



یک روش ترکیبی مبتنی بر خوش بندی برای حل مساله فروشنده دوره گرد با مقیاس بزرگ

محمد رضا میدی

دانشکده برق، مهندسی کامپیوتر و فناوری
اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
MMeybodi@aut.ac.ir

کیوان اصغری

گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد خامنه، ایران
Kayvan.Asghari@yahoo.com

یاقوت زارعی

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد شیستر، ایران
Zarei_Bager@yahoo.com

مساله فروشنده دوره گرد، تعمیم یافته مساله مشهور سیکل همیلتونی است. فرم کلی این مساله برای اولین بار در ۱۹۳۰ توسط Karl Menger و Merrill Hassler Whitney مطرح شد و بعداً توسط Flood یا Menger طریق شد. فرض کنید که یک گراف کامل داریم که هر یال $\in E(u,v)$ یک هزینه صحیح نامنفی $c(u,v)$ را دارد. فروشنده باید با شروع از یک مبدأ، تمامی شهرها را دقیقاً یک بار ملاقات کرده و به شهر مبدأ بازگردد طوریکه هزینه کل تور حداقل گردد.

بعضی از مسائل وجود دارند که با افزایش بعد آنها، زمان حلشان به طور نمایی افزایش می‌یابد. این مسائل، مسائل بهینه سازی ترکیبی هستند، که زمان حل آنها به صورت تابعی غیر چند جمله‌ای است. مساله فروشنده دوره گرد یکی از آنها می‌باشد که حل مساله به معنای پیدا کردن بهترین تور، در مقایسه با تورهای شناخته شده قبلی نمی‌باشد بلکه همچنین باید ثابت کرد که توری با هزینه کمتر از تور پیدا شده نیز وجود ندارد.

آutomataهای یادگیر و الگوریتم های ژنتیکی، هر دو ابزار جستجوی عمومی می‌باشند که برای حل بسیاری از مسائل NP-Complete بکار برده شده است. در این مقاله یک الگوریتم ترکیبی (الگوریتم ژنتیک + آtomاتای یادگیر) مبتنی بر خوش بندی برای حل مساله فروشنده دوره گرد با مقیاس بزرگ پیشنهاد شده است. این الگوریتم ابتدا با استفاده از تکنیک افزایش گردیدن که از آنها می‌باشد که حل مساله اصلی را به چند زیر مساله اصلی تقسیم کرده و هر زیر مساله را با استفاده از الگوریتم ژنتیک در فرایند جستجو، سرعت رسیدن به جواب افزایش چشمگیری پیدا می‌کند و همچنین از بدام افتادن الگوریتم در حداقل های محلی جلوگیری می‌نماید. نتایج آزمایش ها، برتری الگوریتم ترکیبی را نسبت به الگوریتم ژنتیکی و آtomاتاهای یادگیر نشان می‌دهد و همچنین با استفاده از تکنیک خوش بندی و اجرای الگوریتم ترکیبی بطور همزمان بر روی هر خوش - یک سیستم چند پردازنده‌ای - می‌توان زمان لازم برای حل مساله را به حداقل مقدار ممکن کاهش داد.

چکیده: یکی از مسائل بسیار مهم در تئوری گراف ها، مساله فروشنده دوره گرد می‌باشد که یک مساله NP-Complete است. اکثر مسائلی که می‌توان آنها را با مساله فروشنده دوره گرد مدل کرد، دارای مقیاس خیلی بزرگ هستند که الگوریتم های موجود قادر به حل آنها در یک زمان قابل قبول نیستند. آtomاتاهای یادگیر و الگوریتم های ژنتیکی هر دو از ابزارهای جستجو می‌باشند که برای حل بسیاری از مسائل NP-Complete بکار برد می‌شوند. در این مقاله یک الگوریتم ترکیبی (الگوریتم ژنتیک + آtomاتای یادگیر) مبتنی بر خوش بندی برای حل مساله فروشنده دوره گرد با مقیاس بزرگ پیشنهاد شده است. این الگوریتم با مقیاس کوچک افزایش گردد و سپس از دو روش الگوریتم های ژنتیکی و آtomاتاهای یادگیر بطور همزمان برای جستجو در فضای حالت و حل هر زیر مساله استفاده می‌نماید. نشان داده شده است که با استفاده همزمان از آtomاتای یادگیر و الگوریتم ژنتیک در فرایند جستجو، سرعت رسیدن به جواب افزایش چشمگیری پیدا می‌کند و همچنین از بدام افتادن الگوریتم در حداقل های محلی جلوگیری می‌نماید. نتایج آزمایش ها، برتری الگوریتم ترکیبی را نسبت به الگوریتم ژنتیکی و آtomاتاهای یادگیر نشان می‌دهد و همچنین با استفاده از تکنیک خوش بندی و اجرای الگوریتم ترکیبی بطور همزمان بر روی هر خوش - یک سیستم چند پردازنده‌ای - می‌توان زمان لازم برای حل مساله را به حداقل مقدار ممکن کاهش داد.

