Industrial Management Studies Vol.19
No 61, Summer 2021, 1-32
.atu.ac.ir
DOI: 10/22054/jims. 2021.41042.2296

ATU PRESS

Original Reserch / Review / ...
Received:1/3/2019
Accepted:6/3/2021
ISSN:22518029
eISSN:

Nurse Rostering Problem Considering Direct and Indirect Costs: Deferential Evolution Algorithm

Mohammadreza Hassani — MS.c. in Industrial Engineering, Industrial Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Javad Behnamian* — Associate Professor, Industrial Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Abstract

The employee scheduling problem seeks to find an optimal schedule for employees according to the amount of demand (workload), employee availability, labor law, employment contracts, etc. The importance of this problem in improving the quality of service, health and satisfaction of employees and reducing costs, including in hospitals, military or service centers, has encouraged researchers to study more. In this regard, nurse rostering problem is a scheduling that determines the number of nurses required with various skills and the time of their services on the planning horizon. In this research, by adding the nurses' shift preferences and number of consecutive working days constraints, an attempt has done to make the problem more realistic than previous researches. The objective function of the problem includes the cost of allocating shifts to nurses, the cost of the number of nurses required to reserve, the cost of overtime from a particular shift, the cost of underemployment from a particular shift, the cost of overtime on the planning horizon, the cost of underemployment on the planning horizon and the cost of absence shift-working and non-working days preferred by nurses. To solve problem, after modeling the problem as a mixed-nteger program and due to the complexity of the problem, the differential evolutionary algorithm used with innovation in its crossover operator. To validate the proposed algorithm, its output compared with the genetic algorithm. Results show that the differential evolutionary algorithm has good performance in problem solving.

Keywords: Nurse Rostering Problem, Healthcare System, Deferential Evolution Algorithm

* Corresponding Author: Behnamian@basu.ac.ir
How to Cite: Vol.19 No 61, Summer 2021

مقاله پژوهشی /سخن سردبیر

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۶

eISSN: ISSN:۲۲۵۱۸۰۲۹

مطالعات مدیریت صنعتی
دوره نوزدهم، شماره ٦١، تابستان ١٤٠٠، ٣٢-١
.atu.ac.ir
DOI:١٠,٢٢٠٥٤ /jims.٢٠٢١/٤١٠٤٢/٢٢٩٦

مساله زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران با در نظر گرفتن هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم: الگوریتم تفاضل تکاملی

محمدرضا حسنی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

جواد بهنامیان * دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده

مساله زمان‌بندی کارکنان به دنبال یافتن یک برنامه کاری بهینه برای برنامه‌ریزی کارکنان با توجه به میزان تقاضا (حجم کار)، میزان در دسترس بودن کارکنان، قانون کار، قراردادهای کاری و... می‌باشند. اهمیت این مساله در بهبود کیفیت خدمت‌دهی، سلامت و رضایت کارکنان و کاهش هزینه‌ها از جمله در بیمارستان‌ها، مراکز نظامی، خدماتی یا امدادی، پژوهشگران را ترغیب به بررسی هر چه بیشتر آن نموده است. در این بین مساله زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران، به دنبال یافتن یک برنامه‌ی زمان‌بندی است که مشخص‌کننده تعداد پرستار مورد نیاز با مهارت‌های مختلف و زمان ارایه خدمت آن‌ها در افق برنامه‌ریزی است. در این تحقیق با افزودن محدودیت‌های ترجیحات شیفتی پرستاران و محدودیت تعداد روز کاری متوالی سعی شده مساله نسبت به تحقیقات گذشته شرایط واقعی‌تر به خود گیرد. تابع هدف مساله مورد بررسی شامل حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های تخصیص شیفت‌های کاری به پرستاران، هزینه‌ی تعداد پرستاران ذخیره لازم، هزینه‌ی اضافه‌کاری از یک نوع شیفت خاص، هزینه‌ی کم‌کاری از یک نوع شیفت خاص، هزینه‌ی اضافه‌کاری در افق برنامه‌ریزی، هزینه‌ی کم‌کاری در افق برنامه‌ریزی و هزینه‌ی عدم اعمال شیفت-روزهای کاری و غیرکاری ترجیحی پرستاران است. برای حل مساله، پس از مدلسازی مساله در قالب برنامه عددی صحیح مختلط و به دلیل پیچیدگی ذاتی مساله از الگوریتم تفاضل تکاملی با ابتکار در عملگر تقاطع استفاده شده است. به منظور اعتبارسنجی کیفیت الگوریتم پیشنهادی، خروجی آن با خروجی الگوریتم ژنتیک مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم تفاضل تکاملی دارای کارایی مناسبی در حل مساله است.

کلیدواژه‌ها: زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران، سیستمهای سلامت، الگوریتم تفاضل تکاملی

* نویسنده مسئول: Behnamian@basu.ac.ir

مقدمه

هزینه‌های سیستم‌های بهداشت و درمان به صورت چشم‌گیری در حال افزایش است. به طور مثال مراکز درمان و خدمات پزشکی در ایالات متحده امریکا تخمین می‌زنند هزینه-های بهداشت و درمان در این کشور تا سال ۲۰۱۸ به بیش از ۴ تریلیون دلار که نزدیک به ۲۰ درصد از تولید ناخالص ملی است برسد (هال ۲۰۱۲). با توجه به ساختار هزینه‌ها تلاش برای استفاده از تکنیک‌های تحقیق در عملیات برای کاهش آن مورد توجه قرار گرفته است. بخش قابل توجهی از این هزینه‌ها مربوط به استفاده از منابع انسانی و برنامه‌ریزی آن است (فاطمی قمی و همکاران ۱۳۹۹). امروزه به دلیل افزایش جمعیت سالمندان، کمبود پرستار به یک دغدغه برای سیستم‌های بهداشت و درمان کشورها تبدیل شده است (فولی ۲۰۰۲). یکی از کاربردی‌ترین مسائل در زمینه سیستم خدمات بهداشت و درمان مساله زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران می‌باشد. این مساله زیر مجموعه مسائل زمان‌بندی کارکنان می‌باشد. ماهیت این مساله با توجه به نوع شغل و قوانین کاری دارای تنوع بسیاری می‌باشد. هدف از طرح مساله زمان‌بندی شیفت‌های کاری(NRP)[1] ایجاد یک برنامه زمان-بندی و تخصیص پرستاران در دسترس، به شیفت‌های کاری یک بیمارستان با توجه به محدودیت‌های مختلف در یک بازه زمانی مشخص می‌باشد(لاگاتی و همکاران ۲۰۰۹). اهمیت این مساله در بهبود کیفیت خدمت‌دهی، سلامت و رضایت کارکنان و کاهش هزینه‌های بیمارستان، پژوهشگران را به بررسی آن ترغیب کرده است. خروجی این مساله، ارایه یک برنامه زمان‌بندی می‌باشد که مشخص کننده تعداد افراد مورد نیاز با مهارت‌های مختلف و زمان ارایه خدمت آن‌ها در افق برنامه‌ریزی می‌باشد. این برنامه باید منطبق بر قانون کار، ترجیح کارکنان، در دسترس بودن کارکنان، مقدار نیاز به نیروی کار، حجم کاری و تقاضا، قراردادهای کاری، محدودیت‌های ارگونومیکی و فنی می‌باشد. تنوع بالای مساله در مدل‌سازی، مفروضات و روش‌های حل جذابیت‌های این مساله را بیش‌تر کرده است.

در ادامه پس از مرور ادبیات در بخش دوم، با در نظر گرفتن محدودیت‌های سخت و نرم، مساله در بخش سوم مدلسازی خواهد شد. در بخش چهارم، الگوریتم فراابتکاری تفاضل تکاملی معرفی و جزییات پیاده سازی آن بدقت تشریح خواهد شد. بخش پنجم نیز به حل نمودهایی از مساله، ارائه تحلیلها و نتایج آماری و توصیف بینش مدیریتی تحقیق اختصاص یافته است. در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای مطالعات آتی در بخش ششم ارائه خواهد شد.

1. Nurse Rostering Problem (NRS)

مرور ادبیات

اسکندری و زیارتی (۲۰۰۸) از تئوری مجموعه‌های فازی برای مدل‌سازی محدودیت‌های منعطف و داده‌های غیرقطعی در مساله زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران استفاده کردند. این مدل خطی با هدف برآورده کردن نیاز به نیروی کاری و رضایت کارکنان، با محدودیت‌های فازی برای برنامه یک هفته‌ای در بیمارستان نمازی شیراز طراحی شده است. پار و تامسون[1] (۲۰۰۷) با مدل‌سازی نویز در داده‌های مساله به حل آن با الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید[2] پرداختند. گلس و نایت[3] (۲۰۱۰) به بررسی ساختار مساله زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران پرداختند و با دسته‌بندی مساله به چهار مجموعه، راهکارهایی برای کاهش ابعاد فضای حل ارایه دادند. یکی از ویژگی‌های کار آن‌ها استفاده از جواب مساله در یک دوره زمانی برای حل مساله برای دوره زمانی بعد می‌باشد. فام و همکاران[4] (۲۰۱۲) به حل مساله با رویکرد چندهدفه پرداختند. قبل از این افراد نیز، این مساله با توابع هدف مختلف و روش‌های مورد استفاده در رویکردهای چند هدفه مورد بررسی قرار گرفته است و بسیاری از تحقیقات روی آن با توابع هدف جدید ادامه دارد. هوآنگ و همکاران[5](۲۰۱۴) با دسته بندی محدودیت‌ها، به حل مساله با تعداد پرستار زیاد، مدت برنامه‌ریزی طولانی‌تر و محدودیت‌های زیاد به کمک الگوریت می‌تکاملی پرداخت. طبق نظر او هر چه تعداد پرستاران و مدت زمانی که برای آن برنامه‌ریزی می‌کنیم بیشتر شود پیچیدگی مساله نیز بیشتر می‌شود. در سانتوس و همکاران[6] (۲۰۱۶) با استفاده از مفهوم برش در برنامه‌ریزی عدد صحیح به حل مساله با روشی ابتکاری پرداختند. اوادلا و همکاران[7] (۲۰۱۵) با مدل‌سازی مساله به روش قطعی به حل آن با استفاده از یک الگوریتم هیبریدی پرداختند. این روش حل، از ترکیب دو الگوریتم فراابتکاری تکاملی و جستجوی محلی برای بهبود جواب‌های ایجاد شده و ایجاد تعادل در دو عامل کاوش و تبعیت بهره می‌برد. ماس و همکارانش[8] (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی و مدل‌سازی غیبت پرستاران و تقاضای با عدم قطعیت در این مساله پرداختند و از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک به عنوان ابزاری برای حل مساله استفاده کردند. در این تحقیق غیبت پرستاران به عنوان عاملی اثرگذار در برنامه

1. Parr & Thompson
2. Simulated Annealing
3. Glass & Knight
4. Pham et al.
5. Huang
6. Santos et al.
7. Awadallah et al.
8. Maass et al.

زمان‌بندی مطرح شده است. اینگلز و مائنهوت[1] (۲۰۱۵) با بررسی تاثیر نیروی ذخیره بر پایداری زمان‌بندی شیفت‌های کاری، رویکردی را برای بهبود استواری یک برنامه زمان‌بندی ارایه کردند. باقری و همکاران (۲۰۱۵) برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای را برای این مساله مطرح کردند. در این پژوهش از رویکرد تقریب میانگین نمونه برای تخمین تقاضا استفاده شده است. دسته‌بندی مقالات و کارهای مهم انجام شده در مرور ادبیات در جدول(۱) آمده است.

