کاربرد تحقیق در عملیات در سیستم‌های خدمات درمانی ایران

کورش عشقی *
مریم رستگار **

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

چکیده

در این مقاله ابتدا به تاریخچه کاربردهای مختلف تحقیق در عملیات در مسائل خدمات درمانی پرداخته و سپس دو مقوله استقرار بهینه ماشینهای آمبولانس و برنامه‌ریزی پرسنل واحدهای درمانی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه مدلهای

---

* - دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

** - دانشجوی کارشناسی ارشد، مدرسه علوم‌اقتصادی لندن، انگلستان

مورد بحث در مرکز اورژانس تهران و مرکز طبی کودکان پیاده‌سازی و اجرا شده و نتایج حاصل مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه‌ها: تحقیق در عملیات در خدمات درمانی، خدمات درمانی، تعیین محل استقرار آمبولانس‌ها، برنامه‌ریزی پرسنل درمانی

۱- مقدمه

هر روزه وقتی به روزنامه‌ها، مجلات و برنامه‌های تلویزیون نگاه می‌کنیم، متوجه شکایاتی از جانب مردم نسبت به نحوه عملکرد خدمات درمانی[1] اعم از بیمارستانها، پزشکان و غیره می‌شویم. سیستم کلی درمان به صورتی است که در آن همه اعم از شرکتهای بیمه، پزشکان، پرسنل بیمارستانها و در نهایت مردمی که باید به ازای دریافت خدمات پول پرداخت کنند، ناراضی‌اند. آنچه مسلم است اینکه کل این نظام باید به دیده سیستمی نگریسته شود و مشکلات آن از سطح کلان توسط مسؤولان مورد بررسی قرار گیرد. در غیر اینصورت نه تنها هیچگاه این مشکلات از بین نمی‌روند، بلکه با وجود جوان بودن جمعیت کشورمان، نیازهای درمانی در ۲۰ سال آینده رشد فزاینده‌ای خواهد داشت و در این دوران هزینه‌های کلانی در حال شکل گرفتن خواهد بود که معضل درمان را در سطح کشور دو چندان خواهد کرد.

سیستم‌های خدمات درمانی مسائل پیچیده بسیاری را در برمی‌گیرد که می‌توان برای حل آنها از تحلیل و کاربردهای تحقیق در عملیات بهره برد. متأسفانه حتی در کشور ایالات‌متحده که در آن مهم‌ترین صنعت داخلی، خدمات درمانی می‌باشد،[2] تعداد کمی از متخصصین تحقیق در عملیات موضوع خدمات درمانی را مورد توجه خود قرار داده‌اند، اما بهرحال متخصصینی نیز وجود دارند که عمده تحقیقات خود را در این زمینه متمرکز کرده‌اند. میکائیل کارتر[3] و لئونیدچوریلوف[4] یک بانک اطلاعاتی

---

1 -Health Care

۲- طبق گزارش OECD براساس آمار سال ۱۹۹۸ ایالات‌متحده هزینه‌ای برابر با ۱۳/۶ درصد از GDP خود را برای مراقبت و خدمات درمانی تخصیص داده است.

3 - Michael Carter

4 - Leonid Churilov

مشتمل بر بیش از ۸۰۰ مقاله درباره کاربردهای OR در سیستم‌های خدمات درمانی تهیه کرده‌اند که در سایت http://orchid.bsys.monash.edu.au /orchid/ موجود می‌باشد.

آنچه در این مقاله بررسی می‌شود، ابتدا استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح در استقرار بهینه آمبولانس‌ها در سطح شهر است که در ادامه، یک مدل از آن به تفصیل بیان می‌شود. سپس این مدل در مرکز اورژانس تهران پیاده‌سازی شده و نتایج، مشاهده و تحلیل می‌شوند.

در قسمت بعد، با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح به برنامه‌ریزی پرسنل خدمات درمانی پرداخته و مدل بدست آمده را در مرکز طبی کودکان پیاده‌سازی کرده و نتایج آن تحلیل می‌شود.

چون تاکنون مقاله‌ای در این زمینه برای بهبود سیستم خدمات درمانی کشور ارائه نشده‌است، امید است که نتایج حاصله از این مقاله موجب توجه بیشتر به کاربردهای فراوان این رشته علمی در مراکز درمانی کشورمان شود.

۲- مدل نحوه استقرار ماشینهای اورژانس

بررسی مسأله استقرار بهینه ایستگاههای اورژانس و ماشینهای آمبولانس و نحوه تخصیص مناطق مختلف به این پایگاهها، از حدود ۳۰ سال پیش مورد تحقیق بوده‌است. این مسأله تنها شامل حال سیستم‌های درمانی نبوده و برای عملیات پلیسی، آتش‌نشانی، تعمیرات اورژانس و ... نیز کاربرد وسیعی پیدا می‌کرده‌است. آنچه بین تمامی این سیستم‌ها ویژگی مشترکی محسوب می‌شود، اهمیت زمان پاسخگویی به متقاضیان است. به عبارت دیگر، عملکرد تمامی این سیستم‌ها به طور عمده بوسیله مدت زمان بین درخواست خدمت و ارائه آن محک زده می‌شود. بخش اعظم این زمان صرف انتقال ماشین اورژانس از ایستگاهش به محل تماس یا تقاضا می‌شود. جهت کمینه کردن این زمان برای بالا بردن عملکرد، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده، محل ایستگاهها و بعد از آن، نحوه تخصیص جمعیت متقاضی در هر منطقه به هر یک از پایگاهها می‌باشد.

دو رویکرد نسبتاً متفاوت برای حل این قبیل مسائل بکار می‌رود: رویکرد صفی یا توصیفی (descriptive) و رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی یا تجویزی (prescriptive). در برخورد با مسأله به کمک رویکرد صفی شاید بتوان گفت Larson[۱۹و۱۸]

مهمترین تحقیقات را انجام داده باشد. او پارامترهایی از قبیل کارکرد ماشین و زمان متوسط طی مسافت بین دو منطقه را، وقتی مکان استقرار ایستگاهها مشخص است، بکمک تئوری صف محاسبه کرده است.

