

# چینش‌های جدید برای اتوماتای سلولی ژنتیکی

حسین رجبعلی‌پور **محمد رضا میبدی**

آزمایشگاه سیستم‌های نرم افزاری

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ایران

(rajabali, meybodi)@ce.aut.ac.ir

و سپس با اعمال عملگرهایی که از طبیعت الهام گرفته شده‌اند بر روی آنها، مجموعه‌ای از جوابهای جدید ساخته می‌شود. این فرایند منجر به تولید جمعیتی می‌شود که افراد آن به هدف نزدیکتر هستند<sup>[2]</sup>. غالباً برای حل مسائل بهینه‌سازی، الگوریتم‌های ژنتیکی بر شبکه عصبی<sup>۲</sup>، جستجوی‌های تابو<sup>۳</sup> و یا سردشدن شبیه‌سازی‌شده<sup>۴</sup> ترجیح داده می‌شوند. یک عیب نسبتاً عمده در شبکه‌های عصبی ارجح بودن بهینه محلی بر بهینه عمومی است و همینطور جواب نهایی شبکه کاملاً وابسته به مقادیر آغازین شبکه می‌باشد. جستجوی تابو و سردشدن شبیه‌سازی‌شده، الگوریتم‌های اتفاقی تکاملی می‌باشد، که ممکن است زمان زیادی را برای پیدا کردن جواب بهینه صرف کنند. از طرف دیگر GA، در پیدا کردن یک جواب قابل قبول یا تقریباً بهینه یعنی جوابی که مقدار خطای موجود در آن قابل چشم‌پوشی باشد، برای یک مسئله بهینه‌سازی، خیلی سریعتر از آنها عمل می‌کنند. گرچه GA ضمانتی در پیدا کردن راه حل بهینه عمومی، در یک زمان مشخص ندارد ولی می‌تواند با ادامه دادن تکرارهای الگوریتم به جواب نزدیکتری به جواب بهینه برسد. با وجود مزایای زیادی که در الگوریتم‌های ژنتیکی در مقایسه با روش‌های سنتی وجود دارد، ولی مشکلاتی را نظری همگرا نشدن به جواب و گیر افتادن در دام مینیمم‌های محلی را دارا می‌باشد. در [۵] با ترکیب الگوریتم‌های ژنتیکی با یک مدل محاسباتی به نام اتوماتای سلولی<sup>۵</sup> (دوبعدی) اتوماتای سلولی ژنتیکی معرفی گردید و برای حل مسایل متنوعی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بدست آمده در مقایسه با نتایج حاصل از الگوریتم‌های ژنتیکی کلاسیک، حاکی از برتری‌های این مدل اتوماتای سلولی ژنتیکی می‌باشد.

عمل چینش سلولها، در اتوماتای سلولی ژنتیکی که در [۵] معرفی گردیده است عملی است که نحوه قرار گیری سلولها در اتوماتای سلولی ژنتیکی را تغییر می‌دهد. این عمل که با الگوریتم‌های مختلف و با توجه به مقدار شایستگی سلولها انجام می‌شود سبب از میان رفتن همسایگی‌های قدیمی یک سلول و ایجاد همسایگی‌های جدید برای آن سلول می‌گردد. مکانیزم چینش باعث افزایش کارایی اتوماتای سلولی

چکیده: مدل اتوماتای سلولی ژنتیکی ترکیبی است از الگوریتم‌های ژنتیکی و مدل اتوماتای سلولی. در مدل اتوماتای سلولی ژنتیکی میان رشته‌ها (کروموزوم) در جمعیت ژنتیکی و سلولها در اتوماتای سلولی تناظری برقرار می‌شود. نتیجه این خواهد بود که هر سلول دارای تعدادی ژن در قالب رشته‌های بیتی است که نمایش دهنده یک جواب ممکن برای مساله مطلعه می‌باشد. ژن‌ها معرف حالت سلول در اتوماتای سلولی هستند. حالت بعدی اتوماتای سلولی (نسل بعدی در این جمعیت) با کمک قوانین اتوماتا که در واقع قوانین زاد و ولد می‌باشند تولید می‌گردد. عمل چینش، در اتوماتای سلولی ژنتیکی عملی است که نحوه قرار گیری سلولها در فضای جمعیت را تغییر می‌دهد. عمل چینش سبب از میان رفتن همسایگان قدیمی یک سلول و ایجاد همسایگان جدید برای آن سلول می‌گردد و از این طریق، رشته‌ای که در صدد انتخاب یک رشته و ترکیب با آن برای ایجاد فرزندان جدید است، دارای محدودیت دسترسی و انتخاب می‌باشد و فقط از یکسری رشته محدود در همسایگان خود حق انتخاب دارد. این محدودیت، در حل بعضی از مسائل نه تنها باعث کاهش کارایی الگوریتم نمی‌شود، بلکه کارایی آن را بهبود می‌بخشد. چند روش چینش که در [۵] مطرح و کارایی آنها مورد آزمایش قرار گرفته عبارتند از: چینش سطروی، چینش قطری، چینش حداقل فاصله، چینش تصادفی و چینش مرکزی. در این مقاله چینش‌های جدیدی معرفی شده است و بر روی مسایل متنوعی از جمله مساله کوله پشتی و مساله رنگ آمیزی گراف آزمایش و مورد ارزیابی قرار گرفته است و با چینشهای گزارش شده در [۵] مقایسه گردیده است.