كلمات کلیدی: مساله فروشنده دوره گرد، آtomاتای یادگیر، الگوریتم ژنتیک، خوش بندی

۱- مقدمه

گراف ها ابزارهای قدرتمندی هستند که به طور گسترده در کاربردهای متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مسائل بسیار مهم در تئوری گراف ها، مساله فروشنده دوره گرد می‌باشد. بسیاری از کاربردهای عمومی از جمله طراحی حلقه های شبکه های برق، مسیر هوایی ها، مسیریابی وسائط نقلیه و ... را می‌توان با مساله فروشنده دوره گرد مدل کرد.

بود. با توجه به اینکه عملیات پیدا کردن تور فروشنده دوره گرد برای هر خوش را می توان بصورت مستقل انجام داد، می توان برای هر خوش را فروشنده دوره گرد را وسیله پردازنه های محزا و بصورت موازی پیدا کرده و از این طریق کل زمان لازم برای پیدا کردن تور برای گراف های بزرگ را به حداقل مقدار ممکن کاهش داد.

۵- الگوریتم جستجوی ترکیبی برای پیدا کردن تور فروشنده دوره گرد در داخل هر خوش

با ترکیب الگوریتم ژنتیک و آtomاتای یادگیر و تلفیق مفاهیم ژن، کروموزوم، اقدام و عمق، سابقه تاریخی تکامل راه حل مساله، به شکل کارا استخراج شده و در روند جستجو مورد استفاده قرار می گیرد. خاصیت مهم الگوریتم ترکیبی، مقاومت آن در مقابل تغییرات سطحی جواب هاست، به عبارتی دیگر تعادلی انعطاف پذیر بین کارایی الگوریتم ژنتیک و پایداری آtomاتای یادگیر در الگوریتم ترکیبی وجود دارد. خود ترمیمی، تولید مثل، جرمیه و پاداش از ویژگیهای الگوریتم ترکیبی است. در ادامه پارامترهای اصلی این الگوریتم توضیح داده شده است.

۱-۵ ژن و کروموزوم

در الگوریتم پیشنهادی برخلاف الگوریتم های ژنتیک کلاسیک، از کدگذاری دودویی برای کروموزوم ها استفاده نمی شود. هر کروموزوم توسط یک آtomاتای یادگیر از نوع مهاجرت اشیاء نشان داده می شود. بطوریکه هر کدام از زنگهای کروموزوم به یکی از اقدامهای آtomاتا نسبت داده می شود و در یک عمق مشخصی از آن اقدام قرار می گیرد.

در این آtomاتا $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_k\}$ مجموعه اقدام های مجاز برای آtomاتای یادگیر است. این آtomاتا k اقدام دارد (تعداد اقدام های این آtomاتا با تعداد راس های گراف برابر است). اگر راس u از گراف در اقدام m قرار گرفته باشد، در اینصورت راس u در ترتیب ملاقات کردن شهرها، m این شهر می باشد.

ϕ_{KN} مجموعه وضعیت ها و N عمق حافظه برای آtomاتا می باشد. مجموعه وضعیت های این آtomاتا به K زیر مجموعه $\{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_{N+1}, \phi_{N+2}, \dots\}$ و $\{\phi_N, \phi_{(K-1)N+1}, \phi_{(K-1)N+2}, \dots, \phi_{jN}, \phi_{(j-1)N+1}, \phi_{(j-1)N+2}, \dots, \phi_{(N+1)N+1}\}$ افزایش می شود و راس های گراف بر اساس این که در کدام وضعیت قرار داشته باشند دسته بنده می گردند. اگر گره u از گراف در مجموعه وضعیت های بنده می گردد. اگر گره u از گراف در مجموعه وضعیت های بنده می گردد باشد. مجموعه وضعیت های اقدام α به وضعیت $\phi_{(N+1)N+1}$ وضعیت داخلی و به وضعیت ϕ_{jN} وضعیت مرزی گفته می شود.

به عنوان مثال گراف کامل شکل (۱) را که شامل ۶ راس می باشد در نظر بگیرید.

۲- الگوریتم های ژنتیک

الگوریتم های ژنتیکی که بر مبنای ایده تکامل در طبیعت عمل می نماید، بر روی جمعیتی از راه حل های بالقوه به جستجوی راه حل نهایی می پردازند. در هر نسل، بهترینها ای آن نسل انتخاب می شوند، و پس از زاد و ولد، مجموعه جدیدی از فرزندان را تولید می کنند. در این فرایند افراد مناسبتر با احتمال بیشتری در نسلهای بعدی باقی خواهد ماند.

در آغاز الگوریتم، تعدادی از افراد (جمعیت اولیه) به صورت تصادفی ساخته شده و تابع هدف برای تک تک آنها ارزیابی می شود. اگر شرط رسیدن به جواب برقرار نباشد (به جواب بهینه نرسیده باشیم)، نسل بعدی با انتخاب والدین براساس میزان برآزندگی شان تولید می شود و فرزندان با احتمال ثابتی دچار جهش می شوند. سپس میزان برآزندگی فرزندان جدید محاسبه شده و جمعیت جدید، از جایگزینی فرزندان با والدین ایجاد می شود و این فرآیند تا برقرار شدن شرط خاتمه تکرار می شود.

