E-ISSN: 2676-6159 | P-ISSN: 2538-5079

Journal of Decisions and Operations Research

www.journal-dmor.ir

J. Decis. Oper. Res. Vol. 7, Spec. Issue (2022) 1–23.

Paper Type: Original-Application Article

Nurse Scheduling Problem Considering Service Level in Uncertain Conditions

Nilofar Khalili[1], Parisa Shahnazari-Shahrezaei[2,*], Amir Gholam Abri[3]

[1] *Department of Industrial Management, Firuzkoh Branch, Islamic Azad University, Firozkoh, Iran; danesh_pajooh2006@yahoo.com.*

[2] *Department of Industrial Engineering, Firuzkoh Branch, Islamic Azad University, Firozkoh, Iran; parisa_shahnazari@yahoo.com.*

[3] *Department of Mathematics, Firuzkoh Branch, Islamic Azad University, Firozkoh, Iran; amirgholamabri@gmail.com.*

Citation:

Khalili, N., Shahnazari-Shahrezaei, P., & Gholam Abri, A. (2022). Nurse scheduling problem considering service level in uncertain conditions. *Journal of decisions and operations research, 7*(4), 1-23.

Received: 02/11/2020 Reviewed: 08/12/2020 Revised: 09/02/2021 Accepted: 01/03/2021

Abstract

This paper deals with modeling a nurse scheduling problem considering service level in uncertain conditions. In accord with the urgent need of hospitals to provide better services to patients, it is necessary to consider nurses' preferences in the work shift scheduling. Hence, a multi-objective model is presented by regarding the rules and regulations related to the assignment of nurses to work shifts, in which the service level to patients is also considered. Due to the uncertainty of the number of patients that refer to the hospital, this parameter is taken uncertain into account. In order to evaluate the output results, two numerical examples in small and large sizes with real data of Labbafinejad Hospital with 18-person and 90-person wards are designed and Epsilon constraint method is used to solve the small-sized problem. Computational results reveal that increasing the service level to patients is directly related to increasing the number of nurses per each shift. Moreover, because of NP-Hard nature of nurse scheduling problem, the large-sized problem (90-person ward) is solved by a Gray Wolf algorithm and on the basis of designing a new chromosome. The results obtained by this method include 35 different efficient solutions for nurse scheduling in this hospital.

Keywords: Nurse scheduling, Service level, Gray wolf meta-heuristic algorithm, Uncertainty.

Corresponding Author: parisa_shahnazari@yahoo.com http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.5.7.0

Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Journal of Decisions and Operations Research

تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

دوره ۷، شماره ویژه، (۱۴۰۱)، ۲۳-۱

www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی-کاربردی

مساله زمان‌بندی پرستاران با در نظر گرفتن سطح خدمت‌رسانی در شرایط عدم قطعیت

نیلوفر خلیلی[۱]، پریسا شاه نظری شاهرضایی[۲،*]، امیر غلام ابری[۳]

[۱]گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

[۲]گروه مهندسی صنایع، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

[۳]گروه ریاضی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

چکیده

در این مقاله به مدل سازی یک مساله زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران با در نظر گرفتن سطح خدمت‌رسانی در شرایط عدم قطعیت پرداخته شده است. با توجه به نیاز ضروری بیمارستان‌ها جهت ارایه خدمات بهتر پرسنل به بیماران، نیاز به در نظر گرفتن ترجیحات پرستاران در زمان‌بندی شیفت کاری است. از این رو در این مقاله یک مدل چندهدفه با در نظر گرفتن قوانین و مقررات مربوط به تخصیص پرستاران به شیفت‌های کاری ارایه شده است که در آن سطح خدمت‌رسانی به بیماران نیز لحاظ گردیده است. با توجه به غیرقطعی بودن تعداد بیماران مراجعه کننده به بیمارستان این پارامتر به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است. جهت ارزیابی خروجی‌های مدل، دو مثال عددی در سایز کوچک و بزرگ با داده‌های واقعی بیمارستان لبافی نژاد با بخش ۱۸ نفره و ۹۰ نفره طراحی و برای حل مساله در سایز کوچک از روش اپسیلون محدودیت استفاده گردیده است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که افزایش سطح خدمت‌رسانی به بیماران با افزایش تعداد کادر درمانی در هر روز و شیفت کاری رابطه مستقیمی دارد. همچنین با توجه به *NP-Hard* بودن مساله زمان‌بندی، حل مساله بخش ۹۰ نفره با الگوریتم گرگ خاکستری و بر اساس طراحی یک کروموزوم جدید انجام شده است که نتایج حاصله از به کارگیری این روش نشان از وجود ۳۵ جواب کارای مختلف برای برنامه‌ریزی زمان‌بندی پرستاران در بیمارستان لبافی نژاد را دارد.

کلیدواژه‌ها: زمان‌بندی پرستاران، سطح خدمت‌رسانی، الگوریتم فرا ابتکاری گرگ خاکستری، عدم قطعیت.

۱- مقدمه

امروزه استفاده از رویکردهای علمی برای تصمیم‌گیری‌های مناسب، بسیار موردتوجه محققان قرار گرفته است. زمان از مهم‌ترین عوامل موثر در اتخاذ آن تصمیمات می‌باشد. مساله زمان‌بندی پرستاران نیز به جهت اهمیت مراقبت‌های بهداشتی و سختی کار آن‌ها، بسیار حایز اهمیت می‌باشد. سرپرستار هر بخش از بیمارستان با درنظرگرفتن محدودیت‌ها و نیازهای پرستاران، برنامه کاری آن‌ها را به‌صورت ماهانه زمان‌بندی می‌کند (ایکدا و همکاران[۱]، ۲۰۱۹). برنامه کاری باید پاسخگوی نیاز بخش در رابطه با تعداد افراد موردنیاز از هر رده مهارتی در هر نوبت باشد، از سوی دیگر برنامه دارای محدودیت‌های دیگری مانند ترجیحات افراد برای روزهای استراحت، وجود افراد با موقعیت‌های خاص مانند مادران شیرده یا افرادی که به علت بیماری یا سایر حوادث در مرخصی هستند نیز می‌باشد (حمید و همکاران[۲]، ۲۰۲۰). برای اغلب پرستارانی که به‌صورت شیفت در گردش کار می‌کنند، شب‌کاری عوارض و پیامدهای ناخوشایندی روی زندگی طبیعی آنان به همراه خواهد

[1] Ikeda et al.

[2] Hamid et al.

* نویسنده مسئول

parisa_shahnazari@yahoo.com

http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.5.7.0

داشت که بسیاری از آن‌ها قابل‌کنترل نیستند. شب‌کاری اثرات منفی فیزیکی، روانی و اجتماعی روی زندگی فردی پرستاران دارد و درنهایت این اثرات می‌تواند خانواده آنان را نیز تحت تاثیر قرار داده و ساعت طولانی کار سلامت و امنیت آن‌ها را به مخاطره اندازد (باقری و همکاران[1]، ۲۰۱۶). پرستاران به دلیل شیفت‌های کاری طولانی و خستگی‌های ناشی از آن همیشه مستعد تهدید سلامتی در ابعاد مختلف هستند. بیماری‌های قلبی و عروقی و حمات قلبی در میان افراد نوبت‌کار نسبت به افراد روزکار بیشتر دیده می‌شود وجود این نوبت‌های کاری مختلف مانند کار در شیفت‌های شب، در روزهای هفته و در ساعات مختلف از شبانه‌روز و اضافه‌کاری می‌تواند سامت جسمی و روحی پرستاران را به مخاطره بیندازد (تونگسنت و همکاران[2]، ۲۰۱۶). پرستارانی که از سلامت عمومی خوبی برخوردار نیستند؛ قادر نخواهند بود تا مراقبت‌های خوبی نظیر حمایت‌های فیزیکی و روانی از بیماران به عمل آورند که این امر خطر اشتباهات و بروز حوادث شغلی را بالا می‌برد که نهایتا عواقب آن متوجه بیمار و پرستار می‌شود (نصیری و راهور[3]، ۲۰۱۷).

به جهت اهمیت بخش سلامت، غالبا ۵% تا ۱۰% هزینه‌های دولت در کشورهای درحال‌توسعه به این بخش اختصاص می‌یابد که خدمات بیمارستانی عمده‌ترین علت رشد هزینه‌های این بخش را به خود اختصاص می‌دهند. به‌عنوان‌مثال ۴۰% از هزینه‌های دولت برای بخش سلامت، صرف مراقبت‌های بیمارستانی می‌شود و در خود بیمارستان‌ها نیز منابع انسانی عمده‌ترین سهم از این هزینه را شامل می‌شوند. این در حالی است که در میان هزینه‌های عملیاتی بیمارستان، هزینه‌های مربوط به منابع انسانی عمده‌ترین سهم از کل هزینه‌های بیمارستان را به خود اختصاص می‌دهند و در کشور ما به‌طور متوسط، هزینه نیروی انسانی در حدود ۵۵% تا ۶۰% از کل هزینه‌های عملیاتی بیمارستان‌ها تخمین زده می‌شود. بنا بر پژوهش‌های انجام‌گرفته، کمبود نیروی پرستاری یا توزیع نامناسب آن، از عمده‌ترین مشکلات بیمارستان‌های کشور محسوب می‌شوند. لذا استاندارد نمودن تعداد و نحوه توزیع نیروهای پرستاری در بخش‌های بالینی لازمه ارتقای کارایی و کیفیت خدمات ارایه شده به بیماران، بهره‌برداری هرچه بهتر از امکانات موجود و ارتقای بهره‌وری در بیمارستان‌ها است. امروزه مدیران بیمارستان‌ها تصمیم بر آن دارند تا با ارایه یک زمان‌بندی مناسب از طریق تخصیص شیفت‌های کاری مطلوب به پرستاران، رضایت مندی شغلی آن‌ها را افزایش داده و درنتیجه کیفیت خدمات ارایه شده به بیماران را بهبود دهند (سنگری و بلابداویی[4]، ۲۰۱۷). درواقع به هراندازه که برنامه زمان‌بندی تخصیص داده‌شده به هر پرستار با ترجیحات آن پرستار برای شیفت‌های کاری مطلوب وی سازگارتر باشد، پرستار با روحیه بیشتری به بیماران رسیدگی نموده و درنتیجه میزان خدمات ارایه شده به بیماران کیفیت مطلوب‌تری خواهد داشت. از این دیدگاه، مساله زمان‌بندی پرستاران در بیمارستان‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در مساله زمان‌بندی پرستاران، تعداد پرستاران موردنیاز برای برطرف نمودن تقاضای مکان-شیفت‌ها در طول دوره‌ی زمان‌بندی در دسترس بوده و هدف از حل مساله تخصیص پرستاران به شیفت‌ها است؛ به‌طوری‌که تقاضای شیفت‌ها برآورده شوند (سیورزلو و همکاران[5]، ۲۰۱۹). درنهایت جدولی که نشان‌دهنده شیفت‌های کاری تخصیص داده‌شده به پرستاران است، ارایه می‌شود و پرستاران موظف هستند در شیفت‌های کاری تخصیص داده شده به آن‌ها خدمت نمایند.

در این میان حتی با تخصیص بهینه شیفت‌های کاری به پرستاران و در نظر گرفتن ترجیحات پرستاران، امکان ارایه خدمات به‌صورت پیوسته در هر شیفت کاری برای پرستاران وجود ندارد. لذا بایستی کادر درمانی بیشتری در هر روز به ارایه خدمات به بیماران تخصیص یابد. این امر از سویی هزینه‌های بیشتری به سیستم تحمیل کرده و از سوی دیگر علاوه بر کاهش خستگی کادر درمانی در هر روز، منجر به افزایش سطح رسیدگی پرستاران به بیماران را دارد. ازاین‌رو با توجه به اهمیت چنین موضوعی در این مقاله به ارایه یک مدل ریاضی چند هدفه برای زمان‌بندی پرستاران ارایه شده است که در آن یکی از اهداف مساله بیشینه‌سازی سطح خدمت‌رسانی به بیماران می‌باشد. با توجه به غیرقطعی بودن تعداد بیماران حاضر در بیمارستان جهت دریافت خدمات، در این مقاله از روش برنامه‌ریزی فازی جهت کنترل پارامتر غیرقطعی استفاده شده است.

[1] Bagheri et al.
[2] Thongsanit et al.
[3] Nasiri and Rahvar
[4] Sangai and Bellabdaoui
[5] Svirslo et al.

۲- پیشینه تحقیق

به لحاظ اهمیت بسیار بالای مساله زمان‌بندی پرستاران، مدل‌سازی آن، بررسی روش‌های مختلف برای حل این مساله و ویژگی‌های مختلف آن ازجمله کاهش هزینه، مسایل اجتماعی، ارگونومی و ... بسیار موردتوجه محققان قرار گرفته است که در این بخش به بررسی تعدادی از آن‌ها پرداخته شده است.

یک مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی چرخه‌ای و غیر چرخه‌ای از پرستاران شیفت ۱۲ ساعته ارایه شد و مفهومی به نام *stint* معرفی شد که الگویی است که با تاریخ شروع، طول، "هزینه" و شیفت‌های کارشده مشخص می‌شود. با استفاده از *stints* به‌عنوان گره در یک شبکه، یک نمودار چرخشی ساخته شد که می‌توان برنامه‌های پرستار را روی آن تعریف کرد. مدل‌ها بر روی نمونه داده‌های یک بیمارستان محلی نشان داده شد (میلار و کیراگو[1]، ۱۹۹۸). یک الگوریتم شاخه و قیمت برای حل مساله زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران به‌کاربرده شده است. اهداف مدل در این مطالعه شامل تخصیص بهینه پرستاران به شیفت‌های کاری به نحوی است تا هزینه انحرافات حاصل از به کاری پرستاران درزمینه غیرتخصصی خود را کمینه کند (مایهوت و ونهکو[2]، ۲۰۱۰).

در مطالعه‌ای از روش *Cplex* برای بیشینه‌سازی زمان انعطاف کاری پرستاران در یک مساله تک هدف پرداخته شده است. مدل ارایه شده در این مقاله نشان از تخصیص بهینه پرستاران را در هر شیفت کاری دارد (کومار و همکاران[3]، ۲۰۱٤). الگوریتم ژنتیک برای بهبود زمان حل مساله زمان‌بندی پرستاران با هدف کمینه‌سازی هزینه اختصاص پرستاران به سطح مهارت پایین‌تر استفاده شده است. نتایج حاصله نشان از کارایی بالای این الگوریتم برای حل مساله دارد (کیم و همکاران[4]، ۲۰۱٤). الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل مدل زمان‌بندی پرستاران با در نظر گرفتن قوانین و مقررات کاری، سیاست بیمارستان و با هدف حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران برای شیفت کاری و تعطیلات آخر هفته استفاده شده است. نتایج نشان داد الگوریتم شبیه‌سازی تبرید راه‌حل‌های به‌مراتب بهتری نسبت به برنامه‌های ارایه شده توسط سرپرستاران ارایه می‌دهد (جعفری و سلماسی[5]، ۲۰۱۵).

مدل ریاضی زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران با هدف حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران برای شیفت کاری و تعطیلات آخر هفته ارایه شده است. در این مدل در روزهای آخر افق برنامه‌ریزی قبلی برای تعیین شیفت به پرستاران در روزهای آغازین افق برنامه‌ریزی فعلی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، روزهای مرخصی درخواست شده توسط پرستاران به‌طور کامل در نظر گرفته نمی‌شود (جعفری و همکاران[6]، ۲۰۱٦). یک الگوریتم ابتکاری دومرحله‌ای برای تحقق اهداف انصاف و انعطاف‌پذیری در تعیین شیفت پرستار ارایه شده است. مرحله اول ترکیبی از نوع شیفت را مشخص می‌کند و مرحله دوم لیست‌های پرستار را ایجاد می‌کند که شیفت‌های آخر هفته را تا حد ممکن به‌طور مساوی اختصاص می‌دهد. مدل ارایه شده بر روی یک مطالعه موردی با استفاده از داده‌های یک بیمارستان ایالات‌متحده برای نشان دادن کاربرد روش ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد که صرفه‌جویی در هزینه و انصاف، از طریق طراحی مناسب شیفت‌ها می‌تواند حاصل شود (ژونگ و همکاران[7]، ۲۰۱۷). در مطالعه‌ای به بررسی عواملی که منجر و یا مانع از خستگی پرستاران می‌باشد، پرداخته شده است. مصاحبه‌ها با استفاده از یک روش تجزیه‌وتحلیل محتوای کیفی توسط مدل ابتکار مهندسی سیستم برای ایمنی بیمار (*SEIPS*) انجام و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. یافته‌ها نشانگر آنچه پرستاران به‌عنوان عامل ایجاد خستگی درک می‌کنند و عواملی که برای کنار آمدن با خستگی در سیستم کار آن‌ها مفید و مضر است، می‌باشند (استیگ و دایگسترا[8]، ۲۰۱۶).

در مطالعه‌ای، یک مدل زمان‌بندی پرستار با بار متعادل ایجاد شد. برای آزمایش مدل، از یک مساله موردی در یک بیمارستان محلی در استان راتچابوری استفاده گردید. هدف از این مطالعه تعادل بخشیدن به بار هر شیفت برای همه پرستاران است. محدودیت‌های هدف برای تعیین انحراف مثبت و منفی از میانگین بار هر شیفت اعمال گردید. مدل پیشنهادی توسط *Premium Solver* در *Microsoft*

---

[1] Millar and Kiragu
[2] Maenhout and Vanhoucke
[3] Kumar et al.
[4] Kim et al.
[5] Jafari and Salmasi
[6] Jafari et al.
[7] Zhong et al.
[8] Steege and Dykstra

Excel حل و مشخص شد که بار متعادل بهبود یافته است (تونگسنت و همکاران، ۲۰۱۶). در مطالعه‌ای یک استراتژی جدید از رویکرد ترکیبی مبتنی بر مدل تجربی میانگین وزنی منظم فازی، برای تشخیص بهترین راه‌حل در مساله بازآفرینی زمان‌بندی پرستاران به‌کاربرده شده است. این استراتژی بر روی مدل زمان‌بندی پرستاران در انستیتوی انکولوژی *Vojvodina* در صربستان استفاده شده است (سیمیچ و همکاران[1]، ۲۰۱۷).

در مطالعه‌ای، الگوریتم سنتی برای حل مساله زمان‌بندی پرستار پیشنهاد شد. نتایج حاصل از الگوریتم برگشتی و سایر الگوریتم‌های ابتکاری ازجمله الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمایشی نشان داد که الگوریتم برگشتی یک راه حل بهینه با برنامه‌های کوچک در مقایسه با الگوریتم‌های ابتکاری سنتی تولید می‌کند (کو و همکاران[2]، ۲۰۱۷). در مطالعه‌ای یک مدل ریاضی پیشنهادی برای مساله زمان‌بندی پرستاران ارایه شد که مبتنی بر ایده مدل جریان شبکه چند کالایی است. مدل پیشنهادی با استفاده از موارد فرضی و همچنین موارد معیار تایید شد، سپس برای مطالعه موردی واقعی در بیمارستان مصر اعمال گردید. نتایج نشان‌دهنده مزیت استفاده از مدل پیشنهادی در تولید برنامه موردنیاز برای حل مشکل است (ال ادولی و همکاران[3]، ۲۰۱۸).

یک راه‌حل ابتکاری برای مساله زمان‌بندی پرستاران ارایه شده است. این راه‌حل مبتنی بر عمل تعویض شیفت است که توسط پرستارانی انجام می‌شود که برنامه نامطلوبی دریافت می‌کنند. محدودیت‌ها به ترتیب اهمیت مرتب می‌شوند. ابتدا برنامه‌ای ایجاد می‌گردد که تمام محدودیت‌های سخت را برآورده و انصاف را تضمین کند. سطح دوم تلاش برای برآورده ساختن هرچه بیشتر محدودیت‌های نرم در عین حفظ محدودیت‌های سخت است (یوسف و سنبل[4]، ۲۰۱۸). با استفاده از بهینه‌ساز *Gurobi* در پایتون ۳٫۷ ازنظر عملکرد هدف و پیچیدگی زمانی آن‌ها، یک تحلیل مقایسه‌ای برای بررسی مدل‌های زمان‌بندی پرستاران ارایه شد. همچنین یک مطالعه موردی برای تجزیه‌وتحلیل عملکرد مدل ارایه گردید. تکنیک‌های مبتنی بر بهینه‌سازی کلنی زنبورعسل، باز پخت شبیه‌سازی‌شده و الگوریتم *memetic* موردمطالعه قرار گرفت.

نتایج با استفاده از تجزیه‌وتحلیل آماری تایید شدند (سرکار و همکاران[5]، ۲۰۱۹). یک مدل دو هدف با اهداف کمینه‌سازی هزینه اختصاص کارکنان به سطح مهارت و تعادل بخشیدن به بار هر شیفت برای همه پرستاران در یک مساله زمان‌بندی پرستاران ارایه شده است. برای تشکیل جبهه پارت و از تکنیک برنامه‌ریزی محدودیت در پایتون برای حل مساله بهره گرفته شده است (الادی و موسات[6]، ۲۰۱۹).

یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای به حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران برای شیفت کاری ارایه شد و سپس از رویکرد مدل‌سازی فازی مبتنی بر اپراتور فازی *Werner* استفاده گردید و چندین مساله آزمون تصادفی با استفاده از مدل فازی تولید و حل شد. علاوه بر این، یک تجزیه‌وتحلیل حساسیت برای بررسی اثرات تغییرات پارامترها بر روی نتایج به‌دست‌آمده انجام گرفت (جعفری[7]، ۲۰۲۰). برای بهبود بهره‌وری، یک روش دومرحله‌ای برای برنامه‌ریزی درمان برای بیماران جدید، برنامه‌ریزی نیازهای پرستار و اختصاص ترکیب روزانه بیمار به پرستاران موجود پیشنهاد شد که با یک فرمول ریاضی از لیست انتظار برای استفاده از لغوهای لحظه آخری استفاده شود. در مرحله اول، در انتهای هر روز قرار ملاقات با بیماران جدید را تعیین کرده، نیاز روزانه پرستاران را تخمین زده و لیست انتظار را تولید کنند. مرحله دوم بیماران را به پرستاران اختصاص می‌دهد درحالی‌که تعداد پرستاران موردنیاز را به حداقل می‌رساند (بنزید و همکاران[8]، ۲۰۲۰). از یک الگوریتم ژنتیک برای حل مشکل زمان‌بندی پرستاران در مرکز بهداشت جامعه *Bringkoning* استفاده شد. مقدار پارامتر الگوریتم ژنتیک بر نتایج بهینه‌سازی تاثیر می‌گذارد. اندازه پارامتر کوچک باعث محدودتر شدن منطقه جستجو در الگوریتم ژنتیک می‌شود، درحالی‌که اگر اندازه پارامتر خیلی بزرگ باشد، به زمان محاسبات بیشتری احتیاج دارد و تضمین نمی‌کند که برای برخی از آن متغیرها به یک مقدار مطلوب منجر شود؛ بنابراین، دستیابی به نتیجه بهینه از برنامه مراقبت‌های پرستاری در اتاق واحد اورژانس، به تعداد روزهای ورودی بستگی دارد (مالا ساری روچمن و همکاران[9]، ۲۰۲۰).

---

[1] Simić et al.
[2] Ko et al.
[3] El Adoly et al.
[4] Youssef and Senbel
[5] Sarkar et al.
[6] Alade and Amusat
[7] Jafari
[8] Benzaid et al.
[9] Mala Sari Rochman et al.

یک استراتژی دومرحله‌ای برای حل مساله زمان‌بندی پرستاران پیشنهاد شده است. در مرحله اول سه الگوریتم ابتکاری- *HRA1* (تخصیص منابع انسانی بر اساس اندازه بیمارستان)، *HRA2* (تخصیص منابع انسانی بر اساس میانگین تخصیص) و *HRA3* (تخصیص منابع انسانی بر اساس شدت مجازات‌ها)- برای تخصیص کادر پزشکی پیشنهاد شد. در مرحله دوم از الگوریتم بهبودیافته بهینه‌سازی ازدحام ذرات (*PSO*) برای برنامه‌ریزی کادر پزشکی در یک‌زمان معقول استفاده شد. یافته‌های این تحقیق به مدیران بیمارستان‌ها کمک می‌کند تا در مورد تخصیص و برنامه‌ریزی کادر پزشکی تصمیم بگیرند (چن و همکاران[1]، ۲۰۲۰). مساله یکپارچه برنامه‌ریزی و برنامه‌ریزی مجدد پرستار تحت عدم اطمینان تقاضا در نظر گرفته شد. این مساله به‌عنوان یک برنامه صحیح تصادفی دومرحله‌ای تنظیم و حل شد. ارزش راه‌حل تصادفی با استفاده از موارد مساله واقع‌بینانه در یک افق برنامه‌ریزی ماهانه بر اساس داده‌های ارایه شده توسط یک ارایه‌دهنده مراقبت‌های بهداشتی خصوصی در آنکارا، ترکیه تخمین زده شد (باتون و کارپوز[2]، ۲۰۲۰). در **جدول ۱** به بررسی مهم‌ترین مقالات و تفاوت بین روش‌های حل و اهداف تعریف‌شده مدل‌های زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران پرداخته شده است.

جدول ۱- بررسی ادبیات موضوع و مقایسه مطالعات صورت گفته در حوزه زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران.
Table 1- Literature review and comparison of studies in the field of nurses' work shift scheduling.

رفرنس	چند هدفه	تابع هدف	عدم قطعیت	سطح خدمت‌رسانی	نوع مدل	روش حل
تسای و لی[3] (۲۰۰۹)	-	حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران برای شیفت کاری و تعطیلات آخر هفته	-	-	MILP	Genetic Algorithm
مایهوت و ونهکو (۲۰۱۰)	-	کمینه‌سازی هزینه اختصاص پرسنل به سطح مهارت	-	-	MILP	Branch & Price
مایهوت و ونهکو (۲۰۱۱)	*	۱- تعادل بخشیدن به بار هر شیفت برای همه پرستاران ۲- حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران برای شیفت کاری	-	-	MILP	Epsilon Constraint
کومار و همکاران (۲۰۱۴)	-	بیشینه‌سازی انعطاف کاری پرسنل	-	-	MILP	Cplex
کیم و همکاران (۲۰۱۴)	-	کمینه‌سازی هزینه اختصاص پرسنل به سطح مهارت پایین	-	-	MILP	Genetic Algorithm
جعفری و سلماسی (۲۰۱۵)	-	حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران برای شیفت کاری و تعطیلات آخر هفته	-	-	MILP	Simulated annealing
تونگسنت و همکاران (۲۰۱۶)	-	تعادل بخشیدن به بار هر شیفت برای همه پرستاران	-	-	MILP	Premium Solver
جعفری و همکاران (۲۰۱۶)	-	حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران برای شیفت کاری و تعطیلات آخر هفته	-	-	MILP	Fuzzy Mathematical model
کو و همکاران (۲۰۱۷)	-	حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران برای شیفت کاری و تعطیلات آخر هفته	-	-	MILP	BackTrack algorithm

[1] Chen et al.
[2] Batun and Karpuz
[3] Tsai and Li

جدول ۱- ادامه.

Table 1- Continued.

رفرنس	چند هدفه	تابع هدف	عدم قطعیت	سطح خدمت‌رسانی	نوع مدل	روش حل
یوسف و سنبل (۲۰۱۸)	-	کمینه‌سازی هزینه اختصاص پرسنل به سطح مهارت پایین‌تر	-	-	MILP	Simulated annealing
الادی و موسات (۲۰۱۹)	*	۱- کمینه‌سازی هزینه اختصاص پرسنل به سطح مهارت پایین تر ۲- تعادل بخشیدن به بار هر شیفت برای همه پرستاران	-	-	MILP	Constraint Programming Technique
جعفری (۲۰۲۰)	-	حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران	-	-	MILP	Fuzzy Mathematical model
مالا ساری روچمن و همکاران (۲۰۲۰)	-	حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران	-	-	MILP	Genetic Algorithm
چن و همکاران (۲۰۲۰)	-	حداکثر رساندن ترجیحات پرستاران	-	-	MILP	Particle Swarm Optimization
مقاله حاضر	*	۱- کمینه‌سازی هزینه اختصاص پرسنل به سطح مهارت. ۲- کمینه‌سازی مجموع انحرافات از شیفت‌هایی که پرسنل تمایل دارند به کار کردن تخصیص داده نشوند. ۳- کمینه‌سازی میزان شیفت‌های صبح و عصر که پرسنل به صورت پیوسته به کار کردن تخصیص داده می شوند. ۴- کمینه‌سازی مجموع انحرافات از کران‌های پایین و بالا بر روی کل تعداد ساعات کار شده. ۵- بیشینه‌سازی سطح خدمت‌رسانی به بیماران.	*	*	MILP	Epsilon Constraint- MOGWO

۳- تعریف مساله و مدل سازی

در این مساله پرسنلی بامهارت نای پرستار، بهیار و کمک بهیار وجود دارد که بایستی در شیفت‌های صبح، عصر و شب و از برنامه از قبل تعریف‌شده در بیمارستان حضورداشته باشند. با توجه به محدود بودن تعداد کل پرسنل و نیاز مبرم از هر نوع کادر درمانی در هر شیفت نیاز به زمان‌بندی مناسب پرسنل وجود دارد. محدودیت‌ها و مفروضات مختلفی در ارتباط بازمان‌بندی شیف کاری پرستاران وجود دارد که اعمال آن‌ها منجر به پیچیدگی مساله و نزدیکی آن به دنیای واقعی شده است. در این مقاله به ارایه یک هدف مهم تحت عنوان سطح خدمات پرداخته شده است. بالا بودن تعداد کادر خدمات در بیمارستان از سویی افزایش هزینه‌های بیمارستان را در بردارد و از سویی سطح ارایه خدمات و رسیدگی به بیماران نیز افزایش می‌یابد. ازاین‌رو به دلیل نامشخص بودن تعداد بیماران مراجعه‌کننده به بیمارستان جهت دریافت خدمات، تقاضا به‌صورت غیرقطعی در این مدل در نظر گرفته شده است که با استفاده از برنامه‌ریزی فازی به کنترل این پارامتر پرداخته شده است. محدودیت‌ها و مفروضات مدل زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران موردمطالعه در این مقاله به شرح زیر می‌باشد:

۱. حداقل تعداد کارکنان (پرستار، بهیار و کمک بهیار) در هر شیفت کاری (صبح، عصر و شب) و در هر روز از قبل مشخص و معلوم می‌باشد.
۲. هر پرسنل می‌تواند در سطح مهارت پایین‌تر از خود نیز مشغول به کار باشد.
۳. هر پرسنل در هر روز نمی‌تواند در یک سطح مهارت و در شیفت‌های مختلف مشغول به کار باشد.
۴. حداقل و حداکثر ساعات کاری پرسنل در هرماه مشخص بوده و بایستی هر پرسنل این محدوده ساعات کاری را رعایت کند.
۵. هر پرسنل در هر روز نمی‌تواند بیش از ۱۲ ساعت مشغول با کار باشد.
۶. شیفت صبح و عصر، ۶ ساعت کاری و شیفت شب ۱۲ ساعت کاری لحاظ شده است.
۷. درصورتی‌که پرسنل هم در شیفت صبح و عصر و یا در نوبت شب مشغول به کار باشد، روز بعد نیاز به حضور در بیمارستان نیست.
۸. خستگی پرسنل در هر شیفت کاری به‌صورت یک تابع سینوسی در نظر گرفته شده است.
۹. تعداد شیفت‌های شب که یک پرسنل می‌تواند در طول دوره برنامه‌ریزی یک‌ماهه کار کند محدود است.

اهداف مساله به دو نوع هدف در رابطه با اهداف کارفرمایان و ترجیحات پرستاران تقسیم می‌شوند. اگر پرستاران از هر سطح مهارت به کار کردن در سطح مهارت پایین‌تر از مهارت واقعی‌اش تخصیص یابد، کارفرمایان ناچار به پرداخت جریمه می‌باشند. ازاین‌رو، کارفرمایان تمایل دارند که حداقل جریمه را بابت تخصیص پرستاران در سطوح مهارت پایین‌تر از مهارت واقعی‌شان بپردازند. پرستاران نیز تمایل دارند که به میزان ساعات کاری تعیین‌شده توسط خودشان در طی دوره برنامه‌ریزی کار کنند و در روزها یا شیفت‌های که خودشان در ابتدای دوره برنامه‌ریزی اعلام کرده‌اند، به کار کردن تخصیص نیابند. لذا ۵ تابع هدف مختلف برای مساله لحاظ شده است که شامل کمینه‌سازی (۱- هزینه اختصاص پرستار به سطح مهارت پایین‌تر از سطح مهارت واقعی خودشان، ۲- مجموع انحرافات از روزها و شیفت‌هایی که پرستاران تمایل دارند به کار کردن تخصیص داده نشوند، ۳- میزان شیفت‌های صبح و عصر که پرستاران به‌صورت پیوسته به کار کردن تخصیص داده می‌شوند و ۴- مجموع انحرافات از کران‌های پایین و بالابر روی کل تعداد ساعات کارشده توسط پرستاران در طی یک هفته) و بیشینه‌سازی سطح ارایه خدمات به بیماران در هر روز و در هر شیفت کاری. با توجه به مفروضات، محدودیت‌ها و توضیحات مساله، مدل زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران به مطابق بخش زیر خواهد بود:

۱-۳- مجموعه‌ها

I	مجموعه پرسنل $(i = 1,2, \dots, I)$.
J	مجموعه شیفت کاری $(j = 1,2, \dots, I)$.
K	مجموعه روز کاری $(k = 1,2, \dots, K)$.
LK	مجموعه هفته کاری $(lk = 1,2, \dots, LK)$.
S	مجموعه سطوح مهارت $(s = 1,2, \dots, S)$.

با توجه به توضیحات ارایه شده در این مقاله سه شیفت کاری و سه سطح مهارت مختلف در نظر گرفته شده است که شیفت کاری صبح با $(j = 1)$، شیفت کاری عصر با $(j = 2)$ و شیفت کاری شب با $(j = 3)$ نشان داده شده است. سطح مهارت پرستاری با $(s = 1)$، سطح مهارت بهیاری با $(s = 2)$ و سطح مهارت کمک بهیاری با $(s = 3)$ نشان داده شده است.

۲-۳- پارامترها

h_{kj}	طول شیفت j در روز k
Fi	هزینه ثابت به‌کارگیری هر پرسنل در هر روز و شیفت کاری.
Dh_{max}	حداکثر ساعت کاری پرسنل در طی یک روز.
Wh_{min}	حداقل ساعات کاری پرسنل در طی یک هفته.
Wh_{max}	حداکثر ساعات کاری پرسنل در طی یک هفته.
Mh_{min}	حداقل ساعات کاری پرسنل در طی یک ماه.
Mh_{max}	حداکثر ساعات کاری پرسنل در طی یک ماه.
RN_{kjs}	حداقل تعداد پرستاران موردنیاز در سطح مهارت s در شیفت j و در روز k.
Max_{ni}	حداکثر تعداد شیفت‌های شب که یک پرسنل می‌تواند در طول دوره برنامه‌ریزی یک‌ماهه کار کند.
α_{ikj}	مقدار جریمه برای تخصیص پرسنل i به کار در سطح مهارت پایین‌تر در شیفت j و در روز k.
k_i	مجموعه روزهایی که کارکنان i تمایل دارد در برخی یا همه شیفت‌ها به کار کردن تخصیص نیابد.
j_{k_i}	مجموعه شیفت‌هایی از روز k_i که پرسنل i تمایل دارد به کار کردن تخصیص نیابد.
$\widetilde{D}_{kj}$	تعداد بیماران موجود در بیمارستان در شیفت j و در روز k.
RSL^i_{kjs}	پارامتر (۰ و ۱)، مقدار ۱ می‌گیرد اگر پرسنل i بتواند به کار کردن در سطح مهارت واقعی خودش یا هر سطح مهارت پایین تر s در شیفت j از روز k تخصیص یابد؛ و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

۳-۳- متغیرهای تصمیم‌گیری

d_{kj}^{1i}	انحراف از روزها یا شیفت‌هایی که پرسنل i تمایل دارد به کار کردن تخصیص نیابد.
$d_{k_1}^{2i}$	انحراف از کران پایین روی کل تعداد ساعات کارشده توسط پرسنل i در طی یک هفته.
$d_{k_1}^{3i}$	انحراف از کران بالا روی کل تعداد ساعات کارشده توسط پرسنل i در طی یک هفته.
Y_{kjs}	تعداد پرستاران مشغول به کار در سطح مهارت s در شیفت j و در روز k.
x_{kjs}^{i}	مقدار ۱ می‌گیرد اگر پرسنل i به کار کردن در سطح مهارت s در شیفت j از روز k تخصیص یابد؛ و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.
O_k^i	مقدار ۱ می‌گیرد اگر پرسنل i به‌طور پیوسته به کار کردن در شیفت صبح و عصر از روز k تخصیص یابد؛ و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.
F_k^i	مقدار ۱ می‌گیرد اگر پرسنل i به کار کردن در شیفت شب از روز k تخصیص یابد؛ و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

۳-۴- مدل‌سازی مساله چندهدفه زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران

$$Min\ Z_1 = \sum_i \sum_k \sum_j \sum_s \left[\alpha_{ikj}.\left(s - RSL_{kjs}^{i}\right).X_{kjs}^{i}\right] + \sum_k \sum_j \sum_s Fi.Y_{kjs}. \quad (۱)$$

$$Min\ Z_2 = \sum_i \sum_{k\in k_i} \sum_{j\in j_{k_i}} d_{kj}^{1i}. \quad (۲)$$

$$Min\ Z_3 = \sum_i \sum_k O_k^i. \quad (۳)$$

$$Min\ Z_4 = \sum_i \sum_{k_1=1}^{|LK|} \left(d_{k_1}^{2i} + d_{k_1}^{3i}\right). \quad (۴)$$

$$Max\ Z_5 = \sum_k \sum_j \sum_s \frac{Y_{kjs}}{D_{kj}}. \quad (۵)$$

$$s.t.$$

$$\sum_j \sum_s h_{kj} x_{kjs}^{i} \le Dh_{max},\ \forall i,k, \quad (۶)$$

$$\sum_k \sum_j \sum_s h_{kj} x_{kjs}^{i} \ge Mh_{min},\quad \forall i, \quad (۷)$$

$$\sum_k \sum_j \sum_s h_{kj} x_{kjs}^{i} \le Mh_{max},\ \forall i, \quad (۸)$$

$$\sum_i x_{kjs}^{i} = Y_{kjs},\quad \forall k,j,s, \quad (۹)$$

$$\sum_s x_{kjs}^{i} \le 1,\ \forall i,j,k, \quad (۱۰)$$

$$x_{kjs}^{i} \le RSL_{kjs}^{i},\ \forall i,k,j,s, \quad (۱۱)$$

$$\sum_{k=k_1}^{k_1+1} \sum_s x_{kjs}^{i} \le 1,\ \forall i,j \in 3, k_1 < K, \quad (۱۲)$$

$$\sum_k \sum_s x_{kjs}^{i} \le max_{night},\ \forall i,j \in 3, \quad (۱۳)$$

$$\sum_s x_{k(j\in 1)s}^{i} + \sum_s x_{k(j\in 3)s}^{i} \le 1,\ \forall i,k, \quad (۱۴)$$

$$\sum_s x_{k(j\in 2)s}^{i} + \sum_s x_{k(j\in 3)s}^{i} \le 1,\ \forall i,k, \quad (۱۵)$$

$$\sum_s x_{k(j\in 3)s}^{i} + \sum_s x_{(k+1)(j\in 1)s}^{i} \le 1,\quad \forall i,k < K, \quad (۱۶)$$

$$\sum_j \sum_s x_{kjs}^{i} \le 2,\ \forall i,k, \quad (۱۷)$$

$$O_k^i - \sum_s x_{k\ j\in 1)s}^{i} \le 0,\ \forall i,k, \quad (۱۸)$$

$$O_k^i - \sum_s x_{k\ j\in 2)s}^{i} \le 0,\ \forall i,k, \quad (۱۹)$$

$$O_k^i - \sum_s x_{k\ j\in 1)s}^{i} - \sum_s x_{k\ j\in 2)s}^{i} \ge -1,\ \forall i,k, \quad (۲۰)$$

$$\sum_s x_{k(j\in 1)s}^{i} + \sum_s x_{k(j\in 2)s}^{i} + \sum_j \sum_s x_{(k+1)js}^{i} + O_k^i \le 3,\ \forall i,k < K, \quad (۲۱)$$

$$F_k^i - \sum_s x_{k\ j\in 3)s}^{i} = 0,\ \forall i,k, \quad (۲۲)$$

$$\sum_s x^i_{k(j\in 3)s} + \sum_j \sum_s x^i_{(k+1)js} + F^i_k \le 2, \quad \forall\, i,k < K, \tag{۲۳}$$

$$\sum_{k=l}^{l+4} \sum_j \sum_s x^i_{ljs} \ge 1, \quad \forall\, i,k < K-4, \tag{۲۴}$$

$$\sum_i x^i_{kjs} \ge 1, \quad \forall\, j,s \in 1,k, \tag{۲۵}$$

$$\sum_s x^i_{kjs} - d^{1i}_{kj} = 0, \quad \forall i,k \in k_i, j \in j_{k_i}, \tag{۲۶}$$

$$\sum_{k=7k_1-6}^{7k_1} \sum_j \sum_s h_{kj} x^i_{kjs} + d^{2i}_{k_1} \ge Wh_{min}, \quad \forall i,k_1 \in LK, \tag{۲۷}$$

$$\sum_{k=7k_1-6}^{7k_1} \sum_j \sum_s h_{kj} x^i_{kjs} - d^{3i}_{k_1} \le Wh_{min}, \quad \forall i,k_1 \in LK, \tag{۲۸}$$

$$Y_{kjs} \ge RN_{kjs}, \qquad \forall\, k,j,s, \tag{۲۹}$$

$$d^{1i}_{kj}, d^{2i}_{k_1}, d^{3i}_{k_1}, \qquad Y_{kjs} \ge 0. \tag{۳۰}$$

$$x^i_{kjs}, O^i_k, F^i_k \in \{0,1\}. \tag{۳۱}$$

رابطه (۱) هزینه به‌کارگیری کادر درمانی و اختصاص پرسنل به سطح مهارت پایین‌تر از سطح مهارت واقعی خودشان را کمینه می‌کند. **رابطه (۲)** کمینه‌سازی مجموع انحرافات از روزها و شیفت‌هایی که پرسنل تمایل دارند به کار کردن تخصیص داده نشوند را نشان می‌دهد. **رابطه (۳)** به کمینه‌سازی میزان شیفت‌های صبح و عصر که پرسنل به‌صورت پیوسته به کار کردن تخصیص داده می‌شوند، می‌پردازد. **رابطه (۴)** تابع هدف چهارم مساله را نشان می‌دهد و شامل کمینه‌سازی مجموع انحرافات از کران‌های پایین و بالا بر روی کل تعداد ساعات کارشده توسط پرسنل در طی یک هفته، می‌باشد. **رابطه (۵)** بیشینه‌سازی سطح خدمات پرستاران را به بیماران حاضر در بیمارستان نشان می‌دهد. این رابطه کسری از تخصیص پرستاران به‌کل بیماران حاضر در هر شیفت کاری است. **رابطه (۶)** حداکثر تعداد ساعت‌های کاری که هر پرسنل می‌تواند در یک روز کار کند را نشان می‌دهد. **رابطه (۷)** و **(۸)** به ترتیب حداقل و حداکثر تعداد ساعت‌های کاری که هر پرسنل می‌تواند در یک دوره برنامه‌ریزی یک‌ماهه کار کند را نشان می‌دهد. **رابطه (۹)** تعداد کل پرستاران مورد نیز در هر سطح مهارت در هر شیفت از هر روز را نشان می‌دهد. **رابطه (۱۰)** تضمین می‌کند که هر پرستار در هر شیفت از هر روز نمی تواند در بیش از یک سطح مهارتی کار کند. **رابطه (۱۱)** تضمین می‌کند که هر پرستار می‌تواند در سطح مهارت واقعی خود یا در سطح مهارت پایین‌تر کار کند. **رابطه (۱۲)** نشان می‌دهد که شیفت پشت سرهم شبانه مجاز نیست. **رابطه (۱۳)** حداکثر تعداد نوبت‌های شبانه که هر پرستار در یک دوره برنامه‌ریزی یک ماه می‌تواند کار کند را نشان می‌دهد. **رابطه‌های (۱۷)-(۱۴)** نشان می‌دهد که شیفت صبح و شب یا شیفت عصر و شب در یک روز و همچنین شیفت شب در یک روز و شیفت صبح در روز بعد مجاز نیست، یعنی هر پرسنل نمی‌تواند بیشتر از ۱۲ ساعت در یک روز یا ۱۲ ساعت پشت سر هم کار کند. **رابطه‌های (۲۱)-(۱۸)** نشان می‌دهد که اگر یک پرستار در یک روز شیفت صبح و عصر پیوسته یا شیفت شب را کار کند روز بعد نباید مشغول به کار باشد. **رابطه‌های (۲۲)** و **(۲۳)** پرسنلی که در شیفت شب مشغول به کار بوده‌اند را نشان می‌دهد و تضمین می‌کند یک پرستار نمی‌تواند پس از شیفت شبانه در شیفت صبح روز بعدی کار کند. **رابطه (۲۴)** تضمین می‌کند هر پرسنل نمی‌تواند بیش از ۴ روز پشت سر هم غیبت داشته باشد. **رابطه (۲۵)** تضمین می‌کند در هر شیفت از هر روز باید حداقل یک پرسنل با بالاترین سطح مهارت وجود داشته باشد. **رابطه (۲۶)** نشان می‌دهد که هر پرستار تمایل دارد در روزها و شیفت‌هایی که از پیش تعیین کرده به کار کردن تخصیص نیابد. **رابطه‌های (۲۷)** و **(۲۸)** کران پایین و بالا بر روی مجموع ساعات کارشده توسط هر پرستار در طی یک هفته را نشان می‌دهد. **رابطه (۲۹)** تضمین می‌کند که تعداد پرستاران تخصیص‌یافته به هر شیفت کاری از برنامه زمان‌بندی ارایه شده کمتر نیست. **رابطه‌های (۳۰)** و **(۳۱)** نوع و جنس متغیرهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

با توجه به غیرقطعی بودن تعداد بیماران مراجعه‌کننده به بیمارستان در هر روز و شیفت کاری، این پارامتر به‌صورت غیرقطعی و بر اساس اعداد فازی مثلثی به شرح زیر در نظر گرفته شده است. مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی زیر را با پارامتر فازی در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} &Min\ Z = c^t x, \\ &s.t. \\ &x \in N(A,B) = \{x \in R^n | a_i x \ge b_i,\ i \in m,\ x \ge 0\}. \end{aligned} \tag{۳۲}$$

که در آن $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$، $A = [a_{ij}]_{m\times n}$، $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)^t$ پارامترهای فازی به‌کاررفته در تابع هدف مساله، ضریب برداری و پارامتر سمت راست محدودیت می‌باشد. تابع توزیع احتمالی پارامترهای فازی بر اساس ویژگی‌های اعداد فازی فرض شده است. درنهایت $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ بردار تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد. برای امکان‌پذیری و بهینه‌سازی مساله ارایه شده در مدل فوق، نیاز به

کنترل پارامتر غیرقطعی ارایه شده در تابع هدف می‌باشد. ازاین‌رو با فرض در نظر گرفتن پارامتر β به‌عنوان حداقل درجه شدنی بودن محدودیت‌ها، مدل کنترل‌شده به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Min\ Z = EV\ c)x,$$
$$s.t. \quad \left[\left(1-\beta\right)E_2^{a_i} + \beta E_1^{a_i}\right]x \geq \left(1-\beta\right)E_1^{b_i} + \beta E_2^{b_i}, i \in m. \qquad (۳۳)$$

که در رابطه فوق $EV(c)$ ارزش مورد انتظار عدد فازی به‌کاررفته در تابع هدف مدل است که به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$EV\ c) = \frac{E_1^c + E_2^c}{2}. \qquad (۳۴)$$

۴- روش حل و شاخص‌های مقایسه

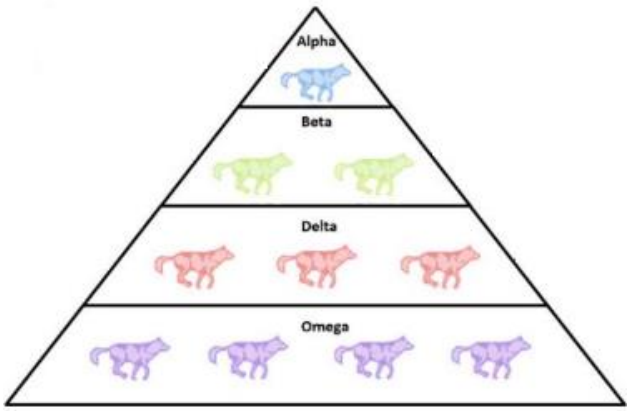
پس از ارایه مدل ریاضی مساله چندهدفه زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران، در این بخش به ارایه روش حل مورداستفاده در مقاله و همچنین الگوریتم گرگ خاکستری پرداخته شده است. لذا با توجه به چند تابع هدف بودن مدل ریاضی توسعه داده‌شده، جهت یافتن جبهه پارتو و جواب‌های کارا بایستی از روش اپسیلون محدودیت برای مساله نمونه سایز کوچک و الگوریتم گرگ خاکستری برای مساله سایز بزرگ‌تر استفاده شده است. در ادامه به تشریح هر یک از روش‌های حل و همچنین کروموزوم اولیه الگوریتم فرا ابتکاری پرداخته شده است.

۴-۱- روش اپسیلون محدودیت

روش محدودیت اپسیلون یکی از رویکردهای شناخته‌شده برای مواجه با مسایل چندهدفه می‌باشد که به انتقال تمامی توابع هدف به‌جز یکی از آن‌ها در هر مرحله، به حل این نوع مسایل می‌پردازد. یکی از مزیت‌های عمده این روش، این است که می‌توان تعداد جواب‌های تولیدشده و بازه‌ها را با توجه به معیارهای تصمیم‌گیرنده تحت کنترل درآورد. در این مساله برای حل مساله در سایز کوچک از این روش استفاده شده است.

۴-۲- الگوریتم گرگ خاکستری

گرگ خاکستری (*Canis Iupus*) متعلق به خانواده (*Candidae*) است. گرگ‌های خاکستری شکارچیان در راس هرم غذایی می‌باشند، به این معنی که آن‌ها در راس زنجیره غذایی می‌باشند. گرگ‌های خاکستری عمدتا ترجیح می‌دهند تابع طور گروهی زندگی کنند. اندازه گروه به‌طور متوسط ۵-۱۲ گرگ است. گرگ‌ها دارای یک سلسله‌مراتب غالب اجتماعی بسیار دقیق و منظمی می‌باشند که در **شکل ۱** نشان داده شده است (میرجلیلی و لویس[1]، ۲۰۱۴).



شکل ۱- سلسله‌مراتب اجتماعی گرگ خاکستری.

Figure 1- Social hierarchy of the gray wolf.

[1] Mirjalili and Lewis

رهبران شامل یک نر و یک ماده می‌باشند که به آن‌ها *Alpha* گفته می‌شود. *Alpha* مسئول اصلی تصمیم‌گیری‌ها در مورد شکار، محل خواب، زمان بیدار شدن و ... است. تصمیمات *Alpha* به گروه اعلام می‌شود؛ بااین‌حال برخی از رفتارهای دموکراتیک نیز مشاهده‌شده است که در آن‌یک *Alpha* از سایر گرگ‌ها در گروه تبعیت می‌کند. در اجتماعات، کل گله با پایین نگه‌داشتن خود، *Alpha* را تایید می‌کنند. گرگ *Alpha* مرسوم به گرگ غالب نیز است، زیرا دستورات رو باید توسط گروه اجرا شود. گرگ‌های *Alpha* تنها مجاز به جفت‌گیری در گله می‌باشند. نکته قابل‌توجه این است که *Alpha* لزوما قوی‌ترین عضو گله نیست، بلکه بهترین عضو ازنظر مدیریت در گله است. دومین سطح در سلسله‌مراتب گرگ‌های خاکستری *Beta* است. *Beta* گرگ‌های زیردستی هستند که به *Alpha* در تصمیم‌گیری یا سایر تصمیمات گله کمک می‌کنند. گرگ *Beta* می‌تواند نر یا ماده باشد و او بهترین جایگزین *Alpha* در صورت مرگ یا پیر شدن او است. *Beta* دستورات و فرمان‌های *Alpha* را در سراسر گله اجرا کرده و بازخوردها را به *Alpha* می‌دهد. گرگ *Omega* پایین‌ترین طبقه در سلسله‌مراتب گرگ خاکستری است. گرگ *Omega* نقش قربانی را ایفا می‌کند. معمولا گرگ‌های *Omega* باید از همه گرگ‌های سطح بالا و غالب پیروی کنند. آن‌ها آخرین گرگ‌هایی هستند که اجازه غذا خوردن دارند. درصورتی‌که گرگ یک *Alpha* یا *Omega* نباشد، به او *Delta* می‌گویند. گرگ‌های *Delta* باید تابع *Alpha* و *Beta* باشند. بااین‌حال آن‌ها بر *Omega* غالب هستند.

در این مقاله، به بررسی رفتار روند شکار گرگ‌های خاکستری برای حل مساله زمان‌بندی پرستاران پرداخته شده است. هنگام طراحی الگوریتم گرگ خاکستری، به‌منظور مدل‌سازی ریاضی سلسله‌مراتب اجتماعی گرگ‌ها، *Alpha* (α) به‌عنوان مناسب‌ترین راه‌حل در نظر گرفته می‌شود. متعاقبا *Beta* (β) و *Delta* (δ) دومین و سومین راه‌حل‌های مناسب هستند. بقیه راه‌حل‌های کاندید به‌صورت *Omega* (x) فرض می‌شوند. برای انجام شکار، گرگ‌های خاکستری باید طعمه را پیدا و محاصره کنند. لذا معادلات زیر موقعیت‌های گرگ‌ها را در اطراف طعمه به‌روز می‌کند (میرجلیلی و همکاران[1]، ۲۰۱۶):

$$\vec{D} = \left|\vec{C}.\vec{X}_p\ t) - \vec{X}\ t)\right|, \quad (۳۵)$$

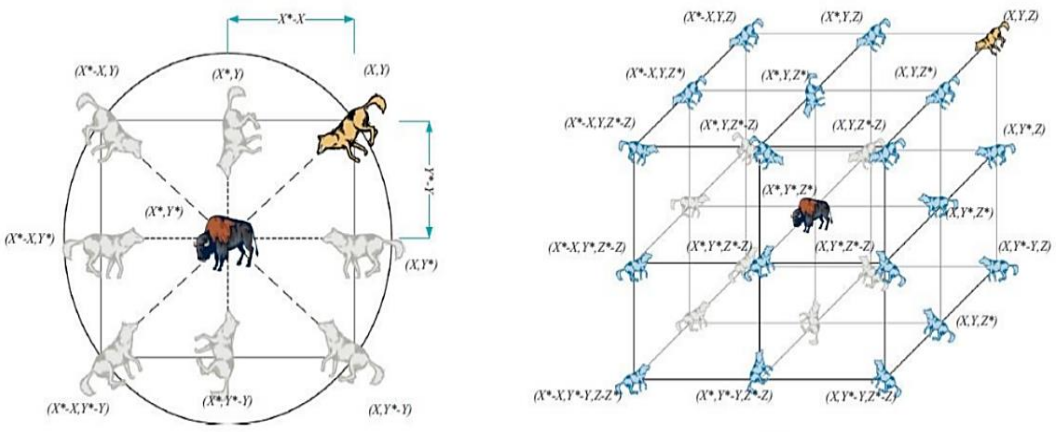
$$\vec{X}\ t+1) = \vec{X}\ t) - \vec{A}.\vec{D}. \quad (۳۶)$$

در رابطه‌ها فوق $\vec{C}$ و $\vec{A}$ بردارهای ضرایب هستند. $\vec{X}_p$ بردار موقعیت شکار و $\vec{X}$ بردار موقعیت گرگ‌های خاکستری است. این‌یک معادله تعادلی بین محاصره و شکار است؛ بنابراین شعاع جستجو باید طی فرایند بهینه‌سازی شود، برای این منظور معادلات مربوط به دو ضریب استفاده‌شده در رابطه‌ها فوق به شرح زیر است:

$$\vec{A} = 2\vec{a}.\vec{r_1} - \vec{a}, \quad (۳۷)$$

$$\vec{C} = 2\vec{r_2}. \quad (۳۸)$$

معادلات فوق، گرگ‌های خاکستری را قادر می‌سازد موقعیت خود را در اطراف طعمه به‌روز کنند، این فرایند در **شکل ۲** نشان داده شده است.



شکل ۲- روند محاصره و شکار در الگوریتم گرگ خاکستری.

Figure 2- The process of encirclement and hunting in the gray wolf algorithm.

[1] Mirjalili et al.

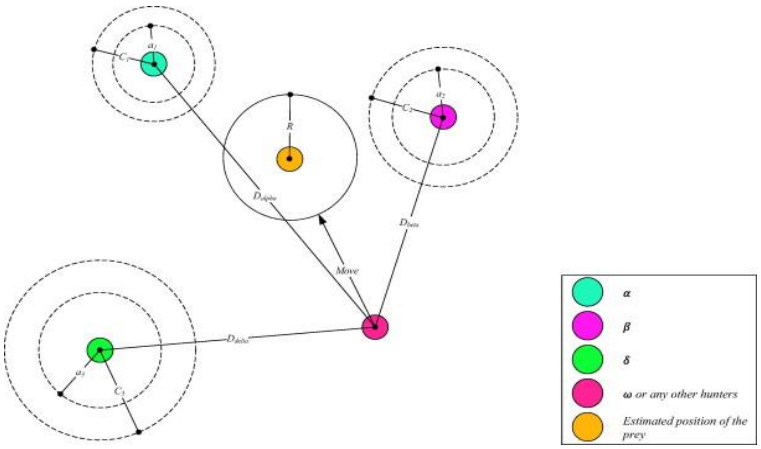
درنتیجه برای انجام شکار، معادلات زیر استفاده می‌شود:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1.\vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2.\vec{X}_\beta - \vec{X}|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_1.\vec{X}_\delta - \vec{X}|, \quad (۳۹)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1.\vec{D}_\alpha, \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2.\vec{D}_\beta, \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3.\vec{D}_\delta, \quad (۴۰)$$

$$\vec{X}\ t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3}. \quad (۴۱)$$

شکل ۳ شیوه به‌روزرسانی موقعیت عامل جستجو را بر اساس *Alpha*، *Beta* و *Delta* در موقعیت‌های جستجوی دوبعدی نشان می‌دهد (میرجلیلی و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۳- شیوه به‌روزرسانی موقعیت عامل جستجو.

Figure 3- How to update the position of the search agent.

۳-۴- طراحی کروموزوم اولیه

مهم‌ترین بخش در طراحی و به‌کارگیری الگوریتم در حل مساله، نحوه تعریف متغیرهای مساله تحت عنوان کروموزوم مساله هست. در این بخش به طراحی کروموزوم اولیه مساله زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران در بیمارستان پرداخته شده است. با توجه به مفروضات مدل در این مقاله سه نوع پرسنل (پرستار A، بهیار B و کمک بهیار C) در نظر گرفته شده است که بایستی طبق برنامه از قبل تعریف‌شده در شیف های کاری حضور داشته باشند. ازاین‌رو برای تعریف کروموزوم اولیه و همچنین رمزگشایی آن‌یک برنامه زمان‌بندی با ۴ پرسنل نوع A، ۳ پرسنل نوع B و دو پرسنل نوع C برای ۳ روز کاری در نظر گرفته شده است. **جدول ۲** اطلاعات اولیه و کروموزوم اولیه مساله زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران را نشان می‌دهد.

جدول ۲- کروموزوم اولیه مساله زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران.

Table 2- The initial chromosome of the nursing shift scheduling problem.

روز	تخصیص پرسنل	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	C1	C2
روز ۱	پرسنل نوع A	2	4	3	1	-	-	-	-	-
روز ۲		4	1	3	2	-	-	-	-	-
روز ۳		1	3	2	4	-	-	-	-	-
روز ۱	پرسنل نوع A و B	3	1	4	5	2	6	7	-	-
روز ۲		5	2	7	3	6	4	1	-	-
روز ۳		3	2	1	4	5	4	2	-	-
روز ۱	پرسنل نوع A و B و C	2	3	1	8	9	4	6	7	5
روز ۲		4	3	5	7	9	1	8	6	2
روز ۳		5	7	6	2	9	4	3	8	1

		شیفت ۱			شیفت ۲			شیفت ۳	
روز ۱	1 C	1 B	-	1 C	-	1 A	-	2 B	1 A
روز ۲	1 C	-	1 A	-	1 B	-	1 C	-	1 A
روز ۳	-	-	1 A	1 C	1 B	1 A	1 C	1 B	-

بر اساس **جدول ۲** کروموزوم اولیه جایگشتی از تعداد پرسنل نوع *A*، *B* و *C* در هر روز می‌باشد. همچنین در **جدول ۲** تعداد پرسنل موردنیاز در هر روز و در هر شیفت کاری نیز نشان داده شده است. در ادامه گام‌های رمزگشایی کروموزوم اولیه نشان داده شده است.

گام ۱- برای رمزگشایی مساله ابتدا تخصیص پرسنل نوع *A* و از شیفت سوم صورت می‌پذیرد. ازاین‌رو با در نظر گرفتن مفروضات مربوط به مساله، بالاترین اولویت کروموزوم اولیه در روز اول انتخاب و تخصیص پرسنل به شیفت سوم صورت می‌پذیرد. با توجه به اولویت تصادفی ایجادشده در **جدول ۲**، پرسنل *A2* به‌عنوان اولین پرسنل به روز اول و شیفت سوم تخصیص یافته است. در این صورت با توجه به عدم تخصیص کارکنان *A2* در روز دوم (مفروضات مساله) اولویت‌های مربوط به پرسنل *A2* در روز دوم به صفر کاهش می‌یابد. پس از تخصیص پرسنل در شیف سوم، به تخصیص پرسنل نوع *A* در شیفت دوم و اول پرداخته خواهد شد. **جدول ۳** تخصیص پرسنل نوع *A* را با توجه به مفروضات مساله بر اساس کروموزوم **جدول ۲** نشان می‌دهد.

جدول ۳- تخصیص پرسنل نوع A بر اساس رمزگشایی کروموزوم اولیه.

Table 3- Assignment of type a personnel based on primary chromosome decoding.

تخصیص پرسنل	A1	A2	A3	A4	شیفت ۳
روز ۱	2	4	3	1	A2
روز ۲	4	0	3	2	A1
روز ۳	0	3	2	4	-

تخصیص پرسنل	A1	A2	A3	A4	شیفت ۲
روز ۱	2	0	3	1	A3
روز ۲	0	0	3	2	-
روز ۳	0	3	2	4	A4

تخصیص پرسنل	A1	A2	A3	A4	شیفت ۱
روز ۱	2	0	0	1	-
روز ۲	0	0	3	2	A3
روز ۳	0	3	2	0	A2

	شیفت ۱	شیفت ۲	شیفت ۳
روز ۱	-	A3	A2
روز ۲	A3	-	A1
روز ۳	A2	A4	-

گام ۲- پس از تخصیص پرسنل نوع *A* در هر شیفت و در هر روز، به تخصیص پرسنل نوع *B* و از شیفت سوم پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه پرسنل نوع *A* توانایی انجام فعالیت‌های پرسنل نوع *B* را دارد لذا کروموزوم بخش دوم ترکیبی از پرسنل نوع *A* و *B* می‌باشد. برای مثال پرسنل *A1* و *A4* به همراه پرسنل *B1*، *B2* و *B3* می‌تواند به‌عنوان پرسنل نوع *B* تخصیص پیدا کند. **جدول ۴** تخصیص پرسنل نوع *B* را با توجه به مفروضات مساله بر اساس کروموزوم **جدول ۲** و اصلاح‌شده **جدول ۳** نشان می‌دهد.

جدول ۴- تخصیص پرسنل نوع A و B بر اساس رمزگشایی کروموزوم اولیه.

Table 4- Allocation of type A and B personnel based on primary chromosome decoding.

شیفت ۳	B3	B2	B1	A4	A3	A2	A1	تخصیص پرسنل
B2-B3	7	6	2	5	0	0	3	روز ۱
-	0	0	6	3	0	0	0	روز ۲
B1	2	4	5	0	1	0	0	روز ۳

شیفت ۲	B3	B2	B1	A4	A3	A2	A1	تخصیص پرسنل
-	0	0	2	5	0	0	3	روز ۱
B1	0	0	6	3	0	0	0	روز ۲
B2	2	4	0	0	1	0	0	روز ۳

شیفت ۱	B3	B2	B1	A4	A3	A2	A1	تخصیص پرسنل
A4	0	0	2	5	0	0	3	روز ۱
-	0	0	0	3	0	0	0	روز ۲
-	2	4	0	0	1	0	0	روز ۳

شیفت ۳	شیفت ۲		شیفت ۱		
A2	B2-B3	-	A3	-	A4	روز ۱
A1	-	-	B1	-	A3	روز ۲
-	B1	-	A4	-	A2	روز ۳

گام ۳- پس از تخصیص پرسنل نوع A و B در هر شیفت و در هر روز، به تخصیص پرسنل نوع C و از شیفت سوم پرداخته می شود. با توجه به اینکه پرسنل نوع A توانایی انجام فعالیت‌های پرسنل نوع B و C و همچنین پرسنل نوع B توانایی انجام فعالیت‌های پرسنل نوع C را دارد لذا کروموزوم بخش سوم ترکیبی از پرسنل نوع A و B و C می‌باشد. **جدول ۵** تخصیص پرسنل نوع C را با توجه به مفروضات مساله بر اساس کروموزوم **جدول ۲** و اصلاح‌شده **جدول ۳** و **۴** نشان می‌دهد.

رمزگشایی **جدول ۵** بایستی بر اساس مفروضات زیر در هر مرحله به‌روزرسانی و اصلاح شود:

۱. درصورتی‌که پرسنل در شیفت سوم مشغول به کار باشد، روز بعد نبایستی مشغول به کار باشد.
۲. محدودیت تعداد شیفت سوم برای پرسنل وجود دارد.
۳. درصورتی‌که ساعات کاری هر پرسنل از حد مجاز گشته باشد، به هیچ شیفت دیگری نباید تخصیص یابد.
۴. در هر روز هر پرسنل تنها در یک مهارت می‌تواند مشغول به کار باشد.
۵. درصورتی‌که پرسنل در شیفت اول و دوم مشغول به کار باشد، از کار در شیفت سوم و روز بعد معاف است.

جدول ۵- تخصیص پرسنل نوع A، B و C بر اساس رمزگشایی کروموزوم اولیه.

Table 5- Allocation of type A, B and C personnel based on primary chromosome decoding.

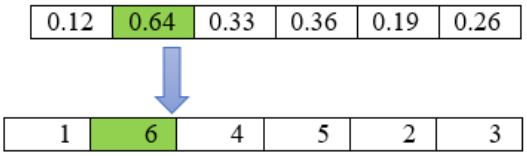
تخصیص پرسنل	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	C1	C2	شیفت ۳
روز ۱	0	0	0	0	9	0	0	7	5	-
روز ۲	0	0	0	0	0	0	0	6	2	C1
روز ۳	0	0	6	0	0	4	3	0	1	A3

تخصیص پرسنل	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	C1	C2	شیفت ۲
روز ۱	2	0	0	0	9	0	0	7	5	B1
روز ۲	0	0	0	7	0	1	8	0	2	-
روز ۳	0	7	0	0	0	4	3	0	1	A2

تخصیص پرسنل	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	C1	C2	شیفت ۱
روز ۱	2	3	0	0	0	0	0	7	5	C1
روز ۲	0	0	0	7	0	0	0	0	2	A4
روز ۳	0	0	0	2	0	4	3	0	1	-

	شیفت ۱			شیفت ۲				شیفت ۳
روز ۱	C1	A4	-	B1	-	A3	-	B2-B3	A2
روز ۲	A4	-	A3	-	B1	-	C1	-	A1
روز ۳	-	-	A2	A2	-	A4	A3	B1	-

با توجه به پیوسته بودن فضای جواب الگوریتم گرگ خاکستری و همچنین گسسته بودن فضای جواب کروموزوم اولیه، در هر مرحله از تکرار الگوریتم امکان ایجاد جواب ناممکن وجود دارد. لذا با استفاده از مکانیسم زیر، جواب‌های پیوسته ایجادشده در هر تکرار از الگوریتم به جواب گسسته تبدیل می‌گردد. در **شکل ۴** نحوه تبدیل فضای پیوسته جواب به فضای گسسته نشان داده شده است. در این مکانیسم، بزرگ‌ترین عدد پیوسته شناسایی و شماره خانه مربوط به آن به بالاترین اولویت فضای گسسته تبدیل می‌گردد. سپس بزرگ‌ترین عدد بعدی در فضای پیوسته انتخاب و بالاترین اولویت فضای گسسته به شماره آن خانه تخصیص می‌یابد. این عمل تا زمان تبدیل آخرین عدد پیوسته به گسسته ادامه می‌یابد.



شکل ۴- مکانیسم تبدیل فضای پیوسته به گسسته.

Figure 4- Mechanism of continuous to discrete space conversion.

۵-۴- تنظیم پارامتر الگوریتم‌های فرا ابتکاری

یک تصمیم‌گیری مهم هنگام اجرای الگوریتم‌های فرا ابتکاری تنظیم پارامترها و یافتن یک ترکیب بهینه از آن‌ها است. مقادیر پارامترهای ورودی این الگوریتم‌ها تاثیر زیادی روی عملکرد و کارایی آن‌ها دارد به‌طوری‌که ممکن است یک تغییر کوچک در آن‌ها کیفیت حل

را خیلی زیاد تحت تاثیر قرار دهد. به‌طور سنتی تنظیم پارامترها به روش کار آزمایش و خطا متکی است. به‌هرحال، این روش نمی‌تواند مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم‌های فرا ابتکاری را تعیین و آن‌ها را به‌درستی تنظیم کند به‌طوری‌که زمان قابل‌ملاحظه‌ای را صرف می‌کند. به‌منظور افزایش کارایی این الگوریتم‌ها در یک‌زمان قابل‌قبول نیازمند آن هستیم که به تعیین دقیق پارامترها بپردازیم به‌طوری‌که کیفیت حل‌ها افزایش یابد. دکتر جینچی تاگوچی به‌عنوان اولین ارایه‌دهنده روش طراحی پارامتر، یک روش مهندسی به‌منظور طراحی محصول یا فرایند ارایه نمود که هدف آن کمینه‌سازی تغییرات عوامل اغتشاش بود. در یک طراحی پارامتر کارا هدف اول شناسایی و تنظیم فاکتورهایی است که تغییرات متغیر پاسخ را به حداقل می‌رسانند و هدف بعدی شناسایی فاکتورهای قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل می‌باشد. هدف نهایی این روش پیدا کردن ترکیب بهینه مقدار فاکتورهای قابل‌کنترل می‌باشد. روش تعریف و بررسی تمامی شرایط ممکن در یک آزمایش شامل چند فاکتور طراحی آزمایش‌ها نامیده می‌شود. این روش در بعضی نشریات طراحی فاکتوریلی نامیده می‌شود. چندین روش در ادبیات برای این هدف پیشنهاد شده است. در پژوهش روش‌شناسی تاگوچی از طریق طراحی آزمایش‌ها بکار گرفته شده است تا تمامی ترکیب‌های بهینه از فاکتورهای (پارامترهای الگوریتم) پیشنهادی کسب شود.

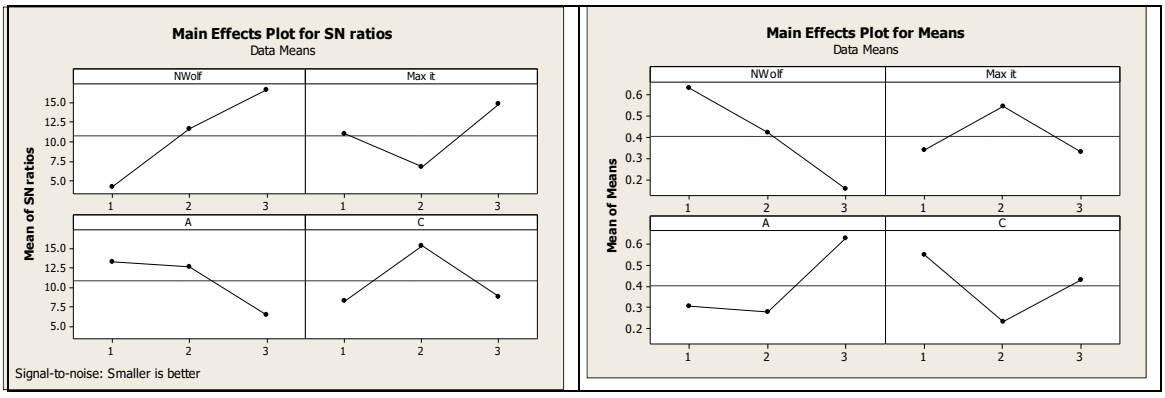
درروش تاگوچی، در ابتدا باید فاکتورهای مناسب را شناسایی و سپس سطوح هر یک از فاکتورها را انتخاب و در ادامه باید طرح آزمایش مناسب را برای این فاکتورهای کنترل مشخص شود. پس از مشخص شدن طرح آزمایش، آزمایش‌ها را انجام داده و با هدف پیدا کردن بهترین ترکیب پارامترها، آزمایش‌ها را تحلیل می‌شود. در این تحقیق، برای هر فاکتور ۳ سطح در نظر گرفته شده است. برای هر الگوریتم، با توجه به تعداد فاکتورها و تعداد سطوح آن‌ها به تعیین طراحی آزمایش و اجرای آن‌ها پرداخته شده است. قابل‌ذکر است هریک از آزمایش‌ها را به‌طور متوسط ۵ مرتبه تکرار شده و متوسط مقادیر به‌دست‌آمده را موردبررسی نهایی قرار داده شده است. **جدول ٦** سطوح پارامترهای پیشنهادی الگوریتم گرگ خاکستری و همچنین مقدار بهینه آن را بر اساس تنظیم پارامتر به روش تاگوچی نشان می‌دهد.

جدول ۶- سطوح پارامتر پیشنهادی برای تنظیم پارامتر الگوریتم گرگ خاکستری به روش تاگوچی.

Table 6- Suggested parameter levels for parameter setting of gray wolf algorithm by Taguchi method.

پارامتر	نماد	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	مقدار بهینه
حداکثر تعداد تکرار	NWolf	50	100	200	50
تعداد جمعیت	Max it	50	100	200	100
نرخ ترکیب	A	1	2	4	4
نرخ جهش	C	1	2	4	1

شکل ۵ نمودار متوسط نسبت *S/N* و متوسط میانگین را برای الگوریتم گرگ خاکستری نشان می‌دهد. مطابق با روش تاگوچی، بیشترین مقدار معیار *SN*، ملاک انتخاب مقادیر پارامترها می‌باشد.



شکل ۵- نمودار متوسط نسبت S/N و متوسط میانگین‌ها در الگوریتم گرگ خاکستری.

Figure 5- The graph of the average S/N ratio and average averages in the gray wolf algorithm.

مطابق با نتایج قابل‌مشاهده از **شکل ۵**، درصورتی‌که مقدار حداکثر تعداد تکرار در سطح ۲، تعداد گرگ‌های خاکستری در سطح ۱، ضریب *A* و *C* در سطح ۳ و ۱ قرار بگیرد، الگوریتم گرگ خاکستری بیشترین کارایی را در حل مساله در سایز بزرگ خواهد داشت.

۵- تجزیه‌وتحلیل نتایج

در این بخش به منظور بررسی مساله چندهدفه زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران با در نظر گرفتن ارگونومی یک مثال در سایز کوچک برای بیمارستان شهید لبافی نژاد در نظر گرفته شده است. بیمارستان شهید دکتر لبافی نژاد به دنبال بازگشائی دانشگاه‌ها متعاقب انقلاب فرهنگی در سال ۱۳۶۰ شروع به کار نمود و به‌تدریج با فراهم شدن امکانات و تجهیزات به روند رو به رشد خود ادامه داد و با جذب نیروهای پزشکی متعهد و متخصص که به دنبال پیروزی انقلاب اسلامی جهت خدمت به کشور بازگشته بودند و به‌کارگیری آن‌ها فعالیت جدی خود را آغاز نمود. هم‌زمان با راه‌اندازی بیمارستان مقدمات الحاق آن به سیستم آموزشی نیز فراهم شد. ابتدا این مرکز جزو مجتمع آموزشی وزارت بهداری بود و سپس به دانشکده طالقانی و متعاقبا به دانشکده پزشکی قدس ملحق شد و نهایتا به دنبال تشکیل وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی به‌عنوان یکی از بیمارستان‌های آموزشی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی درآمد. در حال حاضر این مرکز از بیمارستان‌های سازمان تامین اجتماعی بشمار می‌رود ولی ازنظر آموزشی زیر نظر دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی می‌باشد. تمام بخش‌های بیمارستان، ازنظر آموزشی مورد تایید دبیرخانه شورای پزشکی و تخصصی قرار گرفته است و دستیار تخصصی و فوق تخصصی و تحصیلات تکمیلی و کارآموز و کارورز و به عبارتی تمام رده‌های فراگیر در این مرکز مشغول آموزش هستند. تعداد کل پرستاران (اعم از پرستار، بهیار و کمک بهیار) در بخش موردمطالعه بیمارستان شهید لبافی نژاد ۱۸ نفر است که در سه شیفت در طول ۲۴ ساعت کار می‌کنند. طول شیفت صبح و عصر هرکدام ۶ ساعت و طول شیفت شب ۱۲ ساعت می باشد. کل پرستاران به ۳ سطح مهارتی با عنوان‌های پرستار، بهیار و کمک بهیار تقسیم می‌شوند. سطح مهارت پرستار بالاترین سطح مهارت و سطح مهارت کمک بهیار پایین‌ترین سطح مهارت می‌باشد. در این بررسی به کلیه این ۳ سطح مهارتی با توجه به عرف بیمارستان پرستار اطلاق شده و در مواقعی که لازم است سطح مهارت به‌صورت دقیق مشخص‌شده است. ویژگی‌های کلی مساله در **جدول ۷** و ویژگی‌های کارکنان و تعداد موردنیاز از هر پرستار در سطوح مختلف مهارتی در یک بخش ۱۸ نفری در **جداول ۸** و **۹** برای بیمارستان شهید لبافی نژاد ارایه شده است.

جدول ۷- داده‌های موردنیاز برای مساله سایز کوچک.

Table 7- Required data for the small size problem.

افق برنامه‌ریزی	۳۰ روز
طول زمانی هر شیفت	(شیفت صبح و ظهر ۶ ساعت و شیفت شب ۱۲ ساعت)
حداکثر ساعات کاری مجاز برای هر نیروی کار در طی یک روز	۱۲ ساعت
حداقل ساعات کاری موردنیاز برای هر نیروی کار در یک هفته	۳۵ ساعت
حداکثر ساعات کاری مجاز برای هر نیروی کار در یک هفته	۴۲ ساعت
حداقل ساعات کاری موردنیاز برای هر نیروی کار در طی ماه	۱۰۰ ساعت
حداکثر ساعات کاری مجاز برای هر نیروی کار در طی ماه	۱۸۰ ساعت
ضریب جریمه برای تخصیص هر نیروی کار در سطح مهارت پایین‌تر	۱۵ تا ۲۰ واحد پولی
هزینه ثابت به‌کارگیری پرستاران	۱۰۰۰ واحد پولی
حداکثر مجاز شیفت شب در یک دوره برنامه‌ریزی	۱۵ شیفت

جدول ۸ - ویژگی‌های کارکنان در یک بخش ۱۸ نفری.

Table 8- Characteristics of employees in a department of 18 people.

شماره کارکنان	سطح مهارت واقعی	روزهای ترجیح داده برای مرخصی	شماره کارکنان	سطح مهارت واقعی	روزهای ترجیح داده برای مرخصی
1	پرستار	–	10	پرستار	-
2	پرستار	29	11	پرستار	7,14
3	پرستار	28,29		بهیار	1,2,3,4
4	پرستار	-	13	بهیار	22
5	پرستار	-	14	بهیار	19,20,21,22
6	پرستار	24,25,26	15	بهیار	-
7	پرستار	9,10,11,12	16	بهیار	-
8	پرستار	26	17	کمک بهیار	-
9	پرستار	16,17,18	18	کمک بهیار	-

جدول ۹- حداقل تعداد موردنیاز از هر سطح مهارتی کارکنان در هر شیفت از هر روز در دوره برنامه‌ریزی در یک بخش ۱۸ نفری.

Table 9- The minimum required number of each skill level of employees in each shift of each day in the planning period in a department of 18 people.

روز	شیفت	پرستار	بهیار	کمک بهیار
	صبح	3	0	1
1,2,15,28	ظهر	2	1	1
	شب	2	1	0
	صبح	2	1	0
6,10,13,20,22,27	ظهر	2	1	0
	شب	2	1	0
3,4,5,7,8,9,11,12	صبح	4	0	1
14,16,17,18,19,21	ظهر	2	1	1
23,24,25,26,29,30,31	شب	2	1	0

با توجه به روش اپسیلون محدودیت، برای دستیابی به جواب‌های کارا و تشکیل جبهه پارتو، تابع هدف دوم به‌عنوان تابع هدف اصلی و سایر توابع هدف به‌عنوان قیود در نظر گرفته شده است. ازاین‌رو جدول دریافت و همچنین جواب‌های کارای مساله در سایز کوچک به ترتیب در **جداول ۱۰** و **۱۱** ارایه شده است.

جدول ۱۰- بهترین و بدترین مقادیر توابع هدف مساله به روش بهینه‌سازی انفرادی.

Table 10- The best and worst values of the objective functions of the problem by individual optimization method.

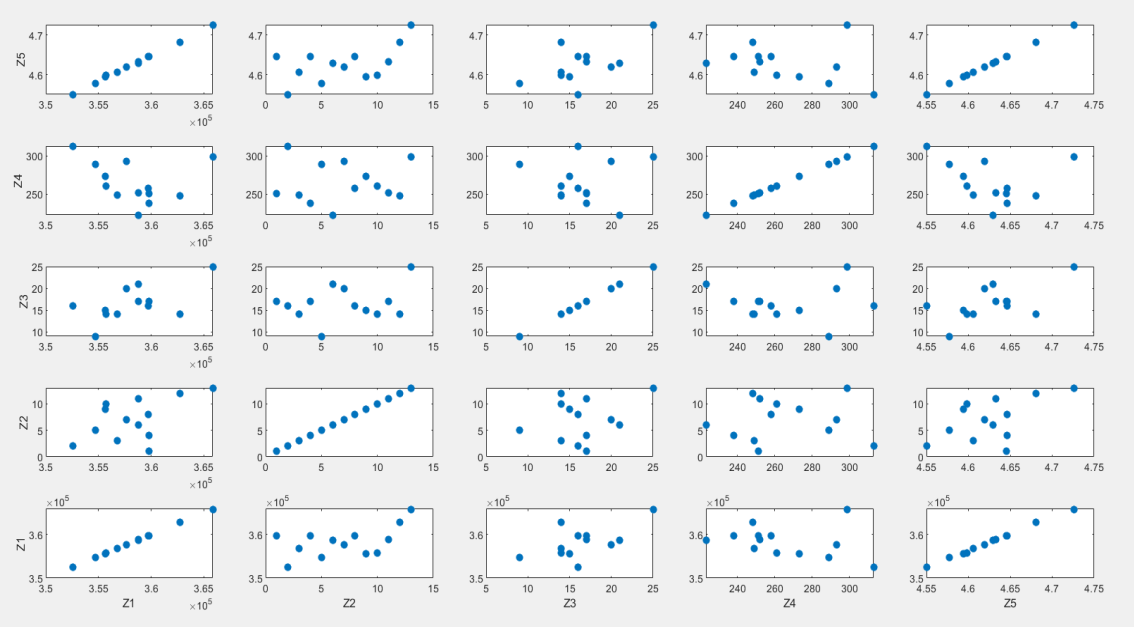
جدول دریافت	مقدار تابع اول	مقدار تابع دوم	مقدار تابع سوم	مقدار تابع چهارم	مقدار تابع پنجم
تابع هدف اول	339895	360657	346643	386630	454817
تابع هدف دوم	8	0	10	11	9
تابع هدف سوم	29	16	0	24	60
تابع هدف چهارم	371	287	319	0	42
تابع هدف پنجم	4.397	4.664	4.473	4.994	6.006

جدول ۱۱- مجموعه جواب‌های کارای حاصل از حل مساله در سایز کوچک.

Table 11- The set of efficient solutions resulting from solving the problem in a small size.

جواب کارا	مقدار تابع اول	مقدار تابع دوم	مقدار تابع سوم	مقدار تابع چهارم	مقدار تابع پنجم
1	359791	1	17	251	4.645
2	352577	2	16	313	4.55
3	356764	3	14	249	4.606
4	359770	4	17	238	4.646
5	354731	5	9	289	4.577
6	358773	6	21	223	4.629
7	357649	7	20	293	4.619
8	359697	8	16	258	4.646
9	355636	9	15	273	4.594
10	355740	10	14	261	4.598
11	358801	11	17	252	4.633
12	362741	12	14	248	4.681
13	365840	13	25	299	4.726

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، ۱۳ جواب کارا در مساله نمونه سایز کوچک حاصل‌شده است که با تحلیل **جدول ۱۱** و همچنین تحلیل **شکل ۶** مشاهده می‌گردد با افزایش تعداد کادر بیمارستان، هزینه‌های ناشی از به‌کارگیری کادر درمانی افزایش و در قبال آن سطح خدمات‌رسانی به بیماران نیز افزایش‌یافته است. **شکل ۵** جبهه پارتو حاصل از حل مساله سایز کوچک را نشان می‌دهد.



شکل ۶- نمودار متوسط نسبت S/N و متوسط میانگین‌ها در الگوریتم گرگ خاکستری.

Figure 6- The graph of the average S/N ratio and average averages in the gray wolf algorithm.

بر اساس روش اپسیلون محدودیت، ۱۷ جواب کارا به‌دست‌آمده است که در ادامه به بررسی زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران بر اساس اولین جواب کارای به‌دست‌آمده پرداخته شده است. ازاین‌رو می‌توان زمان‌بندی شیف کاری مساله موردبررسی را بر اساس اولین جواب کارا به‌صورت **جدول ۱۲** نشان داد.

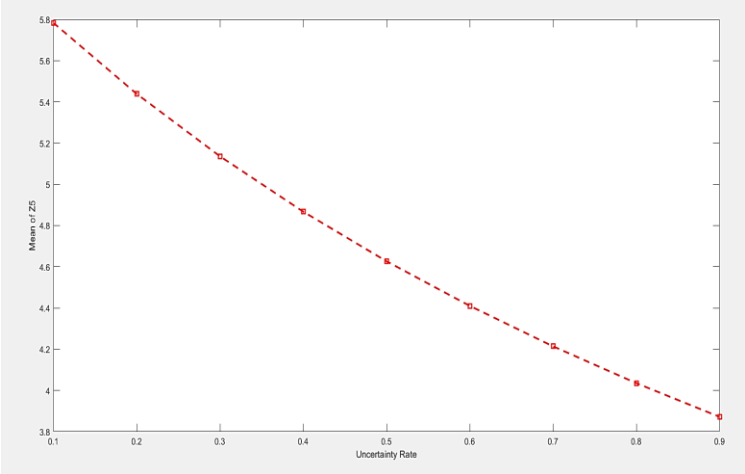
جدول ۱۲- زمان‌بندی شیفت کاری مساله نمونه کوچک.

Table 12- Timing of the work shift of the small sample problem.

روز	شیفت صبح			شیفت ظهر			شیفت شب		
	پرستار	بهیار	کمک بهیار	پرستار	بهیار	کمک بهیار	پرستار	بهیار	کمک بهیار
1	9-10-5		14	11-8	16	17	2-1	6	18
2	9-11-4		16	10-5	13-15		8-3	12	
3	11-6-5-4		17	4-1	13-14	18	7-2	16	
4	9-10-6-1		13	10-4-3	12	13-17	11-8	15	18
5	9-6-4-3		17	7-2	14	16	5-1	12	
6	7-3	14		11-8	16		6-4	15	
7	8-7-3-2		12	9-3	11	17	10-1	13	
8	11-7-6-4		17	11-8	16	18	9-2	12	
9	10-8-6-5		17	7-4	13	16	3-1	14	
10	7-5	15-12	18	11-4	16-12		9-10	13	
11	4-6-7-8		18	5-3	14	17	2-1	15	
12	5-6-8-9		17	9	14	18	11-3	12	
13	10-6-5	15		6-4-2	13		8-1	14	
14	11-10-7-6-5		12	9-2	5	15	4-3	13-16	
15	10-6-1		18	11-7	9	15	8-2	12	
16	11-7-6-5		17	10-4	16	18	3-1	13	
17	10-8-7-4		17	11-8-6	15	16	9-5	12	
18	10-6-4-2		16	11-1	15	18	7-3	14	
19	9-6-2-1		17	4-1	16	15	11-10	13	
20	9-11-5	14		7-2	12		8-6	15	
21	5-2-1		18	9-4	12	17	10-7	13	
22	8-2	6		9-4-3	12		11-1	5	18
23	10-7-6-4		17	8-2	12	14	9-3	13	
24	8-5-4-2		18	11-10	16	14	6-1	12	
25	9-7-5-4		13	8-2	14-9	17	11-10	15	
26	8-6-4-3		13-7	8-5	14	13	2-1	12	
27	10-7	15		11-4	16		9-3	5	
28	8-7-4		18	11-1	16	12	10-6-2	14	
29	9-11-7-1		18	11-7-5	15	12	8-4	13	
30	9-10-3-1		12	10-2	16	14	6-5	15	18-17

با توجه به غیرقطعی بودن پارامتر تعداد بیماران مراجعه‌کننده به بیمارستان، در این بخش به بررسی تاثیر تغییرات سطح خدمت‌رسانی به بیماران در قبال تغییرات نرخ عدم قطعیت پرداخته شده است. با افزایش نرخ عدم قطعیت، تعداد بیماران مراجعه‌کننده به بیمارستان افزایش

می‌یابد که با ثابت بودن کادر درمانی، سطح خدمت‌رسانی به آن‌ها کاهش می‌یابد. ازاین‌رو می‌توان تغییرات مربوطه را در **شکل ۷** مشاهده کرد.



شکل ۷- روند تغییرات سطح خدمت‌رسانی به بیماران در نرخ‌های مختلف عدم قطعیت.

Figure 7- The process of changes in the level of service to patients in different rates of uncertainty.

در ادامه به حل یک مساله نمونه سایز بزرگ در بیمارستان لبافی نژاد با در نظر گرفتن ۹۰ پرسنل و اطلاعات **جدول ۳** با الگوریتم گرگ خاکستری پرداخته شده است. تعداد پرسنل موردنیاز در شیفت‌های مختلف به شرح **جدول ۱۳** می‌باشد.

جدول ۱۳- تعداد موردنیاز از هر سطح مهارتی کارکنان در هر شیفت از هر روز در دوره برنامه‌ریزی در یک بخش ۹۰ نفری.

Table 13- Required number of each skill level of employees in each shift of each day in the planning period in a department of 90 people.

روز	شیفت	پرستار	بهیار	کمک بهیار
	صبح	15	0	5
1,2,15,28	ظهر	10	5	5
	شب	10	5	0
	صبح	10	5	0
6,10,13,20,22,27	ظهر	10	5	0
	شب	10	5	0
3,4,5,7,8,9,11,12	صبح	20	0	5
14,16,17,18,19,21	ظهر	10	5	5
23,24,25,26,29,30	شب	10	5	0

با توجه به عدم کارایی روش دقیق اپسیلون محدودیت در حل مساله زمان‌بندی پرستاران، مدل سایز بزرگ توسط الگوریتم گرگ خاکستری حل و مجموعه جواب‌های کارا و همچنین جبهه پارتو حاصل از حل مساله مطالعه موردی در **جدول ۱۴** و **شکل ۸** نشان داده شده است.

جدول ۱۴- مجموعه جواب‌های کارای مساله در سایز بزرگ با الگوریتم گرگ خاکستری.

Table 14- The set of efficient solutions to the problem in a large size with the gray wolf algorithm.

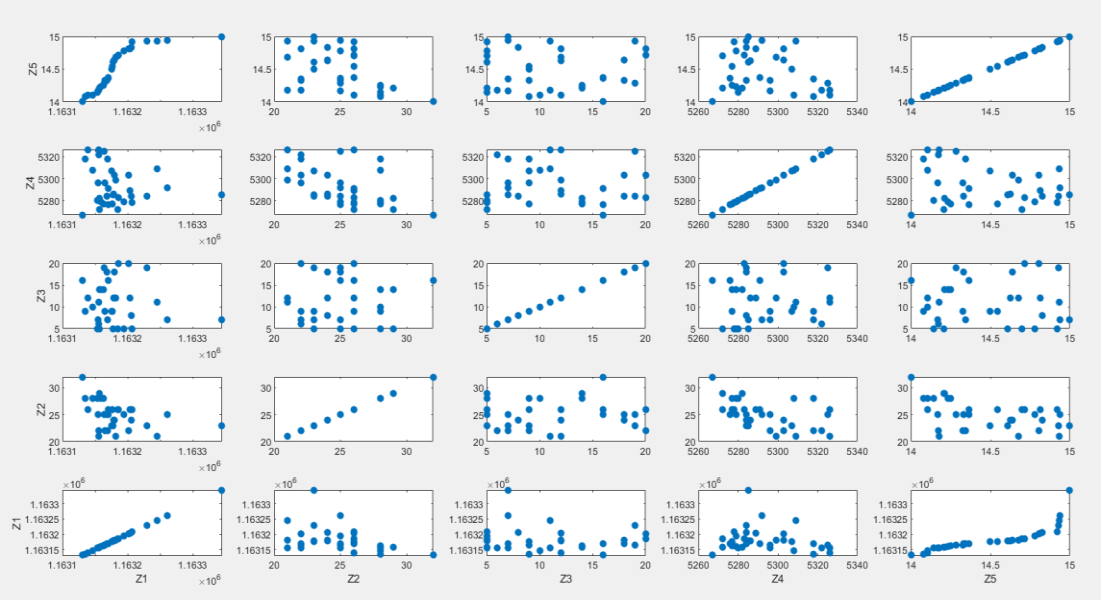
جواب کارا	مقدار تابع ۱	مقدار تابع ۲	مقدار تابع ۳	مقدار تابع ۴	مقدار تابع ۵
1	1163131	32	16	5267	14.00208
2	1163135	28	9	5318	14.08018
3	1163139	26	12	5326	14.10335
4	1163147	28	10	5308	14.10336
5	1163154	28	5	5280	14.14462
6	1163155	25	7	5296	14.16694
7	1163155	22	6	5322	14.17275
8	1163156	21	11	5326	14.17797
9	1163157	29	5	5272	14.20748
10	1163157	29	14	5282	14.20945
11	1163159	28	14	5279	14.2324
12	1163163	28	14	5277	14.24856
13	1163164	25	19	5325	14.2821
14	1163165	22	9	5296	14.3268

جدول ۱۴- ادامه.

Table 14- Continued.

جواب کارا	مقدار تابع ۱	مقدار تابع ۲	مقدار تابع ۳	مقدار تابع ۴	مقدار تابع ۵
15	1163168	25	18	5284	14.3315
16	1163169	22	7	5318	14.34539
17	1163170	25	16	5276	14.36508
18	1163170	26	16	5291	14.36678
19	1163176	23	9	5307	14.49848
20	1163176	26	9	5277	14.54298
21	1163177	23	5	5285	14.60751
22	1163179	24	12	5286	14.62653
23	1163180	24	18	5303	14.64074
24	1163181	21	12	5299	14.6793
25	1163185	26	5	5272	14.7007
26	1163186	26	20	5283	14.71563
27	1163194	25	5	5279	14.78142
28	1163202	22	20	5303	14.80763
29	1163203	26	12	5289	14.81219
30	1163205	24	8	5284	14.82868
31	1163207	26	5	5278	14.91916
32	1163229	23	19	5284	14.92826
33	1163245	21	11	5309	14.93301
34	1163261	25	7	5292	14.93952
35	1163343	23	7	5285	14.99914

با توجه به نتایج **جدول ۱۴** مشاهده می‌گردد، ۳۵ جواب کارا در مدل ۱۲۳۶٫۳ ثانیه توسط الگوریتم گرگ خاکستری چندهدفه به‌دست‌آمده است. نتایج حاصله نشان از افزایش سطح خدمت‌رسانی به بیماران با افزایش تعداد کادر درمانی در هر شیفت کاری دارد. همچنین این امر منجر به افزایش هزینه‌های بیمارستان نیز شده است.



شکل ۸- جبهه پارتو حاصل از حل مساله در سایز بزرگ.

Figure 8- Pareto front resulting from problem solving in large size.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله به مدل‌سازی یک مساله زمان‌بندی شیفت کاری پرستاران با در نظر گرفتن سطح خدمت‌رسانی به بیماران پرداخته شده است. با توجه به نیاز ضروری بیمارستان‌ها جهت ارایه خدمات بهتر پرسنل به بیماران، نیاز به در نظر گرفتن ترجیحات پرستاران در زمان‌بندی شیفت کاری است. ازاین‌رو مدل چندهدفه زمان‌بندی پرستاران با اهداف مختلف و همچنین افزایش سطح خدمت‌رسانی به بیماران با افزایش تعداد کادر درمانی در هر روز و هر شیفت کاری در این مقاله ارایه شده است. اهداف اصلی مقاله شامل کمینه‌سازی هزینه اختصاص پرسنل به سطح مهارت، مجموع انحرافات از شیفت‌هایی که پرسنل تمایل دارند به کار کردن تخصیص داده نشوند، میزان شیفت‌های صبح و عصر که پرسنل به‌صورت پیوسته به کار کردن تخصیص داده می‌شوند، مجموع انحرافات از کران‌های پایین و بالا بر روی کل تعداد ساعات کارشده و بیشینه‌سازی سطح خدمت‌رسانی به بیماران می‌باشد. همچنین کلیه مقررات دولتی و سیس است های بیمارستانی نیز در مدل‌سازی لحاظ شده است. برای حل مدل توسعه‌یافته از روش دقیق اپسیلون محدودیت برای حل مساله سایز

کوچک و الگوریتم گرگ خاکستری چندهدفه برای حل مساله سایز بزرگ‌تر با ارایه یک کروموزوم جدید استفاده شده است. کروموزوم طراحی‌شده در ابتدا محدودیت‌های سخت مساله را برنامه‌ریزی می‌کند و سپس در تلاش است تا محدودیت‌های نرم مساله را بهبود ببخشد. ازاین‌رو جهت ارزیابی خروجی‌های مدل، دو مثال عددی در سایز کوچک و بزرگ با داده‌های واقعی بیمارستان لبافی نژاد طراحی شد. در مثال اول برنامه زمان‌بندی یک بخش ۱۸ نفره از بیمارستان لبافی نژاد مورد تحلیل قرار گرفت و خروجی‌های حاصل از آن نشان داد که با افزایش تعداد کادر درمانی بیمارستان در هر روز کاری، سطح خدمت‌رسانی به بیماران افزایش و در قبال آن هزینه‌های ناشی به‌کارگیری کادر درمانی نیز افزایش می‌یابد. لذا ۱۳ جواب کارا در مساله سایز کوچک به دست آمد. همچنین به دلیل غیرقطعی بودن تعداد بیماران مراجعه‌کننده به بیمارستان از روش برنامه‌ریزی فازی برای کنترل این پارامتر غیرقطعی استفاده شد. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد با افزایش نرخ عدم قطعیت، تعداد مراجعه‌کنندگان به بیمارستان افزایش و در مقابل سطح خدمت‌رسانی به آن‌ها کاهش می‌یابد. به دلیل عدم توانایی روش اپسیلون محدودیت در حل مسایل سایز بزرگ، یک مساله با ۹۰ پرسنل برای بیمارستان لبافی نژاد طراحی و مساله با الگوریتم گرگ خاکستری حل گردید. خروجی مساله نشان از ۳۵ جواب کارا برای مساله طراحی‌شده با کمک الگوریتم بود.

منابع

Alade, O. M., & Amusat, A. O. (2019). *Solving nurse scheduling problem using constraint programming technique*. Retrieved from https://doi.org/10.48550/arXiv.1902.01193

Bagheri, M., Devin, A. G., & Izanloo, A. (2016). An application of stochastic programming method for nurse scheduling problem in real word hospital. *Computers & industrial engineering*, *96*, 192-200. https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.02.023

Batun, S., & Karpuz, E. (2020). Nurse scheduling and rescgeduling under uncertainty. *Hacettepe university journal of economics & administrative sciences/hacettepe üniversitesi iktisadi ve idari bilimler fakültesi dergisi*, *38*(1), 75-95.

Benzaid, M., Lahrichi, N., & Rousseau, L. M. (2020). Chemotherapy appointment scheduling and daily outpatient–nurse assignment. *Health care management science*, *23*(1), 34-50.

Chen, P. S., Huang, W. T., Chiang, T. H., & Chen, G. Y. H. (2020). Applying heuristic algorithms to solve inter-hospital hierarchical allocation and scheduling problems of medical staff. *International journal of computational intelligence systems*, *13*(1), 318-331.

El Adoly, A. A., Gheith, M., & Fors, M. N. (2018). A new formulation and solution for the nurse scheduling problem: a ASE study in Egypt. *Alexandria engineering journal*, *57*(4), 2289-2298.

Hamid, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Golpaygani, F., & Vahedi-Nouri, B. (2020). A multi-objective model for a nurse scheduling problem by emphasizing human factors. *Proceedings of the institution of mechanical engineers, part h: journal of engineering in medicine*, *234*(2), 179-199.

Ikeda, K., Nakamura, Y., & Humble, T. S. (2019). Application of quantum annealing to nurse scheduling problem. *Scientific reports*, *9*(1), 1-10.

Jafari, H. (2020). Developing a Fuzzy Model for the Nurse Scheduling Problem. *Journal of operational research in its applications (applied mathematics)-Lahijan azad university*, *17*(2), 93-107.

Jafari, H., & Salmasi, N. (2015). Maximizing the nurses' preferences in nurse scheduling problem: mathematical modeling and a meta-heuristic algorithm. *Journal of industrial engineering international*, *11*(3), 439-458.

Jafari, H., Bateni, S., Daneshvar, P., Bateni, S., & Mahdioun, H. (2016). Fuzzy mathematical modeling approach for the nurse scheduling problem: a case study. *International journal of fuzzy systems*, *18*(2), 320-332.

Kim, S. J., Ko, Y. W., Uhmn, S., & Kim, J. (2014). A strategy to improve performance of genetic algorithm for nurse scheduling problem. *International journal of software engineering and its applications*, *8*(1), 53-62.

Ko, Y. W., Kim, D. H., Uhmn, S., & Kim, J. (2017). Nurse scheduling problem using backtracking. *Advanced science letters*, *23*(4), 3792-3795.

Kumar, B. S., Nagalakshmi, G., & Kumaraguru, S. (2014). A shift sequence for nurse scheduling using linear programming problem. *Journal of nursing and health science*, *3*(6), 24-28.

Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2010). Branching strategies in a branch-and-price approach for a multiple objective nurse scheduling problem. *Journal of scheduling*, *13*(1), 77-93.

Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2011). Reactive personnel scheduling: insights and policy decisions. *25th Annual conference of the Belgian operations research society (ORBEL 25)* (pp. 29-30), Ghent, Belgium. http://hdl.handle.net/1854/LU-1147910

Millar, H. H., & Kiragu, M. (1998). Cyclic and non-cyclic scheduling of 12 h shift nurses by network programming. *European journal of operational research*, *104*(3), 582-592.

Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in engineering software*, *95*, 51-67.

Mirjalili, S., Saremi, S., Mirjalili, S. M., & Coelho, L. D. S. (2016). Multi-objective grey wolf optimizer: a novel algorithm for multi-criterion optimization. *Expert systems with applications*, *47*, 106-119.

Nasiri, M. M., & Rahvar, M. (2017). A two-step multi-objective mathematical model for nurse scheduling problem considering nurse preferences and consecutive shifts. *International journal of services and operations management*, *27*(1), 83-101.

Rochman, E. M. S., Rachmad, A., & Santosa, I. (2020). The application of genetic algorithms as an optimization step in the case of nurse scheduling at the bringkoning community health center. *JPhCS*, *1477*(2), 022026.

Sangai, J., & Bellabdaoui, A. (2017). Workload balancing in nurse scheduling problem models and discussion. *2017 international colloquium on logistics and supply chain management (LOGISTIQUA)* (pp. 82-87), Rabat, Morocco. IEEE. DOI: 10.1109/LOGISTIQUA.2017.7962878

Sarkar, P., Chaki, N., & Chaki, R. (2019, September). A study of Resource Optimization for Nurse Scheduling Problem. *2019 4th International conference on computer science and engineering (UBMK)* (pp. 757-761). IEEE. DOI: 10.1109/UBMK.2019.8907175

Simić, S., Simić, D., Milutinović, D., Đorđević, J., & Simić, S. D. (2017). A fuzzy ordered weighted averaging approach to rerostering in nurse scheduling problem. *International joint conference SOCO'17-CISIS'17-ICEUTE'17* (pp. 79-88). Springer, Cham.

Steege, L. M., & Dykstra, J. G. (2016). A macroergonomic perspective on fatigue and coping in the hospital nurse work system. *Applied ergonomics*, *54*, 19-26.

Thongsanit, K., Kantangkul, K., & Nithimethirot, T. (2016). Nurse's shift balancing in nurse scheduling problem. *Science, engineering and health studies*, *10*(1), 43-48.

Tsai, C. C., & Li, S. H. (2009). A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem. *Expert systems with applications*, *36*(5), 9506-9512.

Youssef, A., & Senbel, S. (2018). A bi-level heuristic solution for the nurse scheduling problem based on shift-swapping. *8th annual computing and communication workshop and conference (CCWC)* (pp. 72-78), Las Vegas, NV, USA. IEEE. DOI: 10.1109/CCWC.2018.8301623

Zhong, X., Zhang, J., & Zhang, X. (2017). A two-stage heuristic algorithm for the nurse scheduling problem with fairness objective on weekend workload under different shift designs. *IISE transactions on healthcare systems engineering*, *7*(4), 224-235.