الگوریتم ژنی برای تعیین توالی عملیات مسأله خط جریان با m ماشین و n کار

محمدرضا امین ناصری ■
استادیار دانشگاه تربیت مدرس □□
قاسم مصلحی ■
استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان □□
فریماه مخاطب رفیعی ■
استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان □□

چکیده

تعیین عملیات خط جریان، یکی از مسائل مهم برنامه‌ریزی تولید و از فعالیتهای لازم در محیط صنعتی محسوب می‌شود و از جمله مسائلی است که طی چند دهه گذشته روشهای گوناگونی برای حل آن ارائه شده است. از آنجا که مسأله از نوع NP- hard شمرده می‌شود راه‌حلهای ارائه شده، به ویژه برای مسائل بزرگ، از نوع ابتکاری بوده است. در دهه اخیر از روشهای ابتکاری مدرن (فرا ابتکاری)، از جمله روش الگوریتم ژنی برای حل این مسأله و مسائل مشابه استفاده و نشان داده شده که با به کارگیری این روشها می‌توان مسائل بزرگ را در زمان قابل قبول و با جواب نزدیک به بهینه حل کرد. در این مقاله با استفاده از اصول الگوریتم ژنی، الگوریتم موفقی برای مسأله تعیین توالی عملیات خط جریان با معیار C_{max} $(n/m/p/C_{max})$ ارائه شده که جواب بهینه یا نزدیک به بهینه را در زمان معقول تولید می‌کند. از آنجا که پارامترها در کارایی الگوریتم ژنی نقش مهمی ایفا می‌کنند، پارامترهای مناسب مثل اندازه جمعیت تعیین شده است. همچنین روشهای رتبه‌بندی مناسب برای انتخاب و حذف از جمعیت توسعه داده شده، به نحوی که به کارگیری این روشها در مقایسه با سایر الگوریتمهای ژنی باعث گردیده که علاوه بر بهبود نسبی جوابها، زمان محاسبات نیز به‌طور قابل ملاحظه کاهش یابد. الگوریتم ژنی ارائه شده، علاوه بر مقایسه با سایر الگوریتمهای ژنی، با بهترین الگوریتمهای ابتکاریِ شناخته شده مقایسه گردیده و برتری آن نشان داده شده است.

کلید واژه‌ها: الگوریتم ژنی، خط جریان، توالی عملیات، زمان‌بندی

۱. مقدمه

زمان‌بندی[1] و تعیین توالی عملیات[2] خط جریان[3] هنگامی مطرح می‌شود که تمام کارها باید از تمام ماشینها به طور مشابه عبور کنند. این مسأله یکی از مسائل مهم برنامه‌ریزی تولید به شمار می‌رود و در بسیاری از محیطهای صنعتی یکی از فعالیتهای لازم تولید است که می‌تواند به صورت زیر فرمولی شود [۲ و ۱]:

ترتیبی از n کار $(J_1, J_2, ..., J_n)$ روی m ماشین $(M_1, M_2,...,M_m)$ باتوجه به رابطه پیشنیازی در نظر گرفته می‌شود، به طوری که تمام کارها با ترتیب مشابه از روی ماشینها عبور می‌کنند. فرض شده که زمان آمادگی[4] برای تمام کارها یکسان است و زمان تحول[5] در نظر گرفته نشده است. از هر ماشین فقط یکی در دسترس است و[6] قطع عملیات مجاز نیست. تابع هزینه، کمینه کردن دامنه[7] C_{max} عملیات و به عبارت دیگر، کمینه کردن بیشینه زمانهای اتمام کارها[8] است. بنابراین، هدف، یافتن ترتیب جایگشتی[9] از کارها روی ماشینها است، به نحوی که مقدار نمایش را کمینه کند. این مسأله به صورت $n/m/p/C_{max}$ داده می‌شود.

اگر زمان پردازش کار به i روی ماشین j به صورت p_{ij} و زمان ختم کار i روی ماشین j به صورت C_{ij} نمایش داده شود، با فرض ترتیب $(J_1,J_2,...J_m)$ برای قطعات، مقدار C_{max} صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_{J1,1} = p_{J1,1}$$

$$C_{Ji,1} = C_{Ji-1,1} + p_{Ji,1} \quad i=2,3,..n$$

$$C_{J1,j} = C_{J1,j-1} + p_{J1,j} \quad j=2,3,...,m$$

$$C_{Ji,j} = \max \{C_{Ji-1,j}, C_{Ji,j-1}\} + p_{Ji,j} \quad i=2,3,...,n \quad j=2,3,...,m$$

مسأله تعیین توالی عملیات خط جریان از نوع مسائل NP-hard [۴ و ۳] است و به دست آوردن جواب بهینه در زمان قابل قبول برای این گونه مسائل امکان‌پذیر نیست. لذا روشهای ابتکاری[10] مختلفی توسعه داده شده‌اند تا بتوانند در زمان قابل قبول، جوابهای مناسب تولید کنند.

برای مسأله دو ماشین، الگوریتم بهینه‌ای برای پیدا کردن کمینه C_{max} توسط جانسون [۵]

1. scheduling
2. sequencing
3. flow shop
4. ready time
5. due date
6. preemption
7. makespan
8. completion time
9. permutation
10. heuristic

ارائه شده است. همچنین جانسون برای حالت خاصی از ۳ ماشین جواب بهینه را به دست آورده است. برای بیشتر از ۳ ماشین عملاً روش بهینه‌ای وجود ندارد. کمپبل و همکارانش[۶] روشی را براساس m-1 مقایسه ارائه داده‌اند که به الگوریتم CDS مشهور است. داننبرینگ [۷] یازده روش ابتکاری را مقایسه و دسته‌بندی کرد. نواز و همکارانش [۸] روشی بر اساس پیداکردن موقعیت نسبی هر کار ارائه دادند. می‌توان گفت روش نواز و همکارانش در میان مشهور روشهای ارائه شده بیشترین کارایی را دارد روشهای [۹] که به الگوریتم NEH است. اخیراً ابتکاری مدرن[1] یا فرا ابتکاری[2] را برای مسائل برنامه‌ریزی به کار گرفته‌اند که یکی الگوریتمی از آنها، «الگوریتم ژنی»[3] است. ریوز نیز استفاده [۹] در حل مسأله $n/m/P/C_{max}$ با استفاده از NEH الگوریتم ژنی ارائه داده است که در آن روشهای اکلی است. [۱۰] شده است. نتیجه کار، تولید جوابهای بهتر در مقایسه با الگوریتم

در بخش دوم این مقاله، اصول الگوریتم ژنی به صورت مختصر معرفی می‌شوند و براساس آن در بخش سوم الگوریتمهای ژنی در مسأله خط جریان مورد بررسی قرار می‌گیرند. در بخش چهارم، الگوریتم ژنی خاصی برای مسأله تعیین توالی عملیات خط جریان ارائه می‌شود. نتیجه کاربرد الگوریتم ارائه شده و مقایسه با سایر الگوریتمها به همراه نتایج محاسباتی در بخش پنجم مقاله ارائه می‌شود. سرانجام در بخش ششم، خلاصه و نتیجه‌گیری از مطالب مذکور در مقاله بیان می‌گردد.

۲. الگوریتمهای ژنی

الگوریتم ژنی یک تکنیک بهینه‌سازی برای توابع تعریف شده روی دامنه محدود است [۱۱] که برای اولین بار توسط جان هالند [۱۲] تحت عنوان «تطابق در سیستمهای طبیعی و مصنوعی» مطرح شد و به دلیل الگوبرداری از مراحل تکامل طبیعی به روش «ژنی» موسوم شد. این روش با موفقیت در بسیاری از مسائل بهینه‌سازی ترکیبی به کار برده شده است. ساختمان یک الگوریتم ژنی برای هر مسأله می‌تواند به صورت زیر تفکیک گردد:

- تعیین رشته برای بازنمایی مسأله،[4]
- تعیین تابع برازندگی،[5]
- تعیین اندازه جمعیت[6] و تعداد نسل،[7]

1. modern heuristic
2. metabeuristic
3. genetic algorithm
4. string representation
5. fitness function
6. population size
7. number of generations

- تعیین عملگرهای ژنی[1] و احتمال وقوع آنها.

ساختمان فوق در زیر به صورت مختصر شرح داده می‌شود [۱۳].

الف) رشته برای بازنمایی مسأله

هر جواب ممکن مسأله در یک رشته از علامتهای محدود نمود پیدا می‌کند و هر رشته، نشان‌دهنده یک نقطه (جواب ممکن) در فضای جستجو است. به صورت متعارف، علامتها ممکن است ۰ یا ۱ باشد. هر رشته به کروموزم[2] و هر علامت به ژن[3] موسوم است. تعدادی از این رشته‌ها (جوابها) معمولاً تصادفی انتخاب می‌شوند و جمعیت اولیه را تشکیل می‌دهند.

ب) تابع برازندگی

این تابع باید به نحوی باشد که به هر رشته از جمعیت که بهتر است، امکان بقای بیشتری بدهد. این تابع نشان دهنده امتیاز هر رشته است و یک رشته خوب، امتیاز بیشتری دارد.

ج) اندازه جمعیت و تعداد تولید

تعداد رشته‌ها یا کروموزومها را «اندازه جمعیت» می‌گویند. یکی از مزیتهای الگوریتمهای ژنی نسبت به روشهای جستجوی سنتی این است که در اینجا جستجو به صورت موازی انجام می‌گیرد. اندازه جمعیت با تعریف فوق، اندازه جستجوهای موازی است. اندازه جمعیت باید توسط آزمایشهای مختلف مشخص گردد. جمعیت از یک نسل به نسل دیگر به منظور یافتن اب بهتر با استفاده از روشهای تولید مثل تغییر می‌یابد. معمولاً جواب خوب به سمت جواب ینه همگرا می‌شود. تعداد نسلها برای همگرا شدن به تعداد جستجو بستگی دارد که به وسیله آزمایشهای مختلف تعیین می‌گردد.

د) عملگرهای ژنی و احتمال وقوع آنها

برای پیدا کردن یک نقطه در فضای جستجو باید از عملگرهای ژنی استفاده کرد. نوع عملگرها و میزان احتمال استفاده از آنها باید مشخص شود. تعدادی عملگرِ کلاسیک ژنی وجود دارد که در زیر مختصر به آنها اشاره می‌شود.

- عملگر تقاطعی:[4] دو کروموزم از جمعیت به عنوان «والدین»[5] انتخاب می‌شوند. ساده‌ترین

1. genetic operators
2. cromosome
3. gene
4. crossover operator
5. parents

حالت این است که محل برش X به صورت تصادفی در آنها انتخاب گردد و فرزندان یا نوزادان به وسیله گرفتن یک قسمت از یک والد و قسمت دیگر از والد دوم به وجود آیند.

والد ۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	
				X				
والد ۲	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	
نوزاد ۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	
نوزاد ۲	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	

ـ عملگر جهشی:[1] یک کروموزم انتخاب می‌شود و به صورت تصادفی ژن X آن تغییر می‌کند.

۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱
			X			
۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱

بنابراین در یک الگوریتم ژنی، پارامترهای مهمی وجود دارند، مثل اندازه جمعیت، تعداد تولید، نوع عملگرها، احتمال وقوع و سایر موارد که باید برای هر مسأله مشخص شود.

۳. الگوریتم ژنی و مسأله خط جریان

به منظور استفاده از الگوریتم ژنی در حل مسأله توالی عملیات لازم است که ابتدا مسأله در قالب الگوریتم ژنی بازنمایی گردد و مراحل و پارامترهای الگوریتم آن به صورت مناسب تعریف و مشخص شوند. در این بازنمایی، هر کروموزم نشان دهنده یک ترتیب است. یک مثال کلاسیک، مسأله فروشنده دوره‌گرد[2] است که در آن، یک مسیر با ۸ شهر توسط یک رشته (کروموزم) به صورت زیر نشان داده می‌شود.

۷	۴	۳	۶	۲	۵	۱	۸

واضح است که استفاده از عملگرهای گفته شده در قسمت ۲-۴ موجب تولید کروموزمهای غیر

1. mutation operator
2. traveling salesman problem (TSP)

قانونی می‌شود که معادل با تولید جوابهای امکان‌ناپذیر است. برای مثال، اگر عملگر تقاطعی برای والدین زیر به کار رود، جوابهای امکان‌ناپذیر به وجود می‌آید.

والد۱	۷	۴	۳	۶	۲	۵	۱	۸
			X					
والد۲	۶	۵	۲	۷	۸	۱	۳	۴
نوزاد۱	۷	۴	۳	۷	۸	۱	۳	۴
نوزاد۲	۶	۵	۲	۶	۲	۵	۱	۸

عملگرهای مختلفی برای رفع مشکل فوق و ایجاد تنوع در کروموزمها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. عملگر تقاطعی CR_1 مورد توجه و کاربرد ریوز [۹] بوده است. در CR_1 یک نقطه تصادفی X برای تقاطع انتخاب می‌شود. نوزاد اول به وسیله قسمت قبل از X از والد اول و باقیمانده به ترتیب با برداشتن ژنهای مجاز از والد دوم ایجاد می‌گردند و به طور مشابه نوزاد دوم به وجود می‌آید.

والد ۱	۷	۴	۳	۶	۲	۵	۱	۸
(CR_1)				X				
والد ۲	۶	۵	۲	۷	۸	۱	۳	۴
نوزاد ۱	۷	۴	۳	۶	۵	۲	۸	۱
نوزاد ۲	۶	۵	۲	۷	۴	۳	۱	۸

تجربه نشان داده که عملگر CR_1 جمعیت را سریعاً مشابه می‌کند و لذا باید در کنار آن از یک عملگر جهشی استفاده کرد. کروس و همکارانش [۱۱] عملگر تقاطعی CR_2 را که توسط فاکتور و همکارانش [۱۴] توسعه داده شده، برای حل مسأله تعیین کارگاه جریان[1] به کار گرفتند. در این عملگرد، محل X, Y به صورت تصادفی برای برش انتخاب می‌شود.

والد۱	۷	۴	۳	۶	۲	۵	۱	۸
(CR_2)			X			Y		
والد۲	۶	۵	۲	۷	۸	۱	۳	۴

1. Job shop

ژنهای واقع در بین X و Y از والد ۲ در والد ۱ حذف می‌شود و جاهای خالی ایجاد شده با H به نمایش درمی‌آید. والد ۱ به صورت زیر می‌شود:

والد۱	H	۴	۳	۶	H	۵	۱	H	
			X		Y				

محلهای حذف شده از طرفین به سمت برش خورده حرکت می‌کند تا کل فاصله X و Y به صورت H گردد.

والد۱	۴	۳	H	H	H	۶	۵	۱
			X		Y			

قسمت برش خورده X و Y والد ۲ به جای Hها در والد ۱ قرار می‌گیرد تا فرزند ۱ به وجود آید. به طریق مشابه فرزند ۲ هم به وجود می‌آید.

نوزاد ۱	۴	۳	۲	۷	۸	۶	۵	۱
			X		Y			
نوزاد ۲	۵	۷	۳	۶	۲	۸	۱	۴

معمولاً در الگوریتم ژنی برای جلوگیری از مشابه شدن جمعیت از یک عملگر جهشی استفاده می‌شود. عملگر MU_1 از نوع انتقال[1] - مشابه با آنچه ریوز به کار برده - است. در این عملگر ژن X به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و به محل تصادفی Y - در راست یا چپ - نقل مکان می‌کند.

	۷	۴	۳	۶	۲	۵	۱	۸
(MU_1)		X				Y		
	۷	۳	۶	۲	۵	۴	۱	۸

این عملگر به همراه CR_1 توسط ریوز استفاده شده است.

نحوه انتخاب والدین برای تولید نوزدان در الگوریتم ژنی باید مشخص باشد. والدین

1. shift

براساس مقدار برازندگی[1] و به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. ریوز برای تعیین برازندگی از مکانیزم ساده و[2] رتبه‌بندی F1 استفاده کرده است؛ بدین صورت که انتخاب والدین در جمعیتی به اندازه M براساس توزیع احتمالی زیر صورت می‌گیرد:

$$P([K]) = \frac{2K}{M(M+1)}$$

در رابطه فوق [K]، kامین کروموزم به ترتیب صعودی برازندگی است. ریوز ترتیب صعودی برازندگی را معادل ترتیب نزولی دامنه عملیات کرده است. در F1، احتمال انتخاب میانه[3] برابر $\frac{1}{M}$ است، در حالی که برازندگی Mامین کروموزم، برابر $\frac{2}{M+1}$ است که تقریبا ۲ برابر میانه است.

ریوز مشابه اکلی [۱۰] از رتبه‌بندی فوق برای کروموزمهایی که باید از جمعیت حذف شوند استفاده کرده است. بدین ترتیب، کروموزمی از جمعیت خارج می‌شود که برازندگی آن زیر میانه باشد. مزیت برازندگی F_1 در این است که در هر مرحله از تکرار الگوریتم، مقدار برازندگی عوض نمی‌شود و ثابت باقی می‌ماند و لذا کافی است که جمعیت براساس مقدار C_{max} مرتب شود.

۴. الگوریتم ژنی ارائه شده

الگوریتم ژنی برای مسأله خط جریان با تأکید بر تعیین تابع برازندگی و تعیین پارامترهای مناسب در این قسمت ارائه شده است. برای ارائه الگوریتم، عملگرهای مختلفی توسعه داده شده‌اند و برای بررسی کارایی عملگرها نیز آزمایشهای متعددی بر روی مسائل با اندازه‌های مختلف انجام گرفته است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

الف) اپراتورهای تقاطعی و جهشی

- عملگر CR_3: در این عملگر، دو نقطه تصادفی X و Y برای برش مشخص می‌شود. قسمت برش خورده بین X و Y در اول نوزاد ۱ قرار می‌گیرد. سپس با استفاده از باقیمانده و برداشتن ژنهای مجاز از والد دوم، به طریق مشابه، نوزاد دوم هم به وجود می‌آید. تجربه نشان داده که CR_3 نتایج مطلوبی ندارد و جمعیت را سریعاً مشابه می‌سازد. همچنین استفاده از عملگرهای مختلفِ جهش در کنار این عملگر و استفاده از توابع مختلف برازندگی، این مشکل را برطرف نمی‌کند و لذا در ادامه مطالعات از تأکید برروی آن صرف‌نظر شده است.

1. fitness value
2. ranking
3. medain

والد ۱	۷	۴	۳	۶	۲	۵	۱	۸
(CR_3)			X			Y		
والد ۲	۶	۵	۲	۷	۸	۱	۳	۴
نوزاد ۱	۳	۶	۲	۵	۷	۸	۱	۴
نوزاد ۲	۲	۷	۸	۴	۳	۶	۵	۱

– عملگر CR_4: این عملگر به نحوی توسعه داده شد که جمعیت سریعاً مشابه نگردد و موجب تغییرات زیاد در جمعیت شود تا امکان به وجود آمدن نقاط مختلف در فضای جستجو باشد. در این عملگر، علاوه بر دو نقطه تصادفی X و Y یک نقطه تصادفی Z بین X و Y تولید می‌گردد. فاصله X تا Z والد ۱ در ابتدای نوزاد ۱ و فاصله Z تا Y والد ۱ در انتهای نوزاد ۱ قرار می‌گیرد و محلهای خالی به صورت تصادفی و به ترتیب از والد ۲ پرمی‌گردد و فرزند ۲ هم به طریق مشابه به وجود می‌آید.

(CR_4)

والد ۱	۷	۴	۳	۶	۲	۵	۱	۸
			X	Z		Y		
والد ۲	۶	۵	۲	۷	۸	۱	۳	۴
نوزاد ۱	۳	۵	۷	۸	۱	۴	۶	۲
نوزاد ۲	۲	۴	۳	۶	۵	۱	۷	۸

در آزمایشهای مختلف نشان داده شد که این عملگر، سرعت همگرایی رسیدن به جواب را کاهش می‌دهد و لذا برای مسأله خط جریان مطلوب شناخته نشد.

– عملگر MU_2: برای جلوگیری از یکسان شدن جمعیت و ایجاد تنوع در جمعیت، چندین عملگر جهشی مورد بررسی قرار گرفت که یکی از این عملگرها MU_2 بود.

این عملگر، به نحوی توسعه داده شد که در آن سه ژن تصادفی X و Y و Z انتخاب و محل آنها عوض می‌شود.

(MU_2)

۷	۴	۳	۶	۲	۵	۱	۸
	X		Y		Z		
۷	۵	۳	۴	۲	۶	۱	۸

این عملگر باعث تغییرات شدید در کروموزم شد و علاوه بر کاهش سرعت همگرایی جواب، رفتار مطلوبی را از خود نشان نداد.

– عملگر جهشی MU_3: این عملگر با الهام از عملگر تقاطعی CR_3 مورد توجه قرار گرفت و سعی شد که از CR_3 به عنوان عملگر جهش استفاده شود؛ به این صورت که دو محل تصادفی X و Y مشخص شود و ژنهای بین X تا Y به صورت تصادفی به اول یا آخر کروموزم انتقال داده شوند.

(MU_3)

۷	۴	۳	۶	۲	۵	۱	۸
		X		Y			
۳	۶	۷	۴	۲	۵	۱	۸

با آزمایشهای مختلفی مشخص شد که MU_3 در کنار عملگرهای تقاطعی ارائه شده نتایج خوبی را به دست نمی‌دهد.

– عملگر MU_4: این عملگر با الهام از CR_4 مورد بررسی قرار گرفت؛ بدین صورت که سه نقطه تصادفی X و Y و Z مشخص می‌گردد و فاصله X تا Z به اول کروموزم و فاصله Z تا Y به آخر کروموزم انتقال داده می‌شود.

(MU_4)

۷	۴	۳	۶	۲	۵	۱	۸
		X	Z	Y			
۳	۷	۴	۵	۱	۸	۶	۲

این عملگر هم در آزمایشهای مختلف نتایج مطلوبی نداشت.

سرانجام با توجه به آزمایشهای مختلف، عملگرهای MU_1, CR_2, CR مورد توجه قرار گرفتند. لازم به ذکر است که عملگر CR_2 توسط کروس و همکارانش [۱۱] قبلاً برای مسأله کارگاه جریان به کار برده شده و همراه با یک عملگر جهشی، نتایج مطلوبی از خود نشان داده است.

ب) تابع برازندگی

در الگوریتمهای ژنی، نحوه انتخاب والدین برای تولید نوزاد و همچنین خارج کردن کروموزم

ضعیف از جمعیت، نقش عمده‌ای در کیفیت الگوریتم دارد.

ریوز رتبه‌بندی F_1 را به کار برده است. در این رتبه‌بندی، مقدار برازندگی کروموزمها به مقدار دامنه عملیات بستگی ندارد؛ بدین معنا که اگر دو کروموزم از نظر مقدار دامنه عملیات اختلاف زیادی نداشته باشند، ممکن است مقدار برازندگی آنها تفاوت بسیار داشته باشد و برعکس. ممکن است با این رتبه‌بندی کروموزمهای خوب برای تولید نوزاد انتخاب نشوند یا کروموزمهای خوب از جمعیت خارج شوند. لذا برای رفع این مشکل مهم و اساسی، رتبه‌بندی F_2 توسعه داده شده و رتبه‌بندی F_2 بر اساس رابطه زیر عمل می‌کند:

$$P(|K|)=\frac{(\text{۱+دامنه عملیات کروموزم}\,|\,M-K+1\,|\,-\text{بیشینه دامنه عملیات جمعیت حاضر})}{\sum_{i=1}^{M}(\text{۱+دامنه عملیات کروموزم i}-\text{بیشینه دامنه عملیات جمعیت حاضر})}$$

F_2 به نحوی عمل می‌کند که مقدار برازندگی کروموزمهای مختلف با هم اختلاف مناسبی داشته باشد. [K] در رابطه بالا نشان دهنده kامین کروموزم به ترتیب صعودی برازندگی است. عدد ۱ در رابطه فوق برای جلوگیری از بروز خطا در هنگامی که جمعیت مشابه باشد، تعریف شده است. برای خروج کروموزم از جمعیت نیز از F_3 استفاده شده و به صورت تصادفی، کروموزم از نیمه دوم جمعیت که دارای برازندگی کمتر است خارج می‌شود.

برای ایجاد اختلاف شدیدتر در مقدار برازندگی، تعدیلی در F_2 انجام گرفت که با در نظر گرفتن توان دوم اختلاف، رتبه‌بندی F_3 به صورت زیر به وجود می‌آید:

$$P(|K|)=\frac{\text{۲(۱+دامنه عملیات کروموزم}\,|\,M-K+1\,|\,\text{بیشینه دامنه عملیات جمعیت حاضر})}{\sum_{i=1}^{M}\text{۲(۱+دامنه عملیات کروموزم i}-\text{بیشینه دامنه عملیات جمعیت حاضر})}$$

آزمایشها نشان داد که مقدار برازندگی به دست آمده از F_2 و F_3 نتایج خوبی در بردارد و لذا در محاسبات و نتیجه‌گیریهای نهایی F_1، F_2 و F_3 مورد توجه قرار گرفتند.

ب) پارامترها

ریوز مقدار احتمال استفاده از عملگر تقاطعی P_c را برابر ۱ گرفته و P_m احتمال استفاده از عملگر جهشی را وابسته به مشابه بودن جمعیت کرده است؛ به این معنا که در ابتدا P_m برابر ۰/۸ فرض می‌گردد و در هر بار استفاده از عملگر جهشی، مقدار P_m در ۰/۹۹ ضرب می‌شود تا احتمال استفاده از جهش کم گردد. در هر تکرار نسبت کمترین مقدار دامنه عملیات به مقدار متوسط دامنه عملیات محاسبه می‌شود و اگر از یک مقدار مشخص مثل D تجاوز کرد، احتمال جهش

برابر مقدار اولیه خود یعنی ۰/۸ می‌شود. ریوز مقدار D را برابر ۰/۹۵ فرض کرده است.

آزمایشها نشان دهنده مناسب بودن روش و مقدار پارامترهای فوق است. یکی از پارامترهای مهم که در سرعت الگوریتم و کیفیت جواب نقش مهم و بسزایی دارد، اندازه جمعیت یعنی M است. مقدار M توسط ریوز برابر ۳۰ گرفته شده است. آزمایشهای متعدد نشان داد که جمعیت ۳۰ تایی برای مسأله خط جریان عدد مناسبی نیست و احتیاج به اصلاح دارد و باید مقدار آن تغییر کند. لذا آزمایشهای مختلفی طراحی و پس از انجام یافتنشان مشخص شد که هر چه عدد M کوچکتر باشد، نتایج بهتری حاصل می‌شود. هفت برابر شدن مقدار M موجب سرعت زیاد الگوریتم و صرفه‌جویی بسیار در زمان محاسبات گردید. در هر تکرار الگوریتم، دو کروموزم جدید توسط عملگرهای تقاطعی و احتمالاً یک کروموزم جدید به وسیله عملگرهای جهشی، جانشین کروموزمهای ضعیف در جمعیت خواهد شد.

در بیشتر الگوریتمهای ژنی، جمعیت اولیه معمولاً به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. ریوز [۹] این نظر را به کار گرفت که یکی از کروموزمهای جمعیت از یک الگوریتم ابتکاری به دست آید و برای این کار از الگوریتم ابتکاری NEH [۸] استفاده کرد و بقیه M-1 کورموزم به صورت تصادفی تولید شدند. در این مقاله، این حالت و همچنین حالتی که جمعیت اولیه کلاً تصادفی باشد در نظر گرفته شده است. آزمایشهای متعدد نشان داد که در نظر گرفتن یک جواب خوب در جمعیت اولیه موجب دسترسی سریعتر به جواب نهایی است، ولی در کیفیت آن مؤثر نیست.

۵. نتایج محاسباتی

معمولاً برای آزمون الگوریتمهای ابتکاری از مسائلی استفاده می‌شود که اطلاعات آنها به صورت تصادفی تولید شده باشند. ریوز [۹] برای بررسی روش خود ۷ گروه مسأله تولید، و در هر گروه ۶ مسأله را حل می‌کند. این مسائل از اندازه ۲۰ کار و ۵ ماشین شروع شد، و به اندازه ۷۵ کار و ۲۰ ماشین ختم می‌گردد. صورت این مسائل وجود ندارد و لذا مسائلی با ابعاد گفته شده با زمان پردازش از توزیع یکنواخت بین ۰ و ۱۰۰ تولید شده‌اند. مسائل ریوز در جداول بعدی در ستون «مسأله ریوز» با علامت * مشخص شده‌اند. برای بررسی دقیقتر و جامعتر، مجموعاً ۳۲ گروه مسأله بررسی و در هر گروه ۶ مسأله حل شده‌اند. مسائل در محدوده ۴ کار و ۵ ماشین تا ۷۵ کار و ۲۰ ماشین هستند. این مسائل با روش NEH و روش ریوز و روشهای ارائه شده در این مقاله حل و مقایسه شده‌اند.

آزمایشهای متعددی با پارامترها و عملگرهای مختلف انجام شده است که از میان آنها ۳ روش برگزیده و در مقایسه‌ها وارد شده‌اند. در جدول ۱ روشهای ارائه شده در این مقاله، تحت عنوان روشهای ۲، ۳ و ۴ آمده است. این جدول پارامترهای مورد اختلاف روشها را بیان می‌کند.

روش ۱ اشاره به روش ریوز دارد که عمدتاً مبنای مقایسه روشها است.

برنامه کامپیوتری با زبان پاسکال نوشته شد و روی کامپیوتر شخصی ۴۸۶ اجرا گردید. معیار توقف[1] روش ریوز براساس زمان اجرا[2] است. این معیارِ توقف به دلیل این که به نوع کامپیوتر بستگی دارد، معیار مناسبی نیست و به عبارت دیگر، کاربر نمی‌تواند تشخیص دهد که مدت زمان مناسب برای اجرای الگوریتم چه مقدار باید باشد. یک معیار توقف مناسب، در نظر گرفتن تولید تعداد مشخصی از کروموزومها محسوب می‌شود که در آنها جواب بهبود پیدا نکرده است. به این منظور، معیار توقف با تعداد تولید کروموزم برابر ۱۵،۰۰۰، ۲۰،۰۰۰ و ۳۰،۰۰۰ بعد از تولید بهترین جواب در نظر گرفته شد. نتایج محاسباتی که بعد توضیح داده خواهد شد تقریبا با تمام این مقادیر یکسان بوده و لذا از این به بعد نتایج ارائه شده برمبنای کار الگوریتم با تولید ۲۰،۰۰۰ کروموزم بعد از تغییر نکردن بهترین جواب است.

ریوز از جواب الگوریتم NEH استفاده کرده و آن را به عنوان یک فرد (کروموزوم) در جمعیت اولیه الگوریتم ژنی خود نهاده است. مناسب است اثر این جواب اولیه از الگوریتم حذف شود و مقایسه‌های روشها با جمعیت اولیه کاملاً تصادفی انجام گیرد.

در جدول ۲ درصد بهبود زمان اجرا در روشهای ۲، ۳ و ۴ نسبت به روش ۱ (روش ریوز) برای ۳۲ گروه مسأله ارائه شده است. در این حالت، جمعیت اولیه کاملاً تصادفی است و از یک جواب خوب در جمعیت اولیه استفاده نشده است. مسائلی که قبلاً توسط ریوز حل شده در ستون «مسأله ریوز» با علامت * مشخص شده‌اند. آنچه از جدول ۲ حاصل می‌شود، کارایی تمام روشهای ارائه شده در ایجاد بهبود در زمان اجرا است، به‌طوری که روش ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۳۱/۸، ۲۰/۴ و ۱۴/۵درصد زمان اجرای محاسبات را کاهش می‌دهند که این درصدها بسیار بالا و قابل توجهند. میزان درصد بهبود زمان اجرای روشهای ۲، ۳ و ۴ در مسائل ریوز به ترتیب ۳۴/۹، ۱۶/۳ و ۱۹/۲درصد است. بنابراین می‌توان گفت که روش ۲ مجموعاً از نظر زمان اجرا بهتر از سایر روشها است. با فرضیات جدول۲، برای بررسی کیفیت جواب، جدول ۳ ارائه شده است. این جدول درصد بهبود دامنه عملیات روش ۲، ۳ و ۴ را نسبت به روش ۱ در گروههای مختلف نشان می‌دهد. از جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که مجموعاً روش ۲، ۳ و ۴ از نظر کیفیت جواب بهتر از روش ۱ عمل کرده‌اند و در این میان، روش ۳ در تمام گروهها و همچنین در گروههای ریوز بهتر از سایر روشها بوده است. اگر همین مقایسه با روش NEH انجام گیرد، جدول ۴ به دست می‌آید. جدول ۴ نشان می‌دهد که از میان ۳۲ گروه مسأله موجود، در ۳۱ گروه جوابهای بهتری نسبت به روش NEH به دست آمده است.

همچنین می‌توان گفت که روش ریوز (روش ۱) کمترین درصد بهبود جواب نسبت به سایر

1. termination criterion
2. CPU time

روشها را داشته است.

شکل ۱ نشان دهنده درصد بهبود زمان اجرا در اندازه‌های مختلف کار است. روش ۱ به عنوان مبنای مقایسات انتخاب شده است. شکل ۱ تفوق کامل روش ۲، ۳ و ۴ را نسبت به روش ۱ نشان می‌دهد. همچنین روش ۲ نسبت به سایر روشها برتری دارد. اگر همین مقایسات براساس اندازه ماشین و کار انجام گیرد، شکل ۲ به دست خواهد آمد.

محور افقی شکل ۲ براساس اندازه ماشین و همچنین اندازه کار تقسیم‌بندی شده است. نتایج شکل ۲ نشان از برتری تمام روشها نسبت به روش ۱ و مناسبتر بودن روش ۲ دارد.

همان‌طور که گفته شد ریوز از الگوریتم NEH استفاده کرده و جواب آن را در جمعیت اولیه قرار داده است. اگر نظر ریوز به کار برده شود، جدول ۵ نشان دهنده درصد بهبود زمان اجرای روش ۲، ۳ و ۴ نسبت به روش ۱ (روش ریوز) است.

می‌توان نتیجه گرفت که روش ۲، ۳ و ۴ به ترتیب با مقادیر ۲۷/۴، ۱۸/۴ و ۸/۴ درصد نسبت به روش ۱ واجد صرفه‌جویی زمان اجرایند، در حالی که از نظر کیفیت جواب نیز روش ۲، ۳ و ۴ برتری دارد که میزان برتری حدود اعداد جدول ۳ است. در این حالت، زمان اجرای تمام روشها نسبت به فرضیات جدول ۲ کمتر شده و در جدول ۲ و ۵ فقط درصد بهبود ذکر شده است. از جدول ۲ و به کمک جدول ۳ نتیجه جالبی استخراج شده و در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶ نشان دهنده این است که برای هر گروه در مسائل، چه روشی مناسب است. مثلاً در گروهی با ۱۵ ماشین و ۱۰ کار، مناسب است که از روش ۴ استفاده شود، زیرا در روش ۴ درصد کاهش زمان اجرا برابر ۳۰/۸ درصد است که از سایر روشها بیشتر است و جواب به میزان ۲درصد بهبود پیدا می‌کند. در ۳۲ گروه مسائل و مقایسه بین روش ۱، ۲، ۳ و ۴ فقط یک مورد وجود دارد که روش ۱ بهتر است.

در حالت کلی و مستقل از گروه، جدول ۶ نشان می‌دهد که روش ۲ مناسبتر است، زیرا زمان اجرا حداقل ۳۰ درصد کاهش پیدا کرده و جواب الگوریتم NEH ۱/۱درصد بهبود می‌یابد.

۶. خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مقاله یک الگوریتم ژنی برای حل مسأله تعیین توالی عملیات با هدف کمینه کردن دامنه عملیات ارائه شد. به سادگی می‌توان با تغییر تابع هدف، مسأله مورد نظر را با روش ارائه شده حل کرد. برای افزایش کارایی و کاهش زمان محاسبات، اندازه جمعیت مورد بررسی قرار گرفت و مقدار مناسب آن تشخیص داده شد و در الگوریتم ارائه شده استفاده گردید.

از موارد مهم دیگر در الگوریتم ژنی، نحوه رتبه‌بندی در انتخاب و حذف از جمعیت است. برای این رتبه‌بندی، توابع برازندگی F_2 و F_3 پیشنهاد گردید و نشان داده شد که در گروههایی از مسائل این توابع بهتر از سایر توابع برازندگی کار می‌کنند.

همچنین چندین عملگر مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که در مسأله خط جریان عملگرهای CR_1، CR_2 و MU_1 بهتر از بقیه عملگرها کار می‌کنند. البته هرچند که سایر عملگرها مناسب عمل نکردند، ولی باز هم می‌توانند پتانسیل رفتار مناسب برای سایر مسائل را داشته باشند و باید آنها را مورد آزمایش قرار داد.

روشهای ارائه شده، بخصوص روش ۲، بهتر از روش ۱ عمل کردند و توانستند علاوه بر بهبود بسیار بالا در زمان اجرا، مقادیر جوابها را نیز تا حدی بهبود دهند. این بهبود با تغییر در اندازه جمعیت، تابع برازندگی و عملگرها به دست آمد.

بنابراین هنوز می‌توان با تغییر در پارامترها، عملگرهای الگوریتم ژنی و احتمال استفاده از آنها روش را بهبود بخشید.

جدول ۱ پارامترها و عملگرهای روشها

شماره روش	عملگر تقاطعی	عملگر جهشی	اندازه جمعیت(M)	تابع برازندگی
۱	CR_1	MU_1	۲۰	F_1
۲	CR_2	MU_1	۷	F_1
۳	CR_3	MU_1	۷	F_2
۴	CR_2	MU_1	۷	F_3

جدول ۲ مقایسه درصد بهبود زمان اجرای روشها نسبت به روش ۱ (ریوز)

(بدون در نظر گرفتن یک جواب خوب در جمعیت اولیه)

گروه	اندازه مسأله: ماشین	اندازه مسأله: کار	تعداد مسأله	مسأله ریوز	درصد بهبود زمان اجرا نسبت به روش ۱ در روش: ۲	۳	۴
۱	۵	۴	۶		۴۶/۴	۲۵/۱	۲۴/۷
۲	۱۰	۴	۶		۴۰/۱	۲۲/۹	۲۱/۴
۳	۱۵	۴	۶		۳۵/۲	۱۹/۵	۱۷/۸
۴	۲۰	۴	۶		۳۱/۴	۱۷/۳	۱۶/۰
۵	۵	۶	۶		۴۴/۲	۲۵/۵	۲۳/۶
۶	۱۰	۶	۶		۳۶/۹	۲۲/۳	۲۰/۷
۷	۱۵	۶	۶		۲۳/۹	۱۵/۷	۹/۳
۸	۲۰	۶	۶		۲۰/۸	۱۳/۶	-۲/۰
۹	۵	۱۰	۶		۴۶/۲	۳۵/۴	۳۲/۲

۱۰	۱۰	۱۰	۶		۱۵/۵	۲۵/۷	۱۱/۶
۱۱	۱۵	۱۰	۶		۲۷/۸	۱۶/۴	۳۰/۸
۱۲	۲۰	۱۰	۶		-۷/۷	-۱۳/۴	۵/۷
۱۳	۵	۱۵	۶		۳۲/۷	۲۶/۸	۳۲/۸
۱۴	۱۰	۱۵	۶		۲۰/۸	۱/۵	۱/۲
۱۵	۱۵	۱۵	۶		۱۶/۵	-۳۸/۴	-۷/۱
۱۶	۲۰	۱۵	۶		-۹/۳	-۱/۹	۸/۲
۱۷	۵	۲۰	۶	*	۳۲/۵	۱۷/۵	۲۲/۹
۱۸	۱۰	۲۰	۶	*	۳۱/۶	۲۹/۹	۱۷/۰
۱۹	۱۵	۲۰	۶	*	۲۷/۴	-۱۴/۴	۱۳/۶
۲۰	۲۰	۲۰	۶		۶/۰	۲۸/۷	-۶/۱
۲۱	۵	۳۰	۶		۳۰/۹	۱۶/۹	۱۴/۱
۲۲	۱۰	۳۰	۶	*	-۳/۰	۲/۲	-۹/۲
۲۳	۱۵	۳۰	۶	*	-۳۹/۳	-۲۳/۷	-۱/۰
۲۴	۲۰	۳۰	۶		۴/۳	-۴/۴	۱۳/۷
۲۵	۵	۵۰	۶		۴۰/۶	۳۸/۰	۳۷/۴
۲۶	۱۰	۵۰	۶	*	۳۲/۲	۳۸/۱	۲۷/۱
۲۷	۱۵	۵۰	۶		۲۰/۲	۱/۳	-۱۷/۸
۲۸	۲۰	۵۰	۶		۵۷/۲	۴۵/۳	۱۷/۰
۲۹	۵	۷۵	۶		۳۳/۴	۳۸/۹	۳۴/۰
۳۰	۱۰	۷۵	۶		۱۴/۳	۱۱/۳	۴/۵
۳۱	۱۵	۷۵	۶		۳۳/۹	۲۸/۹	۱۸/۲
۳۲	۲۰	۷۵	۶	*	۴۹/۹	۱۹/۸	۲۳/۴
متوسط بهبود زمان اجرا نسبت به روش ۱ در تمام مسائل				*	۳۱/۸	۲۰/۴	۱۴/۵
متوسط بهبود زمان اجرا نسبت به روش ۱ در مسائل ریوز					۲۴/۹	۱۶/۳	۱۹/۲

جدول ۳ مقایسه درصد بهبود جواب روشها نسبت به روش ۱ (ریوز)

(بدون در نظر گرفتن یک جواب خوب در جمعیت اولیه)

	اندازه مسأله		تعداد	مسأله	درصد بهبود جواب نسبت به روش ۱ در روش:		
گروه	ماشین	کار	مسأله	ریوز	۲	۳	۴
۱	۵	۴	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۰
۲	۱۰	۴	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۰

۳	۱۵	۴	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۰
۴	۲۰	۴	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۰
۵	۵	۶	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۰
۶	۱۰	۶	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۰
۷	۱۵	۶	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۰
۸	۲۰	۶	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۰
۹	۵	۱۰	۶		-۰/۱	-۰/۱	-۰/۱
۱۰	۱۰	۱۰	۶		۰/۲	۰/۳	۰/۲
۱۱	۱۵	۱۰	۶		۰/۰	-۰/۱	-۰/۵
۱۲	۲۰	۱۰	۶		۰/۱	۰/۶	۰/۱
۱۳	۵	۱۵	۶		۰/۶	۰/۰	۰/۰
۱۴	۱۰	۱۵	۶		۱/۰	۱/۱	۰/۶
۱۵	۱۵	۱۵	۶		۰/۵	۰/۸	۰/۰
۱۶	۲۰	۱۵	۶		۰/۱	۰/۱	۰/۰
۱۷	۵	۲۰	۶	*	۰/۲	۰/۲	۰/۱
۱۸	۱۰	۲۰	۶	*	۰/۹	۰/۸	۰/۱
۱۹	۱۵	۲۰	۶	*	۰/۳	۱/۰	۰/۰
۲۰	۲۰	۲۰	۶		۱/۳	۰/۸	۱/۰
۲۱	۵	۳۰	۶		-۰/۱	-۰/۲	-۰/۱
۲۲	۱۰	۳۰	۶	*	۱/۲	۰/۷	۱/۴
۲۳	۱۵	۳۰	۶	*	۱/۶	۱/۳	۱/۱
۲۴	۲۰	۳۰	۶		۰/۵	۰/۳	۰/۴
۲۵	۵	۵۰	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۰
۲۶	۱۰	۵۰	۶	*	۰/۲	-۰/۳	۰/۱
۲۷	۱۵	۵۰	۶		۱/۱	۱/۳	۱/۴
۲۸	۲۰	۵۰	۶		۰/۱	-۰/۹	۱/۰
۲۹	۵	۷۵	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۰
۳۰	۱۰	۷۵	۶		۰/۵	۰/۵	۰/۴
۳۱	۱۵	۷۵	۶		۰/۰	۰/۰	۰/۲
۳۲	۲۰	۷۵	۶	*	-۰/۵	۰/۲	۰/۳
متوسط درصد بهبود جواب نسبت به روش ۱ در تمام مسائل					۰/۲	۰/۴	۰/۳
متوسط درصد بهبود جواب نسبت به روش ۱ در مسائل ریوز				*	۰/۴	۰/۵	۰/۴

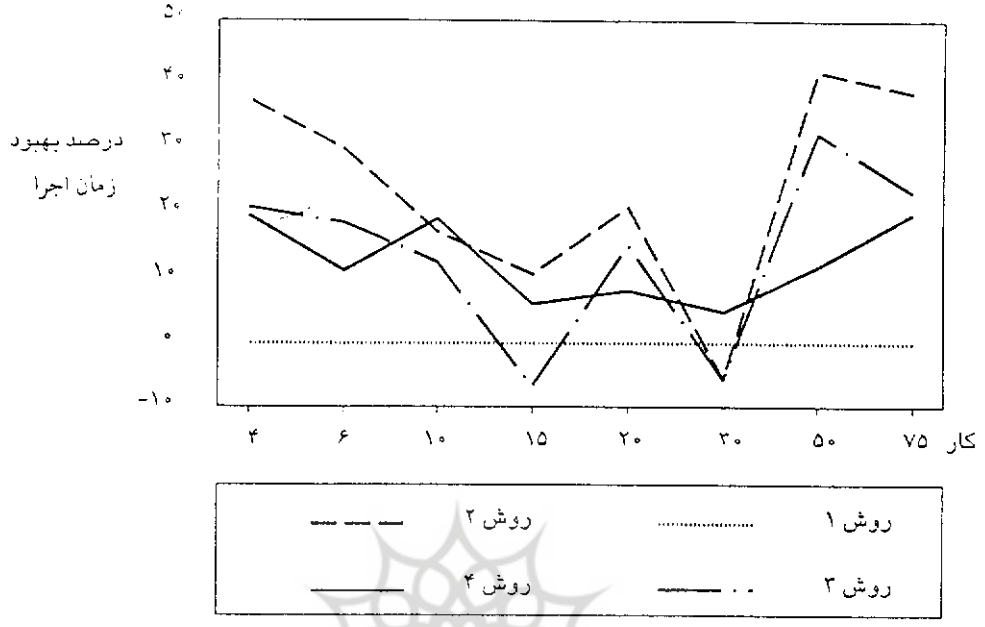
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۴ مقایسه درصد بهبود جواب روشها نسبت به روش NEH

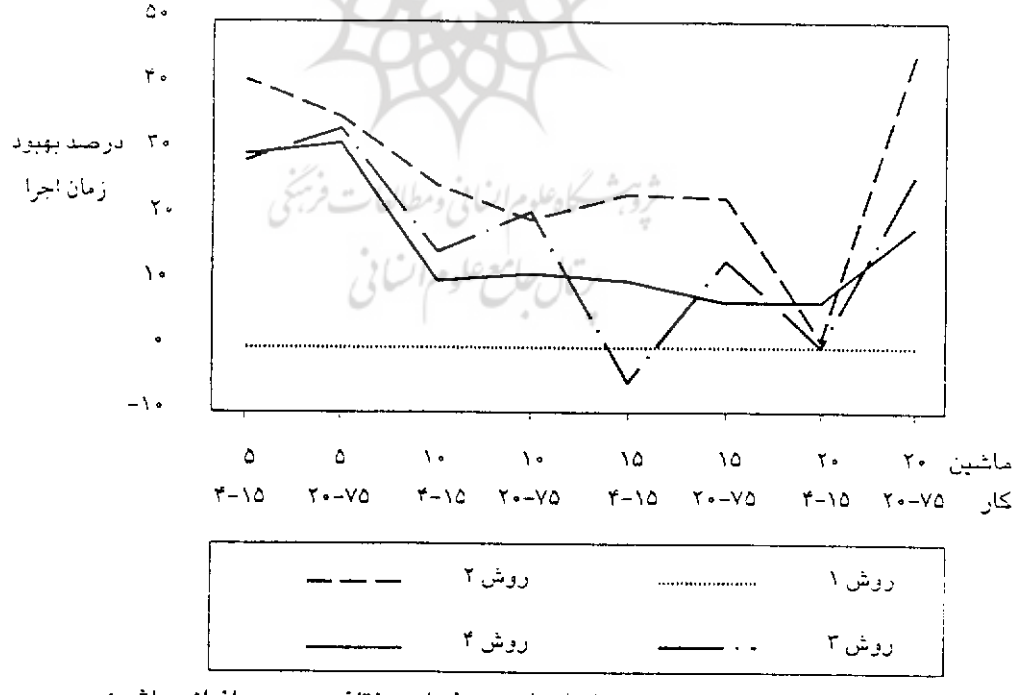
(بدون در نظر گرفتن یک جواب خوب در جمعیت اولیه)

گروه	اندازه مسأله: ماشین	کار	تعداد مسأله	مسأله ریوز	درصد بهبود جواب نسبت به روش NEH در روش: ۱	۲	۳	۴
۱	۵	۴	۶		۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷
۲	۱۰	۴	۶		۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۳	۱۵	۴	۶		۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶
۴	۲۰	۴	۶		۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
۵	۵	۶	۶		۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸
۶	۱۰	۶	۶		۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۱
۷	۱۵	۶	۶		۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴
۸	۲۰	۶	۶		۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷
۹	۵	۱۰	۶		۰/۹	۰/۸	۰/۸	۰/۸
۱۰	۱۰	۱۰			۱/۶	۱/۸	۱/۹	۱/۸
۱۱	۱۵	۱۰			۲/۵	۲/۵	۲/۴	۲/۰
۱۲	۲۰	۱۰			۱/۴	۱/۶	۲/۰	۱/۵
۱۳	۵	۱۵	۶		۱/۱	۱/۷	۱/۱	۱/۱
۱۴	۱۰	۱۵	۶		۱/۰	۲/۱	۲/۱	۱/۶
۱۵	۱۵	۱۵	۶		۱/۹	۲/۴	۲/۶	۱/۹
۱۶	۲۰	۱۵	۶		۱/۸	۱/۹	۱/۹	۱/۸
۱۷	۵	۲۰	۶	*	۰/۷	۰/۹	۰/۹	۰/۸
۱۸	۱۰	۲۰	۶	*	۱/۵	۲/۴	۲/۳	۱/۶
۱۹	۱۵	۲۰	۶	*	۱/۸	۲/۱	۲/۷	۱/۸
۲۰	۲۰	۲۰	۶		۰/۴	۱/۷	۱/۳	۱/۵
۲۱	۵	۳۰	۶		۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۳
۲۲	۱۰	۳۰	۶	*	۱/۰	۲/۲	۱/۸	۲/۴
۲۳	۱۵	۳۰	۶	*	۰/۸	۲/۴	۲/۱	۱/۸
۲۴	۲۰	۳۰	۶		۱/۷	۲/۲	۲/۰	۲/۱
۲۵	۵	۵۰	۶		۱/۲	۱/۲	۱/۱	۱/۲
۲۶	۱۰	۵۰	۶	*	۱/۳	۱/۵	۱/۰	۱/۳
۲۷	۱۵	۵۰	۶		−۰/۱	۱/۰	۱/۲	۱/۳
۲۸	۲۰	۵۰	۶		۰/۵	۰/۶	۱/۴	۱/۵
۲۹	۵	۷۵	۶		۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۳۰	۱۰	۷۵	۶		۰/۲	۰/۷	۰/۷	۰/۷
۳۱	۱۵	۷۵	۶		۰/۸	۰/۸	۰/۸	۱/۰
۳۲	۲۰	۷۵	۶	*	−۰/۳	−۰/۹	−۰/۱	−۰/۱
متوسط درصد بهبود جواب نسبت به روش NEH در تمام مسائل					۰/۸	۱/۱	۱/۱	۱/۱
متوسط درصد بهبود جواب به روش NEH در مسائل ریوز				*	۰/۷	۱/۱	۱/۲	۱/۲

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱ درصد بهبود زمان اجرا در روشهای مختلف برحسب اندازه کار



شکل ۲ درصد بهبود زمان اجرا در روشهای مختلف برحسب اندازه ماشین

جدول ۵ مقایسه درصد بهبود زمان اجرای روشها نسبت به روش ۱ (ریوز)

(با در نظر گرفتن یک جواب خوب در جمعیت اولیه)

گروه	اندازه مسأله: ماشین	کار	تعداد مسأله	مسأله ریوز	درصد بهبود زمان اجرا نسبت به روش ۱ در روش: ۲	۳	۴
۱	۵	۴	۶		۴۷/۷	۲۸/۱	۲۵/۰
۲	۱۰	۴	۶		۴۱/۵	۲۴/۸	۲۳/۲
۳	۱۵	۴	۶		۳۶/۴	۲۱/۳	۲۰/۰
۴	۲۰	۴	۶		۳۲/۸	۱۹/۳	۱۸/۳
۵	۵	۶	۶		۴۵/۰	۲۵/۷	۲۴/۲
۶	۱۰	۶	۶		۳۷/۵	۲۳/۹	۲۲/۲
۷	۱۵	۶	۶		۳۱/۶	۲۰/۸	۱۹/۵
۸	۲۰	۶	۶		۲۷/۳	۱۸/۱	۱۷/۰
۹	۵	۱۰	۶		۳۹/۵	۱۰/۱	۱۹/۵
۱۰	۱۰	۱۰	۶		۱۳/۶	-۰/۵	۵/۶
۱۱	۱۵	۱۰	۶		۲۵/۵	۱۹/۲	۲۴/۴
۱۲	۲۰	۱۰	۶		۲۱/۱	۲۴/۹	-۶/۴
۱۳	۵	۱۵	۶		۴۸/۱	۳۷/۳	۳۷/۶
۱۴	۱۰	۱۵	۶		-۳/۴	۱۱/۴	-۷/۲
۱۵	۱۵	۱۵	۶		۸/۰	-۸/۵	۸/۶
۱۶	۲۰	۱۵	۶		-۶/۰	-۳/۵	۲۵/۲
۱۷	۵	۲۰	۶	*	۳۶/۲	۳۶/۰	۳۷/۹
۱۸	۱۰	۲۰	۶	*	۱۲/۵	۲۷/۳	۴۲/۱
۱۹	۱۵	۲۰	۶	*	-۱۰/۳	-۲۷/۵	-۶۵/۱
۲۰	۲۰	۲۰	۶		۳/۸	-۳۷/۹	۱۱/۳
۲۱	۵	۳۰	۶		۳۹/۲	۲۸/۶	۳۲/۸
۲۲	۱۰	۳۰	۶	*	۳۷/۹	۳۱/۷	۱۰/۰
۲۳	۱۵	۳۰	۶	*	-۲۸/۵	-۲۳/۸	-۳۳/۶
۲۴	۲۰	۳۰	۶		۳۱/۷	۳/۵	-۱/۸
۲۵	۵	۵۰	۶		۳۹/۷	۳۵/۳	۲۱/۹
۲۶	۱۰	۵۰	۶	*	۳۶/۹	۲۳/۱	۱۵/۸
۲۷	۱۵	۵۰	۶		۴۱/۷	۲۳/۳	-۲/۸
۲۸	۲۰	۵۰	۶		-۱۰/۲	۰/۲	-۳۵/۰

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲۹	۵	۷۵	۶		۴۰/۰	۳۴/۹	۳۷/۷
۳۰	۱۰	۷۵	۶		۴۲/۰	۱۵/۶	-۷/۰
۳۱	۱۵	۷۵	۶		۳۰/۰	۳۷/۲	۲۵/۸
۳۲	۲۰	۷۵	۶	*	۵۰/۵	۳۰/۴	۲۶/۵
متوسط بهبود زمان اجرا نسبت به روش ۱ در تمام مسائل					۲۷/۴	۱۸/۴	۸/۴
متوسط بهبود زمان اجرا نسبت به روش ۱ در مسائل ریوز				*	۳۲/۵	۲۰/۵	۱۳/۰

جدول ۶ تعیین روش مناسب با توجه به اندازه مسأله براساس بهترین زمان اجرای روشها

نسبت به روش (ریوز) (بدون در نظر گرفتن یک جواب خوب در جمعیت اولیه)

گروه	اندازه مسأله: ماشین	اندازه مسأله: کار	تعداد مسأله	مسأله بهترین ریوز	بیشترین جواب نسبت بهبود زمان	شماره روش	درصد بهبود به NEH
۱	۵	۴	۶		۴۶/۴	۲	۰/۷
۲	۱۰	۴	۶		۴۰/۱	۲	۰/۱
۳	۱۵	۴	۶		۳۵/۲	۲	۰/۶
۴	۱۵	۴	۶		۳۱/۴	۲	۰/۳
۵	۲۰	۶	۶		۴۴/۲	۲	۰/۸
۶	۱۰	۶	۶		۳۶/۹	۲	۱/۱
۷	۱۵	۶	۶		۲۳/۹	۲	۰/۴
۸	۲۰	۶	۶		۲۰/۸	۲	۰/۷
۹	۵	۱۰	۶		۴۶/۲	۲	۰/۸
۱۰	۱۰	۱۰	۶		۲۵/۷	۳	۱/۹
۱۱	۱۵	۱۰	۶		۳۰/۸	۴	۲/۰
۱۲	۲۰	۱۰	۶		۵/۷	۴	۱/۵
۱۳	۵	۱۵	۶		۳۲/۸	۴	۱/۱
۱۴	۱۰	۱۵	۶		۲۰/۸	۲	۲/۱
۱۵	۱۵	۱۵	۶		۱۶/۵	۲	۲/۴
۱۶	۲۰	۱۵	۶		۸/۲	۴	۱/۸
۱۷	۵	۲۰	۶	*	۳۲/۵	۲	۰/۹
۱۸	۱۰	۲۰	۶	*	۳۱/۶	۲	۲/۴
۱۹	۱۵	۲۰	۶	*	۲۷/۴	۲	۲/۱
۲۰	۲۰	۲۰	۶		۲۸/۷	۳	۱/۳
۲۱	۵	۳۰	۶		۳۰/۹	۲	۰/۳
۲۲	۱۰	۳۰	۶	*	۲/۲	۳	۱/۸
۲۳	۱۵	۳۰	۶	*	-۱/۰	۱	۰/۸
۲۴	۲۰	۳۰	۶		۱۳/۷	۴	۲/۱
۲۵	۵	۵۰	۶		۴۰/۶	۲	۱/۲

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲۶	۱۰	۵۰	۶	*	۳۸/۱	۳	۱/۰
۲۷	۱۵	۵۰	۶		۲۰/۲	۲	۱/۰
۲۸	۲۰	۵۰	۶		۵۷/۲	۲	۰/۶
۲۹	۵	۷۵	۶		۳۸/۹	۳	۰/۱
۳۰	۱۰	۷۵	۶		۱۴/۳	۲	۰/۷
۳۱	۱۵	۷۵	۶		۳۳/۹	۲	۰/۸
۳۲	۲۰	۷۵	۶	*	۴۹/۹	۲	-۰/۹
تمام‌گروهها					۳۱/۸	۲	۱/۱
گروههای‌ریوز				*	۳۴/۹	۲	۱/۱

۷. منابع

[1] Baker, K. R, *Introduction to Sequencing and Scheduling,* New York, John Wiley, 1976.

[2] French, S., Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job Shop, England, Ellis Horwood limited, 1986.

[3] Garey, M. R., D. S. Jonson and R. Sethi, «The Complexity of Flow Shop and Job Shop Scheduling», *Math. Opl Res*, Vol.1, 1976, PP.117-129.

[4] Rinnooy Kan, A. H. G, *Machine Scheduling Probems: Classificaon, Complexity and Computations,* Hague, Martinus Nijhoff, 1976.

[5] Johnson, S. M, «Optimal Two and Three Stage production Schedules with Set up Times Included», *Naval Research Logistics Quartely,* Vol. 6, 1954, PP. 61-68.

[6] Campbell, H. G, R. A. Dudek and M. L. Smith, «A Heuristic Algorithm for the n Job, m Machine Sequencing Problem», *Managent Science,* Vol. 16, 1970, PP. B630-B637.

[7] Dannenbing, D. G, «An Evaluation of Flow Shop Sequencing Heuristics», *Management Science,* Vol. 23, No. 11, PP. 1174-1182.

[8] Nawaz, M, E. E. Enscore Jr. and I. Ham, «A Heuristic Algorithm for the m-Machine, n-Job Flow Shop Sequencing problems», *Omega*, Vol. 11, 1983, PP. 91-95.

[9] Reeves, C. R, «A Genetic Algorithm for Flow Shop Sequencing», *Computers Ops. Res.* Vol. 22, No. 1, PP. 5-13.

[10] Ackley, D. H, *An Empirical Study of Bit Vector Function Optimisation in Genetic Algorithm and Simulaed Annealing,* London, Pitman, PP. 170 - 204.

[11] Croce, F. D, R. Tadei and G. Volta, «A Genetic Algorithm for the Job Shop Problem» *Computers Ops. Res.,* Vol. 22, No. 1, PP.15-24.

[12] Holland, J. H, *Adaption in Natural and Arifiicial Sysems,* The University of Michigan

Press, 1975.

[13] Golderg, D. E, *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning,* Addison wesley, 1989.

[14] Falkenauer, E, S. Bouffoix, *A Genetic Algorithm for Job Shop, Proceedings of the 1991 IEEE Intnernationl Conference on Robotics and Automation,* 1991.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی