زمانبندی کارها در محیط کارگاه گردش‌کاری با معیار حداقل‌سازی مجموع دیرکرد و زودکرد کارها

سید محمدحسن حسینی[1]، فریبرز جولای[2]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲. استادیار دانشکده فنی دانشگاه تهران

چکیده: در این مقاله مسئلهٔ زمانبندی nکارمستقل بر روی m ماشین در محیط کارگاه گردش کاری جایگشتی[1] با زمانهای پردازش و موعد تحویل دلخواه بررسی و یک مدل با هدف کمینه کردن مجموع دیرکردها و زودکردها ($\sum E/T$) با استفاده از تکنیک الگوریتمهای ژنتیک ارائه می‌شود. این مسئله از نوع مسایل ایستاست و بجز محدودیت ماشین‌آلات (به عنوان منابع) محدودیت دیگری برآن حاکم نیست. همچنین مسئلهٔ موردنظر از لحاظ اطلاعات در دسترس معین است. مدل ارائه شده به لحاظ بهینگی جواب نهایی و زمان حل مسئلهٔ ارزیابی و جوابهای آن با یکی از مدلهای موجود مقایسه می‌شود.

کلید واژه‌ها: کارگاه گردش‌کاری، الگوریتمهای ژنتیک، دیرکردها و زودکردها

مقدمه

از زمان چاپ اولین مقالهٔ جانسون دربارهٔ مسئلهٔ توالی عملیات کارگاه گردش‌کاری درسال ۱۹۵٤، این مسئله مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار

گرفت. در مسئلهٔ کارگاه گردش‌کاری ، m ماشین و n کار وجود دارد. هر کار نیازمند m عملیات است و برای هر عملیات یک ماشین متفاوت لازم است. n کار با توالی یکسان روی m ماشین انجام می‌شوند. زمان فرآیند کار i روی ماشین j به صورت t_{ij} (i=۱،۲،...,n و j=۱،۲،...,m). بیان می‌شود. هدف یافتن بهترین ترتیب انجام و تکمیل کارهاست. بهینگی توالی عملیات با در نظر گرفتن یک معیار کارایی مثلاً زمان تکمیل کل کارها، مجموع دیرکردها یا مجموع دیرکردها و زودکردها مشخص می‌شود. تنها تفاوت کارگاه گردش‌کاری ترتیبی با کارگاه گردش‌کاری در حالت عمومی این است که در حالت اول کارها در مراحل مختلف فرآیند (ماشینها)از یکدیگر سبقت نمی‌گیرند. به عبارت دیگر ترتیب کارها روی ماشین اول ، تعیین‌کنندهٔ ترتیب کارها روی تمام ماشینهاست. در حالت عمومی ، کارها ممکن است در مراحل مختلف فرآیند از یکدیگر سبقت بگیرند. در عمل ، اکثر مسائل کارگاه گردش‌کاری از نوع ترتیبی است و سبقت کارها از یکدیگر به ندرت اتفاق می‌افتد.

فرضهای اصلی مسئله عبارت‌اند از

۱. هر کار باید به ترتیب به وسیلهٔ تمام ماشینها پردازش شود.

۲. در هر زمان هر ماشین تنها یک کار را پردازش می‌کند.

۳. در یک زمان هر کار تنها به وسیلهٔ یک ماشین پردازش می‌شود.

٤. کارها به طور پیوسته انجام می‌شوند و بریدگی مجاز نیست.

٥. زمانهای آماده‌سازی کارها مستقل از توالی آنهاست و به عنوان بخشی از زمان پردازش در نظر گرفته می‌شود.

٦. توالی عملیات کارها روی تمام ماشینها یکسان است و باید توالی عمومی تعیین شود.

در اکثر صنایع تولیدی بزرگ، مانند خودرو- سازی و صنایع مونتاژ ، عملیات پردازش قطعات و تکمیل کارها به صورت خطی و مرحله‌ای صورت می‌گیرد. از این رو مسایل زمانبندی کارگاه گردش‌کاری، طیف گسترده‌ای از مدلهای تولیدی و مونتاژ را در برمی‌گیرد. از طرف دیگر این مسئله با معیار حداقل کردن مجموع دیرکردها و زودکردها ($\sum E/T$) یک معیار تولیدکننده - مشتری‌پسند و در جهت اهداف سیستمهای تولید درست به موقع است و کمتر مورد توجه محققان بوده است.

اغلب مسایل توالی عملیات NP-Hard هستند. از این‌رو، الگوریتمهای جستجوی دقیق وبهینه‌یاب برای حل اینگونه مسایل مستلزم زمان محاسباتی زیادی است. بویژه این زمان با بزرگ شدن ابعاد مسئله به صورت نمایی افزایش می‌یابد و در برخی موارد نیز یافتن جواب بهینه عملاً امکان‌پذیر نیست. به همین خاطر الگوریتمهای ابتکاری که در پی به دست آوردن جواب خوب در زمان کوتاه هستند، در حل این مسائل کاربرد

1. Permutation flow Shop

بسیاری پیدا کرده‌اند. در این مقاله یک الگوریتم ژنتیک برای مسئلهٔ موردنظر ارایه شده است. در ادامه مروری بر پیشینهٔ موضوع صورت گرفته و بعد ازآن به تشریح الگوریتمهای ژنتیک پرداخته است. سپس به تعیین پارامترهای الگوریتم ژنتیک برای مسئلهٔ موردبحث و تشریح مدل پرداخته و مدل ارائه شده ارزیابی می‌شود. در پایان بحث و نتیجه‌گیری آمده است.

مروری بر پیشینهٔموضوع

جانسون (۱۹۵٤) مسئلهٔ n قطعه و دو ماشین سری را با فرضیات مدل پایه موردبررسی قرارداد و جواب بهینهٔ مسئله یعنی کمینه کردن دامنهٔعملیات (C_{max}) را ارائه کرد. وی همچنین نشان داد که در جواب بهینه ترتیب عملیات دو ماشین یکسان است. بسیاری از محققان ، کار جانسون را برای تعمیم به ماشینهای بیشتر و پیداکردن الگوریتمهای بهینه ادامه دادند ولی جز در حالات خاص(**نیری، ۹۸۱**) موفقیت چندانی برای حل مسئله در حالت کلی به دست نیاوردند. **دودک** و همکاران نشان دادند که مسئله با تابع هدف کمینه کردن C_{max} از مسائل Np-Hard است (۱۹۹۲) . از این رو، روشهای ابتکاری سریعاً رشد یافتند. این مسئله به صورت $n/m/p/\ C_{max}$ نمایش داده می‌شود.