۳- آtomاتاهای یادگیر

یادگیری در آtomاتاهای یادگیر، انتخاب یک اقدام بهینه از میان یک مجموعه از اقدام های مجاز آtomاتا می باشد. این اقدام روی یک محیط تصادفی اعمال می شود و محیط به این اقدام آtomاتا بوسیله یک پاسخ تصادفی از مجموعه پاسخ های مجاز جواب می دهد. پاسخ محیط بصورت آماری به اقدام آtomاتا وابسته است. واژه محیط شامل اجتماع تمام شرایط خارجی و تاثیرات آنها روی عملکرد آtomاتا می باشد.

برای یک گراف با اندازه $n!$ جایگشت مختلف از n^m وجوه دارد و در صورتیکه از آtomاتاهای یادگیر برای حل کردن مساله فروشنده دوره گرد استفاده شود، آtomاتا باید $n!$ اقدام داشته باشد که تعداد زیاد اقدام ها سرعت همگرایی آtomاتا را کاهش می دهد. به همین جهت آtomاتای مهاجرت اشیاء توسط امن و ما پیشنهاد شده است.

۴- روش بکار گرفته شده برای خوش بندی گراف های بزرگ

ما در این مقاله جهت پیدا کردن تور فروشنده دوره گرد برای گراف هایی با مقیاس بزرگ (گراف هایی با تعداد گره های بسیار زیاد)، ابتدا گراف مورد نظر را توسط یکی از روش های خوش بندی گراف بنام Kmean. به خوش هایی با اندازه کوچک افزایش کرده و سپس با استفاده از الگوریتم ترکیبی (الگوریتم ژنتیک + آtomاتای یادگیر) که در بخش بعدی توضیح داده شده است، برای هر خوش بندی گراف دوره گرد با کمترین هزینه را بطور جداگانه پیدا می کنیم. از هر خوش بندی چندین گره را به عنوان نماینده خوش، طوری انتخاب می کنیم که نسبت به خوش های دیگر دارای کمترین فاصله باشند، سپس با استفاده از الگوریتم ترکیبی، بین خوش ها (نماینده گان خوش ها) تور فروشنده دوره گرد با کمترین هزینه را نیز بدست می آوریم. در نهایت هزینه تور برای گراف بزرگ برابر با، مجموعه هزینه تورهای داخل هر کدام از خوش ها بعلاوه هزینه تور بدست آمده بین نماینده گان خوش ها خواهد

باشد. جمعیت اولیه حاصل از گراف شکل (۱) در شکل (۳) نشان داده شده است. در ابتدا هرگره در وضعیت مرزی اقدام خود قرار دارد.

۳-۵-تابع برازنده‌گی

در الگوریتم های ژنتیک تابع برازنده‌گی، شاخص زنده ماندن کروموزوم ها است. لذا برازنده‌گی یک آtomاتا در مساله فروشنده دوره گرد به صورت $f(LA_i) = 1/Lenght\ of\ Specified\ Tour\ by\ LA_i$ تعریف می شود.

۴-۵-عملگرها

از آنجاییکه در الگوریتم ترکیبی، هر کروموزوم به صورت یک آtomاتای یادگیر نمایش داده می شود، عملگرهای جابجایی و جهش مشابه عملگرهای سنتی ژنتیک نیستند.

(الف) عملگر انتخاب: برای انتخاب آtomاتاهای یادگیر (کروموزوم ها) برای عملگرهای جهش و ترکیب می توان از یکی از روشهای رتبه بندی، سازوکار چرخ رولت و یا Tournament استفاده کرد.

(ب) عملگر ترکیب یا جابجایی: برای انجام دادن این عملگر می توان از Ordered Partially Mapped Crossover یا New Crossover و Cycle Crossover استفاده کرد. در اینجا فقط روش پیشنهادی یعنی روش New Crossover توضیح داده می شود. در این روش دو کروموزوم والد انتخاب شده و به صورت تصادفی دو زن ۱ و زن ۲ در یکی از دو کروموزوم والد نیز انتخاب می شوند. سپس همین دو زن در کروموزوم والد دیگر نیز انتخاب می شوند. مجموعه زنهای با شماره های بین ۱ و ۲ را مجموعه جابجایی می نامیم. سپس زن های هم شماره در دو مجموعه جابجایی با یکدیگر جابجا می شوند. با این عمل دو کروموزوم جدید حاصل می شوند که اصطلاحاً فرزندان دو آtomاتای والد خوانده می شوند.

به عنوان مثال فرض کنید که آtomاتاهای LA2 و LA5 از جمعیت تشکیل شده قبل به عنوان والد انتخاب شوند. با انتخاب تصادفی دو محل a2 و a3، مجموعه جابجایی $\{\alpha_2, \alpha_3\}$ حاصل می شود و در نهایت مطابق شکل (۴) با جابجایی اقدام های منتظر در فاصله جابجایی، دو کروموزوم جدید حاصل می شود.

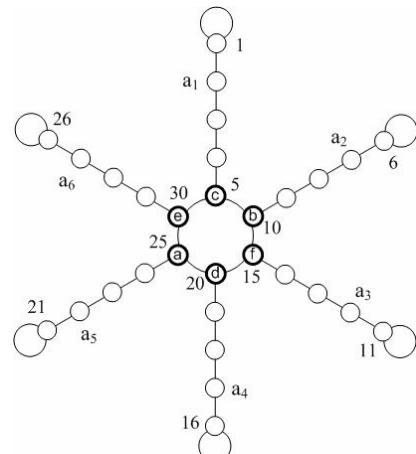
(پ) عملگر جهش: برای انجام دادن این عملگر می توان از یکی از روشهای Inversion Insertion Mutation Swap Mutation Scramble Mutation و Mutation Swap که برای کار با جایگشت ها مناسب هستند استفاده کرد. به عنوان مثال در روش Swap Mutation، دو اقدام (زن) از یک آtomاتا (کروموزوم) به صورت تصادفی انتخاب شده و جابجا می شوند.

(ت) عملگر جریمه و پاداش: از آنجاییکه هر کروموزوم به صورت یک آtomاتای یادگیر نشان داده شده است، در هر یک از آtomاتاهای پس از بررسی میزان برازنده‌گی یک زن (راس یا اقدام) که به صورت تصادفی

a	b	c	d	e	f	
a	0	5	8	7	2	10
b	5	0	3	8	7	5
c	8	3	0	5	7	1
d	7	8	5	0	4	3
e	2	7	7	4	0	6
f	10	5	1	3	6	0

شکل (۱)- گراف کامل با ۶ راس

جایگشت c, b, f, d, a, e از گراف شکل (۱) را در نظر بگیرید. این جایگشت توسط یک آtomاتای یادگیر با اتصالات مشابه آtomاتای ستلين در شکل (۲) نشان داده شده است. این آtomاتا دارای ۶ اقدام $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6\}$ (به تعداد راسهای گراف) و عمق ۵ می باشد. مجموعه وضعیت های $\{1, 6, 11, 16, 21, 26\}$ وضعیت های $\{5, 10, 15, 20, 25, 30\}$ و مجموعه وضعیت های آtomاتا هستند. در ابتدا هر یک از راسهای گراف در وضعیت مرزی اقدام مربوطه قرار دارد.



شکل (۲)- نمایش جایگشت c, b, f, d, a, e به وسیله آtomاتای یادگیر با اتصالات مشابه آtomاتای ستلين

۴-۵-جمعیت اولیه

با فرض اینکه تعداد اعضای جمعیت n باشد، $n-1$ عضو جمعیت با ایجاد $n-1$ جایگشت تصادفی تولید می شوند. برای تولید آخرین عضو جمعیت، از روش نزدیکترین همسایه ملاقات نشده استفاده می کنیم. به این جایگشت، جایگشت تقریبی می گوییم. آخرین عضو اضافه شده به جمعیت بیشترین تشابه را با جواب نهایی دارد.

به عنوان مثال نحوه تشکیل جمعیت اولیه برای گراف شکل (۱) با فرض $n=6$ در ادامه توضیح داده شده است. پنج عضو اول جمعیت به وسیله پنج جایگشت تصادفی $\langle b, d, e, a, f, c \rangle$, $\langle b, d, e, a, f, c \rangle$, $\langle d, e, f, b, c, a \rangle$, $\langle e, f, b, d, a, c \rangle$ و $\langle c, f, b, e, d, a \rangle$ ایجاد می شود. برای ایجاد جایگشت ششم از روش نزدیکترین همسایه ملاقات نشده استفاده می کنیم. با فرض اینکه راس شروع a باشد جایگشت ششم بصورت $\langle a, e, d, f, c, b \rangle$ می

شماره ۱۶) قرار داشته باشد و پاداش بگیرد در همان وضعیت باقی می‌ماند. نحوه حرکت چنین راسی در شکل (۵) نشان داده شده است.

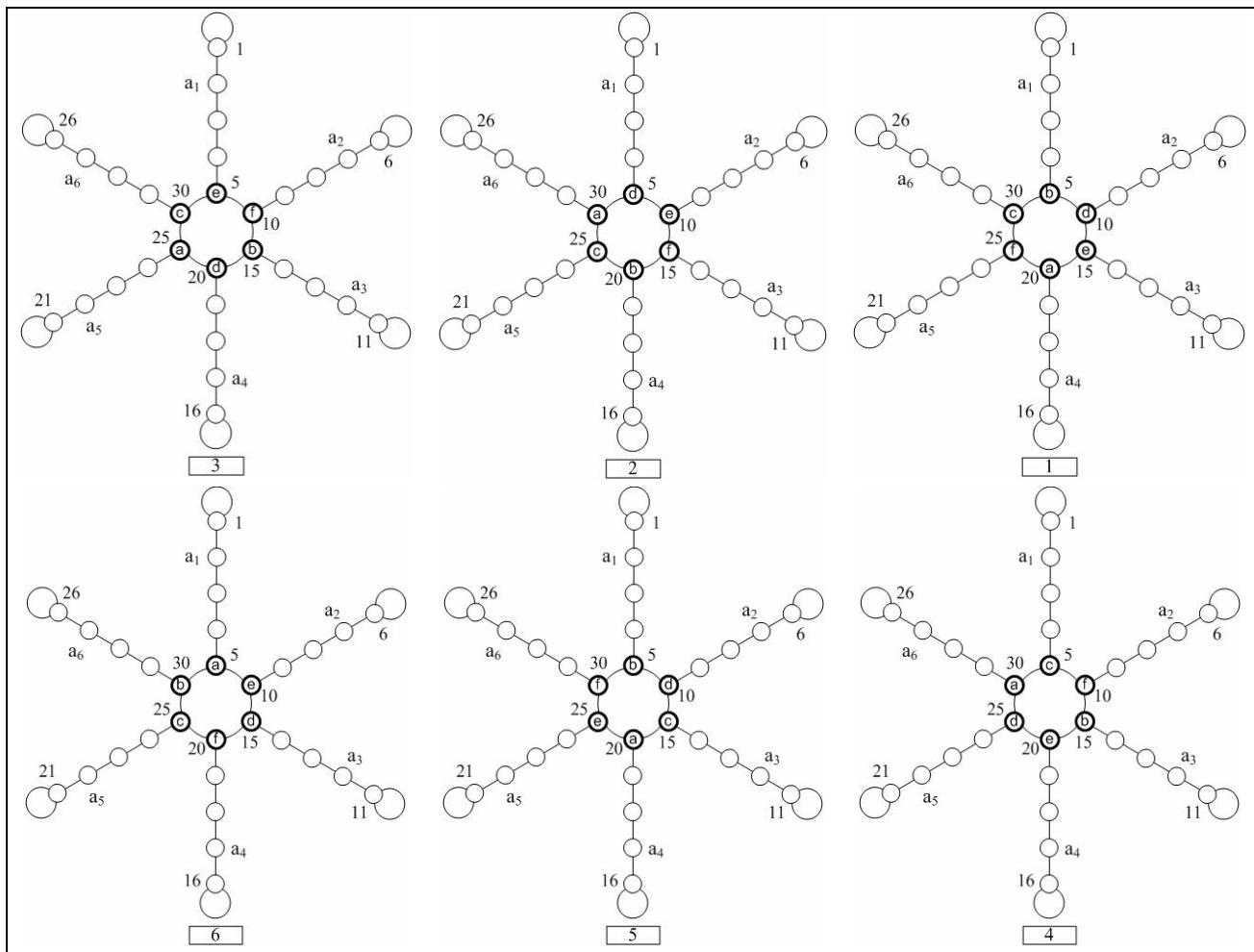
اگر میزان برآزندگی یک راس از مقدار آستانه بزرگتر باشد در اینصورت تور برقرار شده مناسب نبوده و این راس جرمیه می‌شود. نحوه حرکت چنین راسی برای دو حالت مختلف در زیر آمده است.

الف) راس در وضعیتی غیر از وضعیت مرزی قرار داشته باشد: جرمیه نمودن این راس سبب کم اهمیت شدن این راس شده و راس به سمت وضعیت‌های مرزی حرکت می‌کند.

ب) راس در وضعیت مرزی قرار داشته باشد: در این حالت راسی از گراف را پیدا می‌کنیم بطوریکه اگر در جایگشت مربوطه جای دو راس عوض شوند بیشترین کاهش در هزینه تور حاصل گردد. در اینصورت اگر راس پیدا شده در وضعیت مرزی قرار داشته باشد جای دو راس عوض می‌شود و در غیر اینصورت ابتدا راس مشخص شده به وضعیت مرزی اقدام خود منتقل و سپس جایگایی صورت می‌پذیرد. نحوه حرکت چنین راسی در شکل (۶) نشان داده شده است.

انتخاب می‌شود، آن زن پاداش یا جرمیه می‌شود. در اثر پاداش دادن یا جرمیه کردن یک زن، وضعیت زن در مجموعه وضعیت‌های اقدام مربوطه، تغییر می‌کند. اگر زنی در وضعیت مرزی یک اقدام قرار داشته باشد، جرمیه شدن آن باعث تغییر اقدام آن و در نتیجه باعث ایجاد جایگشت جدیدی می‌شود. نرخ این عملگر باید پایین باشد زیرا این عملگر، یک عملگر جستجوی تصادفی است و اگر با نرخ بالا اعمال شود باعث کاهش در کارایی الگوریتم می‌شود. عملگر جرمیه و پاداش با توجه به نوع آtomاتای یادگیر متفاوت می‌باشد.

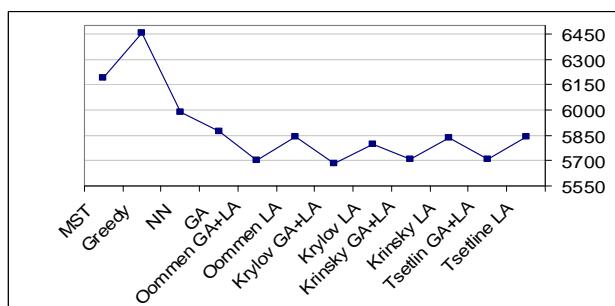
به عنوان مثال در آtomاتای با اتصالات مشابه آtomاتای ستلین، اگر راس b در مجموعه وضعیت‌های {16,17,18,19,20} قرار داشته باشد و میانگین هزینه یالهای ورودی و خروجی به راس b (هزینه یال ورودی به راس b + هزینه یال خروجی از راس b تقسیم بر ۲) از مقدار آستانه (مقدار آستانه بصورت تطبیقی مشخص می‌گردد و مقدار آن در هر لحظه برابر است با نسبت هزینه کل تور به تعداد راسها) کوچکتر باشد به این راس پاداش داده می‌شود و به سمت وضعیت‌های داخلی تر این اقدام حرکت می‌کند. اگر راس b در داخلی ترین وضعیت (وضعیت



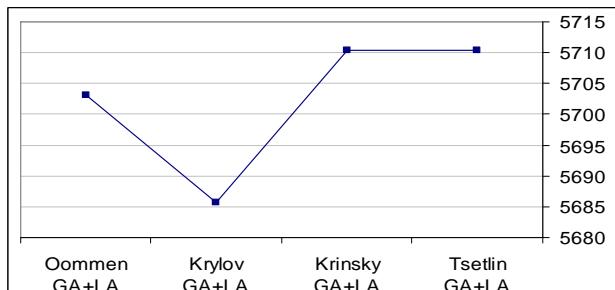
شکل (۳)- جمعیت اولیه برای گراف شکل (۱)

روشهای مبتنی بر آtomاتای یادگیر و الگوریتم ژنتیک نشان می دهد. در آزمایش های انجام گرفته اندازه گراف ها (گراف ها از TSPLIB انتخاب شده اند) از ۲۲۰ تا ۲۸۰ راس و تعداد تکرارها از ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ تکرار در نظر گرفته شده است. در الگوریتم ترکیبی و آtomاتای یادگیر عمق های ۱، ۴، ۷، ۱۰ و ۱۵ آزمایش شده اند. در الگوریتم ترکیبی و الگوریتم ژنتیکی روش Swap Mutation با نرخ ۲۵٪ و روش رتبه بندی برای انتخاب کروموزومها استفاده شده است و همچنین سایز جمعیت برابر با تعداد نودهای گراف در نظر گرفته شده است.

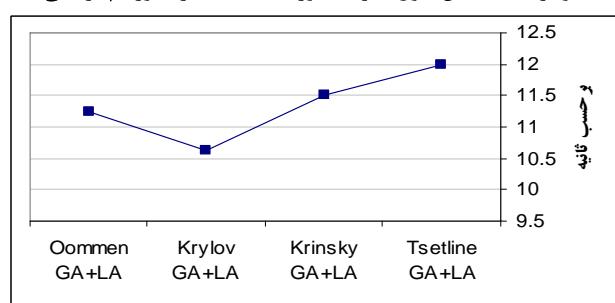
در نمودار ۱ مقایسه الگوریتم ترکیبی با سایر الگوریتم های حل مساله فروشنده دوره گرد، و در نمودارهای ۲ و ۳ نتایج بدست آمده از الگوریتم ترکیبی مبتنی بر آtomاتاهای مختلف، آورده شده است. همانطور که از نتایج معلوم است، الگوریتم ترکیبی مبتنی بر آtomاتای کرایلو در مقایسه با سایر الگوریتم ها، هم از لحاظ زمان اجرا و هم از لحاظ طول تور بدست آمده عملکرد مطلوبی برای حل مساله فروشنده دوره گرد با مقیاس کوچک از خود نشان می دهد. در جدول (۱) نتایج بدست آمده برای یک نمونه از مساله فروشنده دوره گرد با مقیاس بزرگ با استفاده از روش ترکیبی مبتنی بر خوش بندی آورده شده است.



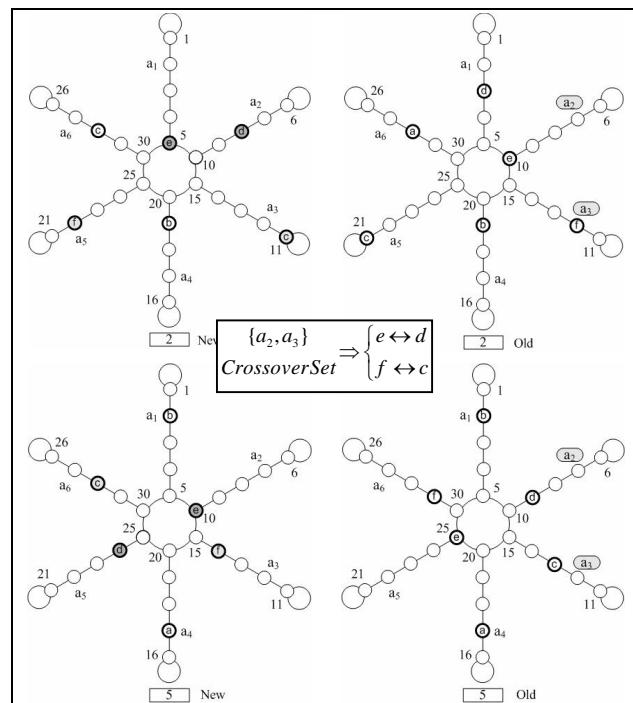
نمودار ۱- میانگین طول (هزینه) تور بدست آمده از الگوریتم های مختلف



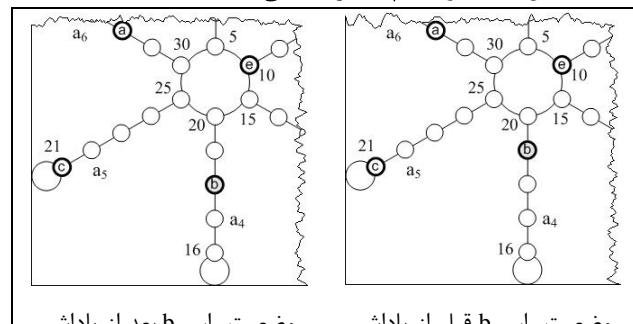
نمودار ۲- میانگین طول (هزینه) تور بدست آمده از الگوریتم ترکیبی



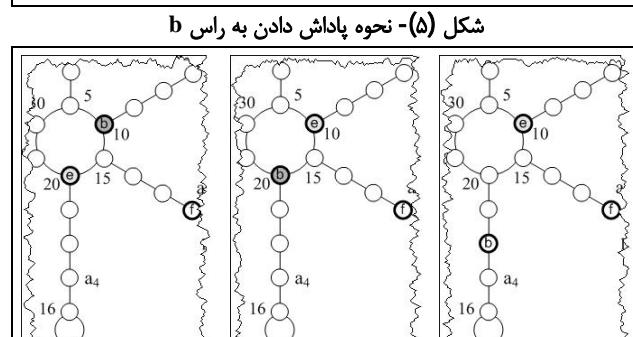
نمودار ۳- میانگین زمان لازم برای الگوریتم ترکیبی



شکل (۴)- نحوه انجام عملگر جابجایی (New Crossover)



وضعیت راس b قبل از پاداش وضعیت راس b بعد از پاداش



وضعیت مرزی انتقال راس e به جابجایی راسهای e و b وضعیت مرزی جریمه

شکل (۶)- نحوه جریمه کردن راسی که در وضعیت مرزی قرار دارد

۶- نتایج آزمایش ها

در این بخش نتایج آزمایشی الگوریتم های حل مساله فروشنده دوره گرد که براساس آtomاتای یادگیر، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی (الگوریتم ژنتیک + آtomاتای یادگیر) پیاده سازی شده اند، نشان داده شده است. این نتایج بهمود قابل توجه الگوریتم ترکیبی را نسبت به

- Editors, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 445-487, 2002.
- [6] H. Beigy, and M. R. Meybodi, *Optimization of Topology of Neural Networks Using Learning Automata*, Proc. of 3th Annual Int. Computer Society of Iran Computer Conference CSICC-98, Tehran, Iran, pp. 417-428, 1999.
- [7] B. Freisleben, and P. Merz, *A Genetic Local Search Algorithm for Solving Symmetric and Asymmetric Traveling Salesman Problems*, appeared in Proc. of the 1996 IEEE Int. Conference on Evolutionary Computation, Nagoya, Japan, pp. 616-621, 1996.
- [8] B. Freisleben, and P. Merz, *New Genetic Local Search Operators for the Traveling Salesman Problem*, in Proc. of the 4th Conference on Parallel Problem Solving from Nature - PPSN IV, (H.-M. Voigt, W. Ebeling, I. Rechenberg, H.-P. Schwefel, eds.), Vol. 1141 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 890-899, 1996.
- [9] M. Jünger, G. Reinelt, and G. Rinaldi, *The Traveling Salesman Problem*, in Handbooks in Operations Research and Management Science, Vol. 7 (M.O. Ball, T. Magnanti, C.L. Monma, and G. Nemhauser, eds), Elsevier Science B.V., pp. 225-330, 1995.
- [10] P. Moscato, and M.G. Norman, *An Analysis of the Performance of Traveling Salesman Heuristics on Infinite-Size Fractal Instances in the Euclidean Plane*, Oct. 1994.
- [11] M. Grötschel, and O. Holland, *Solution of Large-Scale Symmetric Traveling Salesman Problems*, Mathematical Programming 51, pp. 141-202, 1991.
- [12] M. Padberg, and G. Rinaldi, *A Branch-and-Cut Algorithm for the Resolution of Large-Scale Symmetric Traveling Salesman Problems*, SIAM Review 33, pp. 60-100, 1991.
- [13] B. J. Oommen, R. S. Valiveti, and J. R. Zgierski, *An Adaptive Learning Solution to the Keyboard Optimization Problem*, IEEE Transaction On Systems. Man. And Cybernetics, Vol. 21, No. 6, pp. 1608-1618, 1991.
- [14] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Reading, MA, Addison-Wesley, 1989.
- [15] K. S. Narendra, and M. A. L. Thathachar, *Learning Automata: An Introduction*, Prentice-hall, Englewood cliffs, 1989.
- [16] B. J. Oommen, and D. C. Y. Ma, *Deterministic Learning Automata Solution to the Keyboard Optimization Problem*, IEEE Transaction on Computers, Vol. 37, No. 1, pp. 2-3, 1988.
- [17] A. A. Hashim, S. Amir, and P. Mars, *Application of Learning Automata to Data Compression*, in Adaptive and Learning Systems, K. S. Narendra, Editor, New York, Plenum Press, pp. 229-234, 1986.
- [18] Tapas Kanungo, David M. Mount, Nathan S. Netanyahu, Christine D. Piatko, Ruth Silverman, and Angela Y. Wu, *An Efficient K-Means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation*, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, No. 7, July 2002.
- [19] Tapas Kanungo, David M. Mount, Nathan S. Netanyahu, Christine D. Piatko, Ruth Silverman, and Angela Y. Wu, *The Analysis of a Simple K-Means Clustering Algorithm*, Proc. of the Sixteenth Annual Symposium on Computational Geometry, pp. 162, June 2000.
- [20] Leng Mingwei, Tang Haitao, and Chen Xiaoyun, *An Efficient K-means Clustering Algorithm Based on Influence Factors*, Eighth ACIS Int. Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, pp. 815-820, July 2007.

جدول ۱- طول تور بدست آمده برای مساله fnl4461 با ۴۴۶۱ گره

طول تور بهینه	تعداد گره در خوشة	شماره خوشة
۲۴۱۴۱,۱۴	۴۴۱	۱
۲۷۳۰۲,۴۹	۵۵۵	۲
۲۹۰۸۲,۸۶	۵۵۳	۳
۳۱۹۹۳,۵۱	۶۲۶	۴
۲۴۲۰۵,۰۳	۳۹۱	۵
۳۲۵۵۶,۲۲	۶۷۲	۶
۳۲۷۶۷,۵۳	۶۸۲	۷
۲۹۴۱۴,۴۷	۵۴۱	۸
۱۵۱۳۴,۷۵	۴۳	بین خوشه ها
۲۴۶۵۹۸	۴۴۶۱+۴۳	مجموع

۷- نتیجه گیری و پیشنهادها

گراف ها، بویژه گراف های برچسب دار، ابزار های قدرتمند و پراستفاده ای هستند که به طور گسترده در کاربردهای کامپیوتر مورد استفاده قرار می گیرند. یکی از مسائل بسیار مهم در تئوری گراف ها، پیدا کردن تور فروشنده دوره گرد می باشد. محققان بیش از دو دهه بر روی این مساله کار کرده اند، ولی با توجه به این حقیقت که هنوز الگوریتمی از درجه چند جمله ای برای حل این مساله وجود ندارد، پژوهش ها در این زمینه همچنان ادامه دارد. با استفاده از روش های جستجوی مناسب و ترکیب آنها، می توان الگوریتم های بهینه برای این مساله پیدا نمود. همچنین با خوش بندی گره های گراف و اجرای الگوریتم ترکیبی بطور همزمان بر روی هر خوشة، می توان به نتایج بهتری رسید و در صورت استفاده از یک سیستم چند پردازنده ای می توان زمان لازم برای حل مساله اصلی را چندین برابر (به تعداد خوشه ها) کاهش داد.

۸- مراجع

- [۱] میبدی، محمد رضا و بیگی، حمید. حل مساله تناظر گراف توسط آنوماتا های یادگیر. دانشکده مهندسی کامپیوتر. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران. ایران. ۱۳۷۹.
- [۲] میبدی، محمد رضا و رضابور میرصالح، مهدی. یک روش ترکیبی (GA+LA) برای حل مساله تناظر گراف. دانشکده مهندسی کامپیوتر. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران. ایران. ۱۳۸۲.
- [۳] Bager Zarei, M. R. Meybodi, and Mortaza Abbaszadeh, *A Hybrid Method for Solving Traveling Salesman Problem*, Proceedings of the 6th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2007), IEEE Computer Society, Melbourne, Australia, pp. 394-399, 11-13 July 2007.
- [۴] D. S. Johnson, and L. A. McGeoch, *Experimental Analysis of Heuristics for the STSP*, in the Traveling Salesman Problem and its Variations, G. Gutin and A. Punnen, Editors, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 369-443, 2002.
- [۵] D. S. Johnson, G. Gutin, L. A. McGeoch, A. Yeo, W. Zhang, and A. Zverovich, *Experimental Analysis of Heuristics for the ATSP*, in the Traveling Salesman Problem and its Variations, G. Gutin and A. Punnen,