**کلمات کلیدی:** الگوریتم‌های ژنتیکی، اتوماتای سلولی، اتوماتای سلولی ژنتیکی، چینش

## - ۱- مقدمه

الگوریتم‌های ژنتیکی (GA<sup>۱</sup>) روش‌های جستجوی تصادفی هستند که با الهام از قانون تکامل در طبیعت ایجاد شده‌اند. این الگوریتم‌ها بر روی جمعیتی از راه حل‌های بالقوه، براساس اصل بقا برای تولید جوابهای بهتر و بهتر اعمال می‌شوند. در هر نسل با انتخاب افرادی بر اساس مطلوبیت آنها

<sup>2</sup> Neural Networks

<sup>3</sup> Tabu Search

<sup>4</sup> Simulated Annealing

<sup>5</sup> Cellular Automata

<sup>۱</sup> Genetic Algorithm

در آغاز الگوریتم، تعدادی از افراد<sup>۶</sup> - جمعیت اولیه<sup>۷</sup> - به صورت تصادفی ساخته شده و تابع ارزش برای تک توک آنها ارزیابی می‌شود. اگر شرط رسیدن به جواب برقرار نباشد (به جواب بهینه نرسیده باشیم)، نسل بعدی با انتخاب والدین براساس میزان تنسیب‌شان تولید می‌شوند و فرزندان با احتمالی ثابت دچار جهش می‌شوند. سپس میزان تناسب فرزندان جدید محاسبه شده و جمعیت جدید، از جایگزینی فرزندان با والدین ایجاد می‌شود و این فرآیند تا برقرار شدن شرط خاتمه تکرار می‌شود. الگوریتمهای ژنتیکی از عملگرهای مانند انتخاب<sup>۸</sup>، ترکیب، جهش<sup>۹</sup> و جایگذاری<sup>۱۰</sup> استفاده می‌کند که هر یک دارای انواع مختلفی بوده و با روش‌های متفاوتی قابل پیاده‌سازی می‌باشند<sup>[6][7][8][9]</sup>.

مدل اتوماتای سلولی ژنتیکی<sup>۱۱</sup> (GCA) ترکیبی است از الگوریتمهای ژنتیکیو مدل اتوماتای سلولی. ایده اصلی در این روش بدین صورت است که میان افراد در جمعیت ژنتیکی و سلولها در اتوماتای سلولی تناظری برقرار می‌شود. نتیجه این خواهد بود که هر سلول دارای تعدادی زن در قلب رشته‌های بیتی است که نمایش دهنده یک جواب ممکن برای مساله مورد مطالعه می‌باشد، از طرف دیگر زن‌ها معرف حالت سلول در اتوماتای سلولی هستند. حالت بعدی اتوماتای سلولی (نسل بعدی در این جمعیت) با کمک قوانین اتوماتا که در واقع قوانین زاد و ولد می‌باشند تولید می‌گردد. به این مدل هم می‌توان به دید یک اتوماتای سلولی نگریست و هم آن را یک الگوریتم ژنتیکی در نظر گرفت. جدول ۱، تناظر میان ماهیت ژنتیکی و سلولی اجزاء این مدل را بیان می‌کند. تفاوت‌های عمده‌ای که مدل اتوماتای سلولی ژنتیکی با اتوماتای سلولی معمولی دارد، یکی مجموعه حالات سلول است که بسیار بزرگتر از مجموعه حالات در اتوماتاهای سلولی متداول می‌باشد و دیگری قوانین حاکم بر سلولهای است که به جای آنکه یک ماشین با حالات متناظر باشد، تعدادی عملگر ژنتیکی می‌باشد که براساس تعریف همسایگی، حالت بعدی سلول را تولید می‌نماید. جدول ۱ تناظر میان اجزای الگوریتم ژنتیکی و اتوماتای سلولی<sup>[5]</sup> را نشان میدهد.

جدول ۱- تناظر میان اجزای GA و اتوماتای سلولی

الگوریتم ژنتیکی	اتوماتای سلولی
فرد جمعیت	سلول
شبکه سلولها	جمعیت یک نسل
زنها (کروموزوم)	حالت سلول
عملگرهای ژنتیکی	قوانین
-	همسایگی

ژنتیکی می‌گردد. در [۵] اتوماتای سلولی ژنتیکی تحت چینشنهای متفاوت برای حل مسایل متفاوت مانند کوله‌پشتی، فروشنده دوره‌گرد و مینیمم‌سازی تابع مورد استفاده قرار گرفته است. چینش‌های معرفی شده در [۵] عبارتند از: چینش مرکزی، حداقل فاصله، سط्रی و قطری ارائه شده لست. در چینش حداقل فاصله، سعی شده سلوهای مجاور حتی المقدور حداقل اختلاف را با یکدیگر داشته باشند. در چینش سطري، سطرهای اتوماتای سلولی، به ترتیب مقدار شایستگی سلوهای مرتباً می‌شوند، مشخصه‌ای که این روش به دنبال ایجاد آن در جمعیت است نزدیکتر کردن افرادی لست که شایستگی مشابهی با یکدیگر دارند. در این حالت همسایه‌های چپ و راست، نزدیک ترین سلوهای به فرد از لحاظ شایستگی هستند و همسایه‌های بالا، پایین و قطری دارای تفاوت‌های بیشتری خواهند بود. در چینش قطری، رشته‌های جمعیت مرتباً شده‌اند و به صورت پشت‌سرهم در قطرهای اتوماتای سلولی چیده می‌شوند. همانند حالت قبل در اینجا نیز هدف در مجاورت قرار گرفتن سلوهای مشابه می‌باشد. در این مقاله چینش‌های جدیدی معرفی شده است و بر روی مسایل متنوعی آزمایش و مورد ارزیابی قرار گرفته است و با چینش‌های معرفی شده در [۵] مقایسه گردیده است.

ادامه مقاله بصورت زیر سازماندهی شده است. در قسمت ۲، الگوریتم های ژنتیکی مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در بخش ۳ مدل محاسباتی اتوماتای سلولی و انواع چینش‌ها شرح داده خواهد شد. در بخش ۴، مسایل مورد بررسی شرح داده می‌شود و بخش ۵ به ارایه نتایج از مایشها بر روی مسائل رنگ‌آمیزی گراف<sup>۱</sup>، چند کوله‌پشتی<sup>۲</sup>، تخصیص کنال<sup>۳</sup> در شبکه‌های موبایل سلولی<sup>۴</sup>، و مساله فروشنده دوره گرد<sup>۵</sup> پرداخته می‌شود.

## ۲- الگوریتمهای ژنتیکی

الگوریتمهای ژنتیکی که برمبنای ایده تکامل در طبیعت عمل می‌نماید، برروی جمعیتی از راهحلهای بالقوه به جستجوی راه حل نهایی می‌پردازد. در هر نسل، بهترین‌های آن نسل انتخاب می‌شوند، و پس از زاد و ولد، مجموعه جدیدی از فرزندان را تولید می‌کنند. در این فرایند افراد مناسبتر با احتمال بیشتری در نسلهای بعد باقی خواهند ماند. در الگوریتمهای ژنتیکی، بسیاری از مکانیزمهایی که در زیست‌شناسی وجود دارند، نظیر انتخاب بهتر، ترکیب زنها، جهش زنها، مهاجرت افراد جمعیت، محلی بودن گونه‌ها و غیره شیوه‌سازی می‌شوند. در این الگوریتم، جستجو بر روی مجموعه‌ای از راهحلهای، به صورت موازی انجام می‌شود، در حالی که در روش‌های سنتی جستجو بصورت ترتیبی می‌باشد.

<sup>6</sup> Individuals

<sup>7</sup> Initial Population

<sup>8</sup> Selection

<sup>9</sup> Mutation

<sup>10</sup> Reinsertion

<sup>11</sup> Genetic Cellular Automata

<sup>1</sup> Graph Coloring

<sup>2</sup> 1/0 Multiple Knapsack

<sup>3</sup> Channel Assignment

<sup>4</sup> Cellular Mobile Network

<sup>5</sup> Traveling salesperson

جمعیت ایجاد می‌شود (بدین معنی که خصوصیات مشترک در همسایه‌ها زیاد می‌شود) که حتی می‌تواند منجر به تشکیل گونه‌های بزرگی در همسایگیهای محلی شود. البته این امر تا حدی مطلوب است زیرا این خاصیت سبب می‌شود به جای اینکه جستجو در تمام نقاط بصورت جدگانه دنبال شود (GA معمولی)، جستجوهای هدفمندی در همسایگیها انجام شود و در هر همسایگی تعدادی سلول به سمت مشترکی متمایل باشند (مزیت عمده مدل GCA). ولی این پدیده در فواصل طولانی ممکن است مشکل ساز شود، زیرا در هر همسایگی سلولها دچار همگرایی زودرس می‌شوند و جستجو در کل جمعیت به چند بازه کوچک در فضای مسله محدود می‌شود. بازچینش‌های مجدد، در فواصل معین زمانی سبب کنترل بعضی خصوصیات نامناسب و جلوگیری از همگرایی زودرس همسایگی‌ها خواهد شد. علاوه بر این فرستی لستنایی فراهم می‌آید که با چینش مناسب سلولها و تشکیل همسایگی‌های جدید، افرادی در مجاورت یکدیگر قرار گیرند که برای زاد و ولد ممکن است مناسبت باشند. چند الگوریتم بازچینی که در [5] مطرح و کاریابی آنها مورد آزمایش قرار گرفته عبارتند از:

- چینش سط्रی: در این حالت سطرهای توری به ترتیب مقدار شایستگی سلولها مرتب می‌شوند، مشخصه‌ای که این روش به دنبال ایجاد آن در جمعیت لست نزدیکتر کردن افرادی است که شایستگی مشابهی با یکدیگر دارند. (شکل ۲)

چینش قطري : در این حالت افراد جمعیت مرتب شده‌اند و به صورت پشتسرهم در قطرهای توری چیده می‌شوند. همانند حالت قبل در اینجا نیز هدف در مجاورت قرار گرفتن سلولهای مشابه می‌باشد (شکل ۲-ج).

