کنفرانس ملی پژوهش های نوین در
مدیریت و مهندسی صنایع
۲۱ آذر ۱۳۹۷ – اصفهان
ISC
۹۷۱۸۰-۷۲۴۰۱

ارایه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح برای حل مسأله زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران

حامد جعفری
استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه فنی و مهندسی گلپایگان، گلپایگان، ایران
آدرس پست الکترونیک: hamed.jafari@gut.ac.ir و hamed.jafari.ie@gmail.com

چکیده

در دنیای امروز، زمان به عنوان عاملی مهم در اتخاذ تصمیمات مختلف در نظر گرفته می‌شـــــود. در سال‌های اخیر، تمایل به اتخاذ تصمیمات مناسب برای حل مسائل متنوع مربوط به زمان‌بندی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. یکی از مسائل موجود در زمان‌بندی، مسأله زمان‌بندی نیروی انسانی سازمان‌ها می‌باشد. امروزه مدیران بیمارستان‌ها سعی بر آن دارند تا با ارایه یک زمان‌بندی مطلوب برای شیفت‌های کاری پرستاران، رضایتمندی شغلی آنها را افزایش داده و در نتیجه کیفیت خدمات ارایه شده به بیماران را بهبود دهند. از این دیدگاه، مسأله‌ی زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران در بیمارستان‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. در این مسأله، تعداد پرستاران مورد نیاز برای برآوردن تقاضای مکان-شیفت‌ها در طول دوره‌ی زمان‌بندی مشخص بوده و هدف از حل مسأله تخصیص پرستاران به شیفت‌ها است؛ به طوری که تعداد تقاضای شیفت‌ها برآورده شوند. در نهایت لیستی شامل شیفت‌های کاری تخصیص داده شده به هر پرستار ارایه می‌شود و پرستاران موظف هستند در شیفت‌های کاری تخصیص داده شده به آنها انجام وظیفه نمایند. در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح برای بیشینه نمودن ترجیحات در مسأله زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران ارایه می‌شود. سپس برای ارزیابی مدل ارایه شده، تعدادی مسأله نمونه تولید شده و با استفاده از مدل مربوطه حل می‌شوند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که مدل پیشنهادی برای مسأله‌هایی با اندازه‌ی کوچک کارا است؛ ولیکن با افزایش تعداد پرستاران و بزرگ‌تر شدن اندازه‌ی مسأله توانایی حل مسأله در مدت زمانی معقول را نخواهد داشت.

واژگان کلیدی: زمان‌بندی، مسأله‌ی زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران، زمان‌بندی ترجیحات، مدل برنامه‌ریزی ریاضی، برنامه‌ریزی عدد صحیح.

مقدمه

در ســـال‌های اخیر، ارایه رویکردهای علمی برای اخذ تصمیمات مناسب توجه بســـیاری از محققان را به خود جلب نموده است. می‌توان گفت که زمان عامل مهمی در اخذ بسیاری از این تصمیمات است. مسأله زمان‌بندی نیروی انسانی یکی از مسائل مربوط به اخذ تصمیمات در سازمان‌ها می‌باشد. بیمارستان‌ها از جمله بزرگترین مراکز ارایه دهنده خدمـــات درمانی در جامعه هستند. امروزه مدیران بیمارســـتان‌ها تصمیم بر آن دارند تا با ارایه یک زمان‌بندی مناســـب از طریق تخصیص شیفت‌های کاری مطلوب به پرســـتاران، رضایتمندی شغلی آنها را افزایش داده و در نتیجه کیفیت خدمات ارایه شده به بیماران را بهبود دهند. از این دیدگاه، مسأله‌ی زمان‌بندی پرستاران در بیمارستان‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است.

در مســـأله زمان‌بندی پرستاران، تعداد پرســـتاران مورد نیاز برای برطرف نمودن تقاضای مکان-شیفت‌ها در طول دوره‌ی زمان‌بندی در دسترس بوده و هدف از حل مسأله تخصیص پرستاران به شیفت‌ها است؛ به طوری که تقاضای شیفت‌ها برآورده شوند. در نهایت جدولی که نشان دهنده شیفت‌های کاری تخصیص داده شده به پرستاران است، ارایه می‌شود و پرستاران موظف هستند در شیفت‌های کاری تخصیص داده شده به آنها خدمت نمایند.

از جمله اهدافی که در مسأله‌ی زمان‌بندی پرستاران مورد توجه قرار می‌گیرد، عبارتند از:

- کمینه نمودن تعداد کل پرستاران
- کمینه نمودن مجموع حقوق دریافتی پرستاران
- کمینه نمودن مجموع مازاد تقاضا
- بیشینه نمودن مجموع ترجیحات پرستاران برای شیفت‌های کاری

بررسی عواملی که منجر به افزایش رضایتمندی شغلی پرستاران می‌شود، هم برای پرستاران و هم برای مدیران بخش پرستاری از اهمیت بالایی برخوردار است. نحوه‌ی ارایه‌ی برنامه‌ی زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران در بیمارستان‌ها، نقش بسزایی در میزان کیفیت خدمات ارایه شده به بیماران دارد. در واقع به هر اندازه که برنامه‌ی زمان‌بندی تخصیص داده شده به هر پرستار با ترجیحات آن پرستار برای شیفت‌های کاری مطلوب وی سازگارتر باشد، پرستار با روحیه‌ی بیشتری به بیماران رسیدگی نموده و در نتیجه میزان خدمات ارایه شده به بیماران کیفیت مطلوب‌تری خواهد داشت.

در بسیاری از موارد مسأله‌ی زمان‌بندی پرستاران در بیمارستان‌ها با استفاده از روش‌های دستی انجام می‌شود. روش‌های دستی زمان‌بندی پرستاران، برای مسائلی با تعداد اندک پرستار قابل استفاده است؛ اما با افزایش تعداد پرستاران و بزرگ‌تر شدن مقیاس مسأله، این روش‌ها کارآیی خود را از دست خواهند داد.

در دهه‌های اخیر مسأله‌ی زمان‌بندی پرستاران به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. برخی از مطالعات انجام شده در این زمینه در ادامه ارایه خواهند شد.

تورنتون و ستار (1996) از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای حل مسأله‌ی زمان‌بندی پرستاران استفاده نمودند. این مدل از دو زیرمسأله تشکیل شده است که در یک زیرمسأله شیفت صبح و در زیرمسأله‌ی دیگر شیفت شب به پرستاران تخصیص داده می‌شود.

میلر و کیراگو (1998) یک مدل ریاضی دو فازی برای حل مسأله‌ی زمان‌بندی پرستاران ارایه کردند. در فاز اول یک جواب شدنی برای مسأله بدست آمده و در فاز دوم جواب بدست آمده در فاز اول بهبود می‌یابد.

جمارد و همکاران (1998) از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای حل مسأله‌ی زمان‌بندی پرستاران استفاده نمودند. این مدل از یک مسأله‌ی اصلی و یک مسأله‌ی فرعی تشکیل شده است. در مسأله‌ی اصلی، روش تولید ستون برای کمینه نمودن مجموع حقوق دریافتی پرستاران بکار گرفته شده است. در هر مرحله، مسأله‌ی فرعی یک ستون تولید می‌کند. هر ستون تولید شده در مسأله‌ی فرعی یک جواب شدنی برای تنها یک پرستار است که در صورت بهبود مقدار تابع هدف مسأله‌ی اصلی به این مسأله اضافه می‌شود.

آرتور و راویندران (1981) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه در حالت دوفازی برای حل مسأله‌ی زمان‌بندی پرستاران ارایه کردند. مدل ارایه شده‌ی آن‌ها شامل اهداف زیر بود:

- کمینه نمودن تعداد کل پرستاران
- کمینه نمودن مجموع انحراف از ترجیحات پرستاران
- کمینه نمودن تعداد کل پرستارانی که تقاضای شیفت کاری آن‌ها پوشش داده نشده است.

ازائیز و الشریف (2005) نیز از یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر و یک برای حل مسأله‌ی چند هدفه‌ی زمان‌بندی پرستاران استفاده نمودند. مدل ارایه شده‌ی آنها شامل اهداف زیر بود:

- کمینه نمودن مجموع انحراف از ترجیحات پرستاران
- کمینه نمودن مجموع هزینه‌ی اضافه‌کاری

در فاز اول روزهای کاری و تعطیل پرستاران با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی تعیین شده و در فاز دوم شیفت‌های کاری به پرستاران تخصیص داده می‌شود.

خان (1991) یک مدل برنامه‌ریزی شبکه برای حداقل نمودن میزان استفاده از منابع ارائه نمود. منابع در این مدل پرستارانی هستند که باید به بخش‌های مختلف بیمارستان اختصاص یابند. مدل ارایه شده نتوانست روش حل کارایی برای زمان‌بندی و تعیین تعداد پرستاران یک سیستم پیچیده نظیر سیستم بخش اورژانس را فراهم نماید.

بدویی و همکاران (2009) از یک روش جدید برای حل مسأله‌ی زمان‌بندی پرستاران استفاده نمودند. در این روش با استفاده از مسأله‌های حل شده‌ی قبلی و محدودیت‌های نقض شده‌ی آن‌ها، از یک عملگر جدید برای بهبود و بازسازی جواب مسأله استفاده شده است.

بلین و دمولمیستر (2008) یک الگوریتم شاخه و قیمت برای حل مسأله ارایه نمودند. در این الگوریتم در هر تکرار دو مسأله‌ی فرعی مختلف حل می‌شود. مسأله‌ی فرعی اول با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا یک جواب اولیه تولید می‌کند و مسأله‌ی فرعی دوم از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای تولید جوابی بهتر استفاده می‌نماید.

موریساوا و ناگاساوا (2007) یک روش ابتکاری دو فازی برای حل مسأله ارایه کردند. در فاز اول ابتدا با استفاده از یک روش ابتکاری، شیفت‌های صبح و عصر به پرستاران تخصیص یافته و سپس در فاز دوم با استفاده از یک روش ابتکاری دیگر شیفت شب به پرستاران تخصیص داده می‌شود. روش ابتکاری آن‌ها در یک بیمارستان در ژاپن مورد استفاده قرار گرفت. اگرچه روش ارایه شده از نقطه نظر زمان محاسباتی کارا بود، اما ترجیحات پرستاران را کمتر مورد توجه قرار می‌داد.

تریودی و وارنر (1976) از مفهوم پرستاران پاره وقت برای حل مسأله استفاده کردند. آن‌ها از یک مدل رگرسیون بر مبنای تشخیص سرپرستار، نیاز به پرستار پاره وقت را قبل از شروع زمان‌بندی پیش‌بینی کردند. این مدل رگرسیونی به عنوان تابع هدف مدل بکار گرفته شده و سپس از روش شاخه و کران برای زمان‌بندی پرستاران پاره وقت استفاده نمودند. مدل آن‌ها فقط برای مسائلی با تعداد پرستار اندک کارا بود.

تعریف مسأله

در این بخش، مسأله مورد بررسی در این تحقیق تشریح می‌شود.

مفروضات مسأله

مفروضات مسأله عبارتند از:

- افق برنامه‌ریزی دو هفته (14 روز) در نظر گرفته شده است.
- هر روز دارای سه مکان-شیفت صبح (از ساعت 8 صبح تا 2 بعد از ظهر)، عصر (از ساعت 2 بعد از ظهر تا 8 بعد از ظهر) و شب (از ساعت 8 بعد از ظهر تا 8 صبح روز بعد) است که به تعداد مشخصی پرستار نیاز دارند.
- هر روز دارای چهار شیفت صبح (از ساعت 8 صبح تا 2 بعد از ظهر)، عصر (از ساعت 2 بعد از ظهر تا 8 بعد از ظهر)، شب (از ساعت 8 بعد از ظهر تا 8 صبح روز بعد) و صبح-عصر (از ساعت 8 صبح تا 8 بعد از ظهر) است که پرستاران می‌توانند در آنها خدمت نمایند.
- ترجیحات (میزان علاقه) پرستاران برای انجام وظیفه در شیفت‌های کاری در نظر گرفته شده است.

محدودیت‌های مسأله

محدودیت‌های مسأله به صورت زیر هستند:

- اگر پرستاری در شیفت شب انجام وظیفه نماید، در شیفت‌های صبح، عصر و صبح-عصر همان‌روز و روز بعد نمی‌تواند انجام وظیفه نماید.
- اگر پرستاری در شیفت صبح-عصر انجام وظیفه نماید، در شیفت‌های صبح و عصر همان‌روز نمی‌تواند انجام وظیفه نماید.
- هر پرستار بیش از دو شیفت شب متوالی نمی‌تواند انجام وظیفه نماید.
- هر پرستار بیش از دو شیفت صبح-عصر متوالی نمی‌تواند انجام وظیفه نماید.
- هر پرستار در طول افق برنامه‌ریزی باید بین 80 تا 100 ساعت انجام وظیفه نماید.
- تقاضای هر مکان-شیفت باید پوشش داده شود.

تابع هدف مسأله

تابع هدف مسأله شامل ماکزیمم نمودن مجموع ترجیحات (علاقه‌مندی) پرستاران برای انجام وظیفه در شیفت کاری تخصیص داده شده به آنها است.

مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح

در این بخش، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح برای حل مسأله مورد بررسی ارایه می‌گردد.

اندیس‌ها

k شمارنده روزها $(k = 1, 2, \dots, 14)$

i شمارنده پرستاران $(i = 1, 2, \dots, n)$

j شمارنده شیفت‌ها در روز k $(j = 4k-3, 4k-2, 4k-1, 4k)$

لازم به ذکر است n تعداد کل پرستاران در دسترس بوده و شمارنده‌های $j = 4k-3$ ، $j = 4k-2$ ، $j = 4k-1$ و $j = 4k$ به ترتیب مبین شیفت‌های صبح، عصر، شب و صبح-عصر در روز k هستند.

پارامترها

$r1$ تعداد پرستاران مورد نیاز در مکان-شیفت صبح هر روز

$r2$ تعداد پرستاران مورد نیاز در مکان-شیفت عصر هر روز

$r3$ تعداد پرستاران مورد نیاز در مکان-شیفت شب هر روز

$p_{i,j}$ میزان علاقه پرستار iبرای انجام وظیفه در شیفتj

شایان ذکر است اعداد 2، 1 و 0 به ترتیب متناظر با میزان علاقه بالا، متوسط و کم در نظر گرفته شده‌اند.

متغیرهای تصمیم‌گیری

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{اگر پرستار } i \text{ در شیفت } j \text{ انجام وظیفه کند} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

مدل ریاضی

در این بخش، مدل ریاضی مسأله به صورت زیر توسعه داده می‌شود:

$$Maximize\ z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{14}\sum_{r=0}^{3} p_{i,4k-r}x_{i,4k-r} \quad (1)$$

Subject to:

$$x_{i,4k-3} + x_{i,4k-2} + x_{i,4k} + 2\,x_{i,4k-1} \le 2 \qquad \forall\, i = 1, 2, \dots, n,\ \ k = 1, 2, \dots, 14 \quad (2)$$

$$x_{i,4k+1} + x_{i,4k+2} + x_{i,4k+4} + 2\,x_{i,4k-1} \le 2 \qquad \forall\, i = 1, 2, \dots, n,\ \ k = 1, 2, \dots, 13 \quad (3)$$

$$x_{i,4k-3} + x_{i,4k-2} + 2\,x_{i,4k} \le 2 \qquad \forall\, i = 1, 2, \dots, n,\ \ k = 1, 2, \dots, 14 \quad (4)$$

$$x_{i,4k-1} + x_{i,4k+3} + x_{i,4k+7} \le 2 \qquad \forall\, i = 1, 2, \dots, n,\ \ k = 1, 2, \dots, 12 \quad (5)$$

$$x_{i,4k} + x_{i,4k+4} + x_{i,4k+8} \le 2 \qquad \forall\, i = 1, 2, \dots, n,\ \ k = 1, 2, \dots, 12 \quad (6)$$

$$80 \leq \sum_{k=1}^{14}(6\,x_{i,4k-3} + 6\,x_{i,4k-2} + 12\,x_{i,4k-1} + 12\,x_{i,4k}) \leq 100 \qquad \forall\, i = 1,2,\dots,n \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^{n}(x_{i,4k-3} + x_{i,4k}) \geq r1 \qquad \forall\, k = 1,2,\dots,14 \tag{8}$$

$$\sum_{i=1}^{n}(x_{i,4k-2} + x_{i,4k}) \geq r2 \qquad \forall\, k = 1,2,\dots,14 \tag{9}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i,4k-1} \geq r3 \qquad \forall\, k = 1,2,\dots,14 \tag{10}$$

$$x_{i,4k-3},\ x_{i,4k-2},\ x_{i,4k},\ x_{i,4k-1} \in \{0,1\} \qquad \forall\, i = 1,2,\dots,n,\ \ k = 1,2,\dots,14 \tag{11}$$

رابطه (1) میزان ترجیحات شیفتی پرستاران را ماکزیمم می‌نماید. با توجه به روابط (2) و (3)، اگر پرستاری در شیفت شب انجام وظیفه نماید، در شیفت‌های صبح، عصر و صبح-عصر همان‌روز و روز بعد نمی‌تواند انجام وظیفه نماید. رابطه (4) تضمین می‌کند که اگر پرستاری در شیفت صبح-عصر انجام وظیفه نماید، در شیفت‌های صبح و عصر همان‌روز نمی‌تواند انجام وظیفه نماید. با توجه به روابط (5) و (6)، هر پرستار نمی‌تواند به ترتیب بیش از دو شیفت شب و صبح-عصر متوالی انجام وظیفه نماید. رابطه (7) مربوط به ساعات کاری مجاز پرستاران است. با توجه به روابط (8)، (9) و (10) تعداد پرستاران مورد نیاز به ترتیب در مکان-شیفت‌های صبح، عصر و شب هر روز پوشش داده می‌شوند.

نتـایج محاسباتی

به منظور آگاهی از نحوه‌ی عملکرد مدل ارایه شده، تعدادی مسأله نمونه را مورد بررسی قرار دادیم. برای یافتن جواب بهینه از نسخه‌ی 10,1,1 نرم‌افزار CPLEX استفاده شد. نتایج حاصل از آزمایشات نشان دادند مدل ارایه شده قادر به یافتن زمان‌بندی بهینه برای مسائلی با حداکثر تعداد 40 پرستار است. ولیکن با بزرگ‌تر شدن اندازه‌ی مسأله، مدل ارایه شده قادر به حل مسأله در مدت زمانی مناسب نیست.

اگرچه مسأله‌ی زمان‌بندی شیفت‌های کاری پرستاران دارای جواب بهینه است؛ اما به دلیل پیچیدگی بیش از حد مسأله ممکن است نتوان با استفاده از روش‌های دقیق، مسأله را حل نمود. بنابراین با توجه NP-Hard مسأله می‌توان از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسأله استفاده نمود. اگرچه الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری بهینه بودن زمان‌بندی ارایه شده را تضمین نمی‌کنند، اما در بسیاری از موارد از نقطه نظر زمان حل بسیار انعطاف‌پذیرتر از روش‌های دقیق عمل می‌نمایند.

مـراجع

Arthur, J. L., &Ravindran, A. (1981).A multiple objective nurse scheduling model. *AIIE transactions*, *13*(1), 55-60.

Azaiez, M. N., & Al Sharif, S. S. (2005). A 0-1 goal programming model for nurse scheduling. *Computers & Operations Research*, *32*(3), 491-507.

Beddoe, G., Petrovic, S., & Li, J. (2009).A hybrid metaheuristic case-based reasoning system for nurse rostering. *Journal of Scheduling*, *12*(2), 99.

Beliën, J., &Demeulemeester, E. (2008).A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling.*EuropeanJournal of Operational Research*, *189*(3), 652-668.

Jaumard, B., Semet, F., &Vovor, T. (1998).A generalized linear programming model for nurse scheduling. *European Journal of Operational Research*, *107*(1), 1-18.

Khan, Z. A. (1991).A note on a network model for nursing staff scheduling problems. *Information and Decision Technologies*,*17*(1), 63-69.

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

Morizawa, K., &Nagasawa, H. (2007).A heuristic method in static nurse scheduling.In *Proc. 19th International Conference on Production Research* (Vol. 7).

Thornton, J., &Sattar, A. (1996, December).An integer programming-based nurse rostering system.In *Annual Asian Computing Science Conference* (pp. 357-358).Springer, Berlin, Heidelberg.

Trivedi, V. M., & Warner, D. M. (1976). A branch and bound algorithm for optimum allocation of float nurses. *Management Science*, *22*(9), 972-981.