مدلهای برنامه‌ریزی ریاضی برای ماشینهای اورژانس، همزمان با مدلهای استقرار کارخانه و انبار، در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل ۱۹۷۰ مطرح شدند. در مدلهای اولیه این مسأله مطرح شد که در استقرار تسهیلات در یک شبکه، پارامتر حداکثر فاصله زمانی یا مکانی‌ای که یک کاربر را از نزدیکترین مرکز خدمت‌رسانی به خود جدا می‌سازد، خیلی مهم می‌باشد. از جمله تحقیقات موفق در این دوره می‌توان به Cabot et al.[۷]، ReVelle et al.[۲۶] و Toregas et al.[۳۰] اشاره کرد. در Toregas et al.[۳۰] مسأله پوشش مجموعه مکانی LSCP[1] مطرح شد که در آن، مدل بدنبال استقرار حداقل مراکز خدمت‌رسانی برای پوشش تمام مناطق تقاضا بود. «پوشش» در این حالت معادل با وجود حداقل یک مرکز خدمت‌رسانی در فاصله مکانی و یا زمانی استاندارد تعریف شده بود. این مسائل می‌توانستند در مورد مراکز غیر اورژانس مثل کتابخانه و یا مدرسه نیز به کار برده شوند و اشکال آنها در این بود که بین مناطق مختلف از نظر جمعیت و فراوانی تماس‌های وارده تفاوتی قائل نمی‌شدند و چون لزوم پوشش تمام مناطق تقاضا مطرح بود، بالطبع شمار مراکز خدمت‌رسانی لازم پیشنهادی توسط LSCP گاهی خیلی بیشتر از منابع موجود می‌بود.

با توجه به کاستی‌های فوق، مسأله استقرار با حداکثر پوشش مکان MCLP[2] توسط White & Case[۳۳] و Church & ReVelle[۹] مطرح شد. در این مدل تعداد محدودی مرکز خدمت‌رسانی طوری استقرار می‌یافتند که تعداد مناطق پوشش یافته را حداکثر کنند. در مدل اولیه اینطور فرض شده بود که تقریباً همیشه مراکز خدمت‌رسانی برای استفاده در دسترس هستند. Eaton et al [۱۲] نیز ضرایبی را متناسب با جمعیت هر منطقه وارد مدلهای استقرار آمبولانس کرد تا در تابع هدف بجای تعداد مناطق پوشش یافته، جمعیت تحت پوشش بیان شود، که معیار دقیقتری برای ارزیابی عملکرد سیستم می‌باشد. در این زمینه مدلهای احتمالی استقرار با

1 -The Location Set Covering Problem
2 -Maximal Covering Location Problem

حداکثر پوشش موردانتظار MEXCLP[1] نیز ،توسط Daskin[۱۱] برای اولین بار مورد تحقیق قرار گرفت. مدل وی شمار محدودی مرکز خدمت‌رسانی را در شبکه طوری مستقر می‌کرد که جمعیت مورد انتظار پوشش یافته را حداکثر کند. فرض او این بود که نسبت مشغولیتی (کارکردی) یکنواخت و قابل محاسبه برای تمام مراکز خدمت‌رسانی وجود دارد. بعد از آن ReVelle & Hogan[۲۵] نشان دادند که مدل فوق با اضافه کردن محدودیتهای احتمالی و در نظر گرفتن نسبت مشغولیتهای متفاوت برای نقاط تقاضای مختلف، می‌تواند بخوبی جوابگوی مسائل سیستم اورژانس در دنیای واقعی باشد.

در میان مدلهای معرفی شده در بالا، بعضی پارامترها را قطعی و بعضی را تصادفی فرض کرده‌اند؛ بعضی نسبت مشغولیت را برای ماشینها در تمام مناطق یکسان و بعضی مختلف فرض کرده‌اند. در بعضی مدلها تقاضا کلاس‌بندی شده و تقدم و تأخر خاصی جهت پاسخگویی رعایت می‌شود. در ادامه مدل استقرار با حداکثر در دسترس بودن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳- مسأله استقرار با حداکثر در دسترس بودن

در مسأله معروف پوشش مجموعه مکانی LSCP مجموعه I را شامل n منطقه مختلف می‌دانیم که در آنجا تقاضا برای دریافت سرویس وجود دارد. این مناطق را با اندیس i مشخص می‌کنیم. مجموعه J را نیز شامل m منطقه مختلف می‌دانیم که به صورت بالقوه برای استقرار پایگاههای اورژانس در نظر گرفته شده‌اند و آنها را نیز با اندیس j نمایش می‌دهیم. N_i زیرمجموعه‌ای از J است که در فاصله مکانی استاندارد d یا کمتر، از منطقه i واقعند، یعنی:

$$N_i = \{j \mid d_{ij} \le d\}$$

که در اینجا d_{ij} فاصله مکانی نقاط i و j از هم می‌باشد. نیز می‌توانیم این مجموعه را در قالب فاصله زمانی بین دو منطقه از هم تعریف کنیم؛ حداکثر فاصله زمانی مجاز را t و فاصله زمانی دو منطقه i و j از هم را نیز t_{ij} تعریف می‌کنیم. در اینصورت خواهیم داشت:

$$N_i = \{j \mid t_{ij} \le t\}$$

1 -Maximum Expected Coverage Location Problem

X_j متغیر تصمیم و برابر ۱ است اگر پایگاهی در منطقه j احداث شود و در غیر اینصورت صفر است.