چینش مرکزی(چینش حلزونی): در این حالت بهترین فرد در وسط قرار می‌گیرد، و افراد به ترتیب نزولی شایستگی، به صورت مارپیچی، گرد آن چیده می‌شوند.

چینش حداکثر فاصله: در این روش برخلاف چهار روش قبل، سعی شده سلولهای مجاور حتی المقدور حداکثر اختلاف را با یکدیگر داشته باشند.

چینش تصادفي <sup>3</sup>: در این حالت موقیت جدید سلول‌ها به صورت تصادفي تعیین می‌شود.

برای اطلاعات بیشتر در باره چینش‌های فوق می‌توان به [5] مراجعه کرد. در ادامه این قسمت چند چینش جدید که در بخش‌های بعدی مقاله به ارزیابی آنها می‌پردازیم ارایه می‌گردد.

چینش مرکزنشینی: در این چینش، تمام رشته‌ها بر اساس تابع ارزش خود مرتب شده (از بزرگ به کوچک)، سپس رشته‌ها بترتیب، از ابتدای لیست مرتب شده (بزرگتر)، به داخل مرکزی‌ترین سلول به سمت سلول‌های اطراف در اتوماتای سلولی و به صورت حلزونی، چیده

می‌توان چنین تعبیر کرد که رشته‌های جمعیت و عملگرهاي ژنتیکی در داخل سلول‌ها قرار می‌گیرد و تمام سلول‌ها به طور همزمان شروع به عملیات تعریف شده در خود می‌کنند و نتیجه عملیات را جایگزین مقادیر قدیم می‌کنند. مقادیری که در سلول‌ها قرار گرفته شده‌اند، تنها از طریق همسایگان آنها قبل خواندن می‌باشد و عملگر انتخاب در هر سلول تنها می‌تواند از رشته‌های موجود در سلول‌های همسایه رشته مناسب را انتخاب نماید. این همسایگی دارای مدل‌های مختلفی می‌باشد [5] که در شکل ۲، مدل مور<sup>1</sup> با شعاع همسایگی ۱، نشان داده شده است.

در اتوماتای سلولی ژنتیکی مطرح شده در این مقاله، هر سلول دارای ۳ واحد حافظه می‌باشد. یکی از حافظه‌ها به عنوان حافظه اصلی است و مقداری که در آن قرار خواهد گرفت بعنوان وضعیت سلول خواهد بود و این مقدار در دسترس همسایگان سلول (برای خواندن) قرار می‌گیرند. دو حافظه دیگر سلول به عنوان حافظه وقت، برای انجام همزمان عملیات ژنتیکی در تمام سلول‌ها در نظر گرفته شده است. برای انجام همزمان عملیات ژنتیکی در هر سلول واحدهایی تعییه می‌شود که وظیفه عملگرهای ژنتیکی را بعده خواهد داشت. عملگرهای ژنتیکی در این ساختار به صورت محلی کار خواهند کرد.. واحد انتخاب‌گر جانشین، بمنظور انتخاب جانشین از میان فرزندان ایجاد شده برای والد که در حافظه اصلی قرار دارد، درنظر گرفته شده است. [4].

تمام سلول‌ها در یک زمان با صدا کردن عملگر انتخاب، تعدادی از رشته‌های موجود در سلول‌های همسایه را انتخاب کرده و آن را با رشته موجود در خود، به عملگر ترکیب قرار گرفته در واحد عملیات، تحويل می‌دهد. عملگر ترکیب هم بطور همزمان در تمام سلول‌ها بروی رشته‌های انتخاب شده و موجود در سلول، انجام خواهد گرفت. در نتیجه این عمل یک یا دو فرزند ایجاد خواهد شد. این فرزندان به عملگر جهش (واقع در واحد عملیات) موجود در سلول تحويل داده می‌شوند. عملگر جهش هم، بمانند روش‌های کلاسیک که در بخش ۲ به آن اشاره شد، با اعمال یک سری تغییرات اتفاقی بروی فرزندان تولید شده، همه آنها را به عملگر انتخاب‌گر تحويل می‌دهد. عملگر انتخاب‌گر، بهترین فرزند ایجاد شده را جانشین رشته موجود در حافظه اصلی خواهد کرد. لازم بذکر است که تمام عملیات فوق در سلول‌ها به صورت همزمان انجام می‌شود [19].

چینش سلولها<sup>2</sup> : عمل چینش سلولها، در اتوماتای سلولی ژنتیکی عملی لست که نحوه قرار گیری سلولها در توری را تغییر می‌دهد. این عمل که با الگوریتم‌های مختلف و با توجه به مقدار شایستگی سلولها انجام می‌شود سبب از میان رفتن همسایگی‌های قدیمی یک سلول و ایجاد همسایگی‌های جدید برای آن سلول می‌گردد. یکی از خصوصیات GCA این است که معمولاً پس از چند نسل خصوصیات محلی در

<sup>3</sup> Random Rearrange

<sup>1</sup> Moore

<sup>2</sup> Rearrange

در ترکیب، نسبت مستقیم دارد. شرط ظرفیت کوله‌پشتی نیز بدین صورت لست که اگر مجموع حجمها از ظرفیت کوله‌پشتی بیشتر شد، ترکیب غیرمعتبر خواهد بود. از آنجایی که در عملگرهای ژنتیکی احتمال ایجاد هر ترکیبی از بیتها شامل حالت نامعتبر- وجود دارد، ممکن است نتیجه نامعتبر باشد. با راهلهای غیر معتبر می‌توان به دو روش برخورد کرد: ترکیبها نامعتبر حذف شوند و یا ترکیبها نامعتبر از جمعیت حذف نشوند، ولی به آنها امتیاز منفی داده شود و جریمه<sup>۲</sup> شوند.

ب) مساله رنگ‌آمیزی گراف: در این مسئله با داشتن گراف و تعداد مشخصی رنگ قصد رنگ‌آمیزی گراف را بصورتی داریم که هیچ دو گره مجاور در این گراف دارای رنگ یکسانی نباشند[17]. هر کروموزوم برای این مسئله می‌تواند بصورت یک بردار دودویی باشد که اندیس درایه آن مشخص کننده شماره گره و اعداد قرار گرفته در آن مشخص کننده شماره رنگ آن گره باشد. می‌توان ارزش هر رشته را با توجه به جریمه‌ای که با خاطر عدم رعایت اصل فوق در رنگ‌آمیزی مرتكب شده است، محاسبه نمود. در واقع رشته‌ای که دارای مقدار جریمه صفر باشد جواب مسئله خواهد بود. اگر هدف علاوه بر تخصیص صحیح رنگها، استفاده از حداقل تعداد رنگها نیز باشد به استفاده زیاد از رنگها نیز جریمه‌ای تعلق می‌گیرد. در این مقاله مدل اول در نظر گرفته شده است.

## ۵- نتایج شبیه‌سازی

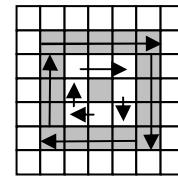
در این بخش کارایی چینش‌های پیشنهادی در حل مسائل رنگ‌آمیزی گراف و چند کوله‌پشتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نمودار ۱، تاثیر چینش مرکزنشینی برای مسئله ۱/۰ چند کوله‌پشتی را نشان می‌دهد. استفاده متعدد از این چینش در الگوریتم احتمال یافتن جواب‌های مناسب را افزایش می‌هد. در آزمایش بعدی چینش حاشیه‌نشینی، مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در نمودار ۲ نشان داده شده است این نوع چینش، بهبودی در الگوریتم نسبت به الگوریتم با چینش مرکزنشینی، صورت نداده است. با شمارش تعداد دفعاتی که بهترین جواب جریمه شده است (به تعداد ۱۳ بار)، مقایسه این مقدار برای چینش مرکزنشینی (به تعداد ۸ بار)، می‌توان به این نتیجه رسید که این نوع چینش نه تنها بهبودی در الگوریتم ایجاد نمی‌کند بلکه آن را بدتر نموده است. در آزمایش بعدی چینش هم‌جواری در حل مساله کوله‌پشتی مورد استفاده قرار گرفت که نتیجه در نمودار ۳ نمایش داده است. آین آزمایش نشان داد که این چینش هر چند اتماتای ژنتیکی سلولی را بهبود میدهد، اما از لحاظ تعداد دفعاتی که جوابهای جریمه‌دار را تولید می‌کند (به تعداد ۸ بار)، هیچ برتری نسبت چینش مرکزنشینی، ندارد.

برای حل مسئله رنگ‌آمیزی گراف با ۲۵ گره و ۳ رنگ، الگوریتم ژنتیکی معمولی، ژنتیکی سلولی بدون چینش و اتماتای ژنتیکی سلولی با چینش

می‌شوند. این نوع چینش، حالتی را بوجود خواهد آورد که هر چه از مرکز به سمت اطراف اتماتای سلولی حرکت کنید، ارزش رشته‌ها کاهش می‌یابند.

چینش حاشیه‌نشینی: در این نوع چینش برخلاف نوع چینشی که در قسمت قبل به آن اشاره شد، ابتدا رشته‌ها به صورت نزولی مرتب می‌شوند. انتخاب و چینش مانند روش قبل می‌باشد.

چینش هم‌جواری: در ابتدا رشته‌ها به صورت صعودی بر اساس ارزششان مرتب شده، و سپس عمل چینش به این صورت انجام می‌گیرد که از مرکز به اطراف اتماتای سلولی، یک‌در میان بزرگ‌ترها و کوچک‌ترها به صورت مربعی چیده می‌شوند. مطابق شکل ۱، سلول‌های با رنگ تیره، به ترتیب از مرکز اتماتای سلولی به خارج آن و در هر مربع به ترتیبی که با فلش‌ها نشان داده شده است، دارای بزرگ‌ترین‌ها، و بهمین شکل سلول‌های روشن‌تر، دارای کوچک‌ترین‌ها خواهند بود.



شکل ۱. نمایی از اتماتای سلولی و ترتیب چیدن در مربعات

چینش‌های مطرح شده در فوق می‌توانند در مراحل مختلف اجرای اتماتای ژنتیکی سلولی بدفعات تکرار شوند. البته باید به این نکته توجه داشت که عمل چینش به عنوان یک سریار برای الگوریتم محسوب می‌شود و استفاده مکرر از آنها زمان اجرای الگوریتم را افزایش میدهد.

## ۴- مسائل مورد بررسی با GCA

برای ارزیابی اتماتای سلولی ژنتیکی با چینش‌های جدید از مسایل زیر استفاده می‌کنیم.

الف) مساله کوله‌پشتی: در این مساله، یک کوله‌پشتی و تعدادی بسته مفروضند. هر بسته دارای حجم و ارزش معینی می‌باشد. از طرفی کوله‌پشتی نیز ظرفیت معینی دارد، یعنی مجموع حجم بسته‌هایی که می‌تواند در آن قرار بگیرد می‌بایست از مقدار ثابتی تجاوز نکند. مساله از این قرار لست که می‌خواهیم طوری بسته‌ها را برای قرار دادن در کوله‌پشتی انتخاب کنیم که ارزش بسته‌ها حداقل شود[11][12]. در پیاده‌سازی این مساله، هر راه حل (یک ترکیب از بسته‌ها)، یک فرد از جمعیت ژنتیکی خواهد بود. هر فرد از جمعیت با فرض اینکه  $n$  بسته داریم توسط رشته‌ای بیتی به طول ثابت  $n$  نمایش داده می‌شود. ۱ بودن بیت ۱ام در این رشته نشان دهنده حضور بسته ۱ام در ترکیب خواهد بود. نحوه تعیین مقدار تابع شایستگی، با مجموع ارزش بسته‌ها

<sup>2</sup> Penalty

<sup>1</sup> Knapsack

Computation and Its Applications, EvCA'96, Moscow, Russian Academy of Sciences, 1996.

[4] Alba, E., Giacobini, M., Tomassini, M. and Romero, S. "Comparing Synchronous and Asynchronous Cellular Genetic Algorithms," Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature VII, University of Malaga, Granada, Spain, pp. 601-610, 2002.

[5] Meybodi, M. R. and Lesani, M. "Genetic Cellular Automata," Tech Report, Amirkabir University of Technology, 2003.

[6] Bryant, K. "Genetic Algorithms and the Traveling Salesman Problem," Ph.d.Thesis, Harvey Mudd College, Dept. of Mathematics, 2000.

[7] Cantu-Paz, E. "A Survey of Parallel Genetic Algorithms", IlliGAL Report No. 97003, May 1997

[8] "Genetic Algorithms Archive," Repository for GA related information, <http://www.aic.nrl.navy.mil/galist>.

[9] "Genetic Algorithms Tutorials," <http://geneticalgorithms.ai-depot.com/Tutorials.html>, July 2002.

[10] Pohlheim, H. "Genetic and Evolutionary Algorithm Toolbox for use with Matlab (GEATbx)," [http://www.systemtechnik.tu-ilmenau.de/~pohlheim/GA\\_Toolbox](http://www.systemtechnik.tu-ilmenau.de/~pohlheim/GA_Toolbox)

[11] Spillman, R. "Cryptanalyst of Knapsack Ciphers Using Genetic Algorithms," *Crypto logia*, Volume XVII, No. 4 , pp. 367 - 377, October 1993.

[12] Stokes, V. P. "Knapsack Problem," Uppsala University, Sweden.

[13] Lawler E. L. and Lenstra, J. K. "The Traveling Salesman," John Wiley and Sons, 1986.

[14] Reinelt, G. "The Traveling Salesman: Computational Solutions for TSP Applications," Springer-Verlag, 1994.

[15] Burke, E. K. and Varley, D. B. "A Genetic Algorithms Tutorial Tool for Numerical Function Optimization," *SIGCSE Bulletin*, USA, 1997.

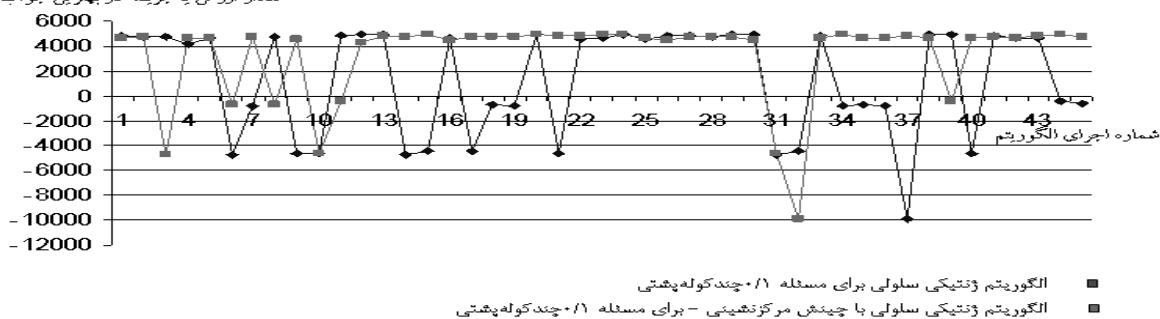
[16] "What are Gray codes, and why are they used," <http://www.cs.cmu.edu/Groups/AI/html/faqs/ai/genetic>.

[17] -, "A new genetic local search algorithm for graph coloring," Lecture Notes in Computer Science 1498 (1998), 745-754.

[18] Matsui, S. and Tokoro, K. "A new Genetic Algorithm for Minimum Span Frequency Assignment Using Permutation and Clique," Proc. of GECCO-2000 (Genetic and Evolutionary Computation Conference, Morgan Kaufmann Publishers, 2000, pp. 682-689.

[19] Rajabalipour, H. and Meybodi, M. R. "Genetic Cellular Automata", Technical Report, Computer Engineering Department, Amirkabir University, 2003.

مقدار ارزش یا جریمه در بهترین جواب جمعیت



نمودار 1. بهترین ارزش یا جریمه بدست آمده برای مساله کوله پشتی در اتماتای های ژنتیکی سلولی با چینش مرکزنشینی

مرکزنشینی، مورد استفاده قرار گرفت. همانطور که در نمودار 4 دیده میشود، اتماتای ژنتیکی سلولی بدون چینش، ۹ بار از ۱۰ بار اجرا، الگوریتم ژنتیکی معمولی ۲ بار از ۱۰ بار اجرا و اتماتای ژنتیکی سلولی با چینش مرکزنشینی، ۲ بار از ۱۰ بار اجرا به جوابهایی بهینه رسیده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که در همه موارد، چینش‌های غیراتفاقی بهتر از چینش‌های اتفاقی عمل نمی‌کنند.

نمودار ۵ چینش‌های مطرح شده در [۵] را با چینش‌های پیشنهاد شده در این مقاله برای مساله رنگ آمیزی گراف مقایسه می‌کند. همانطور که در نمودار ۵ ملاحظه می‌کنید، در ۱۰۰ بار اجرای اتماتای سلولی ژنتیکی برای هر نوع چینش و در هر اجرا ۵۰ بار بازچینی حداکثر فاصله، بطور میانگین، در تکرار کمتری به جواب بهینه می‌رسد. در همین نمودار اتماتای سلولی ژنتیکی که از چینش حاشیه‌نشینی استفاده نموده است در ۵۰ بار تکرار الگوریتم، هیچگاه به جواب بهینه نرسیده است. برای آزمایش‌های بیشتر درباره چینش‌های پیشنهادی میتوان به [۱۹] مراجعه کرد.

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله چینش‌های جدیدی برای اتماتای ژنتیکی سلولی معرفی گردید و سپس بر روی مسائل متنوعی از جمله مساله کوله پشتی، مساله فروشندۀ دوره گرد، مساله تخصیص کانال در سیستم‌های سیار سلولی و مساله رنگ آمیزی گراف آزمایش و مورد ارزیابی قرار گرفت و با چینش‌های گزارش شده در [۵] مقایسه شد. چینش‌های جدید برای تعدادی از مسائل کارایی بهتری را نسبت به چینش‌های گزارش شده در [۵] دارا می‌باشد.

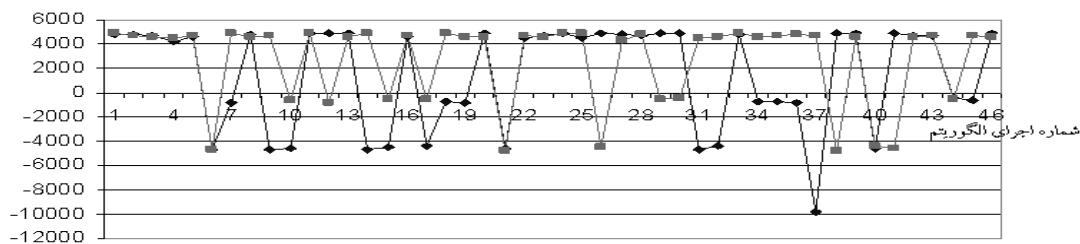
## مراجع

[1] Kim, J. S., Park, S. H., Dowd, W. and Nasrabadi, N. "Genetic Algorithm Approach to the Channel Assignment Problem," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol. VT-40, pp. 188-193, Feb. 1998.

[2] Davis, L. "Handbook of Genetic Algorithms," van Nosterand New York, 1991.

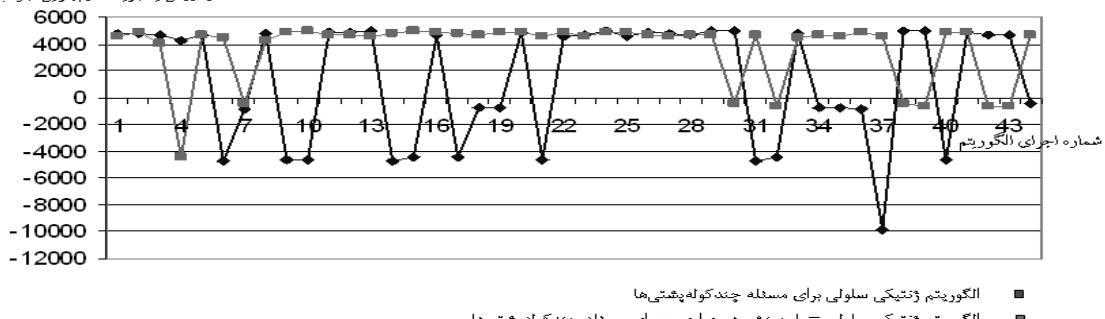
[3] Mitchell, M., Crutchfield J. and Das, R. "Evolving Cellular Automata with Genetic Algorithms: A Review of Recent Work," Proceeding of First International Conference on Evolutionary

مقدار ارزش با جریمه در بهترین جواب چمعیت



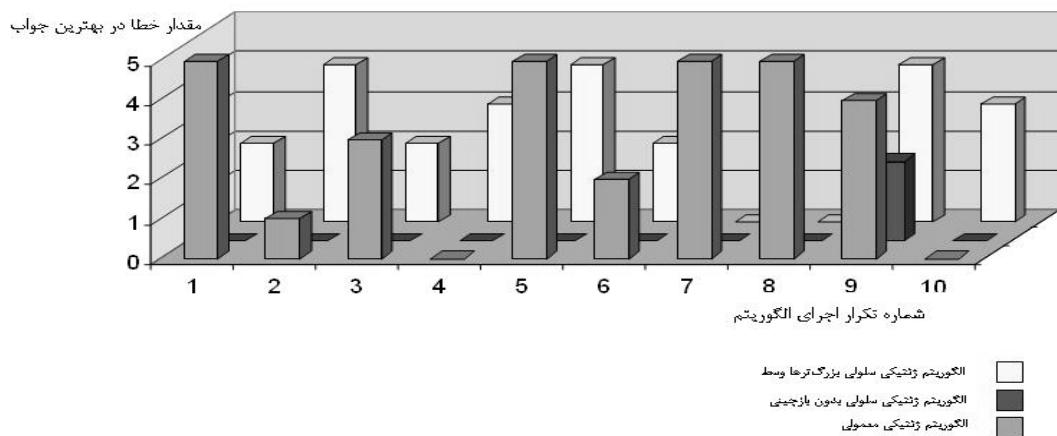
الگوریتم ژنتیکی سلولی برای مسئله چند کوله پشتی  
الگوریتم ژنتیکی سلولی با چینش حاشیه دشیتی - برای مسئله چند کوله پشتی

نمودار ۲. بهترین ارزش یا جریمه بدست آمده برای برای مسئله کوله پشتی در اتماتای های ژنتیکی سلولی با چینش حاشیه نشینی  
متدار ارزش یا جریمه در بهترین جواب چمعیت



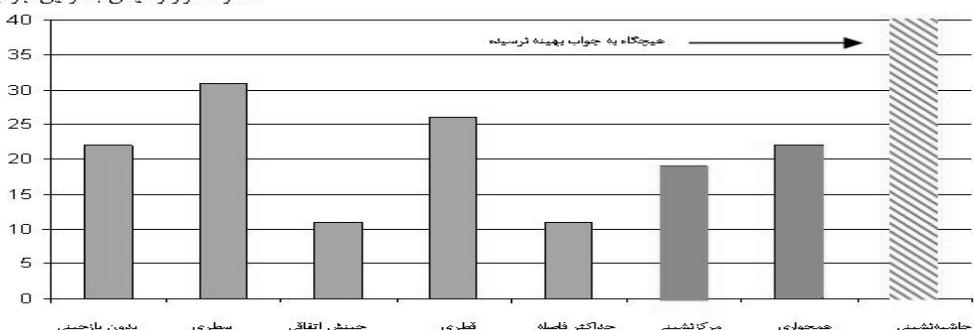
الگوریتم ژنتیکی سلولی برای مسئله چند کوله پشتی ها  
الگوریتم ژنتیکی سلولی - با چینش هم جواری - برای مسئله چند کوله پشتی ها

نمودار ۳. بهترین ارزش یا جریمه بدست آمده برای مسئله کوله پشتی در اتماتای های ژنتیکی سلولی با چینش هم جواری



نمودار ۴. نمودار خطأ در بهترین جواب های بدست آمده

شماره تکرار رسیدن به اولین جواب بهینه



نمودار ۵. مقایسه تعداد تکرارها برای رسیدن به اولین جواب بهینه برای چینش های مختلف برای مسئله رنگ آمیزی گراف