جدول (۱): جدول مرور ادبیات

مرجع	تابع هدف		نوع عدم قطعیت	روش حل
	تک هدفه/ چندهدفه	قطعی/ غیر قطعی		
(Huarng, 1997)	چندهدفه	قطعی	–	برنامه‌ریزی آرمانی
(Eskandari & Ziarati, 2008)	چندهدفه	غیر قطعی	فازی	برنامه‌ریزی خطی فازی
(Parr & Thompson, 2007)	چندهدفه	قطعی	–	الگوریتم شبیه‌سازی تبرید
(Glass & Knight, 2010)	تک هدفه	قطعی	–	الگوریتم‌های فراابتکاری
(Pham et al., 2012)	چندهدفه	قطعی	–	روش ابتکاری
(Solos et al. 2013)	تک هدفه	قطعی	–	همسایگی متغیر تصادفی
(Bæklund & Klose, 2013)	تک هدفه	قطعی	–	شاخه و کران
(Huang et al., 2014)	تک هدفه	قطعی	–	قسمت‌بندی مجموعه
(Santos et al., 2016)	تک هدفه	قطعی	–	برش فضای حل
(Awadallah et al., 2015)	تک هدفه	قطعی	–	الگوریتم زنبور عسل
(Maass et al., 2017)	تک هدفه	غیرقطعی	احتمالی	الگوریتم ژنتیک
(Ingels & Maenhout, 2015)	چندهدفه	غیرقطعی	احتمالی	بهینه‌سازی استوار
(Bagheri et al., 2015)	چند هدفه	غیرقطعی	احتمالی	برنامه‌ریزی تصادفی

1. Ingels & Maenhout

با مرور ادبیات مساله مشاهده می‌شود تلاش پژوهشگران بیشتر بر روی رویه حل مساله متمرکز است و در زمینه مدل‌سازی ابتکار کمتری مشاهده می‌شود. در این تحقیق با ارایه یک مدل پیشنهادی بر پایه مدل ارایه شده گلس و نایت (۲۰۱۰) به حل مساله با رویکرد مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری پرداخته شده است. از نوآوری‌های مدلسازی افزودن محدودیت‌های ترجیحات شیفتی پرستاران و محدودیت تعداد روز کاری یا تعطیلی متوالی می‌باشد.

تعریف، مفروضات و مدل‌سازی مساله

زمان‌بندی کارکنان به دنبال یافتن یک برنامه کاری بهینه برای برنامه‌ریزی کارکنان با توجه به میزان تقاضا (حجم کار)، میزان در دسترس بودن کارکنان، قانون کار، قراردادهای کاری و... می‌باشند. اهمیت این مساله در بهبود کیفیت خدمت‌دهی، سلامت و رضایت کارکنان و کاهش هزینه‌ها از جمله در بیمارستان‌ها، مراکز نظامی، خدماتی یا امدادی، پژوهشگران را ترغیب به بررسی هر چه بیشتر آن نموده است (گردانی، رشیدی کمیجان، ۱۳۹۸). مساله‌ی زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران، به دنبال یافتن یک برنامه‌ی زمان-بندی است که مشخص‌کننده‌ی تعداد پرستار مورد نیاز با مهارت‌های مختلف و زمان ارایه خدمت آن‌ها در افق برنامه‌ریزی است. از چالش‌های ایجاد این برنامه که باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از: ایجاد انطباق با قانون کار، اعمال ترجیح پرستاران، در دسترس بودن پرستاران، مقدار نیاز به نیروی کار، حجم کاری و تقاضا، قراردادهای کاری، محدودیت-های ارگونومیکی و فنی. در زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران، هر برنامه‌ی کاری به گونه-ای تنظیم می‌شود که با کم‌ترین هزینه، همراه با کارایی مورد نظر و با رعایت محدودیت‌های سیستم بتواند بهترین خدمت را ارایه نماید. در این نوع برنامه‌ریزی توازن میان هزینه و کیفیت باید رعایت شود، به گونه‌ای که کم شدن هزینه‌ها منجر به لطمه زدن به کیفیت خدمت‌دهی نگردد و در صورت امکان، منجر به ارتقای کیفی سیستم خدمت‌دهی گردد.

برای مساله زمانبندی شیفت‌های کاری پرستاران مدل‌های مختلفی برای شرایط گوناگون ارایه شده است اما یک بخش از آن‌ها به عنوان یک مفهوم کلی در همه مدل‌ها مشترک است. در همه‌ی این مدل‌ها، هدف اصلی تخصیص پرستاران به شیفت‌های کاری در روزهای افق برنامه‌ریزی با کمترین هزینه است. پیچیدگی مساله زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران از نوع NP-complete است و جزء مسائل سخت دسته‌بندی می‌گردد. به دلیل پیچیدگی مساله در حالت قطعی و شرایط عدم قطعیت، حل آن در ابعاد متوسط و

بزرگ با روش‌های دقیق در زمان و فضای محاسباتی معقول ناممکن است. الگوریتم تفاضل تکاملی با توجه به ویژگی‌های ساختاری مناسب برای جستجو در فضای دودویی به عنوان روش حل مساله انتخاب گردید و عملکرد آن با الگوریتم ژنتیک به عنوان نماینده‌ای شناخته شده و معتبر از الگوریتم‌های مشابه مورد مقایسه قرار گرفت. در مساله زمانبندی شیفت‌های کاری مورد مطالعه بر اساس تعاریف و مفروضات زیر لحاظ شده است:

- افق یا دوره برنامه‌ریزی[1]: تعداد روزهایی است که برای آن برنامه زمان‌بندی شیفت‌ها تهیه می‌شود. این دوره می‌تواند از یک روز تا چند ماه متغیر باشد. البته هر چه این مدت طولانی‌تر شود عدم قطعیت و نیاز به تجدیدنظر افزایش می‌یابد. از طرفی هر چقدر مدت برنامه‌ریزی کوتاه‌تر باشد هزینه دفعات برنامه‌ریزی بیشتر می‌شود.
- شیفت کاری: یک بازه زمانی ثابت برای یک دوره کاری است. هر شیفت دعموما با توجه به ویژگی زمانی آن شناخته می‌شود و نام آن را متناسب با دوره زمانی آن تعیین می‌کنند. مانند: شیفت صبح، شیفت ظهر و شیفت شب. هر شیفت متناسب با زمان توافق شده در ساعت مشخصی از روز آغاز و در ساعت معینی در روز به پایان می‌رسد و هر پرستار موظف است در این زمان به بیماران خدمت‌دهی نماید.
- تخصیص: به معنای به کار گماردن یک پرستار در یک شیفت مشخص از یک روز می‌باشد.یک برنامه کاری یک ماتریس دو بعدی با ابعاد تعداد پرستار در تعداد روز برنامه می‌باشد. درایه این ماتریس می‌تواند نشان‌دهنده شیفتی مشخص از یک روز کاری یا تعطیل برای یک پرستار باشد.
- تقاضا: تعداد پرستار مورد نیاز در یک شیفت کاری از یک روز می‌باشد. اگر تعداد پرستار مورد نیاز در همه شیفت‌های افق برنامه‌ریزی برابر باشد تقاضا باثبات است.در غیر این صورت تقاضا متغیر می‌باشد.
- محدودیت‌های شمارنده[2]: به مجموعه محدودیت‌هایی گفته می‌شود که تعداد روزهای کاری یا تعطیل و همچنین تعداد شیفت‌های کاری از هر نوع را محدود می‌کند.
- محدودیت‌های توالی[3]: مجموعه محدودیت‌هایی است که توالی انواع شیفت‌ها و تعطیلات را مقید می‌کنند.

1. Scheduling Period
2 .Counter Constraints
3. Succession Constraints

- محدودیت‌های دنباله‌ای[1]: مجموعه محدودیت‌هایی می‌باشد که بر روی روزهای کاری متوالی و یا تعطیل اعمال می‌گردد (اسمت ۲۰۱۵).

مفروضات تحقیق به شرح ذیل می‌باشند.

- تمام داده‌های مساله قطعی و از پیش تعیین شده می‌باشند
- پرستاران در طول دوره برنامه ریزی در دسترس هستند.
- پرستاران دارای مهارت یا قراردادهای متفاوتی هستند.
- بیماران به دسته‌های مختلفی از نظر مقدار مراقبت لازم یا مهارت مورد نیاز برای نگهداری تقسیم می‌شوند.
- برای پرستاران حداقل و حداکثری برای شیفتهای خاص (مانند شیفت شب) در نظر گرفته شده است.

سایر مفروضات برای مدلسازی مسأله به‌صورت جزئی در متن تحقیق آمده است.

از مواردی که بر پیچیدگی مساله اثرگذار می‌باشد محدودیت‌های مساله مورد بررسی می‌باشد که به دو دسته محدودیت‌های سخت و نرم تقسیم می‌شوند. محدودیت‌های سخت مانند اجبار در قرار دادن افراد در شیفت‌های خاص مانند صبح و یا عصر و محدودیت نرم مانند حداقل و حداکثر شیفت‌های تخصیص داده شده به یک فرد در یک هفته کاری هستند. در هر بیمارستان با توجه به نیاز، شرایط یا محدودیت‌ها، قیود دیگری نیز به این مساله‌ی پایه اضافه می‌گردد. بخشی از آن‌ها در ادامه آمده است (بیکلوند و کلوز ۲۰۱۳).

- محدودیت پوشش: این محدودیت بیان می‌کند چه تعداد از پرستاران با تخصص خاص قرار است به شیفتی تخصیص داده شوند. این محدودیت‌ها می‌توانند به صورت حداقل یا حداکثر نیاز قطعی و یا به صورت سطح مورد نیاز یا سطح مطلوب ظاهر شود.
- محدودیت حجم کاری: این محدودیت ساعت‌های کاری که یک پرستار در افق برنامه باید کار کند را محدود می‌کند. اغلب پرستاران به مدت شیفت در تعطیلات رسمی و پایان هفته پاداشی دریافت می‌کنند. این مدت زمانی نیز جزء محاسبه‌ی ساعت کاری پرستار حساب می‌گردد. این محدودیت می‌تواند به صورت حداقل یا حداکثر دامنه یا ساعت کار به صورت دقیق مطرح شود.

1. Series Constraints

- محدودیت الگوی شیفت کاری: محدودیت‌هایی هستند که تعیین می‌کنند ترکیب شیفت‌های کاری یک پرستار چگونه باید باشد. این محدودیت‌ها می‌توانند به صورت سخت‌گیرانه، هنگامی که یک الگوی خاص مجاز نباشد یا به صورت محدودیت سهل‌گیرانه، هنگامی که بهتر است از رخ دادن الگویی (در صورت امکان) اجتناب شود ظاهر گردند. مثالی از این محدودیت حداقل تعداد ساعت مابین دو شیفت کاری، حداقل دو شیفت شب متوالی و حداکثر چهار شیفت شب متوالی در یک بازه زمانی هستند.
- محدودیت تعداد روز کاری یا تعطیلی متوالی: این محدودیت‌ها هر دو به صورت حداکثر یا حداقل تعداد روزهایی که پرستار می‌تواند سر کار یا تعطیل باشد بیان می‌شوند.
- محدودیت پایان هفته‌ی کامل: این محدودیت بیان می‌کند که پرستار باید کل پایان هفته را کار کند یا پایان هفته هیچ شیفتی نداشته باشد. این یعنی پرستاری که آخر هفته را شیفت است باید دو شیفت کار کند.
- محدودیت تعطیلات و روزهای تعطیل درخواستی: این محدودیت برای نزدیک شدن مدل به واقعیت بسیار ارزشمند است. تعطیلات و روزهای تعطیل درخواستی اغلب مدت‌ها قبل از اینکه برنامه نوشته شود و برنامه به اجرا در بیاید تعیین می‌گردد و تغییر دادن آن در برنامه‌ی نوشته شده مشکل است. غیبت ناگهانی و دور از انتظار می‌تواند منجر به تغییر برنامه و برنامه‌ریزی مجدد[1] گردد.
- محدودیت ترجیحات شیفتی پرستاران: این محدودیت را نیز در هنگام ایجاد برنامه باید مدنظر قرار داد زیرا برخی از پرستاران، شیفت‌های خاصی را برای کار ترجیح می‌دهند.
- محدودیت تعداد انواع شیفت: تعداد انواع شیفت‌هایی را که یک پرستار در افق برنامه کار می‌کند مشخص می‌کند. محدودیت بر تعداد شیفت‌های شبانه به صورت معمول لحاظ می‌گردد اما برای دیگر انواع شیفت‌ها نیز صادق است و به صورت حداقل یا حداکثر یک دامنه‌ی زمانی یا مقدار دقیق تعیین می‌گردد.

1. Rerostering

مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها

شمارنده‌ها و اندیس‌های مدل به قرار زیر هستند:

i شماره پرستاران

j شماره نوع تخصص پرستاران

k شماره شیفت کاری

k' کل شیفت‌های یک روز کاری

d شماره روز کاری

r بازه زمانی بررسی محدودیت توالی شیفت‌های یک نوع خاص

m مقدار حداکثر در پارامتری مانند g_{ijk}^{m}

y مقدار حداقل در پارامتری مانند g_{ijk}^{y}

مجموعه‌های به کار برده شده در مدل به صورت زیر هستند:

N مجموعه کل پرستاران

P مجموعه تخصص‌های پرستاران

S مجموعه شیفت‌ها

T دوره زمانی (تعداد روزهای زمان‌بندی)

$\overline{T_{ij}}$ مجموعه روزهایی که پرستار i با تخصص j نمی‌تواند کار کند (برای مثال روزهای استراحت از پیش تعیین شده و مرخصی).

V مجموعه روز-شیفت‌هایی که پرستار i با تخصص j ترجیح می‌دهد کار کند.

$\overline{S}_{ijd}$ مجموعه شیفت‌های شدنی قابل تخصیص به پرستار i با تخصص j در روز d ام

D_{jkd} مجموعه تقاضا برای پرستار با تخصص j در روز d ام و شیفت k ام

g_{ijk}^{y} حداقل تعداد شیفت‌های از یک نوع خاص (مانند شیفت شب) برای پرستار i با تخصص j

g_{ijk}^{m} حداکثر تعداد شیفت‌های از یک نوع خاص (مانند شیفت شب) برای پرستار i با تخصص j

J مجموعه‌ی کاندید برای تقاطع بروش دوجمله‌ای

J^* یک عضو انتخاب شده به صورت تصادفی از مجموعه کاندید برای تقاطع به روش دوجمله‌ای

پارامترهای هزینه‌ای مدل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

c_{ijkd} هزینه تخصیص فرد i با تخصص j در روز dام و شیفت kام

c^{q}_{jkd} هزینه تعداد پرستاران ذخیره‌ی لازم با تخصص j در روز dام و شیفت kام

c^{e}_{ijk} هزینه اضافه‌کاری از یک نوع شیفت خاص

c^{l}_{ijk} هزینه کم‌کاری از یک نوع شیفت خاص

c^{z}_{ij} هزینه اضافه‌کاری در افق برنامه‌ریزی

c^{a}_{ij} هزینه کم‌کاری در افق برنامه‌ریزی

c^{w}_{ijkd} هزینه عدم اعمال شیفت-روزهای کاری و غیرکاری ترجیحی پرستاران

متغیرهای مساله که در تابع هدف آورده شده‌اند عبارتند از:

x_{ijkz}: متغیر اصلی مساله به صورت باینری (اگر پرستار iام با تخصص jام به شیفت-کاری kام در روز dام تخصیص یابد مقدار آن برابر یک و در غیر این صورت صفر می-باشد). به شکل ماتریسی با تعداد سطری به اندازه تعداد کل پرستاران و تعداد ستون‌های برابر با حاصل ضرب تعداد شیفت‌ها در روزهای برنامه‌ریزی می‌باشد.

$$x=\begin{bmatrix} x_{1111} & x_{1121} & x_{1131} & x_{1121} & x_{1122} & \cdots & i \\ x_{2111} & & & & & & x_{21kd} \\ x_{3111} & & & & & & x_{31kd} \\ x_{1211} & & & & & & x_{12kd} \\ \vdots & & & & & & \vdots \\ x_{ij11} & x_{ij21} & x_{ij31} & x_{ij21} & x_{ij22} & \cdots & l \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

q_{jkd} تعداد پرستاران ذخیره لازم با تخصص j در روز dام و شیفت kام (متغیر وابسته) به صورت متغیری عدد صحیح با ابعاد یک در حاصل‌ضرب تعداد تخصص پرستاران، تعداد شیفت‌ها و روزها می‌باشد و e_{ijk} و l_{ijk} متغیرهای عدد صحیح به صورت ماتریسی و با ابعاد تعداد کل پرستاران در تعداد شیفت‌ها می‌باشد و نماینده شیفت‌های اضافه‌کاری و کم‌کاری از نوع k برای پرستار i با تخصص j (متغیر وابسته) هستند.

$$q=\begin{bmatrix} q_{111} & q_{121} & \cdots \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

$$e=\begin{bmatrix} e_{111} & \cdots & \\ e_{211} & & e_{21k} \\ e_{311} & & e_{31k} \\ e_{121} & & e_{12k} \\ \vdots & & \vdots \\ e_{ij1} & \cdots & \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$l=\begin{bmatrix} l_{111} & \cdots & \\ l_{211} & & l_{21k} \\ l_{311} & & l_{31k} \\ l_{121} & & l_{12k} \\ \vdots & & \vdots \\ l_{ij1} & \cdots & \end{bmatrix} \quad (۴)$$

z_{ij} و a_{ij} متغیرهای عدد صحیح به صورت ماتریسی با ابعاد یک در تعداد کل پرستاران می‌باشد که نماینده شیفت‌های اضافه‌کاری و کم‌کاری در دوره برنامه‌ریزی می‌باشند.

$$z=\begin{bmatrix} z_{11} \\ z_{21} \\ z_{31} \\ z_{12} \\ \vdots \\ z_{ij} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

$$a=\begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ a_{31} \\ a_{12} \\ \vdots \\ a_{ij} \end{bmatrix} \quad (۶)$$

w_{ijkd} متغیری باینری به صورت ماتریسی با تعداد سطری به اندازه تعداد کل پرستاران و تعداد ستون‌های برابر با حاصل ضرب تعداد شیفت‌ها در روزهای برنامه‌ریزی می‌باشد و نماینده عدم اعمال شیفت-روزهای کاری و غیر کاری ترجیحی پرستار i با تخصص j (متغیر وابسته) می‌باشد.

$$w=\begin{bmatrix} w_{1111} & w_{1121} & w_{1131} & w_{1121} & w_{1122} & \cdots & {}_{:d} \\ w_{2111} & & & & & & w_{21kd} \\ w_{3111} & & & & & & w_{31kd} \\ w_{1211} & & & & & & w_{12kd} \\ \vdots & & & & & & \vdots \\ w_{ij11} & w_{ij21} & w_{ij31} & w_{ij21} & w_{ij22} & \cdots & {}_{d} \end{bmatrix} \quad (۷)$$

مدلسازی مساله

مدل مساله پیشنهادی مساله با توجه به نمادهای معرفی شده به شرح ذیل می‌باشد.

$$Min\sum_{i\in N}\sum_{j\in P}\sum_{k\in S}\sum_{d\in T}c_{ijkd}.x_{ijkd}+\sum_{j\in P}\sum_{k\in S}\sum_{d\in T}c^{q}_{jkd}.q_{jkd}+\sum_{i\in N}\sum_{j\in P}\sum_{k\in S}c^{e}_{ijk}.e_{ijk}+ \quad (۸)$$
$$\sum_{i\in N}\sum_{j\in P}\sum_{k\in S}c^{l}_{ijk}.l_{ijk}+\sum_{i\in N}\sum_{j\in P}c^{z}_{ij}.z_{ij}+\sum_{i\in N}\sum_{j\in P}c^{a}_{ij}.a_{ij}+\sum_{i\in N}\sum_{j\in P}\sum_{k\in S}\sum_{d\in T}c^{w}_{ijkd}.w_{ijkd}$$

$$s.t.:\sum_{k\in S}x_{ijkd}\le 1 \quad \forall i\in N, j\in P, d\in T\setminus\overline{T_{ij}} \quad (۹)$$

$$\sum_{i\in N}\sum_{j\in P}x_{ijkd}\ge D_{jkd}+q_{jkd} \quad \forall j\in P, k\in S, \mathrm{d}\in T \quad (۱۰)$$

$$\sum_{k \in S} x_{ijk} = 0 \quad \forall i \in N, j \in P, d \in \overline{T_{ij}} \tag{۱۱}$$

$$\sum_{k \in S \setminus \overline{S_{ijd}}} x_{ijkd} = 0 \ \forall i \in N, j \in P, d \in T \tag{۱۲}$$

$$x_{ijkd} + w_{ijkd} = 1 \ \forall i \in N, j \in P, d \in V \qquad (k \in V) \tag{۱۳}$$

$$x_{ijkd} - w_{ijkd} = 0 \ \forall i \in N, j \in P, d \in V \qquad (k \in V) \tag{۱۴}$$

$$\sum_{d}^{d+r} x_{ijkd} \le g_{ijk}^{m} + e_{ijk} \quad \forall i \in N, j \in P, k \in S \qquad (d \in T, d + r \le T) \tag{۱۵}$$

$$\sum_{d}^{d+r} x_{ijkd} \ge g_{ijk}^{y} - l_{ijk} \quad \forall i \in N, j \in P, k \in S \qquad (d \in T, d + r \le T) \tag{۱۶}$$

$$\sum_{d \in T} \sum_{k \in S} x_{ijkd} \le H_{\mathrm{m}} + z_{ij} \quad \forall i \in N, j \in P \tag{۱۷}$$

$$\sum_{d \in T} \sum_{k \in S} x_{ijkd} \ge H_{y} - a_{ij} \quad \forall i \in N, j \in P \tag{۱۸}$$

$$x_{ijkd} + x_{ijk'(d+1)} \le 1 \quad \forall i \in N, j \in P, (k, k') \in S, d \in T \setminus \{t\} \tag{۱۹}$$

$$x_{ijkd} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, j \in P, k \in S, d \in T \tag{۲۰}$$

رابطه (۸) تابع هدف مساله است که عبارات آن به ترتیب متشکل از حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های تخصیص شیفت‌های کاری به پرستاران، هزینه‌ی تعداد پرستاران ذخیره لازم، هزینه‌ی اضافه‌کاری از یک نوع شیفت خاص، هزینه‌ی کم‌کاری از یک نوع شیفت خاص، هزینه‌ی اضافه‌کاری در افق برنامه‌ریزی، هزینه‌ی کم‌کاری در افق برنامه‌ریزی و هزینه‌ی عدم اعمال شیفت-روزهای کاری و غیرکاری ترجیحی پرستاران است. محدودیت (۹) برای اطمینان از تخصیص حداکثر یک شیفت به یکی از پرستاران آماده به خدمت با تخصص خاص در یک روز کاری است. محدودیت (۱۰) برای نشان دادن پوشش تعداد تقاضای نیروی کاری برای هر شیفت-روز کاری که در آن D_{jkd} مجموعه‌ی تقاضا برای پرستار i با تخصص j در روزdام و شیفت k ام است. محدودیت (۱۱) برای اطمینان از عدم تخصیص شیفت کاری در روزهای استراحت نیروی کاری (مرخصی و...) $\overline{T_{ij}}$ مجموعه روزهایی است که پرستار i با تخصص j نمی‌تواند کار کند (برای مثال روزهای استراحت از پیش تعیین شده و مرخصی). محدودیت (۱۲) مشخص-کننده‌ی روزهای در دسترس بودن نیروی کار $\overline{S}_{ijd}$ مجموعه شیفتهای شدنی قابل تخصیص به پرستار iبا تخصص jدر روز d ام است. محدودیت (۱۳) برای اعمال روزهای ترجیحی پرستاران برای کار یا تعطیلی در برنامه. V مجموعه روز-شیفت‌هایی است که

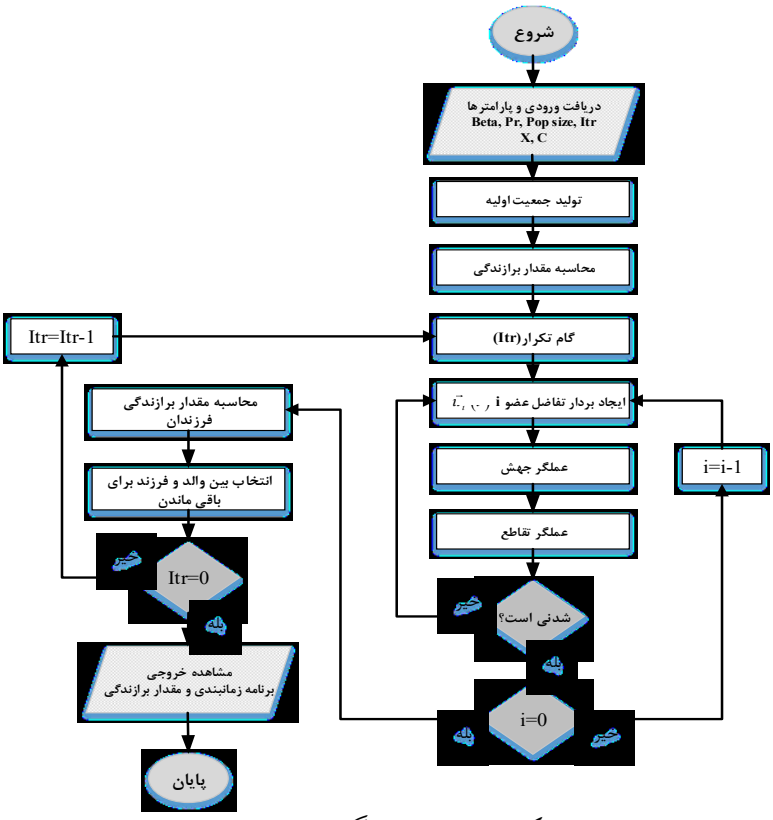
پرستار i با تخصص j ترجیح می‌دهد کار کند. مقدار W_{ijkd} برابر صفر است اگر پرستار مطابق ترجیح خود به کار گرفته شود (معادله شماره ۱۳) یا مطابق ترجیح خود در شیفت خاصی کار نکند (معادله شماره ۱۴) و برابر یک در غیر این صورت. با استفاده از محدودیتهای (۱۵) و (۱۶) بررسی می‌شود که آیا در حداقل (g^{y}_{ijk}) و حداکثر (g^{m}_{ijk}) تعداد شیفت‌های از یک نوع خاص (مانند شیفت شب) برای پرستار i با تخصص j تا r روز بعد به ازای هر شیفت بنا به قانون بیمارستان رعایت گردد. محدودیتهای (۱۷) و (۱۸) سعی می‌شود در حداقل (H_y) و حداکثر (H_{m}) تعداد شیفت‌ها در کل دوره زمانی (افق برنامه‌ریزی) رعایت گردد. این محدودیت همانند محدودیت ولی در کل بازه زمان‌بندی است. محدودیت (۱۹) در توالی (شیفت‌ها و تعطیلات) برای جلوگیری از توالی شیفت‌ها در طی ۲۴ است. محدودیت (۲۰) برای نامنفی بودن متغیرهای تصمیم می‌باشد.

الگوریتم تفاضل تکاملی

به توجه به شدت پیچیدگی مدل ارائه شده در بخش قبلی و اهمیت ارائه راه حل مناسب در زمان مناسب، در این پژوهش از آنجا که الگوریتم تفاضل تکاملی یک الگوریتم پیوسته می‌باشد و مساله پوشش مجموعه در فضای باینری مورد مطالعه قرار می‌گیرد، با مشخص کردن حدود بالا و پایین(۱ و صفر) و محدود کردن الگوریتم به جست و جو در فضای باینری، کد الگوریتم حل مساله پیاده سازی می‌گردد. تابع هدف مساله از نوع مینیمم سازی مجموع هزینه‌ها می‌باشد (پرایس و همکاران ۲۰۰۶). الگوریتم تفاضل تکاملی دارای نسخه‌های مختلفی است. قالبی که برای مساله مورد استفاده قرار گرفته است DE/Random/1/A است. یعنی انتخاب جواب‌ها برای اعمال جهش و انتخاب به صورت تصادفی است. تعداد بردارهای تفاضل مورد استفاده یک مورد و روش مورد استفاده برای تقاطع دوجمله است. دلیل انتخاب این نسخه جستجوی تصادفی فضای جواب و همگرایی مناسب الگوریتم برای حالت گسسته است. به این منظور در ابتدا کلیات الگوریتم توصیف شده و برای ایجاد درک بهتر، فلوچارت اگوریتم ترسیم خواهد. در گام بعدی، به عنوان اولین قدم، روش نمایش جواب تشریح خواهد شد. نحوه تولید جمعیت اولیه، توصیف دقیق عملگرهای الگوریتم، استراتژی برخورد با محدودیت و پارامترهای کنترلی الگوریتم، سایر جزییات در پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی است که در این بخش مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

کلیات الگوریتم

الگوریتم تفاضل تکاملی(DEA)[1] دارای نسخه‌های مختلفی می‌باشد. قالبی کـه بـرای مسـاله مورد استفاده قرار گرفته است DEA/Random/1/A می‌باشد. یعنی انتخاب جواب‌ها بـرای اعمال جهش و انتخاب به صورت تصادفی می‌باشد. تعداد بردارهای تفاضل مـورد اسـتفاده یک مورد و روش مورد استفاده برای تقاطع دوجمله‌ای می‌باشد. دلیل انتخـاب ایـن نسـخه جستجوی تصادفی فضای جواب و همگرایی مناسب الگوریتم برای حالت گسسته می‌باشد.



شکل (۱). فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

روش کدگذاری

کروموزوم مورد استفاده برای الگـوریتم هماننـد جـدول ۲ متشـکل از پرسـتاران و شـیفت-روزها است.

1 Deferential Evolution Algorithm

جدول(۲): کروموزوم مساله زمانبندی شیفت‌های کاری

	شیفت ۱ از روز ۱	شیفت ۲ از روز ۱	شیفت ۳ از روز ۱	شیفت ۱ از روز ۲	. . .	شیفت k از روز d
پرستار۱ با تخصص۱	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	. . .	(۱ یا صفر)
پرستار۲ با تخصص۱	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	. . .	(۱ یا صفر)
پرستار۳ با تخصص۱	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	. . .	(۱ یا صفر)
:	:	:	:	:	⋱	:
پرستار i با تخصص j	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	(۱ یا صفر)	. . .	(۱ یا صفر)

خروجی نهایی این الگوریتم برنامه زمان‌بندی شده شیفت‌های کاری پرستاران همراه با مقدار هزینه (مقدار تابع برازندگی[1]) می‌باشد.

تولید جمعیت اولیه

جمعیت اولیه به صورت تصادفی با در نظر گرفتن محدودیت تقاضا برای نیروی کار و محدودیت پرستاران برای حضور در شیفت‌های خاص از قبیل گرفتن مرخصی و یا روزهای عدم ترجیح برای کار تولید می‌گردد و مقدار تابع هدف به ازای هر یک از اعضای جمعیت اولیه محاسبه می‌گردد. در این مرحله امکان تولید جواب‌های نشدنی به دلیل عدم رعایت دیگر محدودیت‌ها وجود دارد اما به دلیل ایجاد جست‌جوی مناسب بر فضای حل مساله، این روش مورد استفاده قرار گرفته است.

عملگرهای الگوریتم

این الگوریتم دارای سه عملگر مهم می‌باشد: ۱. جهش، ۲. تقاطع و ۳. انتخاب.

بردار تفاضل مهم‌ترین عامل کسب دانش در الگوریتم از راه حل‌های ایجاد شده در هر مرحله است. این بردار جهت و سوق‌دهی الگوریتم برای یافتن جواب بهینه و همگرایی را به عهده دارد. موقعیت افراد اطلاعات ارزشمندی را در ارتباط با فضای تابع ارزش فراهم

1 Fitness Function

می‌کند. با گذشت زمان و با پیشرفت رویه جستجو، فاصله میان افراد کمتر می‌شود تا آنکه تمام افراد به یک راه حل مشابه همگرا شوند (استورن و پرایز ۲۰۱۰). باید به خاطر داشت که اندازه بزرگی فاصله میان افراد متاثر از اندازه جمعیت است، هر چقدر تعداد افراد موجود در جمعیت بیشتر باشد، اندازه بزرگی این فاصله کوچکتر خواهد بود. فاصله میان افراد نشانه خوبی از تنوع جمعیت حاضر و همچنین اندازه طول گام برای همگرایی به یک نقطه می‌باشد. بدان معنی که اگر فاصله میان افراد جمعیت زیاد باشد، افراد باید برای حداکثر اکتشاف ممکن فضای جستجو، اندازه گام بیشتری را داشته باشند. از طرف دیگر، اگر فاصله میان افراد کم باشد، اندازه گام برای اکتشاف نواحی محلی باید کوچک باشد. از این رو اولین مرحله برای جهش در DEA محاسبه یک یا چند بردار فاصله و سپس استفاده از این بردارها برای تعیین میزان بزرگی و جهت اندازه گام جهش می‌باشد (فولچر ۲۰۰۸).

عملگر جهش

در این پژوهش عملگر جهش به ازای هر عضو $x_i(t)$ از جمعیت کل، با انتخاب سه عضو تصادفی $x_{i1}(t), x_{i2}(t), x_{i3}(t)$ از جمعیت اولیه، بردار تفاضل را به صورت زیر تشکیل می‌دهد:

$$\vec{t}_{i,G} = x_{i1}(t) + \beta(x_{i2}(t) - x_{i3}(t)) \quad (۲۱)$$

β یک ضریب مقیاس است و میزان تاثیر تفاضل را کنترل می‌کند. به دلیل ماهیت صفر و یک بودن بردارهای انتخاب شده، از آنجا که مقادیر بردار جهش $\vec{t}_{i,G}$ بین بازه $(-\beta, 1+\beta)$ قرار دارند، اگر مقدار بردار $\vec{t}_{i,G}$ از یک عدد تصادفی تولید شده در این بازه بزرگتر بود مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر قرار داده می‌شوند. بردار تفاضل همسایگی در الگوریتم را برای هر عضو مشخص می‌کند.

عملگر تقاطع دو مرحله‌ای

در مرحله اول عملگر برش DEA یک ترکیب گسسته از بردار تفاضل و بردار والد را برای تولید فرزند پیاده سازی می‌کند. برش به این طریق پیاده سازی می‌شود:

$$x'_{ij}(t) = \begin{cases} u_{ij}(t) if\ j \in J \\ x_{ij}(t) otherwise \end{cases} \quad (۲۲)$$

روش‌های متعددی برای تعیین مجموعه J استفاده می‌شود. رایج ترین روش تحت عنوان برش دوجمله ای می‌باشد که در این پژوهش از آن استفاده گردید (شارما و همکاران ۲۰۰۶) . نقاط برش به صورت تصادفی از مجموعه کل نقاط ممکن، $\{1, 2,\ldots, nx\}$ انتخاب می‌شوند، که در آن nx بعد مساله است. در این الگوریتم، pr احتمال آن است که نقطه برش موردنظر به کار گرفته شود. هر چقدر این احتمال بیشتر باشد، تعداد نقاط برش بیشتری انتخاب خواهند شد. به این معنی که عناصر بیشتری از بردار تفاضل برای تولید فرزند به کار گرفته می‌شود و بر حسب این احتمال، ممکن است هیچ نقطه‌ای انتخاب نشود و در این صورت فرزند حاصل مشابه پدر خواهد بود. به همین دلیل برای آنکه حداقل یک عنصر از فرزند با پدر خود متفاوت شود، مجموعه نقاط برش، J، مقدار دهی اولیه شده تا شامل یک نقطه تصادفی J^* باشد. الگوریتم برش همانند شکل ۲ به قرار زیر است:

۱. عدد، $j^* \sim U(1, nx)$ را انتخاب کن ؛
۲. J^* را به مجموعه J اضافه کن ؛
۳. شروع حلقه
۴. برای هر J که متعلق به بازه ی $j \sim U(1, nx)$ انجام بده :
۵. اگر $i \neq j^*, pr > U(0,1)$ آنگاه J را به مجموعه J اضافه کن ،
۶. اگر شرایط توقف مشاهده شد، (تعداد دفعات تکرار مساوی با nx - کل درایه‌های کروموزوم- می‌باشد)
۷. پایان حلقه

والد	۰	۰	۰	۰	۱	۰
	۰	۱	۰	۱	۱	۰
	۱	۰	۱	۰	۰	۱
بردار تفاضل	۱	۰	۱	۰	۰	۱
	۱	۰	۱	۰	۱	۰
	۰	۰	۰	۱	۱	۰

فرزند	۰	۰	۰	۰	۱	۰
	۰	۰	۰	۱	۱	۰
	۱	۰	۱	۰	۱	۱

شکل (۲): عملگر تقاطع والد با بردار تفاضل و تولید فرزند

۰	۱	۰	۰	۰	۰	والد
۰	۱	۰	۰	۰	۰	
۱	۰	۱	۰	۰	۱	
۱	۰	۱	۰	۰	۱	عضو تصادفی از جمعیت
۰	۱	۱	۰	۱	۱	
۰	۱	۰	۰	۰	۱	

والد	عضو منتخب از جمعیت		والد		
۰	۰	۰	۰	۰	فرزند
۰	۱	۰	۰	۰	
۱	۱	۱	۰	۱	

شکل (۳): عملگر تقاطع باعضو تصادفی از جمعیت کل و تولید فرزند

در مرحله دوم برای بهبود کاوش الگوریتم، پس از تقاطع مرحله اول، از تقاطع دو نقطه با انتخاب تصادفی یک عضو دیگر از جمعیت کل(غیر از سه عضو انتخاب شده در عملگر جهش) استفاده شده است. در عملگر تقاطع دو نقطه، دو نقطه شکست به صورت تصادفی در طول رشته جواب در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، همان گونه که در شکل۳ نشان داده شده، ابتدا دو مکان تصادفی را در طول رشته انتخاب شده و سپس به صورت یک در میان قسمت‌های والدها به فرزند منتقل می‌شود.

استراتژی برخورد با محدودیت

بحث دیگری که در اجرای الگوریتم وجود دارد چگونگی برخورد با محدودیت های مساله می‌باشد، زیرا عملگرهای مورد استفاده در الگوریتم باعث تولید کروموزوم‌های غیرموجه می‌شود. از آن‌جا که مساله مورد نظر دارای محدودیت می‌باشد، بایستی راه حل‌های تولید شده در ابتدا مورد بررسی قرار بگیرد که آیا در فضای شدنی قرار دارد یا خیر. در پژوهش انجام شده از دو استراتژی رد جواب ناموجه و استراتژی جریمه‌ای استفاده شده است. استراتژی ردی از متداول‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده برای سر و کار داشتن با جواب‌های غیرموجه می‌باشد که در این تحقیق به دلیل سادگی مورد استفاده قرار گرفته است (ریچادرسون و همکاران ۱۹۸۹) . در طی الگوریتم با تولید هر راه حل جدید توسط عملگر تقاطع، ابتدا شدنی بود آن بررسی می‌گردد. اگر راه حل تولیدی شدنی باشد الگوریتم تابع برازندگی آن را حساب کرده و ادامه می‌یابد. اما در صورتی که جواب تولید شده نشدنی باشد الگوریتم جواب را رد کرده و دوباره جواب شدنی جدید را تولید

می‌کند. برای انعطاف الگوریتم در مواردی که نقض محدودیت‌ها به اندازه مشخص تعریف شده باشد جواب‌های غیر موجه با تابع برازندگی بهتر از جواب‌های پیشین نیز با در نظر گرفتن جریمه‌ای می‌تواند جز جواب‌ها مطرح شود. این در صورتی است که مجموع مقدار برازندگی جواب و مقدار جریمه بهتر از جواب‌هایی باشد که تاکنون بدست آمده است اما در نهایت جوابی انتخاب می‌شود که شدنی باشد.

عملگر انتخاب

از عملگر انتخاب به دو منظور استفاده می‌شود. اول برای مشخص شدن فردی که باید در عمل جهش برای تولید یک بردار آزمایشی به کار رود و دوم به منظور تعیین آنکه کدام یک از والدها و یا فرزندان به نسل بعدی راه یابند. انتخاب تصادفی معمولاً برای گزینش افراد در محاسبه بردارهای تفاضلی استفاده می‌شود. در اکثر پیاده سازی‌های DEA ، بردار هدف یا به طور تصادفی انتخاب می‌شود یا آنکه بهترین فرد برای این منظور به کار می‌رود. برای ساختن جمعیت نسل بعد، از روش انتخاب قطعی استفاده می‌شود، در این حالت فرزندان به شرطی جایگزین والد خود می‌شوند که بهتر از آن باشند، در غیر اینصورت والد به نسل بعدی راه می‌یابد. این کار تضمین می‌کند که تابع ارزش میانگین جمعیت بدتر ن می‌شود. انتخاب‌ها در الگوریتم عبارتند از:

- انتخاب راه حل برای شرکت در جهش[1](به صورت تصادفی)
- انتخاب هر ژن برای شرکت در تقاطع[2](به صورت تصادفی)
- انتخاب بین والد و فرزند برای باقی ماندن۳(انتخاب اصلح)

پارامترهای کنترلی

پارامترهای الگوریتم شامل پارامترهای موثر در تنوع و کیفیت جواب مانند اندازه جمعیت و احتمال پذیرش ژن جهش یافته می‌باشد. دسته دوم پارامتر مربوط به همگرایی به سوی جواب بهینه مانند تعداد تکرار الگوریتم می‌باشد. دسته سوم مانند ضریب بتا در تشکیل بردار تفاضل بر هر دو عامل کاوش و طبعیت اثرگذار است.

1 Random Selection
2 Random or Best Individual Selection
3 Better Survive Selection

- **اندازه جمعیت**: تاثیر مستقی مـی‌روی توانـایی اکتشـاف الگـوریتم DEA دارد. هـر چقدر تعداد این افراد بیشتر باشد، تعداد بردارهای تفاضلی موجود بیشتر خواهند بود و همچنین تعداد جهت های بیشتری اکتشاف خواهنـد شـد. بـا وجـود ایـن بایـد در نظـر داشت که پیچیدگی محاسباتی هر نسل با اندازه جمعیت افـزایش مـی‌یابـد. بـر مبنـای مطالعات تجربی که تاکنون انجام شده است، طبیعت رویه جهـش حـد پـایین تـری را برای تعداد افـراد بـه میـزان $ns > 2nv + 1$ بـه دسـت آورده اسـت، کـه در آن nv نصف تعداد درایه‌هـای کرومـوزوم اسـت. بـرای nv ژن، $2nv$ فـرد متفـاوت لازم است، یعنی ۲ نفر به ازای هر ژن. فرد اضافی نیز بردار هدف را نشان مـی‌دهـد.احتمـال پذیرش ژن جهش یافته: احتمال ترکیب، pr ، تاثیر مستقی مـی‌روی تنـوع DEA دارد. این پارامتر تعداد عناصر والد که تغییر خواهند کرد را کنترل می‌کند. هر چقدر میزان این احتمال بیشتر باشد، تغییرات بیشتری در نسل جدید معرفی مـی‌شـود و بـه موجـب آن تنوع جمعیت و همچنین اکتشاف افزایش می‌یابد. طبـق نتـایج تجربـی در ادبیـات مساله ضریب برابر ۰,۵ عموما کارایی بهتری را فراهم می‌آورد.
- **تعداد تکرار**: بسته به میزان تلاش محاسباتی مدنظر و ابعاد مساله این پارامتر می‌توانـد متفاوت باشد. با توجه به پیچیدگی مساله معیار توقف الگوریتم رسیدن به همگرایی بـا رعایت شرط رسیدن به یک جواب خوب در زمان خوب است. این عدد در پـژوهش ۵۰ تکرار بوده است. یکی دیگر از پارامترهای اثرگـذار بـر کیفیـت جـواب‌هـا تعـداد تکرار الگوریتم است. از این پارامتر به عنوان شرط توقف الگوریتم استفاده مـی‌شـود. این پارامتر به طور مستقیم بر همگرایی الگوریتم اثرگذار است و تعیین مقـدار مناسـب آن بر اساس ابعاد مساله اهمیت بسیاری دارد. در این زمینه لازم به ذکر است که بدلیل شباهت ساختاری-مفهومی الگوریتمهای مـورد مقایسـه اسـتفاده از تعـداد تکـرار لازم جهت رسیدن به همگرایی منجر به زمانهای نزدیک به هم شده است. از طرفی به دلیل تجربی بودن تنظیم چنین عددی برای الگوریتم و بـرای جلـوگیری از عـدم همگرایـی کافی در الگوریتمها و عدم رعایت مساوات در مقایسات، بزرگتـرین عـدد لازم بـرای همگرایی دو الگوریتم در اجراهای به عنوان تعداد تکرار هـر دو الگـوریتم در اجراهـا لحاظ شده است.
- **ضریب بتا**: میزان تاثیر اختلاف تفاضل $(x_{12} - x_{13})$، را کنترل می‌کنـد. هـر چقـدر میزان آن کوچک تر باشد، اندازه گام جهش نیز کوچک‌تر خواهد بـود و هـر چقـدر

این میزان بزرگ‌تر باشد، منجر به همگرایی سریع‌تر الگوریتم می‌شود (برست و همکاران ۲۰۰۶) . مقادیر بزرگ مقیاس گذاری، اکتشاف را ساده‌تر می‌سازد اما ممکن است باعث شود که الگوریتم از نقطه بهینه مناسب، فاصله بگیرد. مقدار این ضریب باید آن قدر کوچک باشد که به تفاضل‌ها اجازه اکتشاف دره‌های تنگ را بدهد و همچنین آن قدر بزرگ باشد که تنوع جمعیت را حفظ نماید و آن را از دست ندهد طبق نتایج تجربی در ادبیات مساله ضریب برابر ۰,۵ عموما کارایی بهتری را فراهم می‌آورد (روی و همکاران ۲۰۱۷).

نتایج محاسباتی

برای صحه‌گذاری کارایی مدل و الگوریتم فراابتکاری DEA در ابعاد کوچک، مساله در با استفاده از نرم افزار IBM ILOG CPLEX Optimization Studio (Version 12.6) با سیستم عامل ویندوز (8.1) ۶۴ بیتی، پردازنده Intel(R) Core™ i7- 4790K @4.00 GHz و حافظه جانبی 16.00 GB حل گردید به این منظور، ۱۳ مثال بصورت تصادفی تولید شده که با توجه به پیچیدگی مساله، نرم افزار CPLEX تنها قادر به حل سه مثال بوده که جزییات آن در ادامه ارائه خواهد شد. همچنین در ابعاد بزرگ از الگوریتم ژنتیک به عنوان رقیب برای بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی استفاده و نتایج حاصل گزارش شده است. به این منظور در این بخش و با توجه به اینکه کیفیت الگوریتم فراابتکاری وابسته به مقادیر پارامترهای آن است، ابتدا تنظیم پارامتر انجام شده، سپس نتایج عددی در ابعاد کوچک و بزرگ ارائه خواهد شد. در نهایت نیز بعد از انجام تحلیل‌های آماری، بینش مدیریتی تحقیق جهت استفاده مدیران از نتایج ارائه خواهد شد.

تنظیم پارامترهای الگوریتم تفاضل تکاملی

یکی از راه‌های بهبود فرآیند، انتخاب سطوح عوامل به نحوی است که تاثیر عوامل اخلال-گر را کمینه کنند. در این حالت هدف، جستجوی تاثیر متقابل مطلوب بین عوامل کنترلی و عوامل اخلال‌گر برای کاهش تاثیر اخلال‌گرها است. روشی که برای تنظیم پارامترهای الگوریتم تفاضل تکاملی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی است. فلسفه‌ی روش تاگوچی بر اساس تابع ضرر است. ادعای تاگوچی این است که با در نظر گرفتن نسبت S/N، دیگر نیازی به بررسی اثرهای متقابل بین عوامل کنترل و عوامل بی‌نظمی نیست. انتقاد مهم به روش تاگوچی همین موضوع

است، که تاگوچی استدلال می‌کند نیازی به در نظر گرفتن اثرهای متقابل دو عاملی وجود ندارد (البته در صورت لزوم می‌توان تعامل‌های دوعاملی را به طرح اضافه نمود). از بین روشهای مختلفی که به این منظور وجود دارد در این تحقیق از فاکتور اسمی – بهتر (فقط بر اساس S/N انحراف معیار) استفاده شده است. به این منظور از ۳ نمود مساله با پارامترهای جدول ۳ استفاده شده است. تنظیم پارامترهای مساله‌ی زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران با الگوریتم فراابتکاری تفاضل تکاملی برای پارامترهای اصلی الگوریتم در ۵ سطح اولیه به ازای ۱۰ اجرا، با هدف کمینه‌سازی میانگین آزمایش انجام گردید. با بررسی مقادیر ورودی پارامترهای الگوریتم، این طور مشخص شد که تاثیر تغییر سه پارامتر از پارامترهای اصلی در حل مساله بیشتر است و سعی شد که پارامترهای ثابت در نظر گرفته شده‌ی دیگر، یعنی تعداد تکرار (۵۰ تکرار) و اندازه جمعیت (۱۰۰ عضو)، در بهترین حالتشان در نظر گرفته شده باشند. هر یک از مسائل به ازای ۱۰ مرتبه برای سه عامل در سه سطح اجرا شده است.

جدول (۳): ویژگی نمودهای مسائل استفاده شده برای تنظیم پارامترهای الگوریتم تفاضل تکاملی

مساله	روز	شیفت	تخصص	پرستار
۱	۳	۲	۱	۵
۲	۳	۲	۱	۷
۳	۴	۳	۱	۱۰

جدول (۴): عوامل موثر برالگوریتم فراابتکاری تفاضل تکاملی برای حل مساله و سطوح آن

عوامل موثر	نماد	سطوح عوامل		
اندازه جمعیت	Pop sise	۵۰	۷۰	۱۰۰
احتمال پذیرش ژن جهش یافته	Pr	۰,۲	۰,٤	۰,٦
ضریب بتا	Beta	۰,۱	۰,۱۵	۰,۲

با توجه به جدول ۴، به تعداد حاصل‌ضرب تعداد مثال‌های در نظر گرفته شده، تعداد پارامترهای موثر و تعداد سطوح پارامترها یعنی ۳*۳*۳ طرح، برابر با ۲۷ طرح بررسی گردید. مساله‌ی طرح شده‌ی زمان‌بندی شیفت‌های پرستاران برای هر ۲۷ طرح، ۱۰ بار اجرا گردید و داده‌های حاصل از آن به کمک نرم‌افزار Minitab 17 با روش تاگوچی L۲۷(۳^۳) مورد تحلیل قرار گرفت. نمودار زیر، نتیجه حاصل از این طراحی آزمایش

است. با توجه به آنکه هدف مساله مینیم‌سازی هزینه‌ی برنامه‌ی زمان‌بندی است، سطحی از پارامترها انتخاب می‌شوند که میانگین آزمایش را حداقل می کنند (مقدار بیشتر در نمودار اثر نیرومندی نسبت سیگنال به نویز بهتر است).

حال با توجه به مشاهدات از نمودار اثر نیرومندی نسبت نویز به سیگنال، فاکتور اندازه‌ی جمعیت (Pop sise) را باید درسطح سوم، فاکتور احتمال پذیرش ژن جهش یافته (Pr) را نیز در سطح سوم و در آخر، فاکتور ضریب بتا (Beta) را در سطح سوم قرار داده شد تا میانگین دامنه‌ی خروجی آزمایش‌ها در حداقل مقدار خود قرار گیرد. در نتیجه با توجه به طراحی آزمایش، مقدار پارامترها به شرح جدول ۵ خواهد بود.

جدول (۵): مقادیر فاکتورها حاصل از فرآیند طراحی آزمایشات به روش تاگوچی

فاکتور	Beta	Pr	Pop sise
مقدار فاکتور مناسب حاصل از آزمایش	۲.۰	۰,۶	۱۰۰

نتیجه‌ی دیگری که از این طراحی آزمایشات می‌توان گرفت آن است که اهمیت بالای فاکتور سوم، یعنی ضریب بتا، به دلیل پراکندگی زیاد آن است. به عنوان یک پیشنهاد برای تحقیقات آتی می‌توان سطوح دیگری برای این فاکتور در نظر گرفت و نتایج آن را مورد بررسی قرار داد. پیشنهاد دیگر قابل بررسی که در این تحقیق بررسی نشده است، استفاده از دیگر روش‌های تنظیم پارامتر برای تنظیم الگوریتم و خروجی آن و همچنین مقایسه‌ی روش‌های طراحی آزمایش برای این مساله است.

نتایج عددی

برای مقایسه الگوریتم DEA ارایه شده (اندازه جمعیت ۱۰۰، تعداد تکرار ۵۰، احتمال جهش۰,۶ و احتمال بردار تفاضل ۰,۲) در ابعاد بزرگ با الگوریتم ژنتیک (اندازه جمعیت ۱۰۰، تعداد تکرار ۵۰، احتمال جهش۰,۲ با چرخه رولت و تقاطع دو نقطه) در نرم افزار MATLAB R2015b –Academic User، برای ۱۳ مثال به تعداد ۱۰ تکرار اجرا گردید و میانگین زمان پردازش و بهترین جواب (رقم اعشار برای Z گرد شده است) برای الگوریتم-ها همان گونه که در جدول ۶ آورده شده به قرار زیر است. در رابطه با اعداد موجود در ستون تعداد پرستاران لازم به ذکر است که این اعداد تفکیک واحدهای بیمارستانی فعالیت

پرستاران است. برای مثال برای در نمود ۱۲ ، در مجموع ۱۰۲ پرستار با توجه به محدودیت‌ها به برنامه تخصیص می‌یابند که از این بین ۴۲ نفر از پرستاران با تخصص مراقبت‌های ویژه، ۳۰ نفر با تخصص بخش عمومی و ۳۰ نفر با تخصص بخش کودکان برنامه‌ریزی می‌شوند.

همانگونه که در جدول نتایج می‌توان مشاهده کرد با افزایش تعداد پرستاران، تعداد روز- شیفت‌ها و تخصص پرستاران بر پیچیدگی مساله افزوده می‌گردد. این پیچیدگی ناشی از افزایش یافتن ابعاد مساله و همچنین افزایش یافتن تعداد محدودیت‌هایی است که مساله باید آن را رعایت کند. به دلیل پیچیدگی بالا، مساله در ابعاد کوچک با نرم افزار CPLEX نهایتا در ابعاد برنامه ای ۱۰ پرستار، با یک تخصص در چهار روز کاری و سه شیفت قابل حل بود. برای لحاظ کردن معیار یکسان بر روی دو الگوریتم DEA و GA اندازه جمعیت ۱۰۰ و تعداد تکرار ۵۰ در نظر گرفته شد.

جدول (۶): نتایج عددی

	مساله	روز	شیفت	تخصص	پرستار	DE		GA		CPLEX	
						Z	زمان(s)	Z	زمان(s)	Z	زمان(s)
مسائل کوچک	۱	۳	۲	۱	۵	۱۲۵۴	۱,۸۳	۱۲۵۴	۲,۰۶	۱۲۵۴	۰,۶۳
	۲	۳	۲	۱	۷	۱۶۱۸	۲,۹۲	۱۶۱۸	۳,۲۳	۱۶۱۸	۰,۸۲
	۳	۴	۳	۱	۱۰	۲۴۷	۷,۴۸	۳۰۰	۸,۶۷	۲۹۳	۱,۶۷
	۴	۴	۳	۱	۱۲	۳۰۷۰	۱۶,۴	۳۵۱۰	۱۷,۲۳	–	–
	۵	۷	۳	۱	۱۵	۹۹۵۰	۲۰,۶۹	۱۲۷۹	۲۲,۶۷	–	–
مسائل بزرگ	۶	۱۵	۳	۱	۱۵	۲۴۰۲	۲۶,۳۴	۲۵۴۶	۳۱,۵۲	–	–
	۷	۳۰	۳	۱	۲۱	۲۸۴۰	۴۷,۷۴	۳۴۹۳	۴۸,۴۸	–	–
	۸	۱۵	۳	۱	۳۰	۲۰۰۶	۳۸,۳۱	۲۷۳۷	۳۴,۶۹	–	–
	۹	۳۰	۳	۲	(۳۰+۲۱)	۶۱۸۵	۱۰۷,۲۸	۷۲۷۰	۱۴۷,۴۶	–	–
	۱۰	۳۰	۳	۲	(۱۵+۳۰)	۸۲۵۵	۱۲۲,۸۵	۸۳۱۲	۱۵۱,۶۲	–	–
	۱۱	۱۵	۳	۲	(۳۰+۴۲)	۱۲۱۹۶	۹۰,۹۴	۱۲۸۸۱	۱۷۷,۷۵	–	–
	۱۲	۳۰	۳	۳	(۳۰+۳۰+۴۲)	۱۶۷۳۸	۲۸۵,۳۲	۱۹۲۵۳	۴۹۲,۷	–	–
	۱۳	۳۰	۳	۳	(۵۰+۵۰)	۱۸۲۶۳	۳۰۵,۱۴	۲۲۶۵۸	۵۶۴,۸۹		

همان گونه که ملاحظه می‌شود در بیشتر مثال‌ها به جز یکی الگوریتم DEA پاسخ بهتر در زمان بهتری را ارایه کرده است. نکته حائز اهمیت آن که با افزایش جمعیت کاوش و تعداد تکرار الگوریتم بر مدت زمان حل و همچنین تلاش محاسباتی افزوده می‌شود. با افزایش جمعیت، کاوش بهتری در فضای جواب انجام می‌گیرد و با افزایش تعداد تکرار همگرایی

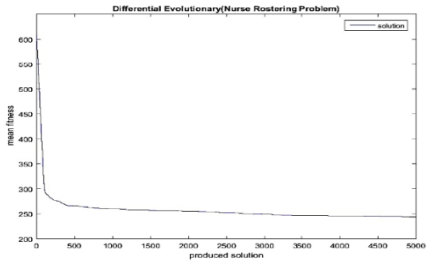
الگوریتم به جواب بهینه افزایش می‌یابد اما به دلیل وجود محدودیت در زمان محاسبه و همچنین حافظه باید موازنه ای میان کیفیت جواب و زمان و حجم محاسبات برقرار گردد.

تحلیل نتایج

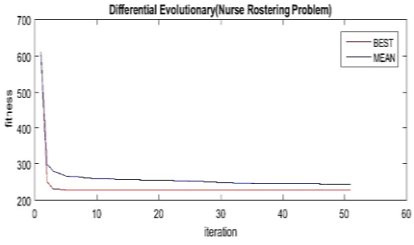
در این بخش در ابتدا روند همگرایی الگوریتم بررسی خواهد شد. در ادامه نیز تحلیل‌های آماری در رابطه با نتایج بدست آمده در جدول (۶) ارائه خواهد شد.

تحلیل همگرایی الگوریتم

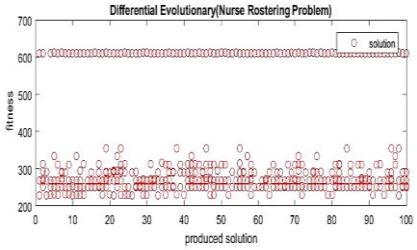
در نمودار شکل ۴.الف همه جواب‌های تولید شده (۵۰۰۰ جواب شدنی) و روند همگرایی الگوریتم به جواب بهینه قابل مشاهده است. در شکل ۴.ب، بهترین جواب‌های به دست آمده و میانگین جواب‌ها در طی ۵۰ تکرار رسم شده است. در قسمت ۴.ج نمودار بهبود برازندگی جواب‌های بدست آمده و نحوه همگرایی به جواب بهینه در جمعیت ۱۰۰ عضوی قابل مشاهده است.



شکل (۴) الف : روند همگرایی الگوریتم DE



شکل (۴) ب: نمودار بهترین و متوسط جواب‌های یافت شده در ۵۰ مرتبه تکرار الگوریتم

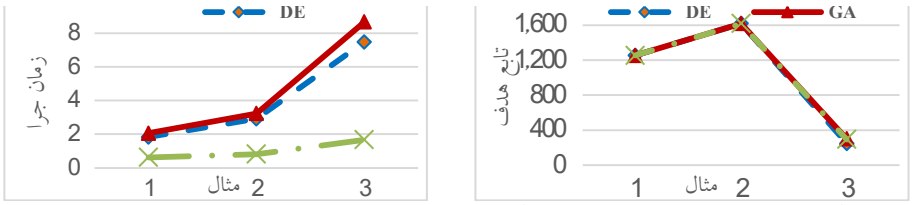


شکل (۴) ج: نمودار نقطه ای جواب‌ها و روند همگرایی به سوی نقطه بهینه

تحلیل همگرایی الگوریتم

در این بخش نتایج به تفکیک در دو بخش تحلیل نتایج حل نمودها در ابعاد کوچک و تحلیل نتایج حل نمودها در ابعاد بزرگ ارائه خواهد شد.

تحلیل نتایج در ابعاد کوچک مساله: همچنان که پیشتر بدان اشاره شد به دلیل پیچیدگی مساله مورد بررسی، در این بخش تنها سه مثال قابل حل با CPLEX است. نمودارهای مقایسه نتایج بدست آمده به شرح ذیل است.

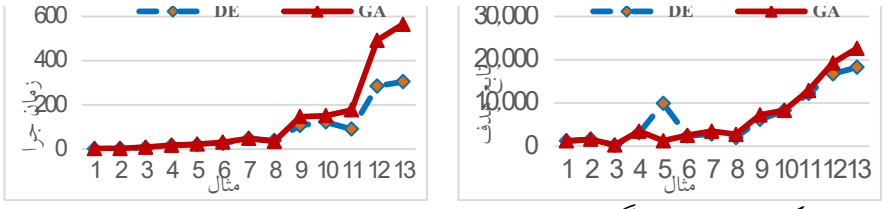


شکل (۵). مقایسات نتایج در ابعاد کوچک مساله با توجه به مقادیر تابع هدف و زمان‌های اجرا

همچنان که در شکل ۵ مشخص است، نتایج بدست آمده، چه از لحاظ مقادیر تابع هدف و چه از لحاظ زمان اجرا، برای همه روش‌ها بسیار نزدیک به یکدیگر بوده و با توجه به این موضوع می‌توان گفت که الگوریتم پیشنهادی در ابعاد کوچک در رسیدن به جواب بهینه در زمان رقابتی کاملا توانمند بوده است. در ضمن اهمیت ارائه الگوریتم در همین بخش کاملا مشخص است چرا که امکان حل مدل ریاضی حتی در ابعاد متوسط مساله نیز به دلیل رشد نمایی زمان اجرا، غیر ممکن بوده و در نتیجه برای حل مسائل بزرگتر دنیا واقعی، استفاده از روشهای فراابتکاری برای رسیدن به یک جواب خوب در زمان معقول به نظر ضروری است.

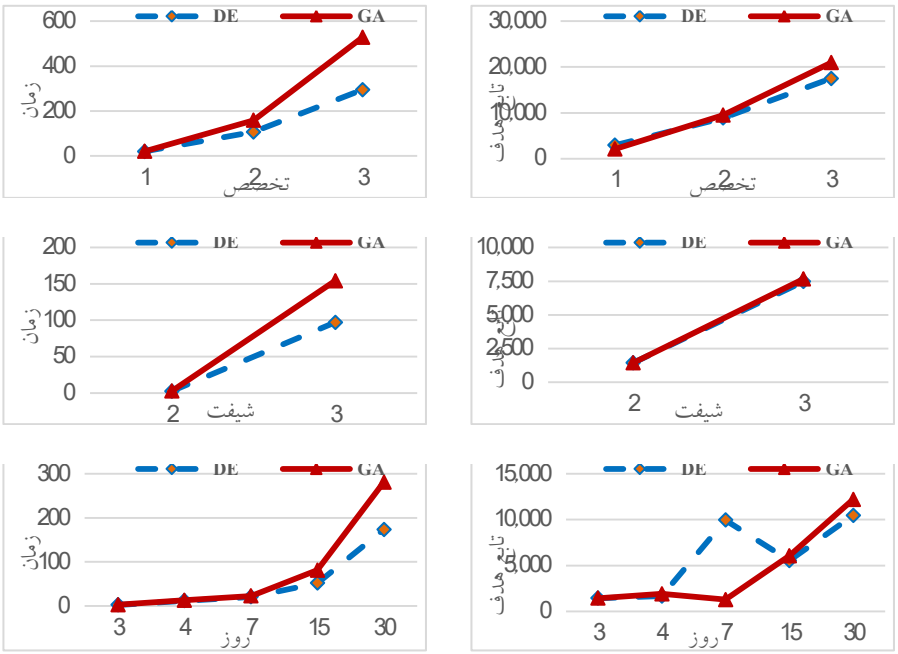
تحلیل نتایج در ابعاد بزرگ مساله: در اینجا در ابتدا مقایسه کلی بین دو الگوریتم فراابتکاری با توجه به دو معیار زمان حل و مقدار تابع هدف صورت گرفته است. همانگونه که در شکل (۶) ملاحظه می‌کنید با وجود آنکه کیفیت توابع هدف به یکدیگر نزدیک است، اما الگوریتم تفاضل تکاملی توانسته در زمان کمتری به این کیفیت دست یابد. لازم به ذکر است که رسالت الگوریتمهای فراابتکاری یافتن جوابی خوب در زمان خوب است. بنابراین بدیهی است توازن رسیدن به هر دو عامل زمان و کیفیت پاسخ در مقایسات حائز اهمیت بوده و این الگوریتم پیشنهادی بوده که در زمانی کمتر توانسته به کیفیتی مشابه دست یابد.

با توجه به نتایج می‌توان گفت با افزایش تعداد تخصص، تعداد شیفتها در روز و تعداد روزها، روند تغییر تابع هدف برای هر دو الگوریتم‌های افزایشی است که نتیجه‌ای منطقی است و به نوعی نشان دهنده پیاده‌سازی درست هر دو الگوریتم است. از نظر مقایسه نیز می‌توان از لحاظ زمان اجرا با تغییر هر سه پارامتر ورودی، الگوریتم پیشنهادی زمان بهتری داشته و این در حالی است که جز در یک حالت (تعداد روز ۷ در مرحله سوم) مقادیر توابع هدف نزدیک و در اکثر مواقع با اختلافی کم، روش پیشنهادی تابع هدفی بهتر ارائه کرده است.



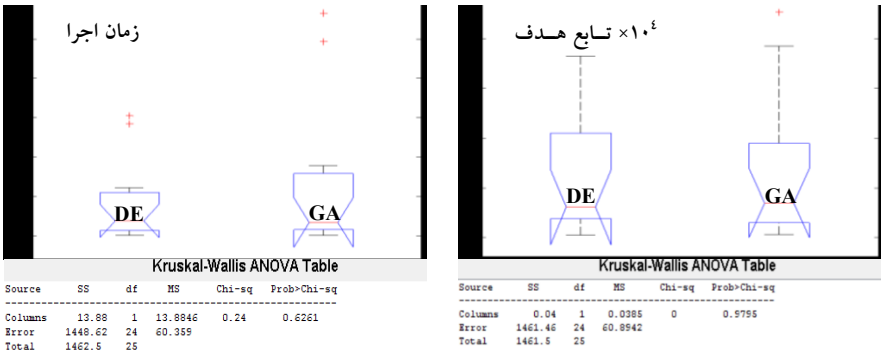
شکل (۶). مقایسات الگوریتمهای پیشنهادی با توجه به مقادیر تابع هدف و زمان‌های اجرا

در ادامه تحلیل نتایج بدست آمده با توجه به تغییرات خروجی به پارامترهای ورودی شامل تخصص، شیفت و روز آمده است.



شکل (۷). تحلیل نتایج با توجه به تغییرات خروجی به پارامترهای ورودی شامل تخصص، شیفت و روز

همچنین برای بررسی صحت آماری نتایج نشان داده شده در جدول ۶ و تأیید اینکه بهترین الگوریتم بین DE و GA کدام است، از آزمون کروسکال-والیس به عنوان یک روش ناپارامتریک استفاده شده است که در آن الگوریتم‌های مختلف به عنوان یک عامل و متغیر پاسخ به عنوان مقدار شاخص، تابع هدف و زمان اجرا، در نظر گرفته شده است. توجه داشته باشید که معادل پارامتریک آزمون کروسکال-والیس، تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) است که در آن شرط نرمال بوده داده‌ها ضروری نیست. یک آزمون کروسکال-والیس معنادار است اگرحداقل یک نمونه بر یک نمونه دیگر غالب باشد. نتایج بدست آمده در شکل ۸ نشان داده شده است. شکل زیر بوضوح نشان می‌دهد که اختلاف نتایج معنادار نیست ولی در عین حال الگوریتم پیشنهادی توانسته میانگینی بهتر از الگوریتم ژنتیک بدست آورد.



شکل (۸). آزمون کروسکال-والیس

بینش مدیریتی تحقیق

اهمیت مساله‌ی زمان‌بندی شیفت‌های کاری و اثر آن بر بهره‌وری و سلامت نیروی کار بر کسی پوشیده نیست. هر شغل متناسب با قوانین، محدودیت‌ها و شرایط خود دارای برنامه‌ی زمان‌بندی مخصوص است. این مساله به دلیل قرار گرفتن در دسته مسائل سخت مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. تلاش برای ایجاد مدلی پایدار و نزدیک به شرایط دنیای واقعی از اهداف این تحقیق است. در این پژوهش به طرح مساله زمان‌بندی شیفت-های کاری پرستاران پرداخته شده است. همچنین با در نظر گرفتن شرایطی از قبیل ترجیح پرستاران، تخصص‌های مختلف و محدودیت‌هایی که در توالی و همچنین در دسترس بودن نیروی کار وجود دارد، مدل مساله طراحی گردید. استفاده از ابزارهای برنامه‌ریزی این امکان را فراهم آورده است که در چارچوب محدودیت‌ها موجود میزان رضایت

پرسنل به حد مطلوب رسیده و از منابع موجود بهترین بهره را برد. یکی از مهم‌ترین مزایای پژوهش در حوزه‌ی سلامت، امکان استفاده‌ی تجاری از مدل‌سازی و شیوه‌ی حل می‌باشد. توسعه‌ی مدل‌های ارایه شده و ارتقای سطح کیفی نرم‌افزارهای تجاری در این حوزه می‌تواند فرصتی مناسب برای برطرف نمودن تقاضای سیستم بهداشت و درمان و یا دیگر ارگان‌های شیفتی و خدماتی باشد. امروزه نیاز به مدیریت یکپارچه همراه با ارتقای کیفی و به‌سازی سیستم‌های سلامت در داخل کشور و دنیا مورد توجه قرار گرفته است و بودجه‌های کلانی به انجام پژوهش در این حوزه‌ها اختصاص یافته است.

جمع‌بندی و پیشنهادات آتی

اهمیت مساله زمانبندی شیفت‌های کاری و اثر آن بر بهره‌وری و سلامت نیروی کار بر کسی پوشیده نیست. هر شغل متناسب با قوانین، محدودیت‌ها و شرایط دارای برنامه زمانبندی خاص خود است. این مساله به دلیل قرار گرفتن در دسته مسائل سخت مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است و تلاش برای ایجاد مدلی پایدار و نزدیک به شرایط دنیای واقعی از اهداف این تحقیق می‌باشد .ما در این پژوهش به طرح مساله زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران پرداختیم و مدل مساله با در نظر گرفتن شرایطی از قبیل ترجیح پرستاران، تخصص‌های مختلف و محدودیت‌هایی که در توالی و همچنین در دسترس بودن نیروی کار با آن مواجه می‌باشد طراحی گردید. برای حل این مساله از الگوریتم فراابتکاری تفاضل تکاملی که نسلی بروز شده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد استفاده کردیم. در الگوریتم ارایه شده با اعمال یک ابتکار در عملگر تقاطع عملکرد کاوش آن را نسبت به الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار دادیم و نتایج آن به وسیله جداول ارایه گردید. برای تحقیقات آتی می‌توان به بررسی ویژگی زمانبندی شیفت‌های کاری مشاغل دیگر نظیر آتش نشانی، اورژانس، نهادهای نظا می‌و خدماتی شبانه روزی پرداخت. همچنین در مساله زمانبندی شیفت‌های کاری پرستاران می‌توان در مباحث مدل سازی، حل و فرضیات مساله به پژوهش پرداخت. یکی از مهم ترین مزایای کار در این حوزه امکان استفاده تجاری از مدل سازی و شیوه حل می‌باشد. توسعه مدل‌های ارایه شده و ارتقای سطح کیفی نرم‌افزارهای تجاری در این حوزه می‌تواند فرصتی مناسب برای برطرف نمودن تقاضای سیستم بهداشت و درمان و یا دیگر ارگان‌های شیفتی و خدماتی باشد.

ORCID
Javad Behnamian http://orcid.org/0000-0002-4122-4575

مراجع

Awadallah, M. A., Bolaji, A. L. a., & Al-Betar, M. A. (2015). A hybrid artificial bee colony for a nurse rostering problem. *Applied Soft Computing, 35*, 726-739 .

Baeklund, J., & Klose, A. (2013). *Exact and heuristic approaches to nurse scheduling.* Aarhus University, Department of Mathematics,

Bagheri, M., Devin, A. G., & Izanloo, A. (2015). A two-stage stochastic programming for nurse scheduling in Razavi Hospital. *Razavi International Journal of Medicine, 3*(1).

Brest, J., Greiner, S., Boskovic, B., Mernik, M., & Zumer, V. (2006). Self-adapting control parameters in differential evolution: A comparative study on numerical benchmark problems. *IEEE transactions on evolutionary computation, 10*(6), 646-657 .

Eskandari, A., & Ziarati, K. (2008). Nurse rostering using fuzzy logic: a case study .

Fatemi Ghomi, S., Arabzadeh, E., Karimi, B. (2018). A Multi Period Routing and Scheduling optimization Model for Home health Care Problem. *Industrial Management Studies*, 16(48), 1-30 [in Persian].

Foley, M. E. (2002). The nursing shortage and the quality of care. *The New England journal of medicine, 347*(14), 1118 .

Fulcher, J. (2008). Computational intelligence: an introduction. In *Computational intelligence: a compendium* (pp. 3-78): Springer.

Glass, C. A., & Knight, R. A. (2010). The nurse rostering problem: A critical appraisal of the problem structure. *European Journal of Operational Research, 202*(2), 379-389 .

Hall, R. W. (2012). *Handbook of healthcare system scheduling*: Springer.

Huang, H., Lin, W., Lin, Z., Hao, Z., & Lim, A. (2014). An evolutionary algorithm based on constraint set partitioning for nurse rostering problems. *Neural Computing and Applications, 25*(3-4), 703-715 .

Huarng, F. (1997). Integer goal programming model for nursing scheduling: a case study. In *Multiple Criteria Decision Making* (pp. 634-643): Springer.

Ingels, J., & Maenhout, B. (2015). The impact of reserve duties on the robustness of a personnel shift roster: An empirical investigation. *Computers & Operations Research, 61*, 153-169 .

Lagatie, R., Haspeslagh, S., & De Causmaecker, P. (2009). *Negotiation Protocols for Distributed Nurse Rostering.* Paper

presented at the Proceedings of the 21st Benelux Conference on Artificial Intelligence.

Maass, K. L., Liu, B., Daskin, M. S., Duck, M., Wang, Z., Mwenesi, R., & Schapiro, H. (2017). Incorporating nurse absenteeism into staffing with demand uncertainty. *Health care management science, 20*(1), 141-155 .

Parr, D., & Thompson, J. M. (2007). Solving the multi-objective nurse scheduling problem with a weighted cost function. *Annals of Operations Research, 155*(1), 279-288 .

Pham, V. N., Le Thi, H. A., & Dinh, T. P. (2012). *Solving nurse rostering problems by a multiobjective programming approach* . Paper presented at the International Conference on Computational Collective Intelligence.

Price, K., Storn, R. M., & Lampinen, J. A. (2006). *Differential evolution: a practical approach to global optimization*: Springer Science & Business Media.

Rashidi Komijan, A., Gordani, A. (2019). An integrated mathematical model for aircraft routing and crew scheduling for *airlines with multi fleet and multi maintenance hub. Industrial* Management Studies, 17(55), 101-135 [in Persian].

Richardson, J. T., Palmer, M. R., Liepins, G. E., & Hilliard, M. R. (1989). *Some guidelines for genetic algorithms with penalty functions.* Paper presented at the Proceedings of the 3rd international conference on genetic algorithms.

Roy, S., Davim, J. P., & Kumar ,K. (2017). Optimization of process parameters using Taguchi coupled genetic algorithm: machining in CNC lathe. In *Mathematical Concepts and Applications in Mechanical Engineering and Mechatronics* (pp. 67-93): IGI Global.

Santos, H. G., Toffolo, T. A., Gomes, R. A., & Ribas, S. (2016). Integer programming techniques for the nurse rostering problem. *Annals of Operations Research, 239*(1), 225-251 .

Sharma, P., Sharma, N., & Sharma, H. (2016). *Binomial crossover embedded shuffled frog leaping algorithm.* Paper presented at the Computing, Communication and Automation (ICCCA), 2016 International Conference on.

Smet, P. (2016). Nurse rostering: models and algorithms for theory, practice and integration with other problems. 4OR, 14, 327–328.

Solos, I. P., Tassopoulos, I. X., & Beligiannis, G. N. (2013). A generic two-phase stochastic variable neighborhood approach for effectively solving the nurse rostering problem. *Algorithms, 6*(2), 278-308 .

Storn, R., & Price, K. (2010). Differential evolution homepage. Available at: *http://www. ICSI. Berkeley. edu/~ storn/code. html* .