مدل کامل به این صورت می‌باشد:

$$min\ Z = \sum_{j=1}^{m} X_j$$

$$s.t.\ \sum_{j \in N_i} X_j \geq 1 \qquad i = 1,2,\ldots,n$$

$$X_j \in \{0,1\} \qquad j = 1,2,\ldots,m$$

آنچه در بالا آمده ساده‌ترین مدل برای استقرار پایگاههای اورژانس و به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح خالص (Pure Integer Programming) می‌باشد. در اینجا لزوماً تمام مناطق باید پوشش داده شوند و «پوشش» بمعنای وجود داشتن حداقل یک مرکز اورژانس در فاصله مکانی یا زمانی استاندارد از منطقه مورد نظر است. بعلاوه در این مدل محدودیت حداکثر تعداد پایگاههای موجود را نداریم، چون با توجه به محدودیت موجود، مساله ممکن است به نداشتن جواب موجه منجر شود. مجموعه‌های I و J می‌توانند در مدل برابر هم باشند. نکته دیگر اینکه در اینجا ظرفیت پایگاهها و حجم تقاضا در هر منطقه (و یا بطور معادل، جمعیت هر منطقه تقاضا) در نظر گرفته نشده و فرض بر نامحدود بودن ظرفیت پایگاهها شده و بهمین جهت مدلی بسیار ساده داریم که برای هزاران منطقه تقاضا، محاسباتی در زمانی کوتاه انجام داده و جواب بهینه را می‌دهد.

در مسأله استقرار با حداکثر پوشش مکانی MCLP ، محدودیت حداکثر تعداد مراکز خدمت‌رسانی را نیز وارد کرده و هدف را حداکثر کردن جمعیتی قرار می‌دهیم که تحت پوشش سرویس قرار می‌گیرند. تعریف مجموعه‌های I و J مشابه مسأله پوشش مجموعه است و مجموعه N_i نیز بهمان صورت قبل تعریف می‌شود. a_i را جمعیت در مرکز تقاضای i فرض کرده و متغیرهای X_j و Y_i را برای تصمیم‌گیری بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{اگر مرکزی در گره } j \text{ احداث شود.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{اگر تقاضای گره } i \text{ پوشش یابد.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

مدل کامل به شکل زیر خواهد بود:

$$max\ Z = \sum_{i=1}^{n} a_i Y_i$$

$$s.t.\ Y_i \le \sum_{j \in N_i} X_j \quad , \quad i = 1, 2, \ldots, n$$

$$\sum_{j=1}^{m} X_j = p$$

$$X_j, Y_i \in \{0, 1\} \qquad i = 1, 2, \ldots, n;\ j = 1, 2, \ldots, m$$

تابع هدف جمعیت پوشش یافته را حداکثر می‌کند و محدودیت اول تضمین می‌کند که اگر تمام مراکزی که در محدوده استاندارد مرکز تقاضای i اند (یعنی jهای عضو N_i) فاقد پایگاه باشند، $\sum_{j \in N_i} X_j = 0$ شده و آنگاه تقاضای مرکز i پوشش نیافته است، یعنی $Y_i = 0$ می‌شود. محدودیت دوم نیز حداکثر تعداد مراکز خدمت‌رسانی موجود را که برابر با p است، وارد مدل می‌کند و می‌توان آنرا بصورت $\sum_{j=1}^{m} X_j \le p$ نیز ساده‌سازی کرد.

اگر در مدل MCLP احتمال مشغول بودن خدمت دهنده را نیز وارد کنیم، به مدلی واقعی‌تر می‌رسیم که مسأله استقرار با حداکثر در دسترس بودن MALP[1] می‌باشد. ویژگی تصادفی بودن در دسترس بودن (مشغول نبودن) مراکز خدمت‌رسانی در این مسأله با این فرض است که احتمال مشغول بودن مراکز خدمت‌رسانی مختلف، مستقل از همند.

در مدل MCLP، مسأله تراکم لحاظ نمی‌شود. تراکم یعنی امکان اینکه وقتی متقاضی با یک مرکز خدمت‌رسانی تماس گیرد آن مرکز خدمت‌رسانی مشغول بوده و متقاضی وارد صف شود. برای لحاظ داشتن این مورد، باید پارامتری بنام نسبت مشغولیت[2] تخمین زده شود. نسبت مشغولیت برای تقاضایی که از منطقه i تقاضا باشد، یا بعبارت دیگر احتمال اینکه تقاضای مرکز i مجبور به رفتن در صف باشد، به صورت زیر تخمین زده می‌شود:

---

1 -Maximum AvailabilityLocation Problem

2 - busy fraction

$$q_i = \frac{\bar{t}\sum_{k\in M_i} f_k}{24\sum_{j\in N_i} X_j}$$

در این فرمول $\bar{t}$ متوسط مدت زمانی است (برحسب ساعت) که صرف پاسخگویی به یک تماس می‌شود. M_i مجموعه ای از مراکز تقاضا است که در فاصله مکانی و یا زمانی استاندارد s از مرکز i واقع است؛ به عبارت دیگر $M_i = \{k \mid t_{ki} \le s\}$. f_k فراوانی تماس‌های درخواست سرویس است که از مرکز تقاضای k (بر حسب تعداد تماس در روز) انجام می گیرد و N_i نیز مجموعه‌ای از مراکز بالقوه احداث پایگاه است که در فاصله مکانی و یا زمانی استاندارد s از مرکز i واقعند:

$$N_i = \{j \mid t_{ji} \le s\}$$

متغیر تصمیم نیز X_j است که مقدارش برابر با تعداد مراکز خدمت‌رسانی است که در گره j مستقرند. عبارت $\sum_{k\in M_i} f_k$ را می‌توان با λ_i جایگزین کرد که λ_i نرخ تماس‌های انجام شده برای درخواست سرویس در همسایگی گره i است. $\bar{t}$ نیز همان $1/\mu_i$ است که μ_i نرخ تکمیل سرویس برای تقاضای منطقه i می‌باشد. پس فرمول فوق به شکل زیر در می‌آید:

$$q_i = \frac{\rho_i}{\sum_{j\in N_i} X_j}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

که در آن $\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ است.

حال می‌توانیم احتمال این که حداقل یک مرکز خدمت‌رسانی در زمان استاندارد s برای تقاضای گره i در دسترس باشد را حساب کنیم. این احتمال مساوی است با:

$1 - P$ (تمام مراکز خدمت‌رسانی مجاز به پاسخ گره i مشغولند) $= 1 - q_i^{\sum_{j\in N_i} X_j}$

در مسأله MALP ، پوشش را به این صورت تعبیر می‌کنیم که با سطح اطمینان α، برای هر گره تقاضا، حداقل یک مرکز خدمت‌رسانی در دسترس باشد تا گره مورد نظر پوشش یافته تلقی شود. این مسأله را بصورت زیر نشان می‌دهیم:

$$P \quad \text{(حداقل یک مرکز خدمت‌رسانی برای پاسخ به گره } i \text{ آزاد باشد)} \quad \geq \alpha \Rightarrow 1-q_i^{\sum_{j\in N_i} X_j} \geq \alpha \Rightarrow 1-\left(\frac{\rho_i}{\sum_{j\in N_i} X_j}\right)^{\sum_{j\in N_i} X_j} \geq \alpha$$

برای وارد کردن این محدودیت به مدل باید آنرا از حالت غیرخطی به خطی تبدیل کنیم. گرچه این فرمول به صورت عددی معادل خطی دقیقی ندارد، اما می‌توان نشان داد که با عبارت زیر معادل است:

$$\sum_{j\in N_i} X_j \geq b_i$$

که در نامعادله، b_i کوچکترین عدد صحیحی است که در نامعادله زیر صدق می‌کند:

$$1-\left(\frac{\rho_i}{b_i}\right)^{b_i} \geq \alpha$$

فرمول‌بندی کامل MALP به صورت زیر است:

$$\textbf{(P1)} \quad max\, Z = \sum_{i\in I} f_i Z_i$$

$$s.t. \quad \sum_{j\in N_i} X_j \geq b_i Z_i \qquad \forall i \in I$$

$$\sum_{j\in J} X_j = p$$

$$X_j \geq 0,\ Int. \qquad \forall j \in J$$

$$Z_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

در مدل (P1) متغیر تصمیم Z_i، یک است اگر گره تقاضای i بوسیله حداقل b_i مرکز خدمت‌رسانی پوشش یابد و در غیر اینصورت صفر است. این محدودیت در این مدل تضمین می‌کند که اگر حداقل b_i مرکز خدمت‌رسانی در همسایگی گره تقاضای i نباشد، مقدار Z_i صفر خواهد شد. تجربه محاسباتی نشان داده که جواب این مدل اغلب کسری است. بنابراین در صورت آزاد کردن شرط عدد صحیح بودن متغیرها، به تعداد شاخه و کران بیشتری برای حل آن احتیاج است.

۴- پیاده‌سازی مدل استقرار با حداکثر در دسترس بودن در مرکز اورژانس تهران

جهت پیاده‌سازی برنامه‌ریزی خطی برای استقرار بهینه ماشینهای آمبولانس به مرکز اورژانس تهران مراجعه شده‌است. این سازمان دولتی بوده و شامل ۶۰ ماشین آمبولانس می‌باشد که در۴۲ پایگاه در کل شهرستان تهران مستقرند. آنچه از این برنامه‌ریزی بدست خواهد آمد تخصیص بهینه ماشینهای آمبولانس به پایگاهها است؛ یعنی اینکه در حالت بهینه در هر پایگاه چند آمبولانس باید مستقر باشد.

پارامترهای مهم ورودی به مدل، متوسط زمان درگیری آمبولانس به ازای هر تماس و نیز فراوانی تماس‌های روزانه برای هر پایگاه می‌باشند. در مورد پارامتر اول یعنی متوسط زمان از لحظه‌ای که تماس انجام شده تا زمانی که آمبولانس پس از انجام خدمت به مرکز بر می‌گردد، تحقیقات زیادی توسط بخش آمار مرکز اورژانس تهران انجام شده‌است. به این صورت که ۷ بازه زمانی در بین ۸ لحظه یا فعالیت متوالی در نظر گرفته شده و متوسط مدت این ۷ بازه محاسبه شده‌است. این ۸ فعالیت و بازه‌های زمانی بین آنها در شکل (۱) نشان داده شده‌است.[۱]

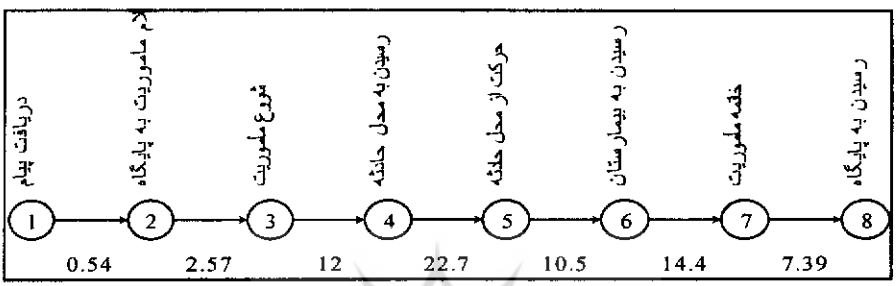
زمانهای ذکر شده در زیرکمانهای بازه‌های زمانی به واحد دقیقه بوده و بر اساس بررسی ۵۰۰ رکورد در سه ماهه سوم[۲] سال ۸۲ بدست آمده‌اند.

پس از دریافت تماس، آمبولانس به محل حادثه رفته و یا بیمار را به بیمارستان انتقال می‌دهد، و یا او را در محل به صورت سرپایی معالجه می‌کند. ممکن است قبل از رسیدن آمبولانس به محل، بیمار فوت شود و نیز ممکن است بیمار به نحو دیگری به بیمارستان یا به مکان دیگر منتقل شود و به مرکز اطلاع نداده و در نتیجه وقتی آمبولانس به محل می‌رسد، بیمار نباشد. همچنین ممکن است درخواست کاذب بوده که این مورد نیز متأسفانه باعث مشغولیت بی‌مورد آمبولانس می‌شود. نتیجه دیگری که در رکوردهای ثبت شده دیده می‌شود، مورد «نامشخص» بوده که بعلت عدم ثبت نتیجه مأموریت بتوسط پرسنل پایگاه، در گزارشات دیده می‌شوند. هر تماس و یا

۱- بسیار اتفاق می‌افتد که آمبولانس در حال برگشت به پایگاه به محل دیگری فرستاده شود. این موارد باعث کاهش زمان مشغولیت آمبولانس می‌شوند اما به لحاظ عملی‌تر بودن مدت پاسخ از این زمان برگشت صرف نظر نمی‌کنیم.

۲- در سه ماهه سوم سال همواره به علت شروع مدارس افزایش ترافیک و افزایش آمار تصادفات داشته و در نتیجه طول این بازه‌های زمانی افزایش می‌یابد.

بعبارت دیگر هر تقاضای خدمات اورژانس یکی از این شش نتیجه را در بر خواهد داشت که در رکوردهای این مرکز نیز ثبت شده‌است. با نمونه‌گیری به تعداد زیاد به درصد تقریبی خوبی از این نتایج رسیدیم که در جدول (۱) همراه با زمانهای متوسط برای هر مورد خلاصه شده‌اند.



نمودار ۱- متوسط بازه‌های زمانی (به دقیقه) برای پاسخ به یک تماس

در ستون سوم از این جدول متوسط زمان مشغولیت آمبولانس درج شده است. این زمان با زمان پاسخگویی متفاوت است. زمان پاسخگویی از لحظه دریافت تماس شروع شده و تا زمان خاتمه مأموریت (لحظه ۷) ادامه می‌یابد. زمانهای متوسط در ستون سوم حاصل‌جمع بازه‌های زمانی صرف شده از بین ۷ بازه موجود است. به طور مثال انتقال به بیمارستان به معنای مجموع ۷ بازه زمانی برای مشغول بودن آمبولانس است و معالجه سرپایی در منزل بازه ۵ تا ۷ را شامل نشده و مجموع ۱ تا ۵ و ۷ تا ۸ می‌باشد.

در حالتی که بیمار قبل از رسیدن آمبولانس فوت کند، آمبولانس از لحظه ۱ تا ۴ مشغول بوده و زمان ۷ تا ۸ نیز درگیر می‌باشد. در حالتی که مأموریت به هر علتی (نبود بیمار یا کاذب بودن تقاضا) لغو شود، معمولاً آمبولانس برای اطمینان مثل حالت قبلی به محل رفته و سپس به پایگاه برمی‌گردد. در نتیجه برای این حالت نیز مجموع بازه‌های ۱ تا ۴ و ۷ تا ۸ در نظر گرفته می‌شود. در حالتی که نتیجه مأموریت مشخص نیست نیز از ضرب درصد موارد دیگر در متوسط زمانی آنها استفاده شده‌است. در نتیجه برای هر سری از نتایج مأموریتها یک متوسط زمانی در نظر گرفته شده و در نهایت متوسط زمان مشغول بودن آمبولانس برای هر تقاضا (تماس)، مستقل از مکان حادثه، به صورت ضرب درصد نتایج در متوسط زمان آنها

است که این زمان ۴۹ دقیقه بدست آمده است؛ یعنی متوسط زمان درگیری آمبولانس به ازای هر تماس، ۴۹ دقیقه است.

جدول ۱- تماس‌های وارده به مرکز اورژانس تهران و متوسط زمان درگیری آمبولانس به ازای هر نتیجه

نتیجه تقاضا	درصد موارد مشاهده شده	متوسط زمان درگیری آمبولانس (به دقیقه)
انتقال به بیمارستان	۰/۳۴	۷۰/۰۲
معالجه سرپایی در محل	۰/۴۴	۴۵/۱۱
فوت قبل از رسیدن	۰/۰۵	۲۲/۴۵
لغو مأموریت- نبود	۰/۱۴	۲۲/۴۵
لغو مأموریت- کاذب	۰/۰۱۵	۲۲/۴۵
نامشخص	۰/۰۱۵	۴۸/۹۹

پس از مسأله زمان مشغولیت آمبولانس به مسأله تعداد تقاضای بالقوه روزانه برای هر پایگاه می‌پردازیم. پیدا کردن این تعداد بسیار مشکل بود، زیرا تحقیقی در این زمینه توسط پرسنل مرکز اورژانس انجام نشده بود و نیز رکوردهای ثبت شده به ازای هر تماس، اطلاعات در این باره را به صورت دقیق مشخص نمی‌کرد. آنچه بخش ۸۰۰[1] در این مرکز ثبت می‌کند کد آمبولانسی است که برای پاسخگویی به هر تقاضا مأمور می‌شود. از روی این کدها، شماره پایگاهی که به تقاضای مربوطه پاسخ گفته را می‌توان پیدا کرد ولی مشکل اطلاعات ثبت شده در این است که لزوماً پایگاهی که به این تقاضا پاسخ می‌دهد، نزدیکترین پایگاه به او نیست و بعبارت دیگر این که این تقاضا در منطقه استحفاظی این پایگاه بوده یا خیر مشخص نمی‌باشد[2]. در نتیجه

۱- بخش ۸۰۰ پس از دریافت اطلاعات مربوط به تماس انجام شده، بهترین آمبولانس را برای انجام مأموریت تشخیص داده و با پایگاه مربوطه ارتباط برقرار کرده و کد آمبولانس مأمور را ثبت می‌کند و در صورتیکه پایگاه دارای آمبولانس آزاد نباشد با پایگاه نزدیکتر بعدی تماس می‌گیرد.

۲- طبق روال کار مرکز اورژانس تهران، اگر آمبولانسی در فاصله منطقی از محل تقاضا وجود نداشته باشد، مرکز این مسأله را به متقاضی سرویس اعلام می‌دارد، اما در صورت تمایل متقاضی، آمبولانس دیگری را از مناطق اطراف برای وی ارسال می‌دارد، هر چند این آمبولانس به محل بسیار دیر برسد. اینگونه موارد که تعدادشان نیز کم نیست، باعث غیر دقیق بودن بسیار اطلاعات ثبت شده جهت آنالیز تعداد تقاضاهای بالقوه برای هر پایگاه می‌شود.

اطلاعات مربوط به دو روز را رکورد به رکورد روی نقشه تهران پیدا کرده[۱] و به آمار دقیقتری جهت برآورد تعداد تقاضای بالقوه هر پایگاه در روز رسیدیم. آنچه در نهایت محاسبه شد، درصد تقاضاهایی است در طول روز که مربوط به هرکدام از پایگاهها می‌شود. تعداد تماس‌های دریافتی از روزی به روز دیگر مسلماً متغیر بوده اما انحراف معیار زیادی ندارد. تنها در روزهای پنجشنبه تعداد کل تقاضا جهش کوچکی دارد و سال به سال نیز تعداد کل تقاضاها با شیب کندی افزایش می‌یابد. در طول روز نیز دو نقطه اوج تقاضا دیده می‌شود که اولی از ساعت ۹ صبح تا ۱/۵ بعد از ظهر و دومی که افزایش بیشتری نیز دارد مربوط به ساعات ۷/۵ عصر تا ۱۲ نیمه شب می‌شود.

درصد تقریبی تقاضای مربوط به هر پایگاه از کل تعداد تقاضاهای روزانه و تعداد معادل آن در روز در جدول (۲) آمده است. تعداد کل تقاضاها در روز، طبق آخرین آمار، به طور متوسط برابر با ۴۳۷ تقاضا در روز در نظر گرفته شده‌است. با توجه به این آمار، برنامه‌ریزی خطی نهایی در بخش «استقرار با حداکثر در دسترس بودن» را می‌توان اجرا کرد. با استفاده از Excel Premium Solver 5.0 این مسأله قابل حل می‌باشد. چون از نظر جمع‌آوری آماری، در نظر گرفتن این که هر تقاضای وارده بعد از نزدیکترین پایگاه به کدام پایگاه دیگر نزدیک است و اصولاً تعیین تعداد تقاضای روزانه مشترک بین دو پایگاه مشکل می‌باشد، فراوانی تماس‌های وارده به پایگاه را تنها تماس‌هایی در روز درنظر می‌گیریم که نزدیکترین پایگاه پاسخگو به آن، همان پایگاه است. به عبارت دیگر بخاطر کم دقت بودن رکوردهای ثبت شده، مناطق تقاضا و پایگاه‌ها را معادل هم در نظر می‌گیریم. اگر بخواهیم به صورت دقیق‌تری برنامه‌ریزی کنیم باید سیستمی طراحی شود و تهران را به بیشتر از ۴۲ منطقه تقاضا تقسیم کنیم که هر یک از این مناطق به یک یا چند پایگاه مشخص نزدیک بوده و در نتیجه هر تماس انجام شده مشخص است که چند پاسخگوی بالقوه داشته‌است. در این حالت نسبت مشغولیت دقیق‌تری بدست خواهد

۱- این دو روز را به بازه‌های ۲ ساعته تقسیم کرده و هر بازه دو ساعته را برای دو روز به صورت رندوم از بین رکوردهای مربوط به ۱۰ روز بررسی کردم. این کار باعث شد تا روندهای احتمالی روزانه از بین رفته و تقاضای این دو روز کامل، که در واقع ساعات مختلف آنها از بین روزهای مختلفی استخراج شده، دقیق‌تر باشد.

آمد. در هر حال با سیستم فعلی آنچه که عملی بوده فرض اخیر است. یعنی برای هر تقاضا تنها یک پایگاه می‌توانسته پاسخگو باشد و آن نزدیکترین پایگاه است. در نتیجه در مدل (P1)، $M_i=\{i\}$ برای ۴۲، ... ، ۱ = i بوده و $\lambda_i=f_i$ خواهد بود که این مقادیر همان مقادیر ستون سوم در جدول (۲) هستند.

بکمک Excel Premium Solver 5.0 مقادیر q_i را برای هر کدام از ۴۲ منطقه تقاضا و به طور معادل ۴۲ پایگاه سرویس محاسبه می‌کنیم. فرمول محاسبه آن به شکل زیر است:

$$q_i = \frac{\rho_i}{X_i} = \frac{\bar{t}\lambda_i}{X_i} = \frac{49\lambda_i}{24*60X_i}$$

حال مقدار α که سطح خدمت مطلوب یا بعبارتی حداقل احتمال آزاد بودن یکی از پایگاههای پاسخگو برای تقاضای سرویس است را تعیین کرده و به ازای آن، b_i را که حداقل آمبولانس‌های مورد نیاز برای رسیدن به این سطح اطمینان است محاسبه می‌کنیم. در جدول (۳) به ازای درصدهای مختلف از α، مقادیر b_i برای هر کدام از ۴۲ پایگاه را نشان داده‌ایم. از بین مقادیر این جدول، درصد منطقی α که به ازای آن اختلاف تعداد آمبولانس‌های لازم و تعداد آمبولانس‌های موجود از هم کم باشد، ۰/۸۵می‌باشد. نکته جالب آنکه بین سطح خدمت ۰/۸۰ و ۰/۸۵ تفاوتی در تعداد آمبولانس‌های لازم مشاهده نمی‌شود.

با فرض α = ۰/۸۵، برنامه "P1" را اجرا می‌کنیم و نتایج را برای تعداد آمبولانس‌های موجود که برابر با ۶۰ آمبولانس می‌باشد، بدست می‌آوریم. یک نکته جالب در اینجا این است که به ازای ورودی‌های مدل در این حالت، تعدادی از پایگاه‌ها در حالت استقرار بهینه دارای صفر آمبولانس می‌شوند. این نتایج در ستون دوم از جدول (۷) مشاهده می‌شود. اگر به برنامه P1، محدودیت حداقل تعداد آمبولانس‌ها در هر پایگاه را اضافه کرده و این حداقل را برابر با ۱ فرض کنیم، در نتیجه از تمام پایگاههای موجود استفاده شده و تقاضای هر منطقه تا درصدی پوشش یافته و مسأله پوشش کامل مناطقی می‌شود که تقاضای بیشتری دارند. پس با اضافه کردن محدودیت $X_i \geq 1$ به مدل "P2" و حل آن برای $p=$۶۰ به نتایج ستون سوم می‌رسیم. مدل حل شده دارای ۴۲ متغیر عدد صحیح و ۸۵ محدودیت می‌باشد.

سپس برنامه را برای $p = ۶۱$، $p = ۶۲$، $p = ۶۳$، $p = ۶۴$ و $p = ۶۵$ حل کرده و با مشاهده نتایج مدل که در ستون‌های بعدی آمده‌اند، بهترین استقرار برای آمبولانس‌های جدید را نیز بدست می‌آوریم. همانطور که در جدول (۴) مشاهده می شود، در صورت اضافه کردن آمبولانس جدید به سیستم، اولین آنها باید در پایگاه ۲۷ مستقر شود، دومین در پایگاه ۳۱، سومین در پایگاه ۲۳، چهارمین در پایگاه ۱۴ و پنجمین باید در پایگاه ۲۵ مستقر شود.

سیستم اجرایی مرکز اورژانس تهران از ابتدای دریافت تماس جای تغییر و بهبود بسیار دارد. در این سازمان افرادی پرسابقه که تهران را بخوبی می‌شناسند در بخش ۸۰۰ مشغول به کارند. آنها فاصله هر مکان را تا هر پایگاه بسته به ترافیک منطقه در آن ساعت و موقعیت محلی بخوبی تشخیص می‌دهند؛ اما مسلماً در دنیای امروزی تجربه و تخصص فردی نمی‌تواند ضمانتی برای دوام و درستی سیستمی با این وسعت باشد و باید این تجربیات فردی بکار گرفته شود تا یک برنامه کامپیوتری دقیق و جامع در راستای فعالیت افراد باتجربه به اجرا درآید.

ایجاد این برنامه کامپیوتری احتمالاً برای سازمان بسیار وقتگیر و پرهزینه خواهد بود، اما یک برنامه قابل استفاده در دراز مدت می‌باشد که برای آنالیز سیستم و جمع‌آوری آمار مناسب در این راستا نیز مفید خواهد بود. برنامه به این شکل باید تهیه شود که کل سیستم که شامل شهرستان تهران است را به مناطق مختلف افراز کند، به صورتی که نقاط درون هر منطقه از نظر شماره، تعداد و اولویت پایگاههای پاسخگو به آن یکسان باشند. یعنی به طور مثال اگر از منطقه ۷۶ تماسی گرفته شود، بهترین پاسخگو به آن پایگاه ۶ بوده و پس از آن پایگاه ۹ نیز در فاصله منطقی و قابل قبول از آن واقع است و منطقه مثلاً ۷۷ تهران منطقه‌ای است در مجاورت منطقه ۷۶ با این تفاوت که تنها پاسخگوی قابل قبول به آن پایگاه ۶ است. نیز اگر در هنگام تماس افراد، علاوه بر منطقه تقاضای آنها، درجه اورژانس بودن مورد نیز ذکر شود به بهبود سیستم و آمارگیری مناسب از آن کمک به سزایی شده و تقدم و تأخر را می‌توان در صف لحاظ کرد. البته ثبت درست درجه اورژانس بودن مورد، هنگام دریافت تماس، مستلزم فرهنگ بالای مردم خواهد بود که واقعیت را بیان کنند.

جدول ۳

مقادیر b_i به ازای درصدهای مختلف از α

α /	۰.۷۵	۰.۸۰	۰.۸۵	۰.۹۰	۰.۹۵	۰.۹۹
۱	۲	۲	۲	۲	۳	۳
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۳	۲	۲	۲	۲	۳	۳
۴	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۵	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۶	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۷	۲	۲	۲	۲	۳	۳
۸	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۹	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۱۰	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۱۱	۲	۲	۲	۲	۳	۳
۱۲	۱	۲	۲	۲	۲	۴
۱۳	۱	۱	۱	۲	۲	۳
۱۴	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۱۵	۲	۲	۲	۲	۳	۳
۱۶	۲	۲	۲	۲	۲	۴
۱۷	۱	۲	۲	۲	۲	۳
۱۸	۱	۱	۲	۲	۲	۳
۱۹	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۲۰	۲	۲	۲	۲	۳	۳
۲۱	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۲۲	۲	۲	۲	۲	۲	۴
۲۳	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۲۴	۱	۲	۲	۲	۳	۴
۲۵	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۲۶	۱	۱	۲	۲	۲	۴
۲۷	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۲۸	۲	۲	۲	۲	۳	۴
۲۹	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۳۰	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۳۱	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۳۲	۲	۲	۲	۲	۳	۴
۳۳	۱	۱	۱	۲	۲	۳
۳۴	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۳۵	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۳۶	۱	۲	۲	۲	۲	۳
۳۷	۲	۲	۲	۲	۳	۴
۳۸	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۳۹	۱	۱	۱	۲	۲	۳
۴۰	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۴۱	۲	۲	۲	۲	۳	۴
۴۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳
Total	۷۳	۷۸	۷۸	۸۵	۹۱	۱۲۱

جدول ۲

درصد تقاضای مربوط به هر پایگاه و تعداد معادل آن به ازای ۴۳۷ تقاضای کل در روز

پایگاه	درصد تقاضا	تقاضای روزانه
۱	۳/۵	۱۵
۲	۳	۱۳
۳	۴	۱۷
۴	۲	۹
۵	۴	۱۷
۶	۳	۱۳
۷	۲	۹
۸	۴	۱۷
۹	۲/۵	۱۱
۱۰	۱/۵	۷
۱۱	۲/۵	۱۱
۱۲	۱/۵	۷
۱۳	۱	۴
۱۴	۲	۹
۱۵	۴	۱۷
۱۶	۳	۱۳
۱۷	۱/۵	۷
۱۸	۱	۴
۱۹	۲/۵	۱۱
۲۰	۵	۲۲
۲۱	۳	۱۳

پایگاه	درصد تقاضا	تقاضای روزانه
۲۲	۳/۵	۱۵
۲۳	۲	۹
۲۴	۲/۵	۱۱
۲۵	۲	۹
۲۶	۱	۴
۲۷	۲/۵	۱۱
۲۸	۲	۹
۲۹	۲	۹
۳۰	۲	۹
۳۱	۲/۵	۱۱
۳۲	۳	۱۳
۳۳	۱	۴
۳۴	۳	۱۳
۳۵	۲	۹
۳۶	۱/۵	۷
۳۷	۲	۹
۳۸	۲	۹
۳۹	۱	۴
۴۰	۱	۴
۴۱	۳	۱۳
۴۲	۲	۹

جدول ۴

خلاصه نتیجه پیاده سازی مدل استقرار با حداکثر پوشش در اورژانس تهران

min Amb per Station	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Total Num of Ambs	۶۰	۶۰	۶۱	۶۲	۶۳	۶۴	۶۵
Model / Station	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۴	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۵	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۶	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۷	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۸	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۹	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۱۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۱۲	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۴	۲	۱	۱	۲	۱	[illegible]	۲
۱۵	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۱۶	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۱۷	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۸	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۹	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۲۰	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۲۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۲۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۲۳	۲	۱	۱	۱	[illegible]	۲	۲
۲۴	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۲۵	۲	۱	۱	۱	۱	۱	[illegible]
۲۶	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۷	۲	۱	[illegible]	۲	۲	۲	۲
۲۸	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۹	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۰	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۱	۲	۱	۱	[illegible]	۲	۲	۲
۳۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۳۳	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۴	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۳۵	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۶	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۷	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۸	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۹	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۴۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۴۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۴۲	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱
Objective Value	۳۶۷	۳۵۸	۳۶۳.۵	۳۶۹	۳۷۳.۵	۳۷۸	۳۸۳

۵- برنامه‌ریزی پرسنل خدمات درمانی

یکی دیگر از کاربردهای برنامه‌ریزی ریاضی در سیستم‌های درمانی می‌تواند برنامه‌ریزی پرسنل آن باشد. در بیمارستانها و بخصوص در بخش اورژانس، در ۲۴ ساعت شبانه روز مراجعین وارد شده و تقاضا در طول روز گرچه تا حدی قابل پیش‌بینی است ولی کاملاً مشخص نمی‌باشد. از طرفی چون مسأله زمان در میان است، از لحظه ورود بیمار به بخش، وی باید تحت‌نظر پزشکان و پرستاران قرار گیرد. از این‌رو، موجود بودن منابع کافی جهت درمان فرد در هر لحظه امری ضروری است. برنامه کاری پزشکان و پرستاران، از هر سطح تخصص، باید طوری باشد که جوابگوی تقاضای پیش‌بینی شده در هر شیفت کاری در هر روز باشد. از طرفی برنامه مذکور باید طوری باشد که رضایت انجام‌دهنده آن را نیز در بر داشته باشد. کار پزشکان و پرسنل اورژانس همچنانکه تجربه‌های زیاد و مفیدی را برای آنها در بر دارد، تنش زیادی نیز به آنها وارد می‌کند. در نتیجه مسأله رضایت آنها از کارشان و بخصوص از برنامه کاری‌شان بسیار مهم است. برنامه کاری منطبق بر ترجیحات آنها و همچنین منطبق بر اصول ارگونومیکی باعث عدم خستگی آنها در طول شیفت کاری‌شان می‌شود و کیفیت کار آنها را بالا می‌برد.

شمار زیادی از کاربردهای برنامه‌ریزی ریاضی در زمانبندی شیفتهای کاری پرستاران در مقالات وجود دارد که اولین آنها به تحقیقات Wolfe & Young [۳۴و۳۵] مربوط می‌شود که در آنها هزینه تخصیص پرستاران از درجات تخصص مختلف به فعالیت‌های مختلف را حداقل می‌کنند. در تحقیقات بعدی، Warner & Prawda [۳۲] هدف را کمینه کردن هزینه کمبود خدمات پرستاران برای یک دوره سه تا چهار روزه در نظر گرفته و ظرفیت کل پرستاران، تخصیص یکپارچه و سایر محدودیتهای مربوطه را نیز وارد مدل کرده‌است.

تا بحال تحقیقات کمی بر روی زمانبندی پزشکان بخش اورژانس انجام شده‌است و بیشتر این تحقیقات بر روی زمانبندی پرستاران بوده است[۲۴]. علت این امر می‌تواند این باشد که برنامه پزشکان انعطاف‌پذیری برنامه پرستاران را ندارد، بعبارت دیگر پزشکان را نمی‌توان در برنامه کاری‌شان زیاد محدود کرد. برای اطلاعات بیشتر درباره تصمیم‌گیری بر روی تأمین نیروی پزشکان در بخش اورژانس می‌توان به Blake et al. [۵] نیز مراجعه کرد.

در سالهای اخیر، بعضی نرم‌افزارهای تجارتی نیز برای برنامه‌ریزی پزشکان ساخته شده‌اند و عملکرد آنها هم نسبتاً موفقیت‌آمیز بوده‌است. دو نمونه از آنها که قادر به برنامه‌ریزی کامل پزشