



## Developing a Multi-Objective Meta-Heuristic Algorithm to Select Work Model and Staff Scheduling in Petrochemical Companies

**Khodakaram Salimifard**

\*Corresponding author, Associate Prof., Department of Industrial Management, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. E-mail: salimifard@pgu.ac.ir

**Meisam Nakhaei**

MSc, Department of Industrial Management, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. E-mail: nakhaei.meisam@gmail.com

**Zahra Zare**

MSc, Department of Industrial Management, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. E-mail: zahra\_zare6660@yahoo.com

**Reza Moghdani**

PhD Candidate, Department of Industrial Management, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. E-mail: reza.moghdani@gmail.com

### Abstract

**Objective:** In petrochemical companies, the existence of various, long job shifts can endanger the physical and mental health of employees, while having a proper timetable, in accordance with labor laws and policies, can help reduce the consequences of the disruption of their work shifts. The purpose of this research is to develop a model for timing the manpower of petrochemical companies in such a way that, by meeting the requirements of the company and the optimal number of employees in each shift, it can minimize the company's payment costs, and maximize the performance and preferences of the employees.

**Methods:** The researchers used integer programming model. Because of the complexity of the issue and the multi-objective nature of the model, to solve the mathematical model, NSGA-II algorithm has been used. In order to obtain a better performance of the algorithm, its parameters were tuned using the Taguchi calibration method.

**Results:** Based on the findings from various scenarios, the 21-day working model is better than the 16-day working model. Since the model is multi-objective and is solved using the Pareto's approach, the decision maker can, according to the circumstances, choose one of the optimal Pareto solutions.

**Conclusion:** Petrochemicals can apply scientific and optimum operation research approaches and its applications, in order to set up employee work schedules, create work-life balance, reduce work-related fatigue, decrease job burnout and improve their performance and productivity. Although scheduling and selecting the appropriate working model is complicated for petrochemical companies, NSGA-II algorithm can be used as an apt and powerful tool in decision making over choosing best working model.

**Keywords:** Scheduling, roistering, Integer planning, Multi objective optimization, NSGA-II Algorithm, Pareto approach

**Citation:** Salimifard, Kh., Nakhaei, M., Zare, Z., Moghdani, R. (2018). Developing a Multi-Objective Meta-Heuristic Algorithm to Select Work Model and Staff Scheduling in Petrochemical Companies. *Industrial Management Journal*, 10(4), 551-574. (in Persian)

## روش آمیخته ابتکاری برای انتخاب مدل کاری و زمان بندی

### کارکنان شرکت های پتروشیمی

خداکرم سلیمی فرد

\* نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران. رایانامه: salimifard@pgu.ac.ir

میثم نخعی

کارشناس ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران رایانامه: nakhaei.meisam@gmail.com

زهرا زارع

کارشناس ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران. رایانامه: zahra\_zare6660@yahoo.com

رضا مغانی

دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران. رایانامه: reza.moghdani@gmail.com

### چکیده

**هدف:** در شرکت های پتروشیمی، شیفت های کاری گوناگون و طولانی مدت، می تواند سلامت جسمی و روحی کارکنان را به مخاطره بیندازد؛ در حالی که با زمان بندی مناسب و توجه به قوانین و سیاست های کاری، می توان پیامدهای ناشی از شیفت های کاری آنان را کاهش داد. هدف این پژوهش، ارائه مدل مناسبی برای زمان بندی نیروی انسانی شرکت های پتروشیمی است؛ به گونه ای که با رعایت نیازهای شرکت و شمار بهینه کارکنان در هر شیفت، هزینه های شرکت کمینه و عملکرد و ترجیحات کارکنان نیز بیشینه شود.

**روش:** برای مدل سازی مسئله پژوهش از برنامه ریزی عدد صحیح استفاده شد. به دلیل پیچیدگی مدل و نیز چندهدفه بودن آن، در حل مدل ریاضی پیشنهاد شده، از الگوریتم NSGA-II استفاده شد. برای دستیابی به کارایی بهتر الگوریتم، پارامترهای آن با روش تاگوچی کالیبره گردید.

**یافته ها:** بر اساس یافته های به دست آمده از سناریوهای مختلف، مدل ۲۱ روزه کار بهتر از مدل کاری ۱۶ روزه است. همچنین، از آنجا که مدل چند هدفه بوده و با رویکرد پارتو حل شده است، تصمیم گیرنده می تواند، با توجه به شرایط، یکی از راه حل های بهینه پارتو را انتخاب کند.

**نتیجه گیری:** اگرچه شیفت بندی و گزینش مدل کاری مناسب برای شرکت های پتروشیمی، پیچیدگی فراوانی دارد، الگوریتم NSGA-II می تواند در تصمیم گیری برای انتخاب بهترین مدل کاری، ابزاری شایسته و توانمند باشد.

**کلیدواژه ها:** زمان بندی، شیفت بندی، برنامه ریزی عدد صحیح، بهینه سازی چند هدفه، الگوریتم NSGA-II، رویکرد پارتو.

**استناد:** سلیمی فرد، خداکرم؛ نخعی، میثم؛ زارع، زهرا؛ مغانی، رضا (۱۳۹۷). روش آمیخته ابتکاری برای انتخاب مدل کاری و زمان بندی کارکنان شرکت های پتروشیمی. فصلنامه مدیریت صنعتی، ۱۰(۴)، ۵۷۴-۵۵۱.

فصلنامه مدیریت صنعتی، ۱۳۹۷، دوره ۱۰، شماره ۴، صص. ۵۷۴-۵۵۱

DOI: 10.22059/imj.2018.263727.1007476

دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۲۱، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۵

© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

## مقدمه

با توسعه فعالیت های صنعتی و نیازهای روزافزون بازار، توجه به نیروی انسانی و شیفت های کاری آنها در بسیاری از کشورها افزایش چشمگیری یافته، به طوری که نسبت نیروهای کاری شیفتی به کل نیروهای کاری، بیش از ۲۰ درصد است. شیفت کاری به عنوان الگوهای کاری تعریف می شود که از هشت ساعت کار معمولی روزانه فراتر است و شیفت های کاری شب، چرخش کاری (صبح، عصر و شب) و کار در روزهای غیرمعمول و تعطیل را شامل می شود. از این رو مطالعه اثرهای شیفت های کاری روی سلامت کارکنان الزامی است. شیفت های کاری اثرهای نامطلوبی روی سلامت افراد داشته و می تواند موجب اختلال در ریتم بدن، مشکلات گوارشی، بیماری های قلبی - عروقی، خستگی و اختلال در خواب، آسیب های روانی و اختلال در زندگی خانوادگی و اجتماعی فرد شود (کازمی، آبادی، زایری و حسن زاده<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷).

زمان بندی، تخصیص منابع در گذر زمان برای انجام مجموعه ای از فعالیت ها است و برنامه زمان بندی تعیین می کند که سلسله فعالیت ها چه هنگامی انجام می شوند. زمان بندی مسئله ای با پارامترهای زمان، منابع، فعالیت ها و مجموعه ای از محدودیت ها است که با هدف تخصیص زمان و منابع به فعالیت ها و رعایت محدودیت ها انجام می شود (اسماعیلیان و عبداللهی، ۱۳۹۶). در یک مسئله زمان بندی، منابع می توانند ماشین های یک کارگاه تولیدی، باند پرواز فرودگاه، کارکنان یک محل ساخت و ساز و مانند اینها باشند که به دلایل گوناگون استفاده از آنها با محدودیت روبه رو است. در مسائل زمان بندی همزمان با افزایش اندازه مسئله، زمان مورد نیاز برای یافتن راه حل بهینه به صورت نمایی افزایش می یابد. بنابراین، مسئله زمان بندی دارای پیچیدگی رایانشی است و از نوع NP-hard<sup>۲</sup> محسوب می شود (الیاسی، ۱۳۹۲).

بهره مندی از سیستم طراحی شده زمان بندی نیروهای کاری موجب افزایش کارایی مدیریت، کاهش مسائل شغلی و گزارش های مکتوب (تهانیان و خالقی<sup>۳</sup>، ۲۰۱۳)، بهبود بهره وری فرایند تولید، بیشینه سازی اثربخشی فعالیت ها، کاهش مدت زمان تولید و کمینه سازی بهای تمام شده فرایند تولید (الیاسی، ۱۳۹۲)، افزایش رضایت کارکنان در ترجیحات شیفت های کاری و روزهای تعطیل، کاهش هزینه های سازمان و خطرهای شغلی (لین، کانگ، لیو و دنگ<sup>۴</sup>، ۲۰۱۴) می شود. برنامه زمان بندی انعطاف پذیر، نیروی کار را به ثبات تشویق کرده و شغل و حرفه وی را در زمینه مد نظر جذاب تر می کند (لگرین، بو عرب و لاهریچی<sup>۵</sup>، ۲۰۱۵)، در موفقیت سازمان حیاتی بوده و فعالیت های کارکنان در آن اقدامی متعادل کننده بین نیازهای سازمان، تعهدات قانونی و قراردادی آنها است (کلارک و والکر<sup>۶</sup>، ۲۰۱۱). از سوی دیگر، یک زمان بندی ضعیف می تواند به انبارش مازاد نیروی انسانی با هزرزفت گسترده زمان یا کاهش در دسترس پذیری نیروی کار و از دست رفتن بازار منجر شود و بر رقابت پذیری سازمان اثرهای منفی بگذارد (نمازی، ۱۳۹۰).

صنعت پتروشیمی، از نظر اقتصادی و اشتغال، یکی از صنایع مهم ایران است. در این صنعت مشاغل حیاتی مانند عملیات اتاق کنترل، نگهداری و تعمیرات، عملیات سایت، آتش نشانی و ... وجود دارد. استرس شغلی و نارضایتی در چنین صنعتی ممکن است بر بهره وری و ایمنی کارکنان اثرهای منفی داشته باشد (حبوبی، چوپینه، قنواواتی، کشاورزی و

1. Kazemi, Abadi, Zayeri & Hassanzade  
 3. Tahanian & Khaleghi  
 5. Legrain, Bouarab & Lahrichi

2. Non Polynomial-hard  
 4. Lin, Kang, Chiang & Chen  
 6. Clark & Walker

حسینی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷). در شرکت‌های پتروشیمی، افزایش بهره‌وری، سلامت، ایمنی و افزایش دوره ماندگاری کارکنان از یک سو و رضایتمندی کارکنان و خانواده‌های آنان از سوی دیگر، بسیار مهم است. همچنین، این شرکت‌ها برای به کارگیری مدل‌های نوین مدیریت منابع انسانی، آموزش و توانمندسازی کارکنان، سالانه میلیون‌ها ریال هزینه می‌کنند تا همراه با افزایش بهره‌وری، رضایت شغلی و افزایش دوره ماندگاری کارکنان خود را نیز بهبود بخشند. به دلیل پیوسته بودن فرایندهای تولید این شرکت‌ها در شبانه‌روز، به الگوهای پوشش عملیاتی ۲۴ ساعته نیاز است که ارائه این سرویس‌ها، افزایش استفاده از تجهیزات پیچیده و پرهزینه، مشکلات بهره‌وری و ایمنی را به همراه دارد. بهبود زمان‌بندی و شیف‌بندی نیروهای کاری این شرکت‌ها، نه تنها به پیشگیری از خستگی، کاهش آسیب‌ها و حوادث، تعادل کار و زندگی کارکنان، تقسیم مناسب کار، رضایتمندی از شغل و افزایش بهره‌وری کارکنان کمک می‌کند، بلکه می‌تواند با بهینه کردن شمار کارکنان مورد نیاز با مهارت‌ها و تخصص‌های گوناگون در هر یک از بخش‌ها، در کاهش هزینه نیروی انسانی شرکت‌ها نیز تأثیر بسزایی داشته باشد. در این شرکت‌ها معیارهای مهمی مانند هزینه‌ها، ترجیحات و ارزیابی عملکرد کارکنان وجود دارد. در حالی که معیار نخست بخش بزرگی از هزینه‌های عملیاتی را در بر می‌گیرد، در بسیاری موارد معیار دوم نادیده گرفته می‌شود. افزون بر این، به کارگیری معیار سوم می‌تواند شایستگی، ویژگی، کیفیت، مهارت و توانمندی بالقوه کارکنان را برای آینده مشخص کرده و عملکرد کارکنان را با استانداردهای تعیین شده سازگار کند (کای و لی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰).

منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس جنوبی بیش از ۲۴ فاز پالایشگاهی گاز و ۳۶ پتروشیمی با محصولات گوناگون را در خود جای داده و تاکنون نیمی از ظرفیت آن به بهره‌برداری رسیده است. با توجه به راه‌اندازی پالایشگاه‌های گازی و شرکت‌های پتروشیمی جدید بر میزان آلودگی هوا و زمین منطقه افزوده شده است. البته آمار میزان آلودگی منطقه محرمانه است، اما بر اساس گزارش‌های مراکز سنجش و پایش (دانشگاه علوم پزشکی شیراز، ۱۳۹۶) روز به روز بر وخامت اوضاع افزوده می‌شود. به همین دلیل سازمان‌های مربوطه در شیوه‌نامه‌های جدید، مقرراتی برای کاهش روبه‌رویی کارکنان منطقه با آلودگی اعلام کرده‌اند و کم کردن ساعات کاری روزانه کارکنان روزکار یا کاهش شمار روزهای اقامت کارکنان نوبت‌کاری و اقماری در منطقه را پیشنهاد داده‌اند. تداوم مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی و غلظت آنها به برخی تغییرات فیزیولوژیک در پارامترهای بیوشیمیایی و هماتولوژیک منجر می‌شود. بیشترین اثرهای آلودگی بر کبد، کلیه و خون است. از این رو، ضرورت انجام اقدام‌های مهندسی، مدیریتی و حفاظتی برای حذف یا کاهش روبه‌رو شدن با این آلاینده‌های خطرناک بیش از پیش اهمیت می‌یابد. زمان‌بندی مناسب شیفت کارکنان با کاهش مدت زمان روبه‌رو شدن کارکنان با مواد شیمیایی زیان‌آور، می‌تواند در پیشگیری از تغییرات پاتولوژیک و بهبود عملکرد کبد، کلیه و خون بسیار سودمند باشد.

با وجود اهمیت زیاد زمان‌بندی نیروی انسانی و شیفت‌های کاری آنها در شرکت‌های پتروشیمی منطقه پارس جنوبی، به این امر در این شرکت‌ها کمتر توجه شده است. از این رو، نویسندگان این مقاله تصمیم گرفتند که مسئله زمان‌بندی کارکنان شرکت‌های پتروشیمی را بررسی و واکاوی کنند. با مدل‌سازی مدل‌های کاری این شرکت‌ها و ارزیابی

آنها، ضمن یافتن مدل کاری بهینه، قوت‌ها و ضعف‌های هر یک از مدل‌ها شناسایی شده و نیازهای جدیدی برای آنها پیشنهاد می‌شود. از هدف‌های این پژوهش می‌توان به کاهش ساعت‌های کاری کارکنان در دوره کاری برای کاهش آسیب‌های فردی، حوادث شغلی و خطاهای انسانی ناشی از ساعت‌های کار طولانی مدت و مواجهه کارکنان با آلودگی منطقه پارس جنوبی و افزایش رضایتمندی شغلی، تنظیم تعادل کار و زندگی، تقسیم کار مناسب و افزایش بهره‌وری آنها اشاره کرد.

### پیشینه پژوهش

زمان‌بندی نیروی کاری یکی از مسائل پیچیده است که باید در آن عوامل زیادی در نظر گرفته شود، به گونه‌ای که نه تنها نیازهای نیروی کار، قوانین مدیریتی و دولتی را برآورده کند، بلکه نقش مهم عامل‌های انسانی را نیز در نظر بگیرد. افراد به طور طبیعی از صبح تا عصر کار می‌کنند، اما امروزه با نیاز به افزایش بهره‌وری، بسیاری از بخش‌های عملیاتی را به بیش از هشت ساعت در یک روز و کار در پایان هفته برمی‌انگیزد. این نوع شیفت‌های کاری را می‌توان در مراکز بهداشت و درمان، سرویس‌های امنیتی، سرویس‌های خدماتی مانند هتل‌ها، سرویس حمل‌ونقل و صنایع با تولید پیوسته مانند صنایع پتروشیمی مشاهده کرد. زمان‌بندی نادرست شیفت می‌تواند به خستگی و اثرگذاری منفی بر عملکرد نیروی کار منجر شود. بنابراین، تنظیم شیفت نیروی کاری می‌تواند به عنوان یکی از عوامل مهم در مدیریت کارکنان در نظر گرفته شود. یکی از دلایل زمان‌بندی کارکنان، همترازسازی بار کاری به وسیله محدود کردن مدت زمان کاری در هفته و تخصیص زمان‌های کافی استراحت میان شیفت‌های اختصاص داده شده به آنها است. در کنار همترازسازی بار کاری، تمرکز بر ترجیحات کارکنان و توازن زندگی - کار، حفظ عملکرد فیزیولوژیک فرد و اعمال ترجیحات آنها نیز انجام می‌شود (هراواتی، یونیارتا، پورناما و دوی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷).

طبق گفته بکهام و کلیو<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) زمان‌بندی نیروی کاری نیازمند تعیین شمار کارکنان، سیاست‌های کاری و مهارت‌های مورد نیاز برای برآورده کردن سطوح خدمات مورد نیاز است. به این زمان‌بندی باید در همه لایه‌های سازمانی (استراتژیکی، تاکتیکی و عملیاتی) توجه شود. مدیران باید در لایه استراتژیک، سیاست‌های مربوط به نیروی کار را در نظر گیرند. ترجیحات کارکنان می‌تواند در سه دسته فعالیت‌های ترجیحی، درخواست‌های افراد برای تعیین شیفت‌ها و روزهای خاص و خواسته‌های کارکنان جای گیرد.

ارزیابی عملکرد به عنوان فرایند ارزیابی و برقراری ارتباط با کارکنان در چگونگی انجام یک شغل و استقرار برنامه بهبود آن تعریف می‌شود. در این صورت ارزیابی عملکرد نه تنها به کارکنان اجازه می‌دهد بدانند عملکرد آنها چگونه است، بلکه بر میزان تلاش و مسیر آینده آنان تأثیر می‌گذارد. ارزیابی عملکرد معمولاً با هدف‌های مختلفی مانند بازخورد کردن عملکرد، آموزش و توسعه، ارتقای کارکنان و برنامه‌ریزی منابع انسانی به اجرا در می‌آید، از این رو به این دلیل که پیش‌نیاز بسیاری از فعالیت‌ها است، اجرای صحیح آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (حاتمی منش و زنجیرچی، ۱۳۹۲).

## پیشینه تجربی

اکبری، دری و زندیه (۱۳۹۱) با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های گمارش کارکنان کارا به شیفت‌های کاری برای برآورده کردن تقاضای کاری سازمان، ابعاد ارگونومیک، یادگیری، فراموشی و خستگی ناشی از کار را در مدل ریاضی اعمال و با الگوریتم ژنتیک و روش‌های دقیق حل کردند. باغبانی، کتابی و عتیقه‌چیان (۱۳۹۲)، مدل زمان‌بندی اتاق‌های عمل را با هدف افزایش ترجیحات و کاهش زمان‌های اضافه کاری با نرم‌افزار لینگو در بیمارستان سعدی اصفهان اجرا کردند. سلیمی‌فرد، شاهبندرزاده و مگاطیف (۱۳۹۳) سنجش رضایت کارکنان اتاق عمل از زمان‌بندی عمل‌ها و عوامل تأثیرگذار مانند عدالت توزیع حجم کاری، تعهد شغلی، ترک شغلی و ترجیحات را بررسی کردند. همچنین، رضایتمندی کارکنان از زمان‌بندی کنونی را با روش آماری کمینه مربعات جزئی اندازه‌گیری کردند. در یافته‌ها مشخص شد نبود زمان‌بندی بهینه در اتاق عمل به نارضایتی و ترک شغلی کارکنان منجر شده است و تعهد شغلی نمی‌تواند اهمیت زمان‌بندی در اتاق عمل را از بین برده و به رضایت کارکنان از وضع موجود بینجامد. اسماعیلیان و عبداللهی (۱۳۹۶) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح دومرحله‌ای در مسئله زمان‌بندی درس‌های دانشگاهی ارائه کردند و ترکیب درس، استاد و گروه را به‌عنوان فعالیت معرفی کردند. در مرحله نخست بر مبنای شمار نشست‌های بایسته در هفته در بازه‌های زمانی روزهای گوناگون هفته، همه فعالیت‌ها زمان‌بندی شده و در مرحله دوم با در نظر گرفتن محدودیت‌های دانشگاه، کلاس‌ها و فضاهای آموزشی به نشست‌های برنامه‌ریزی شده تخصیص یافت. برای انجام محاسبات از حل‌کننده CPLEX و الگوریتم انشعب و برش در نرم‌افزار GAMS استفاده شد. اکبری (۱۳۹۶) در بهینه‌سازی عملکرد نیروی انسانی، با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک بهترین طول زمانی شیفت کاری را معلوم کرده و تخصیص کارکنان را با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار مشخص کرد. در مدل پیشنهادی، خستگی به‌عنوان یکی از ابعاد ارگونومی مدل‌سازی و برای کاهش هزینه‌های کارکنان و افزایش کارایی تولید، شیفت‌های کاری انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شد.

بارد، مورتون و وانگ<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) برای بهینه‌سازی نیروی کار در شرکت خدمات پستی آمریکا از مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای استفاده کردند که تعیین تعداد کارکنان تمام وقت و پاره وقت در مرحله نخست معین شده و پس از مشخص شدن میزان تقاضا در سه سناریوی تقاضای بالا، متوسط و کم، تعداد نیروی کار موقت با رویکردهای فراابتکاری و نرم‌افزار CPLEX تعیین می‌شود. نتایج نشان داد زمانی که از روش بازگشتی برای کمک به ساختار نیروی کاری استفاده می‌شود، صرفه‌جویی شایان توجهی در هزینه‌ها صورت می‌گیرد. لیم، مباحشر و کوت<sup>۲</sup> (۲۰۱۲) با در نظر گرفتن ترجیحات پرستاران و حجم بیماران، یک مدل زمان‌بندی چندهدفه با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های پرستاران، کمینه‌سازی نارضایتی بیماران، کاهش زمان بیکاری پرستاران و بیشینه‌سازی رضایت شغلی آنها ارائه داده و برای حل آن برنامه‌ریزی آرمانی به کار بردند. طبق نتایج، شمار بیماران در زمان‌بندی پرستاران اثر داشته و یک مدل بهینه زمان‌بندی موجب رضایت شغلی پرستاران و کاهش شمار بیماران ناراضی می‌شود. آلتنر، روجاس و سروی<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای با رویکرد سناریومحور برای بهینه‌سازی نیروی انسانی و زمان‌بندی شیفت کاری آنها

1. Bard, Morton & Wang  
3. Altner, Rojas & Servi

2. Lim, Mobasher & Cote

(۲۴ ساعته - ۷ روز) ارائه کردند. مدل پیشنهادی با ساده‌سازی روش شاخه و قیمت و تولید ستون در گره اصلی درخت حل شده و نتایج نشان داد این روش جواب‌های باکیفیتی تولید می‌کند.

زمان‌بندی در بخش‌های گوناگون صنعت مانند معادن، خدمات، پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها یکی از عوامل استرس‌زا است که بر سلامت جسم و روان پیامد منفی داشته، احتمال بروز بیماری‌های قلب و عروق، گوارش و روانی افزایش می‌دهد و می‌تواند به کاهش بهره‌وری رهنمون شود. چوبینه، سلطانزاده، طباطبایی، جهانگیری و خاوجی<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) دشواری‌های بهداشتی مرتبط با شغل‌های شیفتی دوازده ساعته در میان کارکنان پتروشیمی‌ها را با نرم‌افزار SPSS بررسی بیان کردند. یافته‌های آنان نشان می‌دهد اختلالات دستگاه گوارش و بیماری‌های اسکلتی - عضلانی در میان کارکنان شیفتی بیشتر از کارکنان روزکار بوده است و عواملی مانند کار طولانی‌مدت، نوع کار، کار دوم و واحد کار در آنها نقش دارند. بر این اساس پیشنهاد شد که برنامه شیفتی کارکنان پتروشیمی‌ها متغیر باشد و سایر جنبه‌های قابل توجه کار مد نظر قرار گیرد. تهنیان و خالقی (۲۰۱۳) با هدف افزایش رضایت شغلی و پیشگیری از بی‌عدالتی در پخش شیفت کارکنان شاغل در شرکت‌های پتروشیمی، مدل زمان‌بندی انعطاف‌پذیری را ارائه دادند. آنان با هدف کاهش کل هزینه کارکنان و در نظر گرفتن دو شیفت روز و شب و محدودیت‌های مرتبط با پخش نیروی کار در این دو شیفت، به حل مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند. حبوبی و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه دو عامل استرس کاری و رضایت شغلی و اثر آنها بر بهره‌وری کارکنان صنایع پتروشیمی ایران نشان دادند سطح استرس شغلی افراد بالا، میزان رضایت شغلی آنها متوسط و بهره‌وری آنان نیز متوسط است. پس از توزیع پرسشنامه و تجزیه و تحلیل آن با نرم‌افزار SPSS مشخص شد ابهام در نقش و عدم کفایت نقش، از دلایل استرس شغلی بوده و زمان‌بندی شیفت با بهره‌وری مرتبط است.

الگوریتم ژنتیک در زمینه‌های دیگری نیز مطالعه شده است. حقیقی و نائب پور (۱۳۹۶) در رتبه‌بندی شرکت‌های صنعت هواپیمایی ایران از الگوریتم ژنتیک و ارزیابی فازی استفاده کردند. ترکیبی و همکاران (۱۳۹۶) الگوریتم ژنتیک مشتریان در مؤسسه‌های اعتباری برای واگذاری تسهیلات را رتبه‌بندی کردند. نیکوکار، علیدادی، مهدوی و موسوی (۱۳۹۳) برای انتخاب اعضای تیم‌های تحقیق و توسعه از الگوریتم NSGA-II بهره گرفتند.

با بازخوانی پیشینه پژوهش می‌توان دریافت الگوریتم ژنتیک توانایی بالایی در حل مسائل زمان‌بندی کارکنان دارد. از سوی دیگر، اهمیت شیفت‌های کاری و مدل‌های مرتبط با آن در شرکت‌های پتروشیمی مسئله‌ای است که توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده و در پژوهش‌های پیشین از نظر کیفی شیفت‌بندی‌های منطقه بررسی شده، اما چگونگی شیفت‌بندی کارکنان پتروشیمی از دید مدل‌سازی ریاضی بررسی نشده است. در شیفت‌بندی کارکنان اغلب اهداف ترجیحات و هزینه در نظر گرفته شده که نشان‌دهنده اهمیت این معیارها است و همچنین با توجه به اهمیت ارزیابی عملکرد، این معیار به هدف‌های مسئله افزوده شده است. زمانی که در این مسائل، نیروی کار ناهمگن، نامتوازن بودن الگوی کاری کارکنان، چندسطحی بودن کارکنان با توجه به مهارتی آنها، نرخ بهره‌وری متفاوت و تقاضاهای

گوناگون در یک شیفت وجود داشته باشد، حل مسئله سخت تر می شود. بنابراین، برای حل مسئله ارائه شده در این پژوهش از الگوریتم NSGA-II استفاده می شود. در جدول ۱ به برخی مطالعات انجام شده در این زمینه اشاره شده است.

جدول ۱. خلاصه مطالعات پژوهش

نام نویسندگان	موضوع پژوهش	رویکرد حل
چوبینه، سلطانزاده، طباطبایی و جهانگیری (۱۳۹۰)	تعیین شیوع مشکلات بهداشتی و ریسک فاکتورهای ایجاد کننده این اختلالات در کارگران شاغل در صنایع پتروشیمی	نرم افزار SPSS
باغبانی و همکاران (۱۳۹۲)	زمان بندی اتاق های عمل با هدف افزایش ترجیحات و کاهش زمان های اضافه کاری بیمارستان	نرم افزار لینگو
کای و لی (۲۰۰۰)	زمان بندی کارکنان چندمهارته با هدف کمینه سازی هزینه کل تخصیص کارکنان و کاهش تغییرات مازاد آنها در دوره های زمانی	الگوریتم ژنتیک
چوبینه و همکاران (۲۰۱۲)	بررسی اثرهای سلامت مرتبط با شیفت های کاری در زمان بندی شیفت ۱۲ ساعته در میان کارکنان پتروشیمی ایرانی	نرم افزار SPSS
تهانیان و خالقی (۲۰۱۳)	ارائه یک مدل زمان بندی انعطاف پذیر با هدف افزایش رضایت شغلی و پیشگیری از بی عدالتی در پخش شیفت های کارکنان شرکت های پتروشیمی	الگوریتم ژنتیک
آلتنر و همکاران (۲۰۱۷)	بهینه سازی نیروی انسانی و زمان بندی شیفت کاری آنها با برنامه ریزی تصادفی دومرحله ای	روش شاخه و قیمت و تولید ستون
حبوبی و همکاران (۲۰۱۷)	بررسی دو عامل استرس کاری و رضایت شغلی و اثر آن بر بهره وری کارکنان صنایع پتروشیمی ایران	نرم افزار SPSS
هاچدوفر، هدلر و لانزا <sup>۱</sup> (۲۰۱۸)	زمان بندی نیروهای کاری در محیط های دارای گردش شغلی با در نظر گرفتن جنبه های ارگونومیکی	نرم افزار پروتوتایپ
حجتی <sup>۲</sup> (۲۰۱۸)	کاهش تعداد کارکنان ناهمگون شیفت ها در مسئله زمان بندی فعالیت های پرسنل	الگوریتم آزمندانه
ون بروملن <sup>۳</sup> (۲۰۱۸)	بهینه سازی زمان بندی شیفت و تخصیص فعالیت ها در تسهیلات مراقبتی بلندمدت به منظور کاهش زمان های انتظار	الگوریتم ابتکاری

### زمان بندی نیروی انسانی شرکت های پتروشیمی منطقه پارس جنوبی

بسیاری از شاغلان حرفه های گوناگون با توجه به نوع کار و نیاز به نیروی کار، به صورت نوبتی و در ساعت های غیرمعمول شبانه روز کار می کنند. شب کاری پیامدهای ناخوشایند و غیرقابل کنترلی روی زندگی طبیعی افراد دارد. این پیامدها می توانند خانواده آنها را نیز تحت تأثیر قرار دهند، ساعات طولانی کار سلامت و امنیت افراد را به مخاطره انداخته و به بروز بیماری هایی مانند اختلالات گوارشی، اختلالات قلبی - عروقی، اختلالات خواب و بیولوژیکی، افسردگی و سرطان منجر می شوند. حوادث و خطاهای کاری و فرسودگی شغلی در افراد شب کار بیشتر از افراد صبح و عصر کار است. برای نمونه، اگر کارکنان اتاق کنترل پتروشیمی از سلامت عمومی خوبی برخوردار نباشند، نمی توانند هشدارهای ورودی

1. Hochdörffer, Hedler & Lanza  
2. Hojati  
3. Van Brummelen



را به‌خوبی تحلیل کنند که موجب بروز حوادث شغلی و کاهش کیفیت خدمت شده و پیامدهای آن متوجه فرد و شرکت می‌شود (باقی‌پور، بزرگی، موعودی و تقی‌پور، ۱۳۹۵). به‌طور کلی، در طراحی شیفت‌های کاری همه سازمان‌ها، قوانین زیر باید رعایت شوند (طهماسبی و محسنی، ۱۳۹۱):

- تا حد امکان از برنامه شیفت کاری ثابت پرهیز شود.
- شمار شیفت‌های طولانی پیاپی و اضافه‌کاری کمینه شود.
- در برنامه شیفت کاری باید یک یا دو روز تعطیل آزاد در نظر گرفته شود.
- از کار کردن دو شیفت در عرض ۲۴ ساعت خودداری شود.
- بعد از پایان هر دوره شیفت حداقل ۲۴ ساعت استراحت در نظر گرفته شود.
- برنامه کاری به‌طور منظم و دقیق قابل پیش‌بینی باشد و کلیه کارکنان از آن اطلاع داشته باشند و برنامه زندگی خود را بر اساس آن تنظیم کنند.
- برنامه‌های شیفت کاری (صبح، عصر و شب) باید منظم و چرخشی باشد.

همچنین، یکی از موارد مطرح‌شده در شرکت‌های پتروشیمی ارزیابی عملکرد کارکنان آنها است. در ارزیابی عملکرد افزون بر تعیین استانداردهای شغلی کارکنان، صلاحیت، خصوصیات، کیفیت، مهارت، ظرفیت و پتانسیل بالقوه آنها برای آینده مشخص می‌شود که این امر موجب افزایش حقوق سالانه، ارتقای شغلی و تقویت انگیزه پیشرفت در آنها می‌شود. نظام ارزیابی عملکرد صنعت نفت، گاز و پتروشیمی ترکیبی از دو روش قیاسی و توزیع اجباری بوده که در روش نخست، کارکنان بر اساس عوامل معینی توسط سرپرست مستقیم خود با استفاده از فرم‌های مخصوص درجه‌بندی می‌شوند. در روش دوم که در سه سطح مدیریتی، کارشناسی و تکنسینی انجام می‌شود، کارکنان پس از ارزیابی عملکرد به‌طور اجباری رتبه‌بندی شده و نتایج ارزیابی به‌لحاظ آماری، از یک توزیع نرمال پیروی می‌کند (جدول ۲).

جدول ۲. درصد ارزیابی عملکرد کارکنان

درجه ارزیابی جزئی	عالی	خیلی خوب	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
	A	B <sup>+</sup>	B	C <sup>+</sup>	C	D
درصد اختصاص یافته	۱۰٪	۱۵٪	۲۵٪	۲۵٪	۱۵٪	۱۰٪

### مدل ریاضی مسئله پژوهش

مدل ریاضی پژوهش با استفاده از مدل‌های در دسترس در پیشینه پژوهش (آلتتر و همکاران، ۲۰۱۷؛ لگرین، بوغرب و لاهریچی، ۲۰۱۵؛ لین، کانگ، چیانگ و چن<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵ و کلارک و والکر، ۲۰۱۱) و بهره‌مندی از دیدگاه عملیاتی مدیران منابع انسانی شرکت پتروشیمی مهر، مدل‌سازی شده و نتیجه آن روی کارکنان اتاق کنترل این شرکت پیاده‌سازی می‌شود. نخست پیش‌فرض‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی معرفی شده و در ادامه، توابع هدف و محدودیت‌های مدل ارائه می‌شوند. باید یادآور شد این مدل‌سازی بر اساس دو شیوه کاری رایج در شرکت به‌صورت مدل

کاری ۱۲-۴ و ۱۴-۷ با رعایت قوانین کاری انجام شده است. در نظر گرفتن همزمان ترجیحات کارکنان، هزینه پرداختی به آنان و ارزیابی عملکرد کارکنان به عنوان اهداف، در نظر گرفتن سطوح مهارت کارکنان و پیاده سازی آن به صورت واقعی در شرکت پتروشیمی مهر از نوآوری های این مدل است. پیش فرض های مدل ریاضی به صورت زیر است:

- دوره کاری به صورت تک دورهای فرض می شود (مدل کاری ۱۲-۴: ۱۶ روزه و مدل کاری ۱۴-۷: ۲۱ روزه)
- هر روز کاری دارای تعدادی شیفت کاری است (مدل کاری ۱۲-۴: شیفت صبح (۸:۰۰-۱۶:۰۰)، شیفت عصر (۱۶:۰۰-۲۴:۰۰) و شیفت شب (۸:۰۰-۲۴:۰۰) و مدل کاری ۱۴-۷: شیفت صبح (۷:۰۰-۱۹:۰۰) و شیفت شب (۱۹:۰۰-۷:۰۰))
- ساعت های کاری به صورت ۲۴ ساعت شبانه روز طی هفت روز هفته است.
- شمار نیروی کاری مربوط به سطوح ارشد، مشخص شده و همه آنها در ابتدای دوره زمانی در دسترس هستند.
- سه سطح نیروی کار تمام وقت (کشیک ارشد، بوردمن و اپراتور) همزمان در هر شیفت در اتاق کنترل حضور دارند.
- عدم نیاز به استفاده از گزینه بوردمن در دسترس<sup>۱</sup> که در صورت کمبود نیروی کار تمام وقت، از این نیروی کار استفاده شود.
- استراحت کارکنان با توجه دوره کاری محاسبه می شود، نه هفتگی.
- نرخ پرداختی به نیروی کار با توجه به سطوح ارشد و سابقه کار محاسبه شده و برای همه افراد متفاوت است.
- نیروهای کاری انتخاب شده برای هر شیفت، تا پایان دوره در شیفت های یکسانی قرار دارند.

### مجموعه ها

D: مجموعه روزها در مدل کاری ۱۲-۴:  $\{d_1, d_2, \dots, d_{16}\}$  و در مدل کاری ۱۴-۷:  $\{d_1, d_2, \dots, d_{21}\}$

S: مجموعه شیفت های اتاق کنترل در مدل کاری ۱۲-۴:  $\{s_1(\text{morning}), s_2(\text{afternoon}), s_3(\text{night})\}$  و در مدل کاری ۱۴-۷:  $\{s_1(\text{morning}), s_2(\text{night})\}$ ،  $s, s' \in S$

L: مجموعه سطوح ارشدیت اتاق کنترل که از قبل باید مشخص باشد و هر یک از کارکنان فقط مجاز به قرارگیری در یک سطح ارشدیت هستند  $\{l_1(\text{اپراتور}), l_2(\text{بوردمن}), l_3(\text{کشیک ارشد اتاق کنترل})\}$

N: مجموعه تعداد کارکنان در دسترس در کلیه سطوح  $\{l_1 \cup l_2 \cup l_3\}$ ،  $N = \{1, \dots, n\}$ ،  $i, j \in N$

### پارامترها

$Cost_i$ : هزینه پرداختی هر دوره داشتن یک کارمند تمام وقت که شامل پرداخت پاداش برای شیفت های شب نیز می شود.

$P_{ij}$ : ترجیحات کارکنان نسبت به یکدیگر که ترجیحات هر کارمند نسبت به خودش صفر و نسبت به سایر کارمندان متفاوت است.  $(if\ i = j : p_{ij} = 0 \ \& \ if\ i \neq j : p_{ij} \neq 0, \ p_{ij} \neq p_{ji})$

$EV_i$ : نمره ارزیابی عملکرد هر کارمند

$\forall s \in S, \forall d \in D$  ( $k = 1, 2, 3$ ),  $l$ , حداقل کارمند مورد نیاز با سطح ارشدیت  $l$

$\forall s \in S, \forall d \in D$  ( $k = 1, 2, 3$ ),  $l$ , حداکثر کارمند مورد نیاز با سطح ارشدیت  $l$

### متغیر تصمیم

$x_{ilsd}$ : اگر کارمند  $i$  با سطح ارشدیت  $l$  به شیفت  $s$  روز  $d$  تخصیص یابد، ۱ و در غیر این صورت ۰ است.

### توابع هدف

مدل ریاضی مسئله از نوع برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته چندهدفه است که بدین صورت فرمول بندی می شود. تابع هدف نخست برای پاسخگویی و اهمیت به درخواست های کارکنان است. ترجیحات کارکنان می تواند برای شیفت های کاری، روزهای استراحت و نسبت به سایر کارکنان فرض شود که در این مدل، ترجیحات نسبت به سایر کارکنان حداکثر می شود (رابطه ۱). در تابع هدف دوم (رابطه ۲)، کمینه سازی کل هزینه پرداختی به کارکنان تمام وقت شامل پاداش های پرداختی برای شیفت های شب کاری، نوبت کاری و اضافه کاری در نظر گرفته شده است. بیشینه سازی ارزیابی عملکرد کارکنان در تابع هدف سوم (رابطه ۳) صورت می گیرد تا مدیران بتوانند ویژگی های کارکنان را سنجیده، حدود توانایی آنها را تخمین زده و اثربخشی عملکرد را بیشینه سازند.

$$\max f_1 = \sum_{i \in N} \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} P_{ij} X_{ilsd} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\min f_2 = \sum_{i \in N} \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} Cost_l X_{ilsd} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\max f_3 = \sum_{i \in N} \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} Ev_i X_{ilsd} \quad \text{رابطه ۳}$$

### محدودیت ها

محدودیت های قوانین کاری: به دلیل محدودیت های قانون کار در ساعات کاری و برای جلوگیری از شیفت های متوالی کارکنان، به هر یک از آنها در هر ۲۴ ساعت، حداکثر یک شیفت اختصاص داده می شود (رابطه ۴) و مجاز به کار در دو یا سه شیفت پیاپی نیستند (رابطه ۵). این امر به افزایش کارایی و بهره وری هر فرد در شیفت منتج می شود. در دوره کاری مدل ۱۲-۴، هر کارمند ۱۲ روز سرکار و در مدل ۱۴-۷، وی ۱۴ روز مشغول به کار است (رابطه ۶). در دوره کاری مدل ۱۲-۴، کارکنان باید چهار شیفت صبح، چهار شیفت عصر و چهار شیفت شب داشته باشند و هیچ یک از آنها نباید به طور ثابت در این شیفت ها کار کند. در دوره کاری مدل ۱۴-۷ نیز کارکنان باید هفت شیفت صبح و هفت شب داشته و تمام آنها باید در هر دو شیفت حضور داشته باشند (رابطه ۷).

$$\sum_{s \in S} x_{ilsd} \leq 1 \quad \forall i \in N, \forall l \in L, \forall d \in D \quad \text{مدل کاری ۱۲-۴} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\sum_{s \in S} x_{ilsd} \leq 1 \quad \forall i \in N, \forall l \in L, \forall d \in D \quad \text{مدل کاری ۱۴-۷}$$

$x_{ils_1d} + x_{ils_2d} + x_{ils_3d} \leq 1$	$\forall i \in N, \forall l \in L, \forall d \in D$	مدل کاری ۴-۱۲	رابطه (۵)
$x_{ils_2d} + x_{ils_3d} + x_{ils_1d+1} \leq 1$	$\forall i \in N, \forall l \in L, \forall d \in D$		
$x_{ils_3d} + x_{ils_1d+1} + x_{ils_2d+1} \leq 1$	$\forall i \in N, \forall l \in L, \forall d \in D$		
$x_{ils_1d} + x_{ils_2d} \leq 1$	$\forall i \in N, \forall l \in L, \forall d \in D$	مدل کاری ۷-۱۴	
$x_{ils_2d} + x_{ils_1d+1} \leq 1$	$\forall i \in N, \forall l \in L, \forall d \in D$		
$\sum_{d \in D} x_{ilsd} \geq 12$	$\forall i \in N, \forall l \in L, \forall s \in S$	مدل کاری ۴-۱۲	رابطه (۶)
$\sum_{d \in D} x_{ilsd} \geq 14$	$\forall i \in N, \forall l \in L, \forall s \in S$	مدل کاری ۷-۱۴	
$\sum_{d \in D} \sum_{s_1 \in S} x_{ils_1d} \geq 4$	$\forall i \in N, \forall l \in L$	مدل کاری ۴-۱۲	رابطه (۷)
$\sum_{d \in D} \sum_{s_2 \in S} x_{ils_2d} \geq 4$	$\forall i \in N, \forall l \in L$		
$\sum_{d \in D} \sum_{s_3 \in S} x_{ils_3d} \geq 4$	$\forall i \in N, \forall l \in L$		
$\sum_{d \in D} \sum_{s_1 \in S} x_{ils_1d} \geq 7$	$\forall i \in N, \forall l \in L$	مدل کاری ۷-۱۴	
$\sum_{d \in D} \sum_{s_2 \in S} x_{ils_2d} \geq 7$	$\forall i \in N, \forall l \in L$		

محدودیت‌های ترکیب نیروی کاری: حضور یک ترکیب قابل قبول از کارکنان سطوح گوناگون (کشیک ارشد اتاق کنترل، بوردمن و اپراتور) در تمام شیفت‌ها الزامی است. کمینه و بیشینه شمار کارکنان مورد نیاز از هر سطح ارشدیت در هر شیفت به صورت زیر است.

$$L_{l_k} \leq \sum_{i \in N} \sum_{l_k \in L} x_{il_ksd} \leq U_{l_k} \quad \forall s \in S, \forall d \in D, \forall k \in 1,2,3 \quad \text{رابطه (۸)}$$

محدودیت آخر دودویی بودن متغیر تصمیم را تعریف می‌کند.

$$x_{ilsd} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, \forall l \in L, \forall s \in S, \forall d \in D \quad \text{رابطه (۹)}$$

### روش‌شناسی پژوهش

برای حل مسائل بهینه‌سازی مانند زمان‌بندی که NP-hard هستند، می‌توان از الگوریتم‌های دقیق و تقریبی استفاده کرد. الگوریتم‌های دقیق غیرعملی هستند، زیرا زمان اجرای این الگوریتم‌ها با رشد اندازه مسئله به صورت نمایی افزایش می‌یابد. بنابراین، به کارگیری الگوریتم‌های تقریبی مانند الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری یک راه کار محاسباتی کارآمد است. الگوریتم‌های ژنتیک، جست‌وجوی ممنوع و کلونی زنبور عسل از الگوریتم‌های فراابتکاری کارآمد هستند

(شاهمرادی، کتابی و اسماعیلیان، ۱۳۹۶). ارائه جواب های امیدوارکننده نسبت به روش های دقیق و نیز ارائه راه کارهای برون رفت از بهینه محلی از ویژگی های این الگوریتم ها است (اسلانی، زندیه و عادل، ۱۳۹۴). هالند برای نخستین بار در سال ۱۹۷۵ الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد داد و پس از وی، گلدبرگ آن را در سال ۱۹۸۹ توسعه داد. الگوریتم ژنتیک با الهام از نظریه زیستی داروین و بر اساس اصل مانایی بهترین ها پی ریزی شده است. گام های اصلی در پیاده سازی الگوریتم ژنتیک، نمایش کروموزوم، ایجاد جمعیت آغازین، تابع شایستگی برای محاسبه تناسب جمعیت، استراتژی های انتخاب و عملگرهای ژنتیک (تقاطع و جهش) هستند.

### بهینه سازی چندهدفه

در حل مسئله های بهینه سازی چندهدفه و گاهی متضاد پاسخ بهینه هنگامی حاصل می شود که همه هدف ها به مرز بهینگی رسیده باشند. در این مسائل و به جای وجود یک جواب، مجموعه ای از جواب های بهینه قابل دستیابی است که پس از شناسایی این مجموعه جواب، تصمیم گیرنده بر اساس ترجیحات خود و با در نظر گرفتن شرایط موجود یکی از نقاط را به عنوان نقطه بهینه مطلوب انتخاب می کند (ادهم، ۱۳۸۸). رویکرد پارتو یک روش حل در بهینه سازی چندهدفه است که دارای جبهه های گوناگونی بوده، مجموعه جواب های بهینه در جبهه اول قرار می گیرند و مجموعه بهینه پارتو را تشکیل می دهند (دوریگو، مانیزو و کولورنی، ۱۹۹۶).

### الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب NSGA-II

الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب سازی نامغلوب<sup>۲</sup> یک روش حل متداول برای مسائل چندهدفه است که دب و همکاران آن را در سال ۲۰۰۲ ارائه کردند. NSGA-II یک الگوریتم تکاملی چندهدفه نخبه گرا است که تخمینی از سطح پارتو را بر پایه مفهوم غلبگی انجام می دهد و برای دستیابی به جبهه های گوناگون در هر نسل و تنوع جواب ها از دو عملگر مرتب سازی نامغلوب<sup>۳</sup> و فاصله ازدحامی<sup>۴</sup> استفاده می کند (مرادی، فاطمی قمی و زندیه، ۲۰۱۱). مزیت این روش در استفاده از فاصله ازدحام برای حفظ تنوع پاسخ های واقع بر جبهه پارتو است (نیکوکار و همکاران، ۱۳۹۳) و در هر اجرای الگوریتم، به جای یک پاسخ بهینه، تمام مجموعه جواب های بهینه (جبهه پارتو) را تخمین می زند (رجبی و خالوزاده، ۱۳۹۳). در هر نسل، نخست با استفاده از جمعیت زاینده ( $P_t$ ) و عملگرهای تقاطع و جهش، جمعیت فرزندان ( $Q_t$ ) ایجاد شده و پس از ترکیب دو جمعیت با یکدیگر، جمعیت جدید ( $R_t$ ) شکل می گیرد که این جمعیت نیز به جبهه های نامغلوب گوناگون طبقه بندی می شود. جمعیت جدید به ترتیب با نقاط گوناگون از جبهه های نامغلوب پر می شود که پر شدن با نخستین جبهه نامغلوب شروع شده و با نقاطی از جبهه نامغلوب دوم ادامه می یابد و این روند تا تکمیل ظرفیت ادامه پیدا می کند. جبهه هایی که نمی توانند در جمعیت جدید جایگزین شوند، حذف می شوند. اگر از یک جبهه فقط تعداد مشخصی نقطه، مجاز به ورود به جمعیت جدید باشند، از مرتب سازی بر مبنای فاصله ازدحامی استفاده می شود (اسلانی و همکاران، ۱۳۹۴).

1. Dorigo, Maniezzo & Colorni

3. Non-dominated sorting

5. Moradi, Fatemi Ghomi & Zandieh

2. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II)

4. Crowding Distance

هدف اصلی مرتب‌سازی نامغلوب، یافتن عضوهایی از این مجموعه برای ارائه گزینه‌های بیشتر برای تصمیم‌گیرنده است که به افزایش سرعت الگوریتم کمک می‌کند. بنابراین، برای به دست آوردن بهترین جواب‌ها باید آنها را بر اساس رتبه‌بندی نامغلوب مرتب کرد. در فاصله ازدحامی چگالی جواب‌ها اندازه‌گیری می‌شوند، به این ترتیب که میزان آن یک تخمین از جواب‌هایی که پیرامون یک جواب خاص هستند را نشان می‌دهد. هر چه فاصله ازدحامی بیشتر باشد یعنی ناحیه بیشتری پوشش داده می‌شود که این امر باعث افزایش تنوع در جواب‌ها می‌شود. هنگامی که دو راه حل روی جبهه‌های گوناگون باشند، راه حلی انتخاب می‌شود که دارای رتبه مغلوب کمتری است. اما هنگامی که دو راه حل روی یک جبهه باشند راه حلی که در منطقه کم تراکم‌تر است، دارای فاصله ازدحامی بیشتری است و به راه حل دیگر ترجیح داده می‌شود. روابط ریاضی محاسبه فاصله ازدحامی به صورت زیر است.

$$d_i^j = \frac{|f_j^{i+1} - f_j^{i-1}|}{f_j^{\max} - f_j^{\min}} \quad CD = \sum_{j=1}^m d_i^j = d_i^1 + \dots + d_i^m \quad (\text{رابطه } 10)$$

### نمایش جواب‌ها

در شبه کد الگوریتم NSGA-II، هر عضو از فضای جواب با یک کروموزوم نشان داده می‌شود. چگونگی نمایش کروموزوم‌ها در عملکرد الگوریتم برای دستیابی به نقاط گوناگون فضای جواب‌های مسئله نقش بسزایی دارد. با توجه به مسئله این پژوهش که تخصیص کارکنان با سطوح ارشدیت متفاوت در شیفت‌های گوناگون ( $needL_1, needL_2, needL_3$ ) است، ساختار کروموزوم به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$[1 \quad needL_1, needL_1 + 1 \quad needL_2 + needL_1, needL_1 + 1 + needL_2 \quad needL_1 + needL_2 + needL_3]$$

**عملگر انتخاب:** برای ایجاد جمعیت فرزندان در هر نسل از الگوریتم NSGA-II، زاینندگان از جمعیت کنونی انتخاب شوند. برای این انتخاب از رقابت باینری<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. بدین صورت که پس از انتخاب دو جواب تصادفی از جمعیت، اگر یکی از این دو جواب در سطح نامغلوب بهتری باشد، به عنوان زاینده انتخاب می‌شود و اگر هر دو جواب در یک سطح باشند، از نظر فاصله ازدحامی با یکدیگر مقایسه شده و جواب با فاصله ازدحامی بیشتر انتخاب می‌شود.

**عملگر تقاطع:** پس از انتخاب دو زاینده با عملگر انتخاب، برای ایجاد فرزندان از عملگر تقاطع تک‌نقطه‌ای<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. این عملگر با توجه به خصوصیات کروموزوم‌های انتخابی برای انجام عمل تقاطع، آنها را به کروموزوم‌های جدید منتقل می‌کند.

**عملگر جهش:** عملگر جهش از ترتیب‌های اولیه برای تولید کروموزوم‌های تغییر یافته استفاده می‌کند و موجب فرار از دام بهینه محلی و افزایش تنوع جمعیت می‌شود. برای به کار بردن این عملگر، با استفاده از سازوکار انتخاب باینری، جوابی انتخاب می‌شود، سپس عدد تصادفی  $l$  در بازه  $(1, n)$  انتخاب شده و عنصر واقع در خانه  $l$  با استفاده از عملگر تعریف شده، تغییر می‌یابد.

1. Binary tournament selection  
2. Single point crossover

**معیار پایان الگوریتم:** برای پایان یافتن الگوریتم، یک شرط زمانی در نظر گرفته می شود که طی آن الگوریتم در یک زمان مشخص به جست و جوی فضای جواب می پردازد و بهترین جوابی که تاکنون یافته شده را به عنوان جواب نهایی الگوریتم ارائه می کند. در الگوریتم پیشنهادی یک شمار مشخص تکرار بدون بهبود در جواب ها به عنوان معیار توقف در نظر گرفته شده است.

## داده ها

کارکنان اتاق کنترل وظایف مهمی از جمله کنترل علائم هشداردهنده، بازنگری اشکالات، کنترل مقادیر، صدور اجازه تعمیرات، رفع اشکالات فرایند تولید، پایش تولید و مقدار تولید محصول را بر عهده دارند. این افراد با توجه به سطحی که در آن قرار دادند، وظایف مربوطه را انجام می دهند که می توان با ارائه زمان بندی بهینه در کنار کاهش هزینه ها، افزایش ترجیحات و ارزیابی عملکرد کارکنان، موجب بهبود کارایی آنها در انجام وظایف محوله شده و به سلامت آنها کمک کرد. از آنجا که این پژوهش در راستای حل مشکلات برنامه ریزی و زمان بندی نیروی انسانی یکی از شرکت های منطقه پارس جنوبی انجام شده، در گردآوری داده های اولیه از اطلاعات شرکت پتروشیمی مهر در بخش اتاق کنترل استفاده شده است. شمار اولیه کارکنان ۵۴ نفر است که در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین، جدول ۴ بخشی از ماتریس ترجیحات را نشان می دهد.

جدول ۳. تعداد کارکنان مورد نیاز در هر شیفت

ردیف	سطح کاری	موقعیت	Min در هر شیفت	Max در هر شیفت	تعداد کل
۱	$L_1$	اپراتور	۳	۵	۳۳
۲	$L_2$	بوردمن	۱	۲	۹
۳	$L_3$	کشیک ارشد اتاق کنترل	۱	۲	۱۲

جدول ۴. بخشی از ماتریس ترجیح کارکنان

شماره	سطح کاری	۱	۲	...	۵۳	۵۴
۱	$L_1$	۰	۸	...	۵	۵
۲	$L_1$	۷	۰	...	۵	۳
...	...	...	...	...	...	...
۵۳	$L_1$	۵	۸	...	۰	۱
۵۴	$L_2$	۵	۳	...	۱	۰

ارزیابی ترجیحات کارکنان با استفاده از پرسشنامه و با نمره دهی نسبت به سایر کارکنان انجام شده است. در واقع پاسخگو باید با توجه به رفتارها و میزان علاقه مندی به هر یک از افراد برای هم شیفت بودن، ترجیحات را در بازه عدد

صحیح ۱ تا ۱۰ نمره‌دهی کند. نمره ۱ به معنای کمترین میزان علاقه‌مندی به هم شیفت شدن با یک فرد و نمره ۱۰ به معنای بیشترین ترجیح برای هم شیفت شدن است. برآیند این نمره‌دهی به ترجیح، یک ماتریس  $۵۴ \times ۵۴$  است که قطر آن همه عددها صفر است. ترجیحات دو کارمند نسبت به یکدیگر متفاوت است. برای نمونه، شاید ترجیح فرد شماره ۱ نسبت به فرد شماره ۲، ۸ باشد، در حالی که ترجیح دیگری می‌تواند ۷ باشد. ترجیح هر فرد نسبت به خود نیز صفر است. کدنویسی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی کارایی الگوریتم NSGA-II، در نرم‌افزار MatLab 2014 انجام شده است.

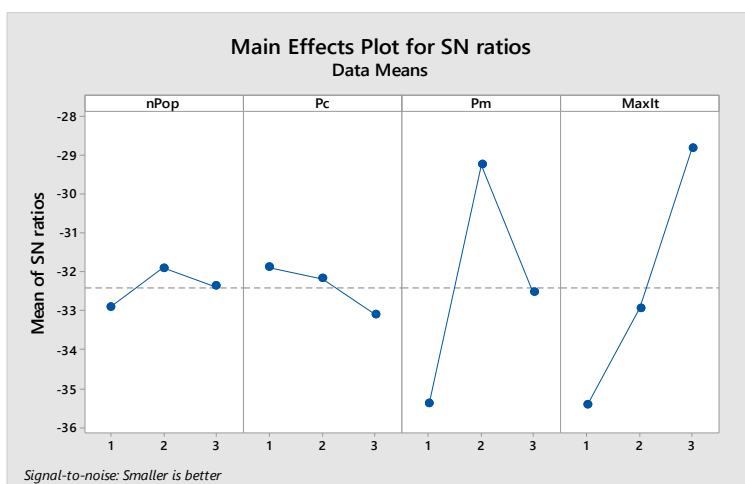
### طراحی آزمایش‌های عددی

پارامترهای الگوریتم‌های تکاملی بر عملکرد آنها تأثیر مستقیم دارند و تنظیم و انتخاب مقادیر درست آنها موجب گسترش جست‌وجو، جلوگیری از همگرایی زودرس و در نهایت به دست آوردن راه حل مطلوب می‌شود. چنانچه ترکیب پارامترهای مؤثر در اجرای الگوریتم به درستی انتخاب نشوند، جواب‌های به دست آمده از کیفیت لازم برخوردار نخواهند بود. از این رو، با استفاده از روشی سیستماتیک، ضمن شناسایی پارامترهای مؤثر در عملکرد الگوریتم، مقادیر مناسب آنها برای اجرا تعیین می‌شود. در طراحی پارامترهای یک الگوریتم، هدف تعیین سطحی از عوامل کنترل است، به گونه‌ای که الگوریتم نسبت به پارامترهایش کمترین حساسیت را داشته باشد (نیکوکار و همکاران، ۱۳۹۳). روش تاگوچی یکی از قوی‌ترین روش‌های طراحی آزمایش برای تنظیم پارامترها است که در سال ۱۹۸۶ توسط تاگوچی پیشنهاد شد. این روش نسبت به رویکرد سنتی بررسی یک عامل در یک زمان، می‌تواند همه متغیرهای عملیاتی را به‌طور همزمان آزموده و با کمی آزمایش، روشی کارا و مؤثر برای بهینه‌سازی همزمان عوامل و استخراج اطلاعات کمی بزرگ فراهم کند (حاتمی‌منش و زنجیری، ۱۳۹۲). هدف این روش تعیین بهترین سطح پارامترهای الگوریتم‌های تکاملی و کاهش ناپایداری در پاسخ‌های خروجی و کسب جواب‌هایی با کیفیت متفاوت است (کلاهان و یاری بخت، ۱۳۹۰). پارامترهای الگوریتم NSGA-II برای انتخاب سطح بهینه خود با عددهای گوناگون مورد بررسی در جدول ۵ نشان داده شده است. در این پژوهش، برای انتخاب سطوح بهینه پارامترها از روش «هر چه کوچک‌تر، بهتر» استفاده شده است. بر اساس نتایج سطوح با مقادیر کمتر دارای مطلوبیت بیشتری هستند (شکل ۱). برای انجام مراحل طراحی آزمایش و مشخص کردن مقادیر پارامترها در روش تاگوچی از نرم‌افزار Minitab16 استفاده شد.

جدول ۵. تعیین سطوح پارامترهای NSGA-II

سطح بهینه	سطح ۳	سطح ۲	سطح ۱	پارامترهای NSGA-II	
۱۰۰	۲۵۰	۱۵۰	۱۰۰	Npop	اندازه جمعیت
۰/۶	۰/۶	۰/۴۵	۰/۳	Pc	نرخ تقاطع
۰/۲۵	۰/۵۵	۰/۴	۰/۲۵	Pm	نرخ جهش
۲۵۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	Max It	حداکثر تعداد تکرارها





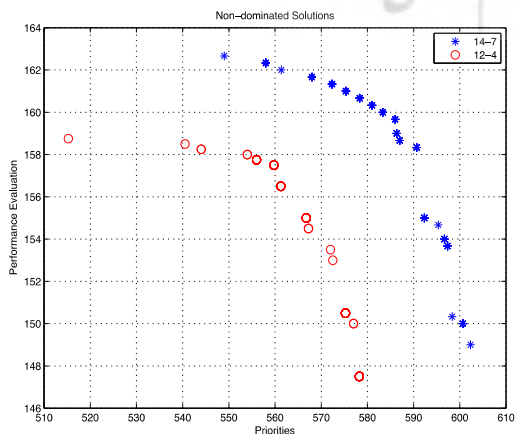
شکل ۱. نتایج مربوط به تعیین سطح پارامترها

### یافته های پژوهش

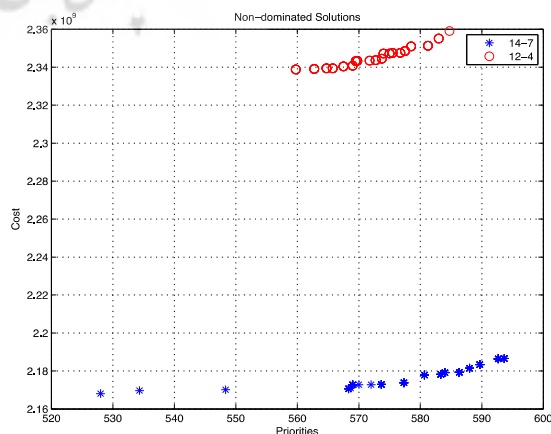
پس از تعیین داده ها و پارامترهای الگوریتم NSGA-II و مشخص کردن سطوح بهینه آنها با رویکرد تاگوچی، یافته ها بررسی می شوند. برای ارزیابی مدل ریاضی، توابع هدف در سناریوهای گوناگون تعریف (جدول ۶) و نتایج به دست آمده از اجرای آنها با رویکرد پارتو در شکل های ۲-۹ نشان داده می شوند.

جدول ۶. سناریوهای تعریف شده برای مدل های کاری ۱۲-۴ و ۱۴-۷

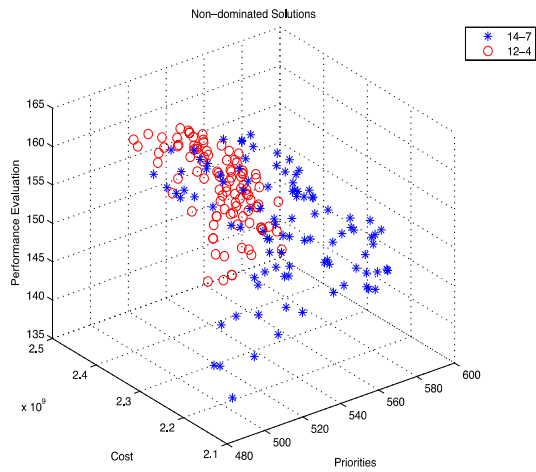
مدل کاری ۱۴-۷			مدل کاری ۱۲-۴			مدل کاری
$Z_3$	$Z_2$	$Z_1$	$Z_3$	$Z_2$	$Z_1$	سناریو
	*	*	*	*	*	سناریوی ۱
*		*	*		*	سناریوی ۲
*	*	*	*	*	*	سناریوی ۳
*	*	*	*	*	*	سناریوی ۴



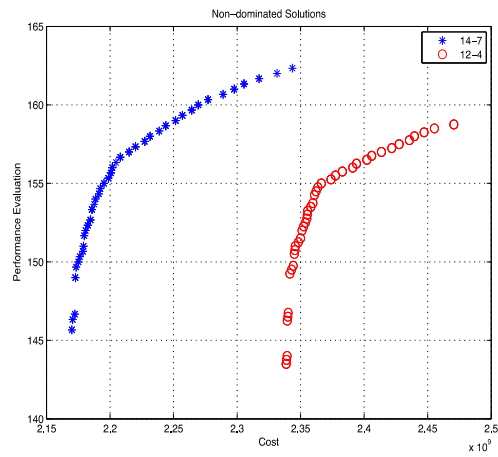
شکل ۳. راه حل های نامغلوب سناریوی ۲ با دو هدف ترجیحات و ارزیابی عملکرد



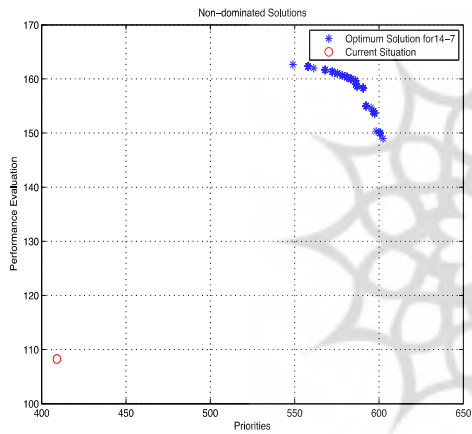
شکل ۲. راه حل های نامغلوب سناریوی ۱ با دو هدف ترجیحات و هزینه



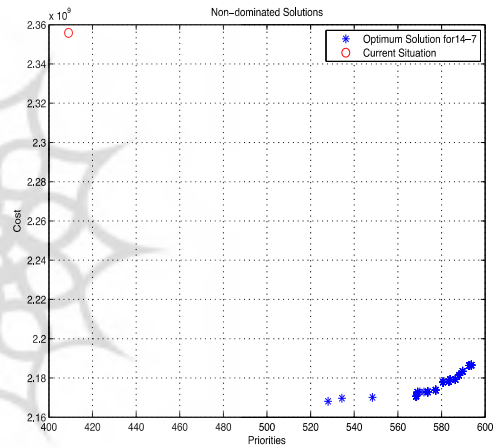
شکل ۵. راه‌حل‌های نامغلوب سناریوی ۴ با سه هدف ترجیحات، هزینه و ارزیابی عملکرد



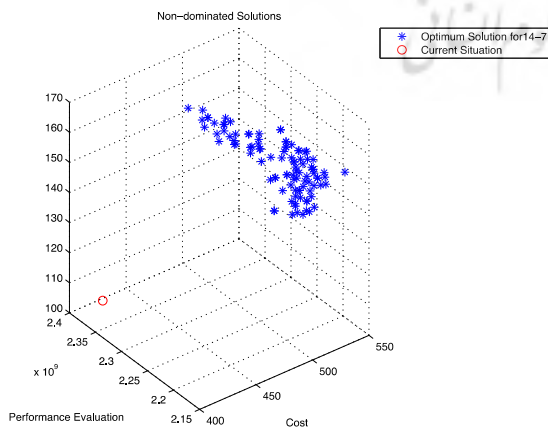
شکل ۴. راه‌حل‌های نامغلوب سناریوی ۳ با دو هدف هزینه و ارزیابی عملکرد



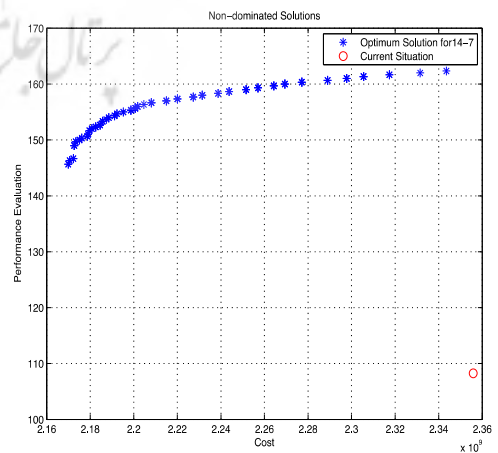
شکل ۷. تفاوت راه‌حل بهینه و موقعیت فعلی شرکت در سناریوی ۶ با دو هدف ترجیحات و ارزیابی عملکرد



شکل ۶. تفاوت راه‌حل بهینه و موقعیت فعلی شرکت در سناریوی ۵ با دو هدف ترجیحات و هزینه



شکل ۹. تفاوت راه‌حل بهینه و موقعیت فعلی شرکت در سناریوی ۳ با سه هدف ترجیحات، هزینه و ارزیابی عملکرد



شکل ۸. تفاوت راه‌حل بهینه و موقعیت فعلی شرکت در سناریوی ۳ با دو هدف هزینه و ارزیابی عملکرد

**سناریوی ۱.** هزینه‌های حقوق و مزایای کارکنان و ترجیحات آنان برای انتخاب هم‌شیفتی محاسبه شده است (شکل ۲). با وجود میانگین ۷۴ ساعت اضافه‌کاری کارکنان در مدل کاری ۷-۱۴ به دلیل ساعت‌های کاری دوازده‌ساعته روزانه و عدم اضافه‌کاری در مدل ۴-۱۲ به دلیل ساعت‌های کاری هشت‌ساعته روزانه، شمار کارکنان یک شیفت در مدل ۴-۱۲ افزایش یافته و در پی آن، ترجیحات کارکنان و هزینه‌های حقوق و مزایای این مدل بیشتر می‌شود. بنابراین، نقاط بهینه پارتوی مدل ۷-۱۴ در شرایط بهتری قرار دارند. این شرایط در حالی است که تفاوت حقوق و مزایای ماهانه این مدل در مقایسه با مزایای مدل ۴-۱۲ و کاهش خستگی کارکنان و فرسودگی شغلی آنان قابل چشم‌پوشی باشد.

**سناریوی ۲.** عملکرد کارکنان و ترجیحات آنها برای انتخاب هم‌شیفتی در مدل‌های کاری ۷-۱۴ و ۴-۱۲ ارزیابی شد (شکل ۳). این نمودار نشان می‌دهد در صورتی که دو عامل ارزیابی عملکرد بهتر کارکنان و در نظر گرفتن بیشینه ترجیحات آنان برای انتخاب هم‌شیفتی خود مطرح باشد، مدل ۷-۱۴ می‌تواند در وضعیت بهتری قرار داشته باشد.

**سناریوی ۳.** نتایج دو تابع هدف ارزیابی عملکرد کارکنان و هزینه حقوق و مزایای ماهانه آنها در مدل‌های کاری ۷-۱۴ و ۴-۱۲ در شکل ۴ دیده می‌شود. با توجه به مطلوبیت بیشینه کردن نتایج ارزیابی عملکرد کارکنان در هر شیفت و کمینه کردن هزینه حقوق و مزایای آنها در شیفت‌ها، نقاط بهینه پارتو در مدل کاری ۷-۱۴ نسبت به نقاط پارتو در مدل ۴-۱۲ در شرایط بهتری قرار دارند. با وجود میانگین ۷۴ ساعت اضافه‌کاری کارکنان در مدل کاری ۷-۱۴ به دلیل ساعت‌های کاری دوازده‌ساعته روزانه و نبود اضافه‌کاری در مدل ۴-۱۲ به دلیل ساعت‌های کاری هشت‌ساعته روزانه، افزایش شمار نفرهای یک شیفت در مدل ۴-۱۲ و هزینه‌های حقوق نیروی انسانی در این مدل بیشتر شده و تفاوت حقوق و مزایای ماهانه این دو مدل کمتر از دویست میلیون ریال در ماه می‌شود.

**سناریوی ۴.** در نتایج به‌دست‌آمده از رویکرد پارتو در سناریوهای گوناگون، مشخص است مدل کاری ۷-۱۴ عملکرد بهتری نسبت به مدل کاری ۴-۱۲ در تمام سناریوها دارد. راه‌حل‌های نامغلوب به‌دست‌آمده در جبهه پارتوی سناریوهای گوناگون، با ارائه گزینه‌های بیشتر به تصمیم‌گیری مدیریت کمک می‌کنند که با توجه به شرایط محیطی، اهمیت اهداف و ترجیحات خود، کدام یک از نقاط را به‌عنوان جواب نهایی انتخاب کند. همچنین، با توجه به معیار فاصله ازدحامی، هر نقطه‌ای که فاصله ازدحامی بیشتری داشته باشد، یعنی محدوده بیشتری از فضای جواب را پوشش می‌دهد. با توجه به شکل ۵ مدل کاری ۷-۱۴، محدوده بیشتری از فضای جواب را پوشش داده است.

در ادامه وضعیت کنونی شرکت پتروشیمی مهر و وضعیت بهینه مدل کاری ۷-۱۴ در سناریوهای ۵ الی ۸ ارزیابی و مقایسه می‌شوند.

**سناریوی ۵.** با توجه به مطلوبیت بیشینه کردن ترجیحات کارکنان در انتخاب هم‌شیفتی در هر شیفت و کمینه کردن هزینه حقوق و مزایای کارکنان در شیفت‌ها، نقاط بهینه پارتو در مدل کاری ۷-۱۴ نسبت به وضعیت کنونی ترجیحات و هزینه‌های حقوقی کارکنان در شرایط بسیار بهتری قرار دارند. لحاظ کردن ترجیحات کارکنان موجب عملکرد بهتر آنان در شیفت، کار گروهی بهتر، خستگی کاری کمتر و رضایت شغلی بیشتر شود و حقوق و مزایای پرداختی ماهانه را به‌مقدار تقریبی دویست میلیون ریال کاهش می‌دهد (شکل ۶).

**سناریوی ۶.** وضعیت کنونی شرکت و وضعیت بهینه مدل کاری ۷-۱۴، با توجه به در نظر گرفتن دو تابع هدف ترجیحات کارکنان در انتخاب هم‌شیفتی و ارزیابی عملکرد کارکنان، ارزیابی و مقایسه شد که مدل کاری ۷-۱۴ نسبت به وضعیت کنونی در شرایط بسیار بهتری قرار دارد. بنابراین می‌توان با انتخاب کارکنان دارای عملکرد بهتر در شیفت‌بندی‌ها بر عملکرد شیفت‌ها و تیم‌های کاری نیز افزود (شکل ۷).

**سناریوی ۷.** با توجه به مطلوبیت بیشینه کردن تابع هدف ارزیابی عملکرد کارکنان در هر شیفت و کمینه کردن تابع هدف هزینه حقوق و مزایای کارکنان در شیفت‌ها، نقاط بهینه پارتو در مدل کاری ۷-۱۴ نسبت به وضعیت کنونی در شرایط بسیار بهتری قرار دارد. با چپ‌نش بهتر کارکنان در شیفت‌بندی‌ها، می‌توان حقوق و مزایای پرداختی ماهانه را به مقدار تقریبی دویست میلیون ریال کاهش داد (شکل ۸).

**سناریوی ۸.** در بررسی وضعیت کنونی شرکت و وضعیت بهینه مدل کاری ۷-۱۴، با توجه به مطلوبیت در بیشینه کردن توابع هدف ترجیحات، ارزیابی عملکرد کارکنان در هر شیفت و کمینه کردن تابع هدف هزینه حقوق و مزایای کارکنان در شیفت‌ها، راه‌حل‌های نامغلوب به‌دست‌آمده در جبهه پارتو نسبت به وضعیت کنونی در شرایط بسیار بهتری قرار دارند. این راه‌حل‌های نامغلوب محدوده بیشتری از فضای جواب را پوشش می‌دهند و با ارائه گزینه‌های بیشتر به تصمیم‌گیری مدیریت کمک می‌کنند (شکل ۹).

همچنین در جدول ۷، نمونه‌ای از راه‌حل‌های به‌دست‌آمده از رویکرد پارتو نمایش داده می‌شود. این جواب یکی از نقاط به‌دست‌آمده در سناریوی ۱ مدل کاری ۱۲-۴ با سه شیفت کاری و توابع هدف ترجیحات ( $Z_1$ ) و هزینه حقوق و مزایا ( $Z_2$ ) است.

جدول ۷. نمونه‌ای از راه‌حل‌های به‌دست‌آمده از رویکرد پارتو

عضو شیفت			کارکنان
$S_3$	$S_2$	$S_1$	
۶	۴۸	۱۶	اپراتور
۴۹	۱۰	۵۰	
۲۰	۱۹	۴	
۷	۳۱	۱۴	
۵۳	۴۳	۴۲	
۴۵	۱۸	۴۶	بوردمن
۱۵	۵۴	۵۱	
۵۲	۳	۸	کشیک ارشد اتاق کنترل
۴۷	۴۴	۴۰	

همان‌گونه که در جدول ۶ دیده می‌شود، در ۲۴ ساعت برای نیروهای کاری منتخب حداکثر یک شیفت رعایت شده و محدودیت شمار کارکنان مورد نیاز از هر سطح ارشدیت در هر شیفت نیز برآورده شده است.

## نتیجه گیری و پیشنهادها

در بسیاری از جوامع حدود یک چهارم نیروی کار به صورت نوبت کار هستند که با شروع نوبت کاری، با مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو می‌شوند. پیامد طراحی شیفت‌های کاری نامناسب، می‌تواند شیفت‌هایی باشد که مطابق با سازگار ارگونومی و شرایط فیزیولوژیکی کارکنان نیست. هنوز زمان بندی، تنظیم برنامه نوبت کاری و مدل‌های کاری کارکنان شرکت‌های پتروشیمی به صورت دستی و بر اساس مدل‌های قدیمی صورت می‌پذیرد که از انعطاف بسیار کمی برخوردار است. بر اساس استانداردهای بهداشت و سلامت جهانی، ارگونومی کار، الزامات مدل‌های توسعه و تعالی منابع انسانی، تعادل کار و زندگی و ساعت بیولوژیک بدن کارکنان انجام نمی‌شود. در شرکت‌های پتروشیمی عامل انسانی، نقشی حیاتی داشته و یک زمان بندی مناسب برای کارکنان، ضمن ارتقای رضایت شغلی، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری، کاهش فرسودگی شغلی و کاهش نرخ حوادث و پیامدهایی که گاه توسط آنها رخ می‌دهد را در پی دارد. در این مطالعه برای نخستین بار مسئله زمان بندی نیروهای کاری شرکت‌های پتروشیمی تعریف شده و با توجه به چندهدفه بودن مدل پیشنهادی، از رویکرد پارتو و الگوریتم NSGA-II استفاده شد. نتایج به دست آمده در سناریوهای گوناگون نشان داد مدل کاری ۱۴-۷ در جبهه بهینه پارتو نسبت به مدل کاری ۱۲-۴ نتایج بهتری دارد (جدول ۸). همچنین، با مقایسه شرایط فعلی شرکت پتروشیمی مهر با راه حل بهینه مدل کاری ۱۴-۷ (شکل‌های ۶-۹)، مشخص شد تفاوت زیادی میان این دو وضعیت وجود دارد.

جدول ۸. نتایج عددی سناریوهای تعریف شده برای مدل‌های کاری ۱۲-۴ و ۱۴-۷

مدل کاری ۱۴-۷			مدل کاری ۱۲-۴			مدل کاری
$Z_3$	$Z_2$	$Z_1$	$Z_3$	$Z_2$	$Z_1$	سناریو
---	$2/18 \times 10^9$	۵۸۰	---	$2/34 \times 10^9$	۵۶۰	سناریوی ۱
۱۵۴	---	۵۹۸	۱۵۰	---	۵۷۸	سناریوی ۲
۱۶۱	$2/30 \times 10^9$	---	۱۵۲	$2/35 \times 10^9$	---	سناریوی ۳
۱۴۰	$2/3 \times 10^9$	۶۰۰	۱۳۵	$2/5 \times 10^9$	۵۶۰	سناریوی ۴

تفاوت بارز این پژوهش با سایر پژوهش‌های پیشین در بررسی همزمان معیارهای ترجیحات نیروی کاری، ارزیابی عملکرد و هزینه پرداختی در دو مدل کاری مختلف با محدودیت‌های مربوط به هر مدل است. ضمن اینکه به قوانین و شیوه‌نامه‌های کاری منطقه توجه شده و نتیجه آن مدلی است که به داشتن شمار بهینه نیروهای کاری در هر شیفت رهنمون شده است. یکی از مزیت‌های این مدل نیز، در نظر گرفتن سطح مهارت کارکنان و یکنواختی توزیع آنها است که موجب مقابله با هر گونه بی‌عدالتی در توزیع نوبت‌های کاری آنها شده است. به دلیل کاهش بار کار اضافی، کارکنان احساس رضایت بیشتری خواهند داشت و کیفیت کار آنها بالاتر می‌رود. تعطیلات اجباری و متوالی لحاظ شده در مدل سبب می‌شود فرد شب کار، روز بعد را به طور کامل استراحت کند و از گماشتن کارکنان به شیفت‌های متوالی پیشگیری می‌شود. این امر می‌تواند بسیاری از مشکلات یک نوبت کار دائم در یک شیفت را نیز برآورد کند. با توجه به سه هدفه بودن مسئله، از رویکرد پارتو و نیز برای تعیین بهترین سطح پارامترهای الگوریتم از رویکرد تاگوچی استفاده شد.

توجه به آلودگی‌های زیست‌محیطی منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی، پرهیز از شیفت‌بندی متوالی به دلیل به وجود آمدن تغییرات دوره فیزیولوژیک بدنی زیاد کارکنان در یک دوره کاری، اهمیت ساعت‌های کاری کمتر در روز، طراحی و توسعه مدل کاری بهتر و کاربردی‌تر، نوآوری این پژوهش و عدم همکاری، در دسترس نبودن و محدودیت زمانی کارکنان برای پاسخگویی به ماتریس ترجیحات از محدودیت‌های این پژوهش محسوب می‌شود. استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای ایجاد جواب‌های با کیفیت بالا و نزدیک بودن به محیط عملیاتی واقعی، با در نظر گرفتن پارامترهای با ماهیت تصادفی مانند تعداد هشدارهای ورودی در شیفت‌های گوناگون و توانایی کارکنان سطوح گوناگون اتاق کنترل در برآورده کردن این تقاضا که در صورت عدم توانایی آنها از نیروی در دسترس استفاده شود، در نظر گرفتن ترجیحات کارکنان در روزهای تعطیل، انگیزش، خستگی و استرس در مدل پیشنهادی و حل آن با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری مانند بهینه‌سازی کلونی مورچگان، گرم کاری شبیه‌سازی شده، بهینه‌سازی واکنش شیمیایی برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه نتایج به دست آمده از NSGA-II با نتایج سایر الگوریتم‌ها را می‌توان در پژوهش‌های آتی به کار برد. همچنین، می‌توان حوادث کاری و خطاهای انسانی شرکت پتروشیمی را پس از پیاده‌سازی مدل‌های کاری ۷-۱۴ و ۴-۱۲ در یک بازه زمانی چندماهه به منظور تأثیر این مدل‌ها در میزان کاهش خطاهای انسانی رخ داده، ارزیابی کرد. بنابراین، نتایج این مطالعه می‌تواند برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، اطلاعات ارزشمند و سودمندی در اختیار مدیران و مسئولان شرکت‌های پتروشیمی قرار دهد.

## منابع

- ادهم، امیر (۱۳۸۸). مدل‌سازی چندهدفه سیاست‌گذاری انرژی با به‌کارگیری مفهوم بهینگی پارتو و روش‌های تصمیم‌سازی پس از جست‌وجو، بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو.
- اسلانی، بابک؛ زندیه، مصطفی؛ عادل، مجید (۱۳۹۴). زمان‌بندی دو هدفه خطوط جریان منعطف بدون وقفه با پنجره زمانی تحویل و امکان رد کار. نشریه مدیریت صنعتی، ۷ (۳)، ۴۴۵-۴۶۸.
- اسماعیلیان، مجید؛ عبداللهی، سیده مریم (۱۳۹۶). ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح دومرحله‌ای برای مسئله زمان‌بندی دروس دانشگاهی. نشریه مدیریت صنعتی، ۹ (۱)، ۱۹-۴۲.
- اکبری، محمد (۱۳۹۶). زمان‌بندی کارکنان موقت با بهره‌وری متغیر. پژوهش‌های مدیریت در ایران، ۲۱ (۳)، ۲۵-۴۷.
- اکبری، محمد؛ دری، بهروز؛ زندیه، مصطفی (۱۳۹۱). زمان‌بندی شیفت کاری کارکنان چند مهارته با رویکرد الگوریتم ژنتیک. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۷ (۷)، ۸۷-۱۰۲.
- الیاسی، نوید (۱۳۹۲). زمان‌بندی مسائل کار کارگاهی چند مسیره با استفاده از روش‌های فراابتکاری و قواعد توزیع کارها. دانشگاه تفرش، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، تفرش.
- امین طهماسبی، حمزه؛ محسنی، مهشید (۱۳۹۱). زمان‌بندی چندهدفه نیروی انسانی پلیس راه جاده‌ای (مطالعه موردی: پلیس راه گیلان). تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۹ (۴)، ۱۰۷-۱۲۰.
- باغبانی، مهرداد؛ کتابی، سعیده؛ عتیقه‌چیان، آرزو (۱۳۹۲). مسئله زمان‌بندی اتاق‌های جراحی با رویکرد پیشینه‌سازی ترجیحات پزشکان و مدیریت بیمارستان (مطالعه موردی: بیمارستان سعدی اصفهان). اولین کنفرانس ملی حسابداری و مدیریت، شیراز، مؤسسه بین‌المللی آموزشی و پژوهشی خوارزمی.

- باقی پور سارمی، فاطمه؛ بزرگی امیری، علی؛ موعودی، محمدامین؛ نقی پور، محمد (۱۳۹۵). مدل سازی برنامه نوبت کاری پرستاران با توجه به معیارهای ارگونومی (یک مطالعه موردی در بیمارستان امام سجّاد (ع) رامسر). *مجله ارگونومی*، ۴ (۱)، ۱-۱۲.
- چوبینه، علیرضا؛ سلطان زاده، احمد؛ طباطبایی، سیدحمیدرضا؛ جهانگیری، مهدی (۱۳۹۰). نوبت کاری و پیامدهای بهداشتی مرتبط با آن در صنایع پتروشیمی. *مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی*، ۹ (۴)، ۴۳-۵۶.
- حاتمی منش، مهدی؛ زنجیرچی، سید محمود (۱۳۹۲). طراحی آزمایش های تاگوچی، رویکردی واقع بینانه به وزن دهی شاخص های ارزیابی عملکرد کارکنان. *پژوهش های مدیریت منابع سازمانی*، ۳ (۴)، ۴۵-۶۵.
- حقیقی، محمد؛ نایب پور، حمید (۱۳۹۶). رتبه بندی شرکت های صنعت هوایمایی ایران با ارزیابی فازی ترکیبی و الگوریتم ژنتیک. *نشریه مدیریت صنعتی*، ۹ (۳)، ۴۰۹-۴۳۴.
- رجبی، مهسا؛ خالوزاده، حمید (۱۳۹۳). بهینه سازی و مقایسه سبد سهام در بورس اوراق بهادار تهران با بهره مندی از الگوریتم های بهینه سازی تکاملی چندهدفه. *تحقیقات مالی*، ۱۶ (۲)، ۲۵۳-۲۷۰.
- سلیمی فرد، خداکرم؛ شاهبندرزاده، حمید؛ مگاطیف، سنا (۱۳۹۳). بازخوانی تکنیک های حل مسئله زمان بندی اتاق عمل جراحی. *دومین کنفرانس ملی پویایی مدیریت، توسعه اقتصادی و مدیریت مالی*، شیراز.
- شاهمرادی، هادی؛ کتابی، سعیده؛ اسماعیلیان، مجید (۱۳۹۶). زمان بندی دروس دانشگاه با استفاده از برنامه ریزی محدودیت. *مدیریت تولید و عملیات*، ۸ (۱)، ۱۱۹-۱۳۸.
- کلاهان، فرهاد؛ یاری بخت، محمدحسین (۱۳۹۰). بررسی شرایط بهینه ماشین کاری سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ با رویکرد طراحی آزمایش تاگوچی. *سومین کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید*، نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.
- نمازی، علی (۱۳۹۰). زمان بندی کار کارگاهی با مسیر چندگانه و الزامات نگهداری و تعمیرات. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، تفرش، دانشگاه تفرش.
- نیکوکار، غلامحسین؛ علیدادی تلخستانی، یاسر؛ مهدوی مزده، محمد؛ موسوی، سید جلال (۱۳۹۳). ارائه یک الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب - نسخه ۲ (NSGA-II) برای مدل یکپارچه انتخاب اعضای تیم های تحقیق و توسعه. *نشریه مدیریت صنعتی*، ۶ (۲)، ۳۸۵-۴۱۰.

## References

- Adham, A. (2009). Multi-Objective Energy Policy Modeling using Pareto Optimization Concept and After Search Decision-Making Methods. *Electricity International Conference* (pp. 1-15). Tehran: Tavanir Company. (in Persian)
- Akbari, M. (2017). Part-Time Workforces Scheduling with Variable Productivity. *Management Research in Iran*, 21(3), 25-47. (in Persian)
- Akbari, M., Dorri, B., & Zandieh, M. (2012). Multi Skill Staff Shift Scheduling with GA Approach. *Industrial Management Outlook*, 7, 87-102. (in Persian)
- Altner, D. S., Rojas, A. C., & Servi, L. D. (2017). A Two-Stage Stochastic Program for Multi-Shift, Multi-analyst, Workforce Optimization with Multiple On Call Optins. *Scheduling*, 1-28.
- Amin Tahmasebi, H., & Mohseni, M. (2012). Multi Objective Road Police Staff Scheduling, Case Study: Gilan Police. *Operational Research and Its Applications (Applied Mathematics) - Lahijan Azad University*, 9(4), 107-120. (in Persian)
- Aslani, B., Zandieh, M., & Adeli, M. (2015). Bi-Objective Scheduling of No Wait Flexible Flow Lines With a Time Window and the Possibility of Work Rejecting. *Industrial Management*, 7(3), 445-468. (in Persian)

- Baghbani, M., Ketabi, S., & Atigheh Chian, A. (2013). Surgical Room Scheduling Problem with Maximizing Doctors' Preferences and Hospital Management (Case Study: Saadi Hospital in Isfahan). *1st Accounting and Management National Conference* (p. 11). Shiraz: Kharazmi Educational and Researches International Institute. (in Persian)
- Baghipour Sarami, F., Bozorgiamiri, A., Mououdi, M., & Taghipour, M. (2016). Modeling of Nurses' Shift Work Schedules According to Ergonomics: A case study in Imam Sajjad (AS) Hospital of Ramsar. *Journal of Ergonomics*, 4(1), 1-12. (in Persian)
- Bard, J. F., Morton, D. P., & Wang, Y. M. (2007). Workforce Planning at USPS Mail Processing and Distribution Centers Using Stochastic Optimization. *Annals of Operations Research*, 155(1), 51-78.
- Beckmann, F. R., & Klyve, K. K. (2016). *Optimisation-Based Nurse Scheduling for Real-Life Instances*. Trondheim: Department of Industrial Economics and Technology Management, Norwegian University of Science and Technology.
- Cai, X., & Li, K. N. (2000). A genetic algorithm for scheduling staff of mixed skills under multi-criteria. *European Journal of Operational Research*, 125(2), 359-369.
- Choobineh, A., Soltanzadeh, A., Tabatabaee, H., Jahangiri, M., & Khavaji, S. (2012). Health Effects Associated With Shift Work in 12-Hour Shift Schedule Among Iranian Petrochemical Employees. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(3), 419-427.
- Choobineh, A., Soltanzadeh, A., Tabatabaie, S. H., & Jahangiri, M. (2012). Shift Work and its Related Health Problems in Petrochemical Industries. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*, 9(4), 43-56. (in Persian)
- Clark, A. R., & Walker, H. (2011). Nurse rescheduling with shift preferences and minimal disruption. *Applied Operational Research*, 3(3), 148-162.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colorni, A. (1996). Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 26(1), 29-41.
- Eliasi, N. (2013). *Multiple Routing Jobshop Scheduling Problem Using Metaheuristic Methods and Jobs Distribution Rules*. Tafresh: Tafresh University. (in Persian)
- Esmaelian, M., & Abdollahi, S. M. (2017). Proposing a Two-Phase Integer Linear Programming for University-Course Timetabling. *Industrial Management Journal*, 9(1), 19-42. (in Persian)
- Haghighi, M., & Nayeypour, H. (2017). Prioritizing of Iranian Airlines by Fuzzy Synthetic Evaluation and Genetic Algorithm. *Industrial Management Journal*, 9(3), 409-434. (in Persian)
- Hatami Manesh, M., & Zanjirchi, S. M. (2014). Taguchi Experiment Design, a Realistic Approach to Weight Indicators of Employee Performance Evaluation. *Organizational Resources Management Researchs*, 3(4), 46-67. (in Persian)
- Health Sciences Research Center (2017). *Evaluation of blood, liver and kidney complications due to exposure to organic chemical pollutants in South Pars petrochemical companies*. Shiraz, Shiraz university of medical sciences.
- Herawati, A., Yuniartha, D., Purnama, I., & Dewi, L. (2017). Shift scheduling model considering workload and worker's preference for security department. *Materials Science and Engineering*, 337, 1-7.
- Hoboubi, N., Choobineh, A., Karimi Ghanavati, F., Keshavarzi, S., & Akbar Hosseini, A. (2017). The Impact of Job Stress and Job Satisfaction on Workforce Productivity in an Iranian Petrochemical Industry. *Safety and Health at Work*, 8(1), 67-71.



- Hochdörffer, J., Hedler, M., & Lanza, G. (2018). Staff scheduling in job rotation environments considering ergonomics aspects and preservation of qualifications. *Manufacturing Systems*, 46, 103-114.
- Hojati, M. (2018). A Greedy Heuristic for Shift Minimization Personnel Task Scheduling Problem. *Computers and Operations Research*, 100, 66-76.
- Kazemi, M., Abadi, A., Zayeri, F., & Hassanzade, H. (2017). Assessing the effect of shift work among petrochemical Industries staff at Mahshahr, Iran. *Paramedical Sciences*, 8(4), 36-43.
- Kolahan, F., & Yari Bakht, M. (2012). Surviving Optimal Condition for 718 Inkonel Superalloy Maching with Taguchi DOE. *3national Conference on Manufacturing Engineering*, (pp. 1-6). Najaf Abad. (in Persian)
- Legrain, A., Bouarab, H., & Lahrichi, L. (2016). The nurse scheduling problem in real-life. *Medical Systems*, 39(160), 1-16.
- Lim, G., Mobasher, A., & Cote, M. (2012). Multi-objective Nurse Scheduling Models with Patient Workload and Nurse Preferences. *Management*, 2(5), 149-160.
- Lin, C.-C., Kang, J.-R., Chiang, D.-J., & Chen, C.-L. (2015). Nurse Scheduling with Joint Normalized Shift and Day-Off Preference Satisfaction Using a Genetic Algorithm with Immigrant Scheme. *Distributed Sensor Networks*, 11(7), 1-10.
- Lin, C.-C., Kang, J.-R., Liu, W.-Y., & Deng, D.-J. (2014). Modelling a Nurse Shift Schedule with Multiple Preference Ranks for Shifts and Days-Off. *Mathematical Problems in Engineering*, 3, 1-11.
- Moradi, E., Fatemi Ghomi, S. M., & Zandieh, M. (2011). Bi-Objective Optimization Research on Integrated Fixed Time Interval Preventive Maintenance and Production for Scheduling Flexible Jobshop Problem. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 7169-7178.
- Namazi, A. (2011). *Jobshop Scheduling with Multiple Routing and Maintenance Requirements*. Tafresh: Tafresh University. (in Persian)
- Nikookar, G., Alidadi Nakhlestani, Y., Mahdavi, M., & Mousavi, S. J. (2014). Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm to integrated model for R&D members selection. *Industrial Management*, 6(2), 385-410. (in Persian)
- Rajabi, M., & Khaloozadeh, H. (2015). Optimal Portfolio Prediction in Tehran Stock Market using Multi-Objective Evolutionary Algorithms, NSGA-II and MOPSO. *Financial Research*, 16(2), 253-270. (in Persian)
- Shahmoradi, H., Ketabi, S., & Esmaelian, M. (2017). University Course Timetabling using Constraint Programming. *Production and Operations Management*, 13, 119-138. (in Persian)
- Salimifard, K., Shahbandarzadeh, H., & Megatif, S. (2014). Readouting Surgical Scheduling Problem Solving Techniques. *2en Management Dynamics, Economic Development and Financial Management National Conference* (p. 16). Shiraz: Pendar Andish Rahpoo Company. (in Persian)
- Tahanian, A. R., & Khaleghi, M. (2013). Staff Scheduling by a Genetic Algorithm. *Shiraz Journal of System Management*, 1(4), 73-86.
- Van Brummelen, E. (2018). *Optimizing shift scheduling and task allocation in long-term care facilities to reduce waiting times*. University Amsterdam.