International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2013)

February 2013, Volume 23, Number 4
pp. 459-470

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Multiple Route Job Shop Scheduling with Maintenance Activity Constraints

H.R. Golmakani* **& A. Namazi**

Hamid Reza Golmakani, *Industrial Engineering Department, Tafresh University*
Ali Namazi, *Industrial Engineering Department, Tafresh University, ali.namzi@yahoo.com*

Keywords

Job Shop Scheduling,
Multiple Routes,
Preventive Maintenance Activities,
Artificial Immune System

ABSTRACT

In scheduling problems, it is often assumed that all machines are available during scheduling horizon. Clearly, a machine may not be available due to breakdown or performing maintenance activities. This paper considers a multiple-route job shop configuration, where each part has multiple routes to be produced. In this context, the problem of scheduling jobs together with a set of pre-defined maintenance activities is of interest. Due to the complexity of the problem, no exact mathematical approach can yield solution in reasonable amount of time and, thus, applying heuristic approach is suggested. In this paper, the problem is first formulated as a 0-1 non-linear integer program. Then an approach based on artificial immune system is proposed to tackle the complexity of the problem. In order to evaluate the performance of the proposed approach 30 cases are designed and solved using the proposed approach and Lingo software. The results show that the proposed approach can obtain good solutions in reasonable time.

© 2013 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 23, No. 4, All Rights Reserved

* **Corresponding author. Hamid Reza Golmakani**
Email: *golmakni@mie.utoronto.ca*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۳، اسفند ۱۳۹۱
صفحـــه ۴۷۰-۴۶۰

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

زمانبندی کار کارگاهی چندمسیره با در نظرگرفتن محدودیت نگهداری و تعمیرات (نت)

حمیدرضا گل‌مکانی* و علی نمازی

کلمات کلیدی

زمانبندی عملیات،
فعالیت‌های نگهداری تعمیراتِ پیشگیرانه،
سیستم ایمنی مصنوعی،

چکیده:

در حوزه زمانبندی عملیات[1]، یکی از فرضیات رایج، فرض در دسترس بودن ماشین‌ها در افق برنامه‌ریزی است. واضح است که در عمل، ممکن است یک ماشین، به دلایل مختلف، نظیر وقوع خرابی و یا لزوم انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیراتِ پیشگیرانه، موقتا در دسترس نباشد. در این تحقیق مساله زمانبندی کارِ کارگاهیِ چند مسیره[2] با لحاظِ محدودیت در دسترس نبودنِ ماشینها در دوره‌هایِ زمانیِ از قبل مشخص شده، و با هدفِ کاهش زمانِ انجام کارها مورد بررسی قرار میگیرد. ابتدا مدلِ برنامه‌ریزی غیرخطیِ صفر و یک برای مسئله مذکور ارائه میگردد. از آنجا که بدلیل پیچیدگی این مسئله، حل دقیق آن از روشهای معمول میسر نیست، یک الگوریتم ابتکاری، بر مبنای الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی، نیز ارائه خواهد شد. همچنین جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، ۳۰ مسئله در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ طراحی و توسط الگوریتم مذکور حل و نتایج آن ارائه شده است. از نقطه نظرِ زمان مورد نیاز برای تولید جواب و مقدار بدست آمده برای تابع هدف، نتایج حاکی از عملکرد مطلوب الگوریتم پیشنهادی است.

۱. مقدمه

توالیِ عملیاتِ کارها بر روی ماشین‌ها تاثیر بسزائی در حجم کار در جریان ساخت، میزان برآورده کردن به موقعِ تقاضای مشتریان، و بطور کلی قیمت تمام شده محصول تولیدی دارد. از این رو، ، در یک واحد تولیدی، سعی بر آن است تا عملیات به گونه‌ای برنامه‌ریزی گردد تا حداکثر استفاده از منابعِ موجود، اعم از نیروی کار و یا ماشین‌آلات، محقق گردد [۱]. معذلک وقوع خرابیِ ماشین‌آلات امری اجتناب ناپذیر است و میتواند علاوه بر تاخیر در تکمیل سفارش مشتریان، موجب افزایش هزینه‌های عملیاتی گردد.

اغلب، اجرای استراتژی تعمیر پس از مشاهده خرابی[3] در مقایسه با استراتژی انجام فعالیتهای پیشگیرانه[4] منجر به افزایش هزینه‌های عملیاتی است و لذا نگهداری و تعمیر پیشگیرانه به عنوان یک استراتژی موثر در کاهش هزینه‌ها و تبعا افزایش سودآوری، مورد استفاده واحدهای تولید قرار گرفته است[۲]. انجام بازرسی و یا سرویس‌های دوره‌ای، تعمیرات اساسی و یا تعویض‌های پیشگیرانه موجب خواهد شد تا علاوه بر افزایش قابلیت اطمینان ماشین‌آلات، هزینه‌های عملیاتی نیز کاهش یابند. عمدتا تعیین تناوب انجام فعالیتهای فوق‌الذکر با لحاظ هزینه‌های بازرسی، تعویض پیشگیرانه، تعمیر اساسی، هزینه‌های وقوع خرابی و توزیع احتمالی وقوع خرابی‌ها و با استفاده از مدل‌های ریاضی

تاریخ وصول: ۹۰/۱/۱۹
تاریخ تصویب: ۹۰/۵/۱۹

*نویسنده مسئول مقاله: دکتر حمیدرضا گل‌مکانی، دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تفرش، ابتدای جاده تهران، تفرش، ایران
golmakni@mie.utoronto.ca
علی نمازی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تفرش، ابتدای جاده تهران، تفرش، ایران ali.namzi@yahoo.com

[1] *Scheduling operation*
[2] *Multiple route job shop*
[3] *Damage*
[4] *Preventive maintenance*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

صورت میگیرد[۳]. با حل مدل‌های مذکور، به ازاء هریک از ماشین‌آلات، مجموعه فعالیتهای نگهداری و تعمیرات و همچنین محدوده زمانی بهینه برای انجام این فعالیتها مشخص میگردد. تبعا عدم انجام فعالیتهای مذکور و یا عدم انجام آنها در محدوده زمانی تعیین شده موجب افزایش نرخ خرابیها و در نتیجه افزایش هزینه‌های عملیاتی خواهد شد[۴]. بدین ترتیب دیده میشود که برنامه‌ریزی عملیات تولیدی و برنامه‌ریزی فعالیتهای نگهداری و تعمیرات بطور کامل وابسته به یکدیگر بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای را در سودآوری واحدهای تولیدی ایفا میکنند[۶-۵].

با توجه به اهمیتِ لحاظِ وابستگی برنامه‌ریزی عملیات تولیدی و برنامه‌ریزی فعالیتهای نگهداری، حلِ همزمانِ مسئله زمانبندی کارها و فعالیتهای نگهداری و تعمیرات در سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. از آنجاکه عمدتا زمان انجام فعالیتهای نگهداری و تعمیرات در مقایسه با زمان مورد نیاز جهت تکمیل کارها کمتر است، اغلب محققان، انجامِ فعالیت نگهداری و تعمیرات را به عنوان محدودیت دسترسیِ ماشین‌ها در مسئله زمانبندی عملیات تولیدی، در نظر گرفته‌اند [بعنوان نمونه رجوع کنید به ۱۲-۷].

محدودیت دسترسی ممکن است ثابت و یا شناور باشد. در محدودیت دسترسی ثابت، دسترسی به ماشین در یک محدوده زمانی از قبل تعیین‌شده‌ای میسر نیست و لذا فعالیت نگهداری و تعمیر صرفا میبایستی در محدوده زمانی مذکور انجام شود. در محدودیت دسترسی شناور، فعالیت نگهداری و تعمیر میتواند در یک بازه زمانی (که اغلب طولانی‌تر از زمان مورد نیاز برای انجام فعالیت نگهداری و تعمیر است) صورت گیرد [۴].

در ادبیات مسائلِ زمانبندی با در نظرگرفتن محدودیت دسترسی به ماشین‌ها، شرایط متفاوتی برای انقطاع کارها وجود دارد. از آن جمله میتوان به سه مورد: مجاز بودن انقطاع عملیات بدون جریمه، مجاز بودن انقطاع عملیات با جریمه از سرگیریِ عملیات و مجاز نبودن انقطاع عملیات اشاره نمود. مجاز بودن انقطاع عملیات بدون جریمه، بدین معناست که امکان قطع‌کردن عملیات یک کار روی یک ماشین به منظور انجام فعالیت نگهداری و تعمیرات وجود دارد و پس از اتمام فعالیت نگهداری و تعمیرات، بقیه عملیاتِ مذکور می‌تواند بدون هیچ جریمه‌ای ادامه یابد. در انقطاع عملیات با جریمه از سرگیریِ عملیات، انقطاع مجاز است معذلک عملیات انجام شده روی ماشین، قبل از انقطاع، میبایستی مجددا تکرار گردد. در حالت مجاز نبودن انقطاع عملیات، انجام فعالیت نگهداری و تعمیرات صرفا در زمان بیکار بودن ماشین میسر است [۸-۵]. مسائل زمانبندی تک ماشینه و ماشینهای موازی با محدودیت عدم دسترسی بطور وسیع مورد مطالعه قرار گرفته است [۹] . اخیراً مسئله زمانبندی با محدودیت دسترسی در محیط‌های پیچیده‌تر از قبیل جریان کارگاهی، کارکارگاهی و محیط‌های ترکیبی بیشتر مورد توجه قرارگرفته است. در [۱۰] مسئله جریان کارگاهی با در نظر گرفتن فعالیتهای نگهداری و تعمیرات با هدف مینیمم‌کردن معیارهای زمان شناوری و تاریخ تحویل مورد مطالعه قرار گرفته است. در [۸] با استفاده از یک الگوریتم یکپارچه بر مبنای الگوریتم ژنتیک و جستجوی ممنوع حل مسئله زمانبندی جریان کارگاهی با محدودیت نگهداری و تعمیرات ارائه شده که در آن هدف کمینه‌سازی زمان تکمیل کل کارها است. در [۱۱] مسئله جریان کارگاهی دو ماشینه به منظور مینیمم کردن حداکثر زمان تکمیل کارها با فرض اینکه مدت زمان نگهداری و تعمیرات ماشین‌ها به دوره شروع نگهداری و تعمیرات آنها بستگی دارد مورد بررسی قرار گرفته است.

در [۲] مسئله جریان کارگاهی با سه سیاست متفاوت در نگهداری و تعمیرات ماشین‌ها در نظر گرفته و شش روش ابتکاری و فراابتکاری برای حل آن مورد بررسی قرار گرفته است. در [۱۳] نیز مساله زمانبندی جریان کارگاهی دو ماشینه وقتی ماشین اول برای یک فاصله زمانی داده شده در دسترس نیست با هدف کمینه‌سازی حداکثر زمان تکمیل کارها بررسی‌شده است. در [۱۲] مسئله زمانبندی کار کارگاهی با محدودیت‌های دسترسی به ماشین‌ها ارائه‌شده است. در [۱۵] جریان کارگاهی دو ماشینه با این فرض که فعالیت نگهداری و تعمیرات باید در یک زمان ثابت بعد از تکمیل حداقل یک تعداد ثابت از کارها انجام شود، با هدف کمینه‌سازی حداکثر زمان تولید مورد بررسی قرار گرفته است. در [۱۶] مسئله زمانبندی کار کارگاهی با زمان آماده‌سازی وابسته به توالی و محدودیت عدم دسترسی روی ماشین‌ها به منظور مینیمم‌کردن حداکثر زمان تولید با استفاده از دو الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک مورد مطالعه قرارگرفته است. در [۱۷] نیز مسئله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با زمان آماده‌سازی وابسته به توالی و با لحاظ سه سیاست نگهداری و تعمیرات با استفاده از دو الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک مورد مطالعه قرارگرفته است. مسئله زمانبندی کار کارگاهیِ انعطاف‌پذیر، تعمیم یافته مسئله کارکارگاهی است [۵] . این ساختار شامل تعدادی ایستگاه کاری است که در آن، حداقل یک ایستگاه دارای بیش از یک ماشین موازی یکسان است. هر کار در یک ایستگاه کاری که در آن بیش از یک ماشین موازی وجود دارد، میتواند توسط هریک از ماشینها پردازش شود. در حقیقت این ساختار ترکیبی از مسئله کار کارگاهی ساده و مسئله ماشین‌های موازی است. در [۱۸] مسئله کارکارگاهی انعطاف‌پذیر با محدودیت دسترسی ماشینها با دوره عدم دسترس پذیر شناور و با استفاده از الگوریتم ژنتیک در نظرگرفته شده است. در [۱۹] نیز مسئله زمانبندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با لحاظ

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

نگهداری و تعمیرات دوره‌ای و با هدف حداقل کردن حداکثر زمان تولید مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق از دو روش فرابتکاری الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

تعمیمِ وسیع‌ترِ مسئله کارکارگاهی، مسئله کار کارگاهیِ چند مسیره است که در آن ، هر کار میتواند از مسیرهای متفاوتی عبور کرده و به اتمام رسد. لزوماً تعداد ماشینها در مسیرهای مختلف برای یک کار برابر نیست. این ساختار در اغلب واحدهای تولیدی منعطف، که در آنها ماشین‌های کنترل عددی قادر به انجام عملیات متفاوتی از یک کار هستند، مشاهده میشود. مساله زمانبندی کار کارگاهی، که در آن انجام هر کار صرفا از یک مسیر صورت میگیرد، یک مسئله NP-Hard است [۲۰]. مسئله زمانبندی کار کارگاهی چند مسیره نیز NP-Hard است چراکه وجود مسیرهای مختلف برای انجام یک کار موجب پیچیدگی بیشتر مسئله خواهد بود. در حقیقت این مسئله شامل دو زیرمسئله ۱) تخصیص هر کار به یک مسیر از میان مسیرهای موجود برای آن کار و ۲) تعیین توالی عملیات تخصیص یافته به ماشین‌ها، می‌باشد.

در تحقیق حاضر مسئله کارکارگاهی‌چند مسیره، با محدودیت دسترسی شناور، و با هدف تعیین توالی انجام کارها و همچنین فعالیت نگهداری و تعمیرات بگونه‌ای که زمان اتمام کارها حداقل گردد، مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه و در بخش ۲ تعریف مسئله، فرضیات و چگونگی مدل‌سازی ریاضی آن ارائه خواهد شد. در بخش ۳ روش پیشنهادی برای حل مسئله، که با بهره‌گیری از الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی طراحی شده است، توضیح داده خواهد شد. در بخش ۴ ، جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، ۳۰ مسئله در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ طراحی و توسط الگوریتم مذکور حل و نتایج آن ارائه شده است و در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی آورده شده است.

۲. تعریف مسئله و مدل ریاضی آن

۲-۱.تعریف مسئله

در این تحقیق، مسئله زمانبندی کار کارگاهیِ چند مسیره با محدودیت دسترسی شناور ماشین‌ها، به جهت اجرای فعالیتهای نگهداری و تعمیرات (نت) و با هدف تعیین توالی انجام کارها و همچنین فعالیتهای (نت) بگونه‌ای که زمان اتمام کارها حداقل گردد، مورد بررسی قرار میگیرد. هر کار میتواند از مسیرهای متفاوتی عبور کرده و به اتمام رسد. تعداد ماشینهائی که یک کار در مسیرهای مختلف با آنها مواجه میشود لزوماً برابر نیست. به عبارت دیگر، ممکن است در یک مسیر، کار، با عبور از دو ماشین (هر ماشین یک عملیات) به اتمام رسد و در مسیری دیگری همان کار با عبور از چهار ماشین (هر ماشین یک عملیات و جمعاً چهار عملیات) انجام شود. لزوم اجرای فعالیتهای نگهداری و تعمیرات موجب میشود تا بخشی از زمان عملیاتی ماشین‌ها به آن اختصاص یابد. زمان انجام فعالیتهای نت بصورت شناور از قبل مشخص و این فعالیتها میبایستی در محدوده زمانی تعیین شده انجام شوند. واضح است که هر ماشین تنها یک عملیات و یا یک فعالیت نت را در هر لحظه می‌تواند انجام دهد. فرض بر این است که در صورت شروع یک فعالیت نت، قطع آن مجاز نیست. همچنین قطع عملیاتِ یک کار بدلیل انجام فعالیت نت و یا انجام بخشی از کار در زمانی دیگر مجاز نیست. همچنانکه دیده میشود، مسئله زمانبندی کار کارگاهیِ چند مسیره با محدودیت دسترسی شناور ماشین‌ها جهت اجرای فعالیتهای نت، شامل سه زیر مسئله است: ۱) تخصیص مسیر به کارها، ۲) تعیین توالی کارهای تخصیص داده شده و ۳) زمانبندی فعالیتهای نت. هدف، کمینه سازی زمان انجام اتمام کارها فعالیتهای نت است. در ادامه ضمن تعریف نمادهای مورد نیاز نحوه مدل‌سازی ریاضی آن ارائه خواهد شد.

۲-۲. مدل ریاضی مسئله

مدل ریاضی مسئله زمانبندی کار کارگاهیِ چند مسیره با محدودیت دسترسی شناور ماشین‌ها، یک مدل از نوع برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح میباشد. فرض کنید n معرف تعداد کارها و m معرف تعداد ماشینها باشد. برای انجام هر کار i چندین مسیر وجود دارد. تعداد کل مسیرهای کار i را با r_i و تعداد کل عملیات کار i در مسیر r را با N_{ir} نشان میدهیم. A_{irk} معرف ماشین مورد نیاز برای انجام عملیات k ام از کار i ام در مسیر r ام و t_{irkj} زمان مورد نیاز برای انجام عملیات k ام از کار i ام در مسیر r ام روی ماشین j ام است. متغیرهای تصمیم‌گیریِ زمان شروع و ختم عملیات k ام از کار i ام در مسیر r ام را به ترتیب با S_{irk} و E_{irk} نشان میدهیم. فرض کنید L_j معرف تعداد فعالیت نت که میبایستی روی ماشین j ام انجام شود باشد. فعالیت نتِ l ام روی ماشین j ام را با pm_{jl} و مدت زمان مورد نیاز برای انجام آن را با tpm_{jl} نشان میدهیم. انجام هر فعالیت نت در یک بازه زمانی از قبل تعیین شده میسر است. این بازه زمانی را با $[U_{jl}^E, U_{jl}^L]$ ، که در آن U_{jl}^E و U_{jl}^L به ترتیب زودترین زمان تکمیل و دیرترین زمان تکمیل فعالیت نتِ l ام روی ماشین j ام است، نشان میدهیم. متغیرهای تصمیم‌گیریِ زمان شروع و ختم فعالیت نتِ l ام روی ماشین j ام نیز با Spm_{jl} و Epm_{jl} نمادگذاری می‌شوند. جهت مدل‌سازی مسئله، چهار نوع متغیر صفر و یک به شرح زیر تعریف میشود:

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

اگر عملیات q ام از کار p ام در مسیر o زودتر از عملیات عملیات k ام از کار i ام در مسیر r انجام شود در غیر اینصورت

$$Z_{poq,irk}=\begin{cases}1,\\0,\end{cases}$$

اگر عملیات k ام از کار i ام در مسیر r ام زودتر از عملیات نت l ام روی ماشین $j=A_{irk}$ ام انجام شود در غیر اینصورت

$$V_{irk,jl}=\begin{cases}1,\\0,\end{cases}$$

عملیات k ام از کار i ام در مسیر r ام به ماشین $j=A_{irk}$ ام اختصاص یابد در غیر اینصورت

$$Y_{irkj}=\begin{cases}1,\\0,\end{cases}$$

اگر کار i به مسیر r اختصاص یابد در غیر اینصورت

$$X_{ir}=\begin{cases}1,\\0,\end{cases}$$

مدل کامل مسئله زمانبندی کار کارگاهیِ چند مسیره با محدودیت دسترسی شناور ماشین‌ها بصورت زیر خواهد بود:

$$Minimize\ C_{max} \tag{۱}$$

$$\sum_{r=1}^{r_i} X_{ir}=1 \tag{۲}$$

$$S_{irk}\geq E_{irk-1}\quad (i=1,2,\dots,n;\quad r=1,2,..,r_i;k=2,3,\dots,N_{ir})$$

$$S_{irk}X_{ir}+t_{irkj}X_{ir}\leq C_{max}\qquad (i=1,2,\dots,n;\quad r=1,2,..,r_i;\quad k=N_{ir};\quad j=A_{irk}) \tag{۳}$$

$$E_{irk}-S_{irk}=t_{irkj}X_{ir}\qquad (i=1,2,\dots,n;\quad r=1,2,..,r_i;\quad k=1,2,3,\dots,N_{ir};\quad j=A_{irk}) \tag{۴}$$

$$\sum_{kj} Y_{irkj}=N_{ir}X_{ir}\ for\ each\ combination\ of\ ir,(i=1,2,\dots,n;\quad r=1,2,..,r_i),\quad operation\ k\ on\ machine\ j \tag{۵}$$

$$(S_{irk}-S_{poq}-t_{poqj})Y_{irkj}Y_{poqj}Z_{poq,irk}\geq 0\quad for\ each\ pair\ of\ jobs\ i\ and\ p\ that\ need\ machine\ j\quad i\neq p,\ j=A_{irk}=A_{poq} \tag{۶}$$

$$(S_{poq}-S_{irk}-t_{irkj})Y_{irkj}Y_{poqj}(1-Z_{poq,irk})\geq 0\ for\ each\ pair\ of\ jobs\ i\ and\ p\ that\ needs\ machine\ j\quad i\neq p,\ j=A_{irk}=A_{poq} \tag{۷}$$

$$(Spm_{jl}-S_{irk}-t_{irkj})Y_{irkj}V_{irk,jl}\geq 0\quad for\ each\ pair\ of\ job\ i\ and\ pm_{jl},\quad j=A_{irk} \tag{۸}$$

$$(S_{irk}-Spm_{jl}-tpm_{jl})Y_{irkj}(1-V_{irk,jl})\geq 0\quad for\ each\ pair\ of\ job\ i\ and\ pm_{jl},\ j=A_{irk} \tag{۹}$$

$$Epm_{jl}-Spm_{jl}=tpm_{jl}\qquad j=1,2,\dots,m;\qquad l=1,2,\dots,L_j \tag{۱۰}$$

$$U_{jl}^{E}\leq Epm_{jl}\leq U_{jl}^{L}\qquad j=1,2,\dots,m;\qquad l=1,2,\dots,L_j \tag{۱۱}$$

$$Epm_{jl}\geq 0\ ,\ Spm_{jl}\geq 0\qquad j=1,2,\dots,m;\qquad l=1,2,\dots,L_j \tag{۱۲}$$

$$E_{irk}\geq 0\ ,\ S_{irk}\geq 0\qquad (i=1,2,\dots,n;\quad r=1,2,..,r_i;\quad k=1,2,\dots,N_{ir}) \tag{۱۳}$$

$$X_{ir},\ Y_{irkj},\ Z_{poq,irk},\ V_{irk,jl}\in\{0,1\} \tag{۱۴}$$

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

مجموعه معادلات (۱) ، صرفاً یک مسیر از میان مسیرهای مختلف را به هرکار تخصیص میدهد. مجموعه نامعادلات (۲) موجب میشود تا هر یک از عملیات تنها وقتی شروع شود که عملیات قبلی‌اش تکمیل شده باشد. مجموعه نا معادلات (۳) موجب میشود تا زمان اتمام عملیات آخر از هر یک از کارها کمتر یا مساوی با زمان انجام کلیه کارها، C_{max} ، باشد. مجموعه معادلات (۴) تضمین میکند تا بین زمان شروع و زمان تکمیل یک کار هیچ توقفی صورت نگیرد.

مجموعه معادلات (۵) ماشین‌های مورد نیاز برای تکمیل عملیات کارها در یک مسیر مشخص شده را، تعیین می‌کند. مجموعه نامعادلات (۶) و (۷) باهم تضمین میکنند که دو عملیات مختلف از دو کار مختلف بر روی یک ماشین خاص بصورت همزمان صورت نگیرد.

نامعادلات (۸) و (۹) نیز باهم تضمین میکنند که عملیات مربوط به یک کار و فعالیت نت بر روی یک ماشین خاص بصورت همزمان صورت نگیرد. به عبارت دیگر در هر لحظه برروی یک ماشین صرفا یا یک فعالیت نت در حال اجرا است و یا یک عملیات از یک کار انجام میشود. مجموعه معادلات (۱۰) از وقفه زمانی بین شروع و ختم فعالیت نگهداری و تعمیر روی هریک از ماشینها جلوگیری می‌کند. مجموعه معادلات (۱۱) نیز اتمام فعالیتهای نت را در محدوده از قبل تعیین شده تضمین می‌نماید. (۱۲) ، (۱۳) و (۱۴) نیز معرف نوع متغیرهای تصمیم‌گیری هستند.

در ضمیمه ۱، جهت شرح بهتر هریک از معادلات و یا نامعادلات (۱) الی (۱۴) از یک مثال استفاده و مدل فوق برای آن ارائه شده است.

۳. سیستم ایمنی مصنوعی

۳-۱. سیستم ایمنی مصنوعی

سیستم ایمنی طبیعی یک سیستم تشخیص الگوی قابل انطباق پیچیده است که در مقابل بیماریزاهای خارجی (ویروس و باکتری) از بدن دفاع می‌کند و توانایی دسته‌بندی همه سلول‌های (مولکول‌های) بدن چه آن‌هایی که مربوط به خود بدن هستند(سلول‌های خودی) و چه آن‌هایی که منشاء خارجی دارند(سلول‌های غیر خودی) را دارد [۲۱].

این سیستم، مکانیزم مهیج و پیچیده‌ی دارد که ژن‌ها را با هم ترکیب می‌کند تا از عهده حمله پاتوژن‌ها برآیند، یعنی تولید آنتی‌بادی ها و مانع پاتوژن‌ها شدن. فرایند سرایت مرض با تهاجم یک عامل بیماری‌زا و تکثیرش در داخل ارگانیسم انجام می‌شود. عوامل بیماری‌زا با پروتئین مخصوص (آنتی‌ژن) همراه می‌باشند. سیستم ایمنی بدن دارای سلولهای است که توانایی تشخیص آنتی‌ژن و کشتن عوامل بیماری‌زا را دارد [۲۱].

پس از ورود پاتوژن آن دسته از سلول‌های ایمنی (آنتی‌بادی) که پاتوژن را شناسایی می‌نمایند شروع به تولید و تکثیر می‌نمایند. از بین سلول‌های شناسگر تولید شده، دسته‌ی بعنوان سلول حافظه انتخاب و نگهداری می‌شود تا در برخورد بعدی با پاتوژن‌های همانند و یا با ساختاری مشابه پاسخ سریعتر و قویتر سیستم ایمنی حاصل شود. در حین روند تولید، این سلول‌ها تحت تاثیر عملگر جهش با نرخ بالا قرار می‌گیرند. مراحل انتخاب و جهش تکامل وابستگی نامیده می‌شود [۲۲و۲۳]. تکثیر سلولی در سیستم ایمنی، بر اساس تولید مثل غیر جنسی (دوتایی) می‌باشد به همین دلیل تمام سلولهای تولید شده ساختار کاملا مشابه با سلول والد خود دارند.

نرخ تکثیر یک سلول نسبت مستقیم با میزان درجه تشخیص آن سلول از آنتی‌ژنها دارد. میزان تشخیص یک آنتی‌ژن توسط سلولهای ایمنی به وسیله فاکتوری به نام قرابت شناخته می‌شود. سلولهای ایمنی با قرابت کمتر باید متحمل عملگر زیستی به نام جهش شوند تا با تغییرات ساختاری بتواند قرابت خود را با عوامل بیماری‌زا بیشتر کرده عملکرد دفاعی خویش را بهبود بخشند. میزان جهش برای عوامل دفاعی با قرابت بیشتر، کمتر است و بالعکس [۲۴].

سیستم ایمنی بدن، یک مکانیزم کاملا پیچیده می‌باشد که گاهی اوقات با سیستم مغزی انسان مقایسه می‌گردد. شناخت توابع سیستم ایمنی، چندین مکانیزم عملی مهم را آشکار می‌سازد. این مکانیزمها نه فقط از دید زیستی، بلکه از دید محاسباتی نیز بسیار جالب توجه می‌باشد. در این مقاله یک الگوریتم ایمنی مصنوعی جهت حل مسئله کارکارگاهی‌چند مسیره، با محدودیت دسترسی شناور ارائه شده است.

۳-۲. الگوریتم ایمنی مصنوعی پیشنهاد شده

ساختار الگوریتم ایمنی مصنوعی پیشنهادی در برگیرنده‌ی مراحل کدگذاری، تولید جمعیت اولیه، الگوریتم ایتکاری برای حل زیر مسئله‌ی نت، انجام فرایند ارزیابی، کلونال سلکشن، فرایند تولید نسل بعدی می‌باشد. هر یک از مراحل بصورت کامل در ادامه شرح داده شده است.

۳-۲-۱. کدگذاری

یکی از عوامل تعیین کننده‌ی کارایی الگوریتم ایمنی مصنوعی، طراحی سیستم کدگذاری برای نمایش جواب‌ها و تاثیر متقابل کدگذاری و عملگرهای جهش است. در این تحقیق با توجه به ماهیت مسئله یک آنتی‌بادی دو رشته‌ای برای نمایش هر جواب ارائه شده که در آن رشته‌ی اول (V1) نشان‌گر بردار تخصیص مسیر به کارها و رشته‌ی دوم (V2) نشان‌گر بردار توالی عملیات

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

است. در هر بردار تخصیص مسیر V1، V1(r) مسیر تخصیص یافته به کاری است که در مکان هندسی r نشان داده شده است. طول بردار تخصیص مسیر همیشه ثابت و برابر تعداد کارها می‌باشد. ساختار نمایش بردار توالی عملیات V2 در این تحقیق بر اساس روش Gen و همکارانش [۲۵] ارائه شده است. هر کار i در مسیر r به تعداد N_{ir} (تعداد عملیات کار i در مسیر r) در بردار توالی V2 ظاهر می‌شود. از آنجاییکه تعداد عملیات یک کار در مسیرهای مختلف متفاوت است، طول بردار توالی عملیات همیشه ثابت نیست. با بررسی جایگردی از چپ به راست ، kامین وقوع شماره کار، kامین عملیات کار را نشان می‌دهد. به منظور درک بهتر سیستم کدگذاری، مثال ارائه شده در ضمیمه ۱ با دو کار و چهار ماشین را در نظر بگیرید که در آن هر کار دارای دو مسیر، و تعداد عملیات هر کار به مسیر انتخاب شده برای آن کار بستگی دارد. آنتی بادی متناظر با جواب دارای دو بردار است و مطابق شکل ۱ و ۲ کدگذاری می‌شود . بر اساس بردار تخصیص مسیر کار (شکل ۱)، کار یک به مسیر دو و کار دو به مسیر یک تخصیص داده شده است که با توجه به بردار توالی عملیات (شکل ۲)، اولین، سومین و پنجمین عملیات در بردار توالی به ترتیب نشان دهنده عملیات اول کار یک، عملیات اول کار دو و عملیات دوم کار دو می‌باشد.

مکان هندسی:(r)	۲	۱
اندیس کار	کار ۲	کار ۱
رشته تخصیص مسیر:V1(r)	۱	۲

شکل۱. شیوه نمایش بردار تخصیص مسیر

اولویت: (s)	۶	۵	۴	۳	۲	۱
رشته توالی عملیات: V2(s)	۲	۲	۱	۲	۱	۱

شکل۲. شیوه نمایش بردار توالی عملیات

۲-۲-۳. جمعیت اولیه

جمعیت اولیه آنتی‌بادی در واقع همان جوابهای اولیه برای مسئله هستند. الگوریتم ایمنی مصنوعی جستجو و اکتشاف در فضای جواب را از این جوابها آغاز می‌کنند. نحوه تولید جمعیت اولیه در فرا ابتکارات مختلف با توجه به مسئله موردنظر متفاوت است. در بعضی فراابتکارات جمعیت اولیه کاملاً بصورت تصادفی تولید می‌شوند. اما در بعضی دیگر با توجه به خصوصیات مسئله می‌توان از روشها و ابتکارات دیگری همراه با حفظ خاصیت تصادفی بودن استفاده کرد. همچنین می‌توان درصدی از جمعیت اولیه را کاملاً تصادفی و مابقی را با استفاده از روشها و ابتکارات موجود تولید کرد. در الگوریتم پیشنهادی جمعیت اولیه کاملا بصورت تصادفی تولید شده است.

۳-۲-۳ .الگوریتم ابتکاری جهت حل زیر مسئله‌ی نت

قابل توجه است که آنتی‌بادی حاوی اطلاعات فعالیت نت زمانبندی شده نمی‌باشد. برای حل زیر مسئله‌ی نت و تعیین مقادیر متغییرهای تصمیم آن از الگوریتم ابتکاری Gao [۴] در فرایند کد گشایی بر پایه اولویت و توالی استفاده می‌شود. گام‌های الگوریتم ابتکاری به صورت زیر می‌باشد.

گام۱: فعالیت نت کلیه‌ی ماشین‌ها را در انتهای پنجره زمانی خود چنین زمانبندی کنید. $Fpm_{jl} = U_{jl}^{L}$

گام۲: در صورت در دسترس بودن ماشین و امکان انجام عملیات پیش از فعالیت نت، عملیات را به ماشین مورد نظر تخصیص داده و به گام ۴ بروید. در غیر اینصورت فعالیت نت را تا آنجا که امکان دارد به سمت چپ جا به جا کرده و به ابتدای پنجره زمانی خودش نزدیک کنید.

گام۳: در صورت در دسترس بودن ماشین و امکان انجام عملیات پس از فعالیت نت آن عملیات را به ماشین تخصیص دهید.

گام۴: چنانچه عملیات کلیه کارها زمانبندی شده‌اند به الگوریتم خاتمه بدهید. در غیر اینصورت به گام ۲ بروید.

۴-۲-۳. ارزیابی تابع هدف و میزان شباهت

برای هرآنتی‌بادی (Z) در هر نسل، مقدار تابع هدف که همان زمان تکمیل اتمام کارها است محاسبه می‌شود. مقدار شباهت[1] هر آنتی‌بادی (Z) بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Affinity(z) = \frac{1}{C_{max}(z)} \qquad (۱۵)$$

۵-۲-۳. کلونال سلکشن[2]

در این بخش بر اساس اصل کلونال سلکشن تعدادی از آنتی‌بادی برای تکثیر انتخاب می‌شوند. الگوریتم ایمنی مصنوعی ارائه شده، تعداد M آنتی‌بادی را برای تکثیر انتخاب و به جمعیت اضافه می‌شود. بطوریکه شباهت بیشتر منجر به انتخاب بیشتر می‌شود. استراتژی انتخاب در این مرحله انتخاب بر اساس چرخ رولت می‌باشد.

[1] *Affinity*
[2] *Clonal selection*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

۶-۲-۳. تولید نسل بعدی

در الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی ارائه شده، تولید جمعیت نسل بعد شامل چند مرحله است که عبارتند از:

۱-۶-۲-۳. بکارگیری عملگرجهش

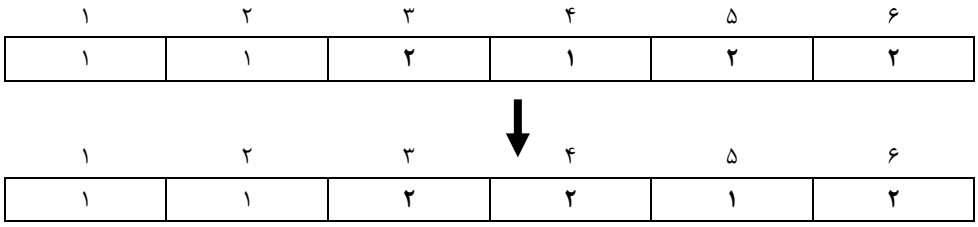
در الگوریتم ایمنی مصنوعی ارائه شده یک جهش دو مرحله‌ای برای آنتی‌بادی جمعیت بکار گرفته شده است. عملگر جهش فقط بر روی رشته توالی عملیات ظاهر می‌شود.

۱-۱-۶-۲-۳. جهش وارونگی

در این روش ابتدا دو عدد تصادفی را بین [1,L] که L طول آنتی‌بادی می‌باشد انتخاب کرده، آنتی‌بادی به سه بخش تقسیم می‌شود.

حال قسمت وسط برعکس می‌گردد. همچنین اگر i و j دو عدد تصادفی انتخاب شده فرضی باشد داریم $|i-j|>2$

فرض کنید عدد تصادفی اول ۳ و عدد تصادفی دوم ۶ باشد.

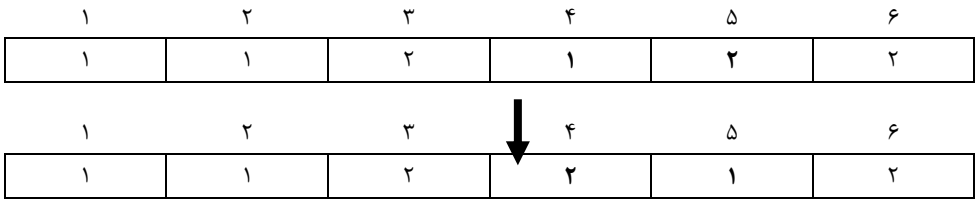


شکل ۳. عملیات جهش وارونگی

همانطور که در مثال فوق نشان داده شده است، فرزند ایجاد شده همیشه یک آنتی‌بادی شدنی است. اگر آنتی‌بادی جدید بدست آمده بعد از جهش وارونگی دارای حداکثر زمان تکمیل کمتری نسبت به آنتی‌بادی اصلی باشد، آنتی‌بادی جدید را جایگزین آنتی‌بادی اصلی می‌شود. در غیر اینصورت آنتی‌بادی اصلی دوباره با جهش تعویضی، جهش داده می‌شود.

۲-۱-۶-۲-۳. جهش تعویضی

برای یک آنتی‌بادی داده شده P فرض کنید i و j دو موقعیت ممکن در آنتی‌بادی باشند، یک همسایگی P بوسیله تعویض موقعیتهای i و j بدست می‌آید. فرض کنید عدد تصادفی اول ۴ و عدد تصادفی دوم ۵ باشد.



شکل ۴. عملیات جهش تعویضی

اگر آنتی‌بادی بدست آمده بعد از جهش تعویضی دارای حداکثر زمان تکمیل کمتری نسبت به آنتی‌بادی اصلی باشد، آنتی‌بادی جدید را جایگزین آنتی‌بادی اصلی می‌شود. در غیر اینصورت آنتی‌بادی اصلی تغییری نمی‌کند.

۲-۶-۲-۳. اصلاح گیرنده

بعد از اینکه مراحل کلونال سلکشن و جهش انجام شدند، درصدی از کل جمعیت آنتی‌بادیهای نسل جاری که بدترین مقدار شباهت را دارند، طبق فرایند اصلاح گیرنده، از جمعیت حذف شده و به همان تعداد آنتی‌بادیهای جدید تولید و جای آنها در جمعیت را می‌گیرند. تولید آنتی‌بادیهای جدید در این مرحله از الگوریتم مانند تولید آنتی‌بادیهای جمعیت اولیه صورت می‌گیرد. این فرایند باعث یافتن جوابهای جدید با توجه به جستجوی جدید در فضای جواب و فرار از قرار گرفتن در بهینه‌های موضعی می‌شود.

۷-۲-۳. معیار توقف

در الگوریتم ایمنی مصنوعی ارائه شده، معیار توقف در نظرگرفته شده برای اجرای الگوریتم تعداد نسل‌ها می‌باشد.

۴. نتایج محاسباتی

محیطِ کارِ کارگاهی را در نظر بگیرید که شامل شش ماشین و هشت کار است. هریک از کارها میتوانند از مسیرهای متفاوت انجام شوند. در جدول ۱، برای هریک از هشت کار مذکور، ماشینهای مورد نیاز در هر مسیر بهمراه زمان مورد نیاز جهت هر عملیات آورده شده است.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

بازه زمانی جهت تکمیل فعالیتهای نگهداری و تعمیرات و همچنین زمان مورد نیاز برای انجام این فعالیتها نیز در جدول ۲ نشان داده شده است.

از آنجاکه مدل ریاضی این مسئله در قالب معادلات و نامعادلات (۱) الی (۱۴) دارای تعداد زیادی محدودیت بوده و طرح آن در این مقاله میسر نبود، یک مسئله ساده‌تری در ضمیمه ۱ مطرح و چگونگی مدلسازی آن شرح داده شده است. حل این مسئله توسط الگوریتم ایمنی مصنوعی با صرف زمان ۷/۸۲ ثانیه انجام و مقدار تابع هدف، makespan، معادل ۱۹۹ میباشد. برنامه زمانبندی کارها و فعالیتهای نت به صورت گانت چارت در شکل ۵ ترسیم شده است. حل این مسئله توسط نرم‌افزار Lingo نیازمند زمان بسیار زیادی است. معذلک با لحاظ سقف زمانی ۳ ساعت، makespan بدست آمده از این نرم‌افزار معادل ۲۰۰ میباشد. بعبارت دیگر در این مثال، استفاده از الگوریتم پیشنهادی موجب کسب جواب بهتر در زمانی بسیار کمتر در مقایسه با نرم‌افزار Lingo است.

جدول ۱. مسیرهای مختلف، ماشینها و زمان مورد نیاز

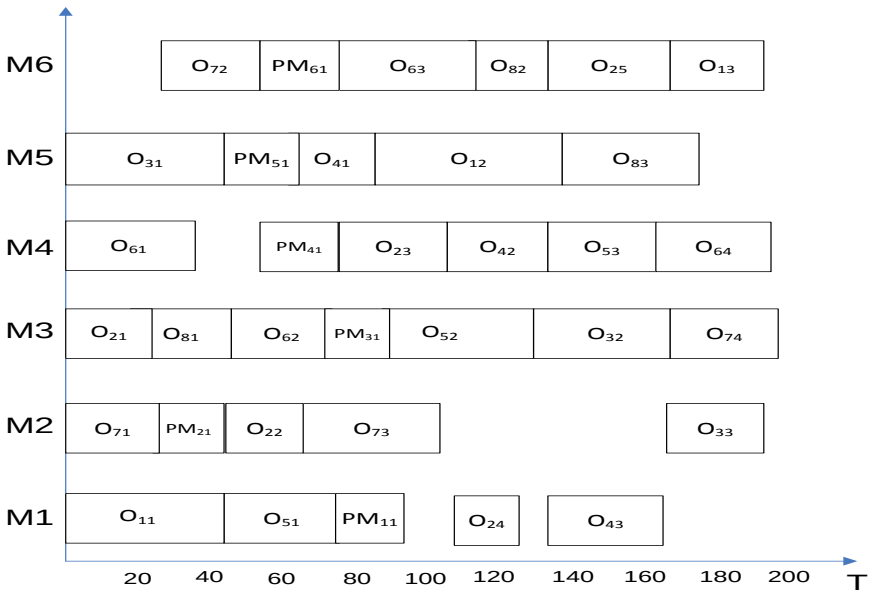
کار ۱	مسیر ۱	M1	M5	M6	
		41	52	26	
	مسیر ۲	M2	M1	M3	
		35	31	50	
کار ۲	مسیر ۱	M6	M3	M5	
		32	28	41	37
	مسیر ۲	M3	M2	M4	M1	M6
		22	24	31	21	36
کار ۳	مسیر ۱	M5	M3	M2		
		41	39	28		

ادامه جدول ۱. مسیرهای مختلف، ماشینها و زمان مورد نیاز

کار ۴	مسیر ۲	M4	M5	M6	
		35	29	45	
	مسیر ۳	M4	M2	M5	M4
		23	25	28	32
	مسیر ۱	M6	M5	M2	
		23	31	36	
	مسیر ۲	M5	M4	M1	
		24	28	34	
کار ۵	مسیر ۱	M1	M3	M4	
		33	42	30	
	مسیر ۲	M3	M6	M3	
		23	57	29	
کار ۶	مسیر ۱	M6	M1	M2	M5
		22	28	34	41
	مسیر ۲	M4	M3	M6	M4
		35	26	38	34
کار ۷	مسیر ۱	M1	M5	M4	M5
		31	23	39	28
	مسیر ۲	M2	M6	M2	M3
		26	25	42	30
کار ۸	مسیر ۱	M2	M4		
		45	38		
	مسیر ۲	M3	M6	M5	
		25	21	36	
	مسیر ۳	M1	M4	M2	M3
		28	25	17	20

جدول ۲. فعالیتهای نت و بازه‌های زمان ممکن برای اجرای آنها

ماشین	M1	M2	M3	M4	M5	M6
فعالیت نت						
زودترین زمان تکمیل فعالیت نت	70	40	60	75	45	64
دیرترین زمان تکمیل فعالیت نت	115	60	95	100	85	98
زمان فعالیت نت	20	15	15	23	21	23



شکل ۵. برنامه زمانبندی کارها و فعالیتهای نت.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

به منظور ارزیابی بیشتر عملکرد الگوریتم ارائه شده، ۳۰ مسئله نمونه در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ طراحی و توسط الگوریتم پیشنهادی حل شده‌اند. همچنین این مسائل فرموله و توسط نرم‌افزار LINGO مجددا حل شده‌اند. لازم به ذکر است که در بعضی از مسائل با ابعاد بزرگ، با توجه به اینکه نرم افزار LINGO برای پیداکردن جواب به زمان بسیار زیادی نیاز داشت، زمان ۳ ساعت معادل ۱۰/۸۰۰ ثانیه بعنوان حداکثر زمان در نظر گرفته شد. به عبارت دیگر، جواب نرم افزار LINGO پس از ۱۰/۸۰۰ ثانیه با جواب بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی مقایسه شده‌اند. جدول ۳ نتایج مقایسه الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی پیشنهاد شده و نرم‌افزار LINGO رانشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، الگوریتم پیشنهادی در اغلب مسائل، خصوصا در مسائل با ابعاد متوسط و بزرگ، در مقایسه با نرم‌افزار LINGO قادر به تولید جوابهای خوب و بعضا بهتر در زمان کوتاه میباشد.

جدول۳. جدول مقایسه‌ای جوابهای الگوریتم پیشنهادی و جوابهای نرم افزار LINGO

ابعاد مسئله	مسئله	تعداد کارها	تعداد ماشین‌ها	تعداد مسیرها	تعداد محدودیتها	تعداد متغییرها	LINGO بهترین مقدار تابع هدف	LINGO زمان حل مسئله (ثانیه)	الگوریتم پیشنهادی بهترین مقدار تابع هدف	الگوریتم پیشنهادی زمان حل مسئله (ثانیه)
کوچک	S1	۲	۳	۴	۷۶	۶۷	۱۳	۱۴	۱۳	۵/۳۳
	S2	۲	۳	۴	۷۶	۵۹	۹	۲	۹	۳/۶۶
	S3	۲	۴	۴	۹۳	۷۴	۱۸	۱	۱۸	۵/۹۸
	S4	۳	۴	۷	۱۴۳	۱۰۸	۱۲	۱۱	۱۲	۴/۹۷
	S5	۲	۴	۴	۸۷	۷۰	۲۳	۳	۲۳	۳/۷
	S6	۳	۳	۷	۱۱۰	۸۱	۱۱۱	۴	۱۱۱	۳/۵۸
	S7	۲	۳	۴	۶۹	۵۴	۱۴۳	۱	۱۴۳	۳/۵۱
	S8	۳	۳	۷	۱۷۶	۱۲۹	۳۷۰	۱۴	۳۷۰	۷/۵۸
	S9	۲	۴	۴	۶۷	۵۵	۵۷۵	۱	۵۷۵	۶/۳۵
	S10	۳	۳	۶	۱۳۸	۱۰۲	۲۲۷	۴	۲۲۷	۳/۹۴
متوسط	M1	۶	۶	۱۲	۲۸۲	۲۶۰	۵۶۷	۱۰۲	۵۶۷	۵/۶۵
	M2	۶	۶	۱۲	۲۸۸	۲۰۴	۳۹۱	۴۴۲	۳۹۱	۵/۴۴
	M3	۵	۶	۱۰	۲۳۵	۱۷۶	۳۸۴	۱۳۶	۳۸۴	۵/۰۶
	M4	۶	۶	۱۲	۴۳۴	۳۰۵	۴۰۵	۱۰۵۹	۴۰۵	۶/۲۵
	M5	۵	۴	۱۰	۲۸۱	۲۰۰	۱۱۲	۳۳۴	۱۱۲	۵/۰۷
	M6	۵	۶	۱۰	۳۲۹	۲۴۶	۴۹۰	۵۴۰	۴۹۰	۵/۷۳
	M7	۵	۶	۱۲	۴۲۹	۳۰۵	۴۳۵	۸۳۴	۴۳۵	۵/۷۷
	M8	۵	۶	۱۰	۲۴۷	۱۸۹	۳۵۷	۲۷۲	۳۵۷	۹/۹۱
	M9	۵	۶	۱۰	۳۳۱	۲۴۰	۴۴۹	۵۲۳	۴۴۹	۱۰/۷۵
	M10	۵	۵	۱۲	۴۰۶	۲۹۲	۱۰۸	۵۶۸	۱۰۸	۵/۶۲
بزرگ	L1	۸	۷	۱۸	۷۵۹	۵۱۵	۲۳۴	۱۰۸۰۰	۱۶۴	۷/۷۶
	L2	۸	۶	۲۱	۱۱۵۲	۷۱۸	۳۱۳	۱۰۸۰۰	۱۹۸	۷/۹۵
	L3	۸	۷	۲۰	۸۱۵	۵۴۳	۲۵۱	۱۰۸۰۰	۱۵۷	۷/۸۷
	L4	۹	۷	۱۹	۸۴۲	۵۵۸	۲۶۱	۱۰۸۰۰	۲۳۱	۸/۶۵
	L5	۸	۷	۱۸	۸۸۶	۵۸۵	۲۹۲	۱۰۸۰۰	۲۴۰	۸/۲۷
	L6	۹	۷	۲۱	۹۳۶	۶۱۴	۴۳۱	۱۰۸۰۰	۲۰۱	۸/۳۹
	L7	۹	۷	۱۸	۷۵۷	۵۱۴	۳۰۲	۱۰۸۰۰	۲۱۵	۸/۳۹
	L8	۹	۶	۱۸	۷۲۵	۴۷۵	۲۰۳	۱۰۸۰۰	۱۹۰	۷/۸۴
	L9	۸	۶	۱۸	۸۳۹	۵۴۲	۲۰۰	۱۰۸۰۰	۱۹۹	۷/۸۲
	L10	۷	۷	۱۷	۷۲۶	۴۹۰	۱۴۳	۱۰۸۰۰	۱۴۳	۷/۲۶

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

در این مقاله مساله کارکارگاهی چند مسیره با محدودیت دسترسی نامعین مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا مدل ریاضی مساله ارائه و سپس یک الگوریتم مبتنی بر سیستم ایمنی مصنوعی برای حل این مساله توسعه داده شد. تعداد ۳۰ مسئله در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ طراحی، حل و سپس مقایسه‌ای بین جواب‌های بدست آمده از نرم‌افزار LINGO و الگوریتم پیشنهاد شده، صورت پذیرفت. مقایسه نتایج بدست آمده نشان میدهد که الگوریتم پیشنهادی، خصوصا در مسائل با ابعاد متوسط و بزرگ، قادر به تولید جوابهای خوب با صرف زمان اندک است. به عنوان تحقیقات آتی، میتوان به حل مساله با استفاده از دیگر روشهای فرا ابتکاری و مقایسه آنها با الگوریتم پیشنهادی اشاره کرد. همچنین میتوان ورودِ دیگر انواع محدودیتهای نت در مسئله برنامه‌ریزی کارکارگاهی را مورد بررسی قرار داد.

مراجع

[۱] ذگردی، سید حسام الدین.، رحیمی قشقائی، مهدی.، «زمانبندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر با در نظرگرفتن محدودیت نگهداری و تعمیرات (نت)»، مجله علمی پژوهشی شریف، صفحه ۱۱۵ -۱۰۱، ۱۳۸۸.

[2] Pinedo, M., *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2002.

[3] Ruiz, R., Garcia-Diaz, J.C., Maroto, C., *Considering Scheduling and Preventive Maintenance in the Flow Shop Sequencing Problem*., Computers & Operations Research, 34(11), 2007, pp, 3314-3330.

[4] Shijin Wang., Jianbo Yu., *An Effective Heuristic for Flexible Job-Shop Scheduling Problem with Maintenance*. Computers & Industrial Engineering 59, 2010, pp, 436–447.

[5] Gao, J., Gen, M., Sun, L., *Scheduling Jobs and Maintenances in Flexible Job Shop with a Hybrid Genetic Algorithm*., Journal of Intelligent Manufacturing, 17(4), 2006, pp. 493–507.

[6] Aggoune, R., Portmann, M.C., *"Flow Shop Scheduling Problems with Limited Machine Availability: A Heuristic Approach"*, Int Journal of Production Economics, 99, 2005, pp. 4-15.

[7] Gharbi, A., Houari, M., "*Optimal Parallel Machine Scheduling with Availability Constraint*", Discrete Applied Mathematics,148, 2005, pp, 63-87.

[8] Aggoune, R., *Minimizing the Makespan for the Flow Shop Scheduling Problem with Availability Constraints*, European Journal of Operational Research, 153(3), 2004, pp, 534–543.

[9] Ma, Y., Chu, C.B., Zuo, C.R., *A Survey of Scheduling with Deterministic Machine Availability Constraints Computer & Industrial Engineering*, 58(2), 2010, pp.199–211.

[10] Allaoui, H., Artiba, A., *Integrating Simulation and Optimization to Schedule a Hybrid Flow Shop with Maintenance Constraints*, Computers and Industrial Engineering 47 (4) , 2004, pp. 431–450.

[11] Kubzin, M.A., Strusevich, V.A., *Planning Machine Maintenance in Two-Machine Shop Scheduling*, Operations Research, 54(4), 2006, pp. 789-800.

[12] Mauguiere, P.H., Billaut, J.C., Bouquard, J.L., *New Single Machine and Job Shop Scheduling Problems with Availability Constraints*, Journal of Scheduling,8(3), 2005, pp. 211–231.

[13] Breit, J., *A polynomial-time Approximation Scheme for the Two-Machine Flow Shop Scheduling Problem with an Availability Constraint*. Computers & Operations Research, 33(8), 2006, pp. 2143–2153.

[14] Zribi, N., Kamel, A.E., Borne, P., *Minimizing the Makespan for the MPM Job-Shop with Availability Constraints*, International Journal of Production Economics, 112(1), 2008, pp. 151–160.

[15] Yang, D.L., Hsu, C.J., Kuo, W.H., *A Two-Machine Flow Shop Scheduling Problem with a Separated Maintenance Constraint*, *Computers & Operations Research*, 35(3), 2008, pp. 867–883.

[16] Naderi, B., Zandieh, M., Ghomi, S.M.T., *Scheduling Sequence-Dependent Set-up Time Job Shops with Preventive Maintenance*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 43(1–2), 2009, pp. 170–181.

[17] Jabbarizadeh, F., Zandieh, M.,& Talebi, D., *Hybrid flexible FlowShops with Sequence-Dependent Setup Times and Machine Availability Constraints*, Computers & Industrial Engineering 57 , 2009, pp. 949–957.

[18] Moradi, E., Fatemi Ghomi, S.M.T., Zandieh, M., *An Efficient Architecture for Scheduling Flexible Job-Shop with Machine Availability Constraint*, International Journal advance manufacturing Technology, 2010, pp. 325-339.

[19] Naderi, B., Zandieh, M., Aminnayeri, M., *Incorporating Periodic Preventive Maintenance into Flexible Flow Shop Scheduling Problems*, Applied Soft Computing Journal, doi:10.1016/j.asoc.2010.07.008

[20] Garey, M.R., Johnson. D.S., Sethi, R., *''The Complexity of Flowshop and Job-Shop Scheduling''*, Mathematics of Operation Research Letter, 1, 1976, pp. 117-129 .

[21] Zandieh, M., Fatemi Ghomi, S.M.T., Moattar Husseini, S.M., *An Immune Algorithm Approach to Hybrid Flow Shops Scheduling with Sequence*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]

Dependent Setup Times, Applied Mathematics and Computation 180 (1), 2006, pp. 111-127.

[22] Dcastro, L.N., VonZuben, *''aiNet: An Artificial Immune Network for Data Analysis*,''In data Mining A Heuristic Approach, 2001.

[23] Dcastro, L.N., VonZuben., *Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle*, IEEE Transaction On Evolutionary Computation, 2002, pp. 239-251.

[24] Engin, O., Döyen, A., *A new Approach to solve Hybrid Flow Shop Scheduling Problems by Artificial Immune System*, Future Generation Computer Systems 20 , 2004, pp. 1083-1095.

[25] Gen, M., Tsujimura, Y., Kubota, E., *Solving Job-Shop Scheduling Problem using Genetic Algorithms*, In: Proceedings of the 16th International Conference on Computer and Industrial Engineering, Ashikaga, Japan, 1994, pp 576–579.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-12-21]