷.....	۲-۱- تاریخچه اتوماتای یادگیر
.....۹.....	۲-۲- اتوماتای یادگیر
.....۹.....	۲-۲-۱- اتوماتای تصادفی
.....۱۰.....	۲-۲-۲- محیط
.....۱۱.....	۲-۳- الگوریتم‌های یادگیری
.....۱۱.....	۲-۳-۱- الگوریتم‌های یادگیری استاندارد
.....۱۳.....	۲-۳-۲- الگوریتم‌های یادگیری مدل S
.....۱۴.....	۲-۴- اتوماتای یادگیر با عمل‌های متغیر
.....۱۶.....	۳- اتوماتای یادگیر سلولی
.....۱۶.....	۳-۱- اتوماتای سلولی
.....۲۰.....	۳-۲- اتوماتای یادگیر سلولی (CLA)
.....۲۲.....	۳-۳- اتوماتای یادگیر سلولی باز (OCLA)
.....۲۴.....	۴- مطالعه رفتار اتوماتای یادگیر سلولی
.....۲۴.....	۴-۱- مقدمه
.....۲۵.....	۴-۲- فراکتال‌ها
.....۲۶.....	۴-۲-۱- فراکتال و ریاضی
.....۲۸.....	۴-۲-۲- فراکتال حاصل از پاندول و آهنربا
.....۳۲.....	۴-۳- مطالعه رفتار اتوماتای یادگیر سلولی
.....۵۹.....	۴-۴- نتیجه‌گیری
.....۶۰.....	۵- حل مسأله رنگ آمیزی گراف با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی
.....۶۰.....	۵-۱- مقدمه
.....۶۲.....	۵-۲- تعاریف و پیش‌فرض‌ها
.....۶۵.....	۵-۳- رنگ‌آمیزی گراف

.....۶۶	۴-۵-الگوریتم‌های تقریبی برای رنگ‌آمیزی گراف
.....۶۷	۴-۵-۱-الگوریتم ویگدرسون
.....۶۹	۴-۵-۲-الگوریتم بلام
.....۷۴	۴-۵-۳-الگوریتم کارگر، موتوانی و سودان (KMS)
.....۷۹	۴-۵-۴-الگوریتم هالپرین، ناتانیل و زویک (HNZ)
.....۸۰	۵-۵-الگوریتم‌های پیشنهادی برای حل مسأله رنگ‌آمیزی گراف با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی ۸۰
.....۸۱	۵-۵-۱-الگوریتم پیشنهادی اول (CLA-1)
.....۸۳	۵-۵-۲-الگوریتم پیشنهادی دوم (CLA-2)
.....۸۳	۵-۵-۳-الگوریتم پیشنهادی سوم (CLA-3)
.....۸۴	۵-۵-۴- نتایج آزمایش‌ها و مقایسات
.....۹۰	۵-۵-۵-نتایج آزمایشات انجام شده جهت بهبود الگوریتم‌های ارائه شده
.....۱۰۷	۵-۶-نتیجه‌گیری
.....۱۰۹	۶- حل مسأله بزرگترین برش در گراف با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی
.....۱۰۹	۶-۱-مقدمه
.....۱۱۱	۶-۲-الگوریتم‌های تقریبی برای مسأله بزرگترین برش
.....۱۱۱	۶-۲-۱-الگوریتم سه‌نی و گونزالس (SG)
.....۱۱۳	۶-۲-۲-الگوریتم ژئومنس و ویلیامسون (GW)
.....۱۱۵	۶-۲-۳-الگوریتم ترکیبی
.....۱۱۷	۶-۳-الگوریتم ژنتیک
.....۱۲۱	۶-۴-الگوریتم‌های پیشنهادی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی برای حل مسأله بزرگترین برش ۱۲۱
.....۱۲۲	۶-۴-۱-الگوریتم پیشنهادی اول (CLA-1)
.....۱۲۶	۶-۴-۲-الگوریتم پیشنهادی دوم (CLA-2)
.....۱۳۱	۶-۴-۳-الگوریتم پیشنهادی سوم (CLA-3)
.....۱۳۶	۶-۴-۴- نتایج آزمایش‌ها و مقایسات
.....۱۴۱	۶-۴-۵-نتایج آزمایشات انجام شده جهت بهبود الگوریتم‌های ارائه شده
.....۱۵۱	۶-۵-نتیجه‌گیری
.....۱۵۲	۷- نتیجه‌گیری
.....۱۵۴	۸- مراجع

ضمیمه: شرح پیاده‌سازی نرم‌افزار شبیه‌ساز اتوماتای یادگیر سلولی

.....۱۶۰.....	
.....۱۶۱.....	کلاس ACTION:
.....۱۶۱.....	کلاس ACTIONS
.....۱۶۱.....	کلاس LA
.....۱۶۵.....	کلاس CELL
.....۱۶۵.....	کلاس CLA



## فهرست اشکال

.....۱۱.....	شکل ۱-۲- اتوماتای یادگیر تصادفی
.....۱۸.....	شکل ۱-۳- (الف) همسایگی مور - (ب) همسایگی ون نیومن برای اتوماتای سلولی
.....۲۲.....	شکل ۲-۳- قانون ۵۴
.....۲۳.....	شکل ۳-۳- اتصال یک سلول نوعی با انواع محیطها و OCLA
.....۲۵.....	شکل ۴-۱- مثلث سرپینسکی
.....۲۵.....	شکل ۴-۲- دانه برفی کخ
.....۲۶.....	شکل ۴-۳- مجموعه کانتور
.....۲۸.....	شکل ۴-۴- مجموعه مندل پروت
.....۲۸.....	شکل ۴-۵- نمونه‌هایی از مجموعه جولیا
.....۲۹.....	شکل ۴-۶- یک نمونه از آزمایش پاندول و آهنربا با سه نقطه شروع مختلف
.....۲۹.....	شکل ۴-۷- یک نمونه از آزمایش پاندول و آهنربا با سه نقطه شروع مختلف
.....۳۰.....	شکل ۴-۸- یک نمونه از آزمایش پاندول و آهنربا با سه نقطه شروع مختلف
.....۳۱.....	شکل ۴-۹- فراکتال حاصل از آزمایش پاندول و آهنربا با پیکربندی $A (-0.25, 0.433)$ , $B (-0.25, -0.433)$ , $C (0.5, 0.0)$
.....۳۱.....	شکل ۴-۱۰- فراکتال حاصل از آزمایش پاندول و آهنربا با پیکربندی $A (-0.45, 0.39)$ , $B (-0.49, -0.43)$ , $C (0.6, 0.0)$
.....۳۲.....	شکل ۴-۱۱- فراکتال حاصل از آزمایش پاندول و آهنربا با پیکربندی $1+ASIN(\Omega T): A_A=0.4, A_B=0.2, A_C=0.2$ , $\Omega_A=0.4, \Omega_B=1.0, \Omega_C=0.5$
.....۳۲.....	شکل ۴-۱۲- فراکتال حاصل از آزمایش پاندول و آهنربا با پیکربندی $1+ASIN(\Omega T): A_A=1.0, A_B=1.0, A_C=1.0$ , $\Omega_A=0.4, \Omega_B=1.0, \Omega_C=0.5$
.....۳۴.....	شکل ۴-۱۳- الف- شکل حاصل از بررسی رفتار اتوماتای یادگیر سلولی با ۱۲ سلول پس از ۱۰۰ بار تکرار و با اعمال قانون ۱۱۲ در هر سلول یک اتوماتای یادگیر LRP با ضریب پاداش ۰.۰۱ قرار دارد.
.....۳۴.....	شکل ۴-۱۳- ب- شکل حاصل از بررسی رفتار اتوماتای یادگیر سلولی با ۱۲ سلول پس از ۲۵۰ بار تکرار و با اعمال قانون ۱۱۲ در هر سلول یک اتوماتای یادگیر LRP با ضریب پاداش ۰.۰۱ قرار دارد.
.....۳۵.....	شکل ۴-۱۳- پ- شکل حاصل از بررسی رفتار اتوماتای یادگیر سلولی با ۱۲ سلول پس از ۵۰۰ بار تکرار و با اعمال قانون ۱۱۲ در هر سلول یک اتوماتای یادگیر LRP با ضریب پاداش ۰.۰۱ قرار دارد.









- شکل ۴-۳۱-الف- شکل حاصل از بررسی رفتار اتوماتای یادگیر سلولی با ۱۲ سلول پس از ۱۰۰ بار تکرار و با اعمال قانون ۶۲- در هر سلول یک اتوماتای یادگیر LREP با ضریب پاداش ۰،۰۱ و ضریب جریمه ۰،۰۰۱ قرار دارد. ۵۴.....
- شکل ۴-۳۱-ب- شکل حاصل از بررسی رفتار اتوماتای یادگیر سلولی با ۱۲ سلول پس از ۲۵۰ بار تکرار و با اعمال قانون ۶۲- در هر سلول یک اتوماتای یادگیر LREP با ضریب پاداش ۰،۰۱ و ضریب جریمه ۰،۰۰۱ قرار دارد. ۵۴.....
- شکل ۴-۳۱-پ- شکل حاصل از بررسی رفتار اتوماتای یادگیر سلولی با ۱۲ سلول پس از ۵۰۰ بار تکرار و با اعمال قانون ۶۲- در هر سلول یک اتوماتای یادگیر LREP با ضریب پاداش ۰،۰۱ و ضریب جریمه ۰،۰۰۱ قرار دارد. ۵۴.....
- شکل ۴-۳۱-ت- شکل حاصل از بررسی رفتار اتوماتای یادگیر سلولی با ۱۲ سلول پس از ۱۰۰۰ بار تکرار و با اعمال قانون ۶۲- در هر سلول یک اتوماتای یادگیر LREP با ضریب پاداش ۰،۰۱ و ضریب جریمه ۰،۰۰۱ قرار دارد. ۵۴.....
- شکل ۴-۳۲-الف- تکامل اتوماتای یادگیر سلولی با ۱۲ سلول، شعاع همسایگی ۱ و قانون ۶۲ از یک حالت شروع تصادفی- در هر سلول یک اتوماتای یادگیر LREP با ضریب پاداش ۰،۰۱ و ضریب جریمه ۰،۰۰۱ قرار دارد. ۵۵.....
- شکل ۴-۳۲-ب- تکامل اتوماتای یادگیر سلولی با ۱۲ سلول، شعاع همسایگی ۱ و قانون ۶۲ از یک حالت شروع تصادفی- در هر سلول یک اتوماتای یادگیر LREP با ضریب پاداش ۰،۰۱ و ضریب جریمه ۰،۰۰۱ قرار دارد. ۵۵.....
- شکل ۴-۳۲-پ- تکامل اتوماتای یادگیر سلولی با ۱۲ سلول، شعاع همسایگی ۱ و قانون ۶۲ از یک حالت شروع تصادفی- در هر سلول یک اتوماتای یادگیر LREP با ضریب پاداش ۰،۰۱ و ضریب جریمه ۰،۰۰۱ قرار دارد. ۵۵.....
- شکل ۵-۱- نمایش گرافیکی یک گراف مسطح ۶۳.....
- شکل ۵-۲-الف- یک گراف همبند ۶۴.....
- شکل ۵-۲-ب- یک گراف ناهمبند با دو مؤلفه ۶۴.....
- شکل ۵-۳-الف- یک پوشش رأسی ۶۴.....
- شکل ۵-۳-ب- یک پوشش رأسی مینیمم ۶۴.....
- شکل ۵-۴-الف- یک مجموعه مستقل ۶۵.....
- شکل ۵-۴-ب- یک مجموعه مستقل ماکزیمم ۶۵.....
- شکل ۵-۵- یک گراف ۳-رنگی ۶۶.....
- شکل ۵-۶-الف- یک گراف همبند بدون جهت بدون وزن ۸۱.....
- شکل ۵-۶-ب- اتوماتای یادگیر سلولی متناظر با شکل ۵-۶-الف ۸۱.....
- شکل ۵-۷- شبه کد الگوریتم پیشنهادی اول ۸۳.....
- شکل ۵-۸- شبه کد الگوریتم پیشنهادی سوم ۸۴.....
- شکل ۵-۹- مقایسه الگوریتم پیشنهادی اول با الگوریتم‌های بلام، کارگر و هالپرین بر حسب تعداد رنگ‌های مورد استفاده ۸۷.
- شکل ۵-۱۰- مقایسه الگوریتم پیشنهادی دوم با الگوریتم‌های بلام، کارگر و هالپرین بر حسب تعداد رنگ‌های مورد استفاده ۸۷.

شکل ۵-۱۱- مقایسه الگوریتم پیشنهادی سوم با الگوریتم‌های بلام، کارگر و هالپرین بر حسب تعداد رنگ‌های مورد استفاده ۸۷

شکل ۵-۱۲- مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی با همدیگر بر حسب تعداد رنگ‌های مورد استفاده ۸۷

شکل ۵-۱۳- مقایسه الگوریتم پیشنهادی اول با الگوریتم‌های بلام، کارگر و هالپرین بر اساس زمان اجرا بر حسب ثانیه ۸۸

شکل ۵-۱۴- مقایسه الگوریتم پیشنهادی دوم با الگوریتم‌های بلام، کارگر و هالپرین بر اساس زمان اجرا بر حسب ثانیه ۸۸

شکل ۵-۱۵- مقایسه الگوریتم پیشنهادی سوم با الگوریتم‌های بلام، کارگر و هالپرین بر اساس زمان اجرا بر حسب ثانیه ۸۸

شکل ۵-۱۶- مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی با همدیگر بر اساس زمان اجرا بر حسب ثانیه ۸۸

شکل ۵-۱۷- مقایسه الگوریتم پیشنهادی دوم و سوم از نظر تعداد همسایه‌های هم‌رنگ در طول اجرا در مورد گرافی با ۵۰ گره ۸۹

شکل ۵-۱۸- مقایسه الگوریتم پیشنهادی دوم و سوم از نظر تعداد همسایه‌های هم‌رنگ در طول اجرا در مورد گرافی با ۱۰۰ گره ۸۹

شکل ۵-۱۹- مقایسه الگوریتم پیشنهادی دوم و سوم از نظر تعداد همسایه‌های هم‌رنگ در طول اجرا در مورد گرافی با ۱۵۰ گره ۹۰

شکل ۵-۲۰- مقایسه الگوریتم پیشنهادی دوم و سوم از نظر تعداد همسایه‌های هم‌رنگ در طول اجرا در مورد گرافی با ۲۰۰ گره ۹۰

شکل ۵-۲۱- مقایسه الگوریتم پیشنهادی دوم و سوم از نظر تعداد همسایه‌های هم‌رنگ در طول اجرا در مورد گرافی با ۲۵۰ گره ۹۰

شکل ۵-۲۲- مقایسه ضرایب پاداش مختلف برای الگوریتم پیشنهادی اول از نظر تعداد رنگ‌های استفاده شده ۹۳

شکل ۵-۲۳- مقایسه ضرایب پاداش مختلف برای الگوریتم پیشنهادی دوم از نظر تعداد رنگ‌های استفاده شده ۹۳

شکل ۵-۲۴- مقایسه ضرایب پاداش مختلف برای الگوریتم پیشنهادی سوم از نظر تعداد رنگ‌های استفاده شده ۹۴

شکل ۵-۲۵- مقایسه درصد‌های مختلف کاهش اعمال موجود بر ای الگوریتم دوم از نظر تعداد رنگ‌های استفاده شده ۹۶

شکل ۵-۲۶- مقایسه درصد‌های مختلف کاهش اعمال موجود بر ای الگوریتم سوم از نظر تعداد رنگ‌های استفاده شده ۹۶

شکل ۵-۲۷- تعداد رنگ‌های استفاده شده توسط الگوریتم ۱ برای گراف‌هایی با ۱۰، ۲۰، ۵۰ رأس و درصد‌های متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ۱۰۱

شکل ۵-۲۸- تعداد رنگ‌های استفاده شده به‌وسیله الگوریتم ۱ برای گراف‌هایی با ۶۰، ۷۰، ۹۰ رأس و با استفاده از درصد‌های متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ۱۰۱

شکل ۵-۲۹- تعداد رنگ‌های استفاده شده به‌وسیله الگوریتم ۱ برای گراف‌هایی با ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ رأس و درصد‌های متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ۱۰۲

شکل ۵-۳۰- تعداد رنگ‌های استفاده شده به‌وسیله الگوریتم ۱ برای گراف‌هایی با رأس‌های مختلف و درصدهای ۳۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۲

شکل ۵-۳۱- تعداد رنگ‌های استفاده شده توسط الگوریتم ۲ برای گراف‌هایی با ۱۰، ۲۰، ۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۲

شکل ۵-۳۲- تعداد رنگ‌های استفاده شده به‌وسیله الگوریتم ۲ برای گراف‌هایی با ۶۰، ۷۰، ۹۰ رأس و با استفاده از درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۲

شکل ۵-۳۳- تعداد رنگ‌های استفاده شده به‌وسیله الگوریتم ۲ برای گراف‌هایی با ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۳

شکل ۵-۳۴- تعداد رنگ‌های استفاده شده به‌وسیله الگوریتم ۲ برای گراف‌هایی با رأس‌های مختلف و درصدهای ۲۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۳

شکل ۵-۳۵- تعداد رنگ‌های استفاده شده توسط الگوریتم ۳ برای گراف‌هایی با ۱۰، ۲۰، ۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۳

شکل ۵-۳۶- تعداد رنگ‌های استفاده شده به‌وسیله الگوریتم ۳ برای گراف‌هایی با ۶۰، ۷۰، ۹۰ رأس و با استفاده از درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۳

شکل ۵-۳۷- تعداد رنگ‌های استفاده شده به‌وسیله الگوریتم ۳ برای گراف‌هایی با ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۴

شکل ۵-۳۸- تعداد رنگ‌های استفاده شده به‌وسیله الگوریتم ۳ برای گراف‌هایی با رأس‌های مختلف و درصدهای ۳۰، ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۴

شکل ۵-۳۹- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۱ برای گراف‌هایی با ۱۰، ۲۰، ۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۴

شکل ۵-۴۰- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۱ برای گراف‌هایی با ۶۰، ۷۰، ۹۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۴

شکل ۵-۴۱- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۱ برای گراف‌هایی با ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۵

شکل ۵-۴۲- زمان اجرا بر حسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۱ برای گراف‌هایی با رأس‌های مختلف و درصدهای ۳۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۵

شکل ۵-۴۳- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۲ برای گراف‌هایی با ۱۰، ۲۰، ۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۵

شکل ۵-۴۴- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۲ برای گراف‌هایی با ۶۰، ۷۰، ۹۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱:۵



شکل ۵-۴۵- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۲ برای گراف‌هایی با ۱۰۰، ۱۵۰، ...، ۲۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان	۱۰۶.....
شکل ۵-۴۶- زمان اجرا بر حسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۲ برای گراف‌هایی با رأس‌های مختلف و درصدهای ۰، ۲۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد بزرگتر بودن از همسایگان	۱۰۶.....
شکل ۵-۴۷- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۳ برای گراف‌هایی با ۱۰، ۲۰، ...، ۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان	۱۰۶.....
شکل ۵-۴۸- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۳ برای گراف‌هایی با ۶۰، ۷۰، ...، ۹۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان	۱۰۶.....
شکل ۵-۴۹- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۳ برای گراف‌هایی با ۱۰۰، ۱۵۰، ...، ۲۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان	۱۰۷.....
شکل ۵-۵۰- زمان اجرا بر حسب ثانیه مربوط به الگوریتم ۳ برای گراف‌هایی با رأس‌های مختلف و درصدهای ۲۰، ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد بزرگتر بودن از همسایگان	۱۰۷.....
شکل ۶-۱- شبه کد الگوریتم ژنتیک	۱۱۷.....
شکل ۶-۲- کد کردن یک کروموزوم برای مسأله بزرگترین برش	۱۱۸.....
شکل ۶-۳- شبه کد عملگر انتخاب	۱۱۹.....
شکل ۶-۴- تولید مجدد تک نقطه	۱۱۹.....
شکل ۶-۵- مثالی از تولید مجدد ثابت	۱۲۰.....
شکل ۶-۶- شبه کد الگوریتم ژنتیک برای یافتن بزرگترین برش	۱۲۱.....
شکل ۶-۷- الف- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی اول بخش اول	۱۲۳.....
شکل ۶-۷- ب- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی اول بخش اول	۱۲۳.....
شکل ۶-۷- پ- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی اول بخش اول	۱۲۴.....
شکل ۶-۸- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی اول بخش دوم	۱۲۴.....
شکل ۶-۹- شبه کد الگوریتم پیشنهادی اول	۱۲۵.....
شکل ۶-۱۰- الف- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی دوم	۱۲۷.....
شکل ۶-۱۰- ب- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی دوم	۱۲۷.....
شکل ۶-۱۰- پ- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی دوم	۱۲۸.....
شکل ۶-۱۰- ت- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی دوم	۱۲۸.....

.....۱۲۹.....	شکل ۶-۱۰-ث- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی دوم
.....۱۲۹.....	شکل ۶-۱۰-ج- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی دوم
.....۱۳۰.....	شکل ۶-۱۱- شبه کد الگوریتم پیشنهادی دوم
.....۱۳۳.....	شکل ۶-۱۲-الف- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی سوم
.....۱۳۴.....	شکل ۶-۱۲-ب- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی سوم
.....۱۳۴.....	شکل ۶-۱۲-پ- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی سوم
.....۱۳۵.....	.....
.....۱۳۵.....	شکل ۶-۱۲-ت- یک ردیابی از الگوریتم پیشنهادی سوم
.....۱۳۶.....	شکل ۶-۱۳- شبه کد الگوریتم پیشنهادی سوم
.....۱۳۹.....	شکل ۶-۱۴- مقایسه الگوریتم پیشنهادی اول با الگوریتم‌های سه‌نی، ژئومنس، ترکیبی و ژنتیک بر اساس اندازه برش به دست آمده
.....۱۳۹.....	شکل ۶-۱۵- مقایسه الگوریتم پیشنهادی دوم با الگوریتم‌های سه‌نی، ژئومنس، ترکیبی و ژنتیک بر اساس اندازه برش به دست آمده
.....۱۳۹.....	شکل ۶-۱۶- مقایسه الگوریتم پیشنهادی سوم با الگوریتم‌های سه‌نی، ژئومنس، ترکیبی و ژنتیک بر اساس اندازه برش به دست آمده
.....۱۳۹.....	شکل ۶-۱۷- مقایسه سه الگوریتم پیشنهادی با همدیگر بر اساس اندازه برش به دست آمده
.....۱۴۰.....	شکل ۶-۱۸- مقایسه الگوریتم پیشنهادی اول با الگوریتم‌های سه‌نی، ژئومنس، ترکیبی و ژنتیک بر اساس زمان اجرا بر حسب ثانیه
.....۱۴۰.....	شکل ۶-۱۹- مقایسه الگوریتم پیشنهادی دوم با الگوریتم‌های سه‌نی، ژئومنس، ترکیبی و ژنتیک بر اساس زمان اجرا بر حسب ثانیه
.....۱۴۰.....	شکل ۶-۲۰- مقایسه الگوریتم پیشنهادی سوم با الگوریتم‌های سه‌نی، ژئومنس، ترکیبی و ژنتیک بر اساس زمان اجرا بر حسب ثانیه
.....۱۴۰.....	شکل ۶-۲۱- مقایسه سه الگوریتم پیشنهادی با همدیگر بر اساس زمان اجرا بر حسب ثانیه
.....۱۴۱.....	شکل ۶-۲۲- مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی با همدیگر و نیز با الگوریتم‌های سه‌نی، ژئومنس و ژنتیک بر اساس نسبت زمان اجرا به اندازه برش به دست آمده
.....۱۴۱.....	شکل ۶-۲۳- مقایسه الگوریتم پیشنهادی سوم با الگوریتم ترکیبی بر اساس نسبت زمان اجرا به اندازه برش به دست آمده
.....۱۴۳.....	شکل ۶-۲۴- مقایسه ضرایب پاداش مختلف برای الگوریتم پیشنهادی اول از نظر اندازه برش به دست آمده
.....۱۴۳.....	شکل ۶-۲۵- مقایسه ضرایب پاداش مختلف برای الگوریتم پیشنهادی دوم از نظر اندازه برش به دست آمده

شکل ۶-۲۶- اندازه برش به دست آمده توسط الگوریتم اول برای گراف‌هایی با ۱۰، ۲۰، ۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۷

شکل ۶-۲۷- اندازه برش به دست آمده به وسیله الگوریتم اول برای گراف‌هایی با ۶۰، ۷۰، ۹۰ رأس و با استفاده از درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۷

شکل ۶-۲۸- اندازه برش به دست آمده به وسیله الگوریتم اول برای گراف‌هایی با ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ رأس و با استفاده از درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۷

شکل ۶-۲۹- اندازه برش به دست آمده به وسیله الگوریتم اول برای گراف‌هایی با رأس‌های مختلف و درصدهای ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۷

شکل ۶-۳۰- اندازه برش به دست آمده توسط الگوریتم دوم برای گراف‌هایی با ۱۰، ۲۰، ۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۸

شکل ۶-۳۱- اندازه برش به دست آمده به وسیله الگوریتم دوم برای گراف‌هایی با ۶۰، ۷۰، ۹۰ رأس و با استفاده از درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۸

شکل ۶-۳۲- اندازه برش به دست آمده به وسیله الگوریتم دوم برای گراف‌هایی با ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ رأس و با استفاده از درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۸

شکل ۶-۳۳- اندازه برش به دست آمده به وسیله الگوریتم دوم برای گراف‌هایی با رأس‌های مختلف و درصدهای ۰، ۳۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۸

شکل ۶-۳۴- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم اول برای گراف‌هایی با ۱۰، ۲۰، ۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۹

شکل ۶-۳۵- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم اول برای گراف‌هایی با ۶۰، ۷۰، ۹۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۹

شکل ۶-۳۶- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم اول برای گراف‌هایی با ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۹

شکل ۶-۳۷- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم اول برای گراف‌هایی با رأس‌های مختلف و درصدهای ۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۴۹

شکل ۶-۳۸- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم دوم برای گراف‌هایی با ۱۰، ۲۰، ۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۵۰

شکل ۶-۳۹- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم دوم برای گراف‌هایی با ۶۰، ۷۰، ۹۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۵۰

شکل ۶-۴۰- زمان اجرا برحسب ثانیه مربوط به الگوریتم دوم برای گراف‌هایی با ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ رأس و درصدهای متفاوت بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۵۰

شکل ۶-۴۱- زمان اجرا بر حسب ثانیه مربوط به الگوریتم دوم برای گراف‌هایی با رأس‌های مختلف و درصدهای ۰، ۳۰، ۵۰، ۸۰

و ۱۰۰ درصد بزرگتر بودن از همسایگان ..... ۱۵۰.....

شکل ضمیمه-۱- تعریف کلاس ACTION

..... ۱۶۲.....

شکل ۲- تعریف کلاس ACTIONS

..... ۱۶۳.....

شکل ضمیمه-۳- تعریف کلاس LA

..... ۱۶۴.....

شکل ضمیمه-۴- تعریف کلاس CELL

..... ۱۶۵.....

شکل ضمیمه-۵- تعریف کلاس CLA

..... ۱۶۸.....

شکل ضمیمه-۶- نمودار کلاس برای اتوماتای یادگیر سلولی شبیه‌سازی شده

..... ۱۶۹.....

شکل ضمیمه-۷- منوی اصلی شبیه‌سازی اتوماتای یادگیر سلولی

..... ۱۷۰.....

شکل ضمیمه-۸- کد نوشته شده برای شبیه‌سازی اتوماتای یادگیر سلولی

..... ۱۷۱.....