دودک و **تیوتون** (۱۹٦٤)، **ایگنال** و **شارج** (۱۹٦۵)، **اسمیت و دودک** (۱۹٦۷)، **آشور** (۱۹۷۰) به ارایهٔ روش حل BB و قواعد حذف می‌پردازند. در این مقالات جواب بهینه برای مسائل با اندازه‌های کوچک به دست آمده است و عملاً برای مسائل بزرگ کارایی ندارند.

روش GA توسط **ریورز** (۱۹۹٤)

پالمر (۱۹٦۵)،**کمبل** و همکاران (۱۹۷۰) ، **دانبرینگ** (۱۹۷۷)، و **کینگ و اسپچیس** (۱۹۸۰) به روشهای ابتکاری پرداخته‌اند. **دانبرینگ** (۱۹۷۷) و همچنین **ذگردی** و همکاران (۱۹۹۵) روشهای ابتکاری را به دو دستهٔ روشهای ساختنی و روشهای بهبود دادنی تقسیم کرده‌اند.

روشهای ابتکاری جالبی توسط **ناواز** و همکاران (۱۹۸۳) برای حل مسئلهٔ $n/m/p/\ C_{max}$ ارایه شده است. مبنای این روش بر اساس داشتن اولویت بالاتر برای قطعه با کل زمان پردازش بیشتر است. این روش به روش NEH مشهور است. **ناواز** و همکاران نشان داده‌اند که الگوریتم NEH در اکثر موارد کارایی بهتری نسبت به الگوریتم CDS دارد. **عثمان** و **پاتس** (۱۹۸۹) و **ریوز** (۱۹۹۵) معتقدند که کارایی روش NEH در بین سایر روشهای سنتی از همه بیشتر است. اشکال اساسی تمام روشهای بهبوددهنده با هر نوع تابع هدف، توقف در نقاط کمینهٔ محلی است. برای رفع این مشکل ، روشهای جدیدی از جمله بازپخت شبیه‌سازی شده[1] (SA)، الگوریتم ژنتیکی (GA) و پژوهش تابو[2] (TS) مطرح شده‌اند. در مقالهٔ **س کروس** و همکاران (۱۹۹۵) گفته می‌شود که GA یک تکنیک بهینه‌سازی برای توابع تعریف شده روی دامنهٔ محدود است. کلیهٔ روشهای TSو GA, SA پارامتری هستند و باید برای هر مسئله مشخص شوند. بزرگترین اشکال این روشها، طولانی بودن زمان حل مسائل نسبت به روشهای ابتکاری سنتی است.

1. Simulated Annealing
2. Tabu Search (TS)

روش GA توسط **ریورز** (۱۹۹۴) برای حل مسائل $n/m/p/C_{max}$ به کار برده شده است. در GA ی ارائه شده یکی از اعضای جمعیت اولیه، جواب الگوریتم NEH است. این روش با SA ی مربوط به **اگبو** و **اسمیت** (۱۹۹۱) مقایسه و برتری آن نشان داده شده است.

کمینه کردن مجموع وزنی انحراف از موعد تحویل با وزنهای مشابه برای زودکرد و دیرکرد، یک تابع غیرمنظم است و توسط **دی** و همکاران (۱۹۹۱) حالتی با موعد تحویل قطعات یکسان مورد بررسی قرار گرفته و جواب بهینه همراه با مشخص کردن موعد تحویل با استفاده ازروش DP ارائه شده است.

تابع هدف فوق با وزنهای متفاوت زودکرد و دیرکرد و محاسبهٔموعد تحویل یکسان برای تمام قطعات، توسط **دیلیبان** (۱۹۹۳) مورد توجه قرار گرفته و ضمن اثبات قضایایی از روش شاخه و کران برای پیدا کردن جواب بهینه و ارائهٔ روشی ابتکاری استفاده شده است. این روش توانایی حل مسئله‌های با حداکثر ۱۵ قطعه را دارد.

در بررسیهای انجام شده برای حالت کلی مسئلهٔ کارگاه گردش کاری[1] با معیار مجموع زودکرد و دیرکردها (مسئلهٔ $n/m/p/\Sigma E/T$) مقاله‌ای یافت نشد.

ساختار کلی آلگوریتم‌های ژنتیک

الگوریتمهای ژنتیک یک نوع از روشهای جستجوی تصادفی هستند که به سازوکار انتخاب و ژنتیک طبیعی وابسته‌اند و بر خلاف روشهای جستجوی متداول، با یک مجموعهٔ اولیه از جوابهای تصادفی که آن را جمعیت اولیه می‌نامیم شروع می‌کنند. هر عضو جمعیت را یک کروموزوم می‌نامیم که بیانگر یک جواب مسئله است. کروموزومها معمولاً به صورت رشته‌ای از اعداد یا نمادها هستند و در طی تکرارهای متوالی الگوریتم تکامل می‌یابند. هر تکرار الگوریتم را یک نسل می‌نامیم. در هر نسل، صلاحیت کروموزومها بر اساس معیار عملکرد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای تولید نسل بعدی، کروموزومهای بعدی که آنها را فرزندان می‌نامیم، طی مراحل زیر ایجاد می‌شوند:

- ادغام دو کروموزوم از نسل جاری با استفاده از یک عملگر ترکیب.
- تغییر دادن یک کروموزوم با استفاده از یک عملگر جهش.

انتخاب نسل جدید نیز طی مراحل زیر انجام می‌گیرد:

- ارزیابی و تعیین میزان صلاحیت کلیهٔ کروموزومها (شامل والدین و فرزندان) براساس معیار عملکرد.
- انتخاب تعداد ثابتی از بهترین کروموزومها (برابر با تعداد ثابت اعضای جمعیت) و دور ریختن بقیهٔ کروموزومها.

بعد از چند نسل(تکرار) ، الگوریتم به سمت بهترین کروموزومها همگرا می‌شود. اگر P(t) و C(t) به ترتیب والدین و فرزندان در نسل t ام

1.flow shop

باشند، آنگاه ساختار کلی الگوریتمهای ژنتیک را می‌توان به صورت زیر نشان داد.

```
Procedure: Genetic Algorithms
  Begin
    t=0
    initialize P (t)
    evaluate P (t)
    while (not termination condition) do
      recombineP(t) by crossover and mutation to
      yield C(t)
       evaluate C (t)
       select P(t+1) from P(t) and C (t)
       t= t+1
    loop
  End
```

معمولاً جمعیت اولیه به صورت تصادفی از میان جوابهای مسئله تشکیل می‌شود. عملیات ترکیب، جهش و ارزیابی (انتخاب) از جمله عملیات اصلی در الگوریتهای ژنتیک هستند. الگوریتمهای ژنتیک به طور متناوب روی فضای جواب و فضای کدگذاری شده کار می‌کنند. در واقع عملگرهای ژنتیک (ترکیب وجهش) ، روی فضای کدگذاری شده و عملهای تعیین صلاحیت و انتخاب، روی فضای جواب کار می‌کنند.

در تطبیق ساختار عمومی الگوریتمهای ژنتیک برای مسئلهٔ $n/m/p/\Sigma E/T$، آزمایشهای متعددی انجام شد تا بهترین وضعیت برای پارامترها مشخص شود. کارها و آزمایشهای انجام شده به همراه تعیین پارامترها در ادامه آمده است.

بررسی پارامترهای الگوریتم ژنتیک برای مسئلهٔ $n/m/p/\Sigma E/T$

الف) رشته برای نمایش مسئله

ابتدا لازم است مسئله در قالب الگوریتمهای ژنتیکی نمایش داده شود و سپس مراحل و پارامترهای الگوریتم به صورت مناسب تعریف و مشخص شوند. در این نمایش هرکروموزوم نشاندهندهٔ یک توالی است. واضح است که عملگرهای ترکیبی وجهشی باید طوری عمل کنند که توالی بودن (جواب ممکن) کروموزومها تضمین شود.

ب) روش کدگذاری

برای کدگذاری مسائل ترتیبی از قبیل مسئلهٔ زمانبندی کارگاه گردش‌کاری عموماً از کدگذاری جایگشتی استفاده می‌شود. در این کدگذاری، هرکروموزوم رشته‌ای از اعداد است که ترتیب و اولویتها را مشخص می‌کند.

ج) اندازهٔ جمعیت و تعداد نسل

اندازهٔ‌جمعیت (تعداد جوابهای ممکن در هر نسل) یکی از پارامترهای مؤثر در حجم و زمان انجام محاسبات است. پس از انجام آزمایشهای متعدد در نهایت مشخص شد که اندازهٔ جمعیت برابر ۲۰ مناسب است. تعداد نسل (تعداد تکرار الگوریتم) نیز عامل مؤثری در تعیین حجم محاسبات و میزان بهینگی جواب نهایی است. هرچه تعداد نسل بیشتر باشد زمان محاسبات زیاد می‌شود و جواب نهایی نیز بهبود بیشتری می‌یابد. در خصوص تعداد نسل، این نکته مورد توجه قرار گرفت که هر مسئله در اندازه‌های مختلف منطقی به نظر نمی‌رسد. اگر تعداد نسل یک عدد ثابت در نظر گرفته شود، مشاهده می‌شود که برخی مسائل در تعداد نسل

کمی، جواب مناسبی پیدا کرده‌اند ولی برای رسیدن به تعداد نسل مشخص شده باید تکرار را ادامه دهند. همچنین ممکن است در برخی مسائل بزرگتر، جواب به طور مرتب بهبود پیدا کند ولی چون تعداد نسل بیشتری مجاز نیست بهبود بیشتر نیز امکان‌پذیر نیست. در الگوریتم ژنتیکی پیشنهادی سعی شده است این عیب تا حدی برطرف شود. برای این منظور تعداد نسل از قبل مشخص نیست و به میزان بهبود مسئله بستگی دارد . در این حالت شرط توقف، تولید تعداد نسل ثابتی بعد از آخرین بهبود است. مقدار این پارامتر با آزمایشهای مختلف برابر ۷۵ تکرار الگوریتم بعد از آخرین بهبود تعیین شد.

د) تشکیل جمعیت اولیه

به منظور تشکیل جمعیت اولیه(۲۰ جواب ممکن اولیه) حالتهای زیر مورد بررسی قرار گرفت.

- تشکیل جمعیت اولیه به صورت کاملاً تصادفی
- قرار دادن نتیجهٔ روش ابتکاری EDD-FL به عنوان یک جواب در جمعیت اولیه و بقیهٔ جمعیت اولیه (۱۹ جواب) به صورت تصادفی.
- قرار دادن نتیجهٔروش ابتکاری NEH اصلاح شده در جمعیت اولیه و بقیهٔ جمعیت به صورت تصادفی.
- قراردادن نتیجهٔروشهای ابتکاریEDD-FL و NEH اصلاح شده در جمعیت اولیه و بقیهٔجمعیت به صورت تصادفی.

آزمایشهای متعدد نشان داد که حالت دوم (قرار دادن نتیجهٔ روش EDD-FL در جمعیت اولیه) نسبت به سایر موارد بهتر عمل می کند. از این رو، برای محاسبات بعدی، نتیجهٔروش EDD-FL به عنوان یک رشته در جمعیت اولیه قرار داده می‌شود. چنانچه فرض شود کارهایی که دارای موعد تحویل زودتر هستند، دارای اولویت بیشتری باشند آنگاه می‌توان کارها را بر اساس ترتیب غیرنزولی موعد تحویل (d_j) مرتب کرد و یک جواب ممکن به دست آورد. این روش تحت عنوان روش EDD-FL در این پژوهش ارائه می‌شود.

در روش NEH، موعد تحویل کارها در نظر گرفته نمی‌شود. ولی در تابع هدف $\sum E/T$ (معیار عملکرد مدل ارائه شده در این پژوهش)، موعد تحویل کارها نقش به سزایی دارد. از این رو، به منظور لحاظ کردن پارامتر موعد تحویل کارها در الگوریتمNEH می‌توان آن را تغییر داد. به همین خاطر می‌توان کارها را ابتدا بر اساس ترتیب غیرنزولی موعد تحویل (d_j) مرتب کرد و این فهرست را در قدم ۲ الگوریتم NEH قرار داد. قدمهای این روش که در این پژوهش تحت عنوان NEH اصلاح شده بیان می‌شوند به شرح زیرند.

قدم۱. کارها را بر اساس مقدار غیرنزولی موعد تحویل(d_j) مرتب کنید.

قدم ۲. دوکار اول و دوم فهرست قدم ۱ را بردارید و بهترین توالی این دو کار را با محاسبهٔ مقدار $\sum E/T$ برای دو توالی ممکن مشخص کنید.

موقعیت نسب این دو کار در بقیهٔ قدمهای الگوریتم ثابت باقی می‌ماند و تغییر نمی‌کند. قرار دهید i=۳.

قدم۳. کار در موقعیت i ام فهرست قدم ۱ را بردارید و بهترین توالی را با قراردادن این کار در i موقعیت توالی جزئی قدم قبلی، بدون تغییر در قدمهای نسبی، مشخص کنید . موقعیت نسبی کارها در این توالی جزئی، در بقیهٔ قدمهای الگوریتم ثابت باقی می‌ماند.

قدم٤. اگر i=n باشد، توقف کنید. در غیر این صورت قرار دهید i=i+۱ و به قدم ۳ بروید.

ه) عملکردهای ژنتیکی و احتمال وقوع آنها

عملگر ترکیب، مهمترین عملگر ژنتیکی است که روی دو کروموزوم اعمال می‌شود و فرزندان را با استفاده از تلفیق خصوصیات کروموزومهای والد ایجاد می‌کند . در بررسیهای انجام شده، چندین نوع عملگر ترکیبی مورد آزمایش قرار گرفت. عملگر ترکیب یک نقطه‌ای نشان داد که در مورد حل مسئلهٔ مورد بررسی $n/m/p/\sum E/T$ بهتر عمل می‌کند. در این عملگر، نقطهٔ‌ترکیب در هر بار تکرار، به صورت تصادفی انتخاب می‌شود.

دربین انواع عملگرهای جهشی مورد آزمایش، کارایی عملگر جهش تعویض بیشتر از سایر عملگرها بود. انتخاب ژنها برای تعویض نیز در هربار تکرار به صورت تصادفی انجام می‌شود. عملگر جهش به صورت تصادفی ژنهای کروموزومها را تغییر می‌دهد. اثر این کار در روند حل مسئله این است که اولاً از محدود شدن تمام جوابهای جمعیت در یک نقطهٔ بهینهٔ موضعی جلوگیری می‌کند. ثانیاً با تغییر تصادفی ژنهای کورموزومهای بد، امکان بهبود آنها را فراهم می‌سازد. روش انجام جهش روی کروموزومها نیز همانند ترکیب وابسته به نحوهٔ کدگذاری و نوع مسئله است.

به منظور تعیین احتمال وقوع هر کدام از عملگرهای ترکیب وجهش برای یک رشته، روشها و راهکارهای مختلفی مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت تا پارامترهای مناسب تشخیص داده شود. ابتدا این دو احتمال را به صورت زیر تعریف می‌کنیم

P_{ci}: احتمال استفاده از عملگر ترکیب برای دو رشته i و ۱+ i ام

P_{mi}: احتمال استفاده از عملگر جهش برای رشته i ام

به طور کلی در الگوریتمهای ژنتیک بهتر است که عملگر ترکیب روی کروموزومهای خوب اعمال شود، چرا که ترکیب دو کروموزوم خوب معمولاً باعث پیدایش کروموزوم بهتر می‌شود هرچند که این موضوع صددرصد نیست. عملگر جهش بهتر است روی کروموزومهای بد اعمال شود. آزمایشهای متعدد ودقیقی در زمینهٔ احتمال وقوع عملگرهای ترکیب و جهش روی هر کدام از کروموزومها انجام شد. نتیجهٔنهایی این آزمایشها نشان داد که بهترین احتمال برای وقوع عملگرهای ترکیب و جهش روی کروموزوم i ام باید به صورت زیر تعریف شود.

$$P_{ci} = \frac{N-i}{N} \qquad P_{mi} = \frac{i}{N}$$

تعریف دو احتمال فوق از آنجا ناشی شد که

در مدل ارائه شده ، بعد از هربار اعمال عملگرهای ترکیب و جهش و تولید تعدادی فرزند، مجموعهٔ کل کروموزها (مرکب از والدها و فرزندهای ایجاد شده)مطابق معیار عملکرد ($Min\sum E/T$) ارزیابی و به ترتیب از بهترین به بدترین مرتب می‌شوند. سپس ۲۰ کروموزوم بهتر انتخاب می‌شوند به طوری که اولین کروموزوم ، بهترین‌کروموزوم باشد و به ترتیب تا به آخر. آخرین کروموزوم بدترین کروموزوم است. حال در تکرار بعدی کروموزومهای ابتدایی که بهترند مطابق تعریف دو احتمال فوق، دارای شانس بیشتری برای ترکیب و شانس کمتری برای جهش هستند. برعکس، کروموزومهای انتهایی که بدند ، شانس کمتری برای ترکیب و شانس بیشتری برای جهش دارند.

با توجه به مباحث قبلی، الگوریتم حل مسئله در قدمهای زیر خلاصه می‌شود.

قدم‌صفر. تعریف مسئله و ورود مقادیر اولیه

- تعداد کارها n
- تعداد ماشینها m
- ماتریس زمان پردازش کارها t_{ij}
- بردار موعد تحویل کارها d_i
- تعداد جمعیت: ۲۰ N
- قرار دادن مقدار اولیهٔ صفر برای سایر متغیرها و ماتریسها

قدم ۱: تشکیل جمعیت اولیه

- تشکیل N-۱ رشته (توالی) به صورت تصادفی، به طوری که هیچ دو رشته‌ای یکسان نباشد.
- تشکیل رشتهٔ N ام با استفاده از جواب الگوریتم EDD-FL.

قدم۲: ارزیابی و مرتب کردن جمعیت اولیه

- محاسبهٔ‌مقدار $\sum E/T$ برای کلیهٔ‌رشته‌ها.
- مرتب کردن رشته‌ها به ترتیب صعودی مقدار $\sum E/T$ مربوط به آنها.

قدم ۳: ترکیب ـ انجام عملیات زیر به ترتیب از رشتهٔ‌اول تا رشتهٔ N-۱ام

- انتخاب دو رشتهٔ iام و i+۱ام با احتمال (N-i)/N
- ایجاد عددی تصادفی بین ۱ تا n-۱(مثلاً g).
- تشکیل رشته‌ای جدید که ژنهای ۱ تا g آن از رشتهٔ iام و بقیه به ترتیب از رشتهٔ i+۱ ام انتخاب می‌شوند.

قدم ٤: جهش ـ انجام عملیات زیر به ترتیب از اولین تا آخرین رشته

- انتخاب رشتهٔ iام با احتمال i/N.
- ایجاد دو عدد تصادفی نامساوی بین ۱ تا n (مثلاً g_1 و g_2).
- تعویض موقعیت دو ژن g_1 و g_2 با یکدیگر و تشکیل رشتهٔ جدید.

قدم ٥: ارزیابی و انتخاب

- محاسبهٔ مقدار $\sum E/T$ برای کلیهٔ‌رشته‌ها.
- مرتب کردن رشته‌ها به ترتیب صعودی مقدار $\sum E/T$ مربوط به آنها.
- انتخابN رشتهٔ اول به عنوان نسل جدید.

قدم ٦: مقایسه جواب

- چنانچه بهترین جواب نسل جدید از بهترین جواب نسل قدیم بهتر باشد، قرار دهید ITER=۰

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

و به قدم ۷ بروید.

- چنانچه بهترین جواب نسل جدید از بهترین جواب نسل قدیم بهتر نباشد، قرار دهید ITER=ITER+۱ و به قدم ۷ بروید.

قدم ۷: شرط توقف

- چنانچه ITER<۷۵ باشد، به قدم ۳ بروید.
- چنانچه ITER>=۷۵ باشد، بهترین جواب را نمایش دهید و در همینجا و الگوریتم پایان می‌یابد.

ارزیابی روش

در این بخش کارایی مدل ارائه شده را مورد بررسی قرار می‌دهیم تا توانایی و نقاط ضعف آن مشخص شود. روش ارائه شده از دو جنبهٔ **بهینگی جواب و زمان اجرا** تا دستیابی به جواب نهایی ،مورد ارزیابی و آزمون قرار می‌گیرد. یکی از مشکلات اساسی در انجام این تحقیق این بود که در مطالعات انجام شده متأسفانه هیچگونه مدل مشابهی در زمینهٔ کمینه کردن مجموع دیرکردها و زودکردها ($\sum E/T$) در مسائل کارگاه گردش‌کاری مشاهده نشد تا بتوان مقایسه‌ای بین آنها انجام داد. به همین علت دو مدل دیگر نیز با معیار کمینه کردن مجموع دیرکردها و زودکردها تهیه شد که یکی از آنها مدل انشعاب و تحدید (BB) و دیگری روش NEH اصلاح شده برای معیار $\sum E/T$ است. لازم به توضیح است که تمامی برنامه‌های کامپیوتری در محیط MATLAB نسخهٔ ۵،۳،۱ برنامه‌نویسی و کدگذاری شده‌اند. کلیهٔ تجزیه و تحلیلها بر روی جوابهای به دست آمده و مقایسه‌ها و ارزیابیهای لازم و رسم جدولها و نمودارها، با نرم‌افزار میکروسافت اکسل نسخهٔ ۲۰۰۰ انجام شده است. اجرای کلیهٔ برنامه‌ها و نرم‌افزارها نیز توسط یک دستگاه رایانهٔ شخصی پنتیوم ۳ با مشخصات CPU: ۸۰۰MHz و RAM:۲۵۶MB انجام شده است.

الف)طراحی مسایل

ورودیهای اصلی مسئله عبارت‌اند از موعد تحویل کارها و زمان پردازش آنها. زمان پردازش کارها به طور یکنواخت بین ۰ تا ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. این توزیع دارای واریانس زیادی است و اجازه خواهد داد تا مدل مورد بررسی تحت شرایط مختلف که برخی از آنها نامساعد است، ارزیابی شود.

به منظور تعیین موعد تحویل کارها باید در نظر داشت که این پارامتر وابسته به مدت زمان پردازش کارهاست و باید موعد تحویل کارها به صورت تصادفی طوری تعیین شود که مسئله تحت شرایط مختلف و بعضاً نامساعد قرار بگیرد تا مدل در حالتهای مختلف ارزیابی شود. محققان مختلف دو عامل دیرکرد (τ) و دامنهٔ موعد تحویل (R) را مهم دانسته و بر اساس آنها مسائل را به صورت تصادفی تولید کرده‌اند. برای این منظور از روابط زیر برای به دست آوردن توزیع یکنواخت موعد تحویل کارها استفاده می‌شود.

$$\bar{d} = (I - \tau)^* \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} P_{ij} \qquad (۱)$$

و

$$\left[\bar{d} * (1 - \frac{R}{2}) \bar{d} * (1 \frac{+R}{2}) \right] \qquad (۲)$$

توزیع یکنواخت موعد تحویل کارها

اکثر محققان از جمله **او و مورتون** (۱۹۸۹) و همچنین **دگردی** و همکاران (۱۹۹۵)، مقدار عامل دیرکرد (τ)را برابر ۰/۲ و ۰/۶، و مقدار دامنهٔ موعد تحویل (R) را برابر ۰/۶ و ۱/۲ فرض کرده‌اند. این اعداد در تحقیقات استاندارد می‌شوند و محققان از این اعداد برای تولید مسائل تصادفی استفاده می‌کنند.

در عمل، رابطهٔ (۱) برای مسائل کارگاه گردش کاری مناسب نیست. چرا که مجموع زمانهای پردازش تمام کارها روی تمام ماشینها عدد بزرگی است و معمولاً اکثر کارها دارای زودکرد هستند. برای رفع این مشکل با بیان دیگر می‌توان رابطهٔ (۱) را به صورت زیر نوشت

$$\bar{d} = (1 - \tau)^* M \qquad (۳)$$

که در آن M زمان ختم کلیه کارهاست. در مسئلهٔ تک ماشین ، مقدار M برابر مجموع زمان پردازش کارهاست. در مسئلهٔ دو ماشین، مقدار بهینهٔ M توسط ترتیب **جانسون** به دست می‌آید. ولی در حالت کلی کارگاه گردش‌کاری، روشی برای مقدار بهینهٔ M وجود ندارد. از این رو، معمولاً مقدار M را از یک توالی تصادفی مسئله به دست می‌آورند. در این حالت همواره مقدار M از مجموع مجموع زمانهای پردازش تمام کارها روی تمام ماشینها کمتر است. رابطهٔ (۳) برای مسائل کارگاه گردش کاری بهتر از رابطهٔ (۱) عمل می‌کند. ما نیز در این پروژه به منظور تعیین توزیع یکنواخت موعد تحویل کارها، به ترتیب از دو رابطهٔ (۳) و (۲) استفاده می‌کنیم.

ب) طراحی روش آزمون

از ترکیب دو عامل دیرکرد (τ) و دامنهٔ‌موعد تحویل کارها (R)، چهار دسته مسئله ایجاد می‌شود. این چهار دسته در جدول شماره ۱ مشخص شده‌اند.

جدول شماره ۱. دسته‌بندی مسائل

شمارهٔ‌دسته	مقدار τ	مقدارR
دستهٔ اول	۰/۲	۰/۶
دستهٔ‌دوم	۰/۲	۱/۶
دستهٔ‌سوم	۰/۶	۰/۶
دستهٔ‌چهارم	۰/۶	۱/۶

اندازهٔ مسائل به نحوی طراحی می‌شود که در عین داشتن تنوع اندازه‌های کوچک،متوسط و بزرگ در آن وجود داشته باشد. این مسائل مطابق جدول شمارهٔ ۲ در ۲۰ گروه طبقه‌بندی شده‌اند.

تعداد ۵ مسئله در هر گروه (مجموعاً ۱۰۰ مسئله در ۲۰ گروه) تولید شده است. این مسائل برای ٤ دسته (جدول شمارهٔ۱) طراحی و در مجموع ٤۰۰ مسئله طراحی و تولید شده است. این مسایل با روشهای الگوریتم ژنتیک (GA)، انشعاب و تحدید(BB)، و روش NEH اصلاح و حل شده‌اند. به منظور آزمون و ارزیابی مدل اصلی

ارائه شده در این مقاله (الگوریتم ژنتیک) دو معیار در نظر گرفته شده است که به شرح زیرند.

جدول شمارهٔ ۲. گروه‌بندی مسائل

شمارهٔ گروه	تعداد کارها	تعداد ماشینها
۱	٤	٥
۲	٤	۱۰
۳	٤	۲۰
٤	٦	٥
٥	٦	۱٥
٦	٦	۲۰
۷	۹	۷
۸	۹	۲۰
۹	۹	۲٥
۱۰	۱٥	۱۰
۱۱	۱٥	۲٥
۱۲	۱٥	۳۰
۱۳	۲٥	۲۰
۱٤	۲٥	۳۰
۱٥	۲٥	۳٥
۱٦	٤۰	۱۰
۱۷	٤۰	۲۰
۱۸	٤۰	٤٥
۱۹	٥۰	۲۰
۲۰	٥۰	٥۰

- **معیار بهینگی جواب.** سعی شده است از طریق مدل انشعاب و تحدید، برای مسائل مختلف جواب بهینه را به دست آوریم و جوابهای به دست آمده را از طریق الگوریتم ژنتیکی با آن مقایسه کنیم. ازاین رو، بدین ترتیب مشخص می‌شود که در چند درصد اوقات (چند درصد مسائل)، مدل به جواب بهینه رسیده است.

- **معیار بهتر بودن جواب (در مقایسه با روش NEH اصلاح شده) و زمان حل.** در مطالعات انجام شده متأسفانه مدل مشابهی که بتوان جواب و زمان حل مدل ارائه شده در این پروژه را با آن مقایسه با آن مقایسه کرد یافت نشد. به همین دلیل در الگوریتم NEH که برای حل مسائل کارگاه گردش کاری طراحی شده و در زمینهٔبهینگی جواب و زمان حل بسیار موفق بوده است، تغییر مختصری به عمل آوردیم تا بتوان جواب حاصل از مدل الگوریتم ژنتیکی را با آن مقایسه کرد. تنها اختلاف الگوریتم NEH با مدل الگوریتم ژنتیکی ارائه شده در این پروژه این است که معیار عملکرد الگوریتم NEH، C_{max} (زمان ختم آخرین کار) است. از این رو، همانگونه که قبلاً گفته شد با اعمال تغییراتی در یکی از قدمهای این الگوریتم، تابع عملکرد آن را به $\sum\sum E/T$ تغییر می‌دهیم و می‌توانیم دو مدل را از لحاظ بهینگی جواب مقایسه کنیم.

ج) حل مسائل و نتایج حاصل

در قسمتهای قبل نحوهٔتشکیل ۱۰۰ مسئله با ابعاد مختلف در هر یک از چهار دسته (جمعاً ٤۰۰ مسئله) تشریح شد. در این قسمت نتایج حل این مسائل با روش الگوریتم ژنتیکی ارائه می‌شود.

جدول ۳ نشان‌دهندهٔ تعداد و درصد جواب بهینه در آلگوریتم ژنتیک است. یافتن جواب بهینه تنها از طریق آلگوریتم انشعاب و تحدید ممکن بود. به همین دلیل لازم بود ابتدا جواب بهینهٔ مسائل با مدل انشعاب و تحدید مشخص شود و سپس درصد جواب بهینهٔمدل الگوریتم ژنتیکی را تعیین کنیم. از آن جایی که در الگوریتم انشعاب و تحدید برای دست یافتن به جواب بهینه باید تمام

توالیها تعیین و تک‌تک مورد بررسی و ارزیابی واقع شوند، از این رو، این الگوریتم بسیار زمانبر است و همچنین به دلیل تعداد زیاد توالیهای ممکن در ابعاد بزرگ مسئله، تنها برای مسائلی که دارای ۹ کار یاکمترند قادر به یافتن جواب بهینه است. جدول ٤ مقایسهٔبین مدل GA وNEH در دستیابی به جواب بهتر را نشان می‌دهد. این جدول بیانگر برتری مطلق مدل GA است. جدول ٥ زمان اجرای مدلGAتا رسیدن به جواب نهایی را نشان می‌دهد. اختلاف نتایج بین چهار دسته مسائل (که از تغییر پارامترهای τ وR ایجاد شده‌اند) قابل بررسی است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله مزیت استفاده از تکنیکهای جدید مانند TS,SA,GAدر مسائل زمانبندی بر مدلهای سنتی به خاطر دستیابی به جواب بهتر و افزایش میزان به کارگیری این تکنیکها به ویژه تکنیک GA برای زمانبندی مطرح شد. سپس مدلی بر اساس الگوریتمهای ژنتیکی به منظور زمانبندی مسئلهٔ کارگاه گردش کاری جایگشتی شامل n کار و m ماشین با معیار $\sum E/T$ ارائه و جوابهای حاصل به لحاظ بهینگی و زمان دستیابی به جواب نهایی ارزیابی شد. مدل ارائه شده با تابع هدف مذکور برای اولین بار مطرح و ارائه شده است. این مدل برای مسائل تا ۹ کار و ۲۵ ماشین در ۹۷٪ حالات به جواب بهینه دست یافت و این بیانگر آن است که مدل برای مسایل بزرگتر نیز قادر به یافتن جواب بهینه و یا خیلی نزدیک به بهینه است. همچنین جوابهای این مدل در حل ٤۰۰ مسئله مختلف با جوابهای یکی از مدلهای سنتی مقایسه شد و در نهایت مدل ارائه شده در ۹٤٪ حالات به جواب بهتر و در ٦٪ نیز به جواب مساوی با مدل قدیمی رسید.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۳ : تعداد و درصد جواب بهینهٔ به دست آمده از مدل

گروه	اندازهٔ مسئله		تعداد مسائل بررسی شده در هر دسته	تعداد جواب بهینه در هر دسته				مجموع	
	تعداد کار	تعداد ماشین		دستهٔ اول	دستهٔ دوم	دستهٔ سوم	دستهٔ چهارم	تعداد	درصد
۱	٤	٥	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	٤۰	٪۱۰۰
۲	٤	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	٤۰	٪۱۰۰
۳	٤	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	٤۰	٪۱۰۰
٤	٦	٥	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	٤۰	٪۱۰۰
٥	٦	۱٥	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	٤۰	٪۱۰۰
٦	٦	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۳۹	٪۹۸
۷	۹	۷	۱۰	۱۰	۷	۱۰	۸	۳٥	٪۸۸
۸	۹	۲۰	۱۰	۱۰	۹	۸	۹	۳٦	٪۹۰
۹	۹	۲٥	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۹	۳۸	٪۹٥
مجموع	تعداد		۹۰	۹۰	۸٦	۸۷	۸٥	۳٤۸	٪۹۷
	درصد		——	٪۱۰۰	٪۹٦	٪۹۷	٪۹٤	٪۹۷	——

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ٤ : مقایسه جوابهای دو مدل GA و NEH

گروه	اندازهٔ مسئله		تعداد مسائل بررسی شده در هر دسته	میانگین جواب GA و NEH در هر دسته								میانگین کل	
	تعداد کار	تعداد ماشین		دستهٔ اول		دستهٔ دوم		دستهٔ سوم		دستهٔ چهارم			
				مدل GA	مدل NEH	مدل GA	مدل NEH	مدل GA	مدل NEH	مدل GA	مدل NEH	مدل GA	مدل NEH
١	٤	٥	٥	٦٢٤	٧٠٨	٥٨١	٦٠٢	٣٠٦	٤٠٩	٦٠٨	٦٥٧	٥٣٠	٥٩٤
٢	٤	١٠	٥	٩٦٠	٩٦٢	٦٨١	٧٤٠	٧٢٤	٧٣٧	٩٩٥	١١٣٥	٨٤٠	٨٩٤
٣	٤	٢٠	٥	١٢٢٣	١٢٢٣	٢١٥٩	٢٢٣٧	١٥٥١	١٦١٢	٢١١٢	٢٢٦٤	١٧٦١	١٨٣٦
٤	٦	٥	٥	١٢٣٤	١٣٩٩	٨٨٥	١٠١٠	٧٠١	٨٥٢	٨٢٤	١٠٧٠	٩١١	١٠٨٣
٥	٦	١٥	٥	١٩٥٣	٢٢٤٤	٢٢٤٤	٢٤٨٧	١٢٨٥	١٧٨٤	٢٤٥٤	٢٦٢٦	١٩٨٤	٢٢٨٥
٦	٦	٢٠	٥	٢٢٣٧	٢٤٤٠	٢٦٩٣	٣١٤٨	٢٣٦٧	٢٥٩٧	٢٩٨٨	٣٣٣٣	٢٥٧١	٢٨٧٩
٧	٩	٧	٥	٢٦٦٧	٣٦٢٨	١٢٢٠	١٨٥٤	١٢٠٢	١٦٤٦	١٦٠٨	١٩٩٩	١٦٧٤	٢٢٨٢
٨	٩	٢٠	٥	٤٩٨٧	٦٧٩٥	٤٠٨٣	٤٧٧٠	٣٠٨٨	٤٣٣٥	٥٥٦١	٦٥٩٠	٤٤٣٠	٥٦٢٢
٩	٩	٢٥	٥	٤٦٣٧	٦١١٥	٥٥٢١	٨٣٦٣	٤٣١٣	٥٦٨٠	٦٦٥١	٧٣٩٠	٥٢٨٠	٦٨٨٧
١٠	١٥	١٠	٥	٨٩١٢	١٠٠٥٧	٣٩٤٦	٥٨٣٨	٢٦٦٣	٥١٥٤	٤١٥٨	٥٥٩٨	٤٩١٩	٦٦٦٢
١١	١٥	٢٥	٥	١٢٤٣٧	١٤٨٣٢	١٠٣٨٠	١٢٦٩٤	٦٥٤٨	٨٦٤٢	١٢٠٨٩	١٥٢١٠	١٠٣٦٣	١٢٨٤٤
١٢	١٥	٣٠	٥	٩٢٣٨	١٣٧٣٤	٩٤٨٩	١١٤٠٢	٦٥٦٠	٨٥٥٤	١١٦٨١	١٣٨٤٠	٩٢٤٢	١١٨٨٣
١٣	٢٥	٢٠	٥	٢٨٦٧٨	٣٣٦١٤	١٤٥١١	١٨٤٣٩	٥١٧١	٩٥٩٩	١٣٣٥٧	١٨٠٢٣	١٥٤٢٩	١٩٩٢١
١٤	٢٥	٣٠	٥	٢٣٦٤٩	٢٧٨٢٣	١٥٠١٦	١٩١٢٦	٩١٨٨	١٣٩٩١	٢٤٤٦٦	٣١٧١٧	١٨٠٨٠	٢٣١٦٤
١٥	٢٥	٣٥	٥	٢٤٥٧٧	٣٣٧٨٩	٢٠٣٩١	٢٣٢٧٩	١٦٥٠٥	٢٢٧٣٩	٢٧١٦٨	٣٣٨٢٩	٢٢١٦٠	٢٨٤٠٩
١٦	٤٠	١٠	٥	٤٢٤٥٦	٥٢٧٠١	٢٩٤١٥	٤٢٨٠٤	٦٤٨٩	١٠٧١٣	١٤٤٦٧	٢٥٠٢١	٢٣٢٠٧	٣٢٨١٠
١٧	٤٠	٢٠	٥	٥٦٠٢٦	٦٦١٧٠	٤٣٥٨٦	٥٧٦٣٤	٣٨٧١٠	٥٣٤١٣	٥٧١٢٧	٧٥٣٢٧	٤٨٨٦٢	٦٣١٣٦
١٨	٤٠	٤٥	٥	٦٧٠٥٦	٨٩٣٣٣	٤٩٤٤٠	٦٠٠٠٨	٥٣٧٠٦	٧٣٨٩٤	٧٣٨٣٨	١٠٢٩٣٢	٦١٠١٠	٨١٥٤٢
١٩	٥٠	٢٠	٥	٨٣٠٧٩	١٠٤٩٨٥	٤١٩٩٠	٦٦٢٤٦	١٤٥٣١	٢٧٤٦٩	٣٢٧٥٥	٥٠٢٥١	٤٣٠٨٨	٦٢٢٣٨
٢٠	٥٠	٥٠	٥	٩٥٢٣٥	١١٥٨٩٦	٦٦٥٨٢	٨٧٥٨٩	٤٤١٧١	٦٣٥٦٣	٨٢٦٧٩	١٠٥٢٤٣	٧٢١٦٧	٩٣٠٧٣
میانگین کل				٢٢٥٩٣	٢٩٤٣٣	١٦٢٤٠	٢١٥١٣	١٠٩٨٩	١٥٨٦٩	١٨٨٧٩	٢٥٢٠٣	٧٠٤٢٥	٣٣٠٠٢

جدول ۵. زمان حل مدل GA تا رسیدن به جواب نهایی (ثانیه)

گروه	تعداد کار	تعداد ماشین	تعدادمسایل بررسی شده در هر دسته	دستهٔ اول	دستهٔ دوم	دستهٔ سوم	دستهٔ چهارم	یانگین کل
۱	٤	٥	٥	۳٫۱	۳٫۱	۳٫۱	۳٫۱	۳٫۱
۲	٤	۱۰	٥	٥٫۲	٥٫۲	٥٫۲	٥٫۲	٥٫۲
۳	٤	۲۰	٥	۷٫۳	٦٫۲	۷٫٥	۷٫۷	۷٫۲
٤	٦	٥	٥	٤٫٦	٤٫٥	٤٫٥	٤٫٥	٤٫٥
٥	٦	۱٥	٥	۱۰٫۸	۱۰٫۸	۱۰٫۷	۱۰٫۹	۱۰٫۸
٦	٦	۲۰	٥	۹٫٦	۱۱٫۷	۱۱٫۲	۱۲٫٤	۱۱٫۲
۷	۹	۷	٥	۱۰٫۷	۷٫٦	٥٫٦	۱۷٫۲	۱۰٫٥
۸	۹	۲۰	٥	۲٤٫٦	۲٥٫۳	۲۳٫۰	۲۱٫۰	۲۳٫٥
۹	۹	۲٥	٥	۲۲٫۹	۳۰٫۳	۲٤٫۹	۲۰٫۸	۲٤٫۷
۱۰	۱٥	۱۰	٥	۳٦٫۷	۲۲٫۲	۲۰٫۲	۲٤٫۸	۲٥٫۹
۱۱	۱٥	۲٥	٥	٥۰٫۷	٤۸٫۸	٥٤٫۰	٦۸٫۹	٥٥٫٦
۱۲	۱٥	۳۰	٥	٥۱٫۹	٦۲٫٥	٥٦٫۲	۷۲٫۷	٦۰٫۸
۱۳	۲٥	۲۰	٥	۱۲۷٫۸	۱٤٦٫۱	۲۱۹٫۹	۹۹٫٦	۱٤۸٫۳
۱٤	۲٥	۳۰	٥	۲۱۱٫۱	۱٥۲٫٤	۱٦۰٫۲	۱۸۷٫٦	۱۷۷٫۸
۱٥	۲٥	۳٥	٥	۲۲۸٫۰	۱۷۹٫٦	۱۸٦٫۹	۲۰٦٫۰	۲۰۰٫۱
۱٦	٤۰	۱۰	٥	۳۱۰٫۱	۲۱۸٫۷	۱۷۸٫۲	۱۹۱٫٦	۲۲٤٫۷
۱۷	٤۰	۲۰	٥	٦۲۳٫٦	٤۸۲٫٥	۳٥۳٫۰	٥۱۲٫٥	٤۹٥٫۱
۱۸	٤۰	٤٥	٥	۱۲۱۱٫۰	۹۰٥٫۷	۱۱۱٥٫۷	۹۹٦٫۷	۱۰٥۷٫۳
۱۹	٥۰	۲۰	٥	۸۷۱٫۱	۷٥٦٫٤	٥۹۲٫٥	٦۹۲٫۷	۷۲۸٫۲
۲۰	٥۰	٥۰	٥	۱٦۷۹٫۹	۱۸۹٥٫٦	۱۳۱٦٫٤	۱٥۹۸٫٦	۱٦۲۲٫۷
میانگین کل				**۲۲٥٫۰**	**۲٤۸٫۷**	**۲٤۷٫٥**	**۲۳۸٫۲**	**۲٤٤٫۹**

مرجعها

فارسی

۱. کنت آر. بیکر، توالی عملیات و زمانبندی (۱۹۷٤)، ترجمهٔ دکتر فرهاد قاسمی طاری و سید محمدتقی فاطمی قمی (۱۳۷٦).

۲. قاسم مصلحی و دکتر مجید امین نیری، رسالهٔ دکتری از دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۷۸)، «کمینه‌سازی مجموع پیشینه‌های زودکرد و دیرکرد در مسائل Flowshop».

reference

1. Mitsuo Gen and Runwei Cheng, *Genetic Algorithms and Engineering Design* (173-189), (2000).

2. C.S. Sung and J.I. Min, "Scheduling in A Two-Machine Flowshop with Batch Processing Machine(s) for Ealiness/ Tardi-ness Measure Under A Common Due Date", European Journal of Research 131 (95-106), (2001).

3. Maciej Hapke and Andrzej Jaszkiewicz and Krzysztof Kurowski, "Multi- Objec-tive Genetic Local Search Methods for the flow shop Problem" (2002).

4. Abdul Hakim Halim and Shigeji Miyazaki and Hiroshi Ohta, " Batch-Scheduling Problem To Mininize Actual flow Times of parts Through the shop Under JIT Environment",European Journal of Research 72 (529-544), (1994).

5. Takeshi Yamada and Kyoto, " Solving the C_{sm} Permutation Flowshop Scheduling problem by Genetic Local Search", IEEE International Conference on Evolutionary Computation (pp.230-234),(1998).

6. Dimitri Knjazew, Kluwer Academic Publishers, "A Competent Genetic Algori-thm for solving permutation and schedu-ling Problems" (2000).

7. Nitin Jain and Tapan P Bagchi, Indian Institute of Technology, "Some New Results in Flowshop Scheduling" (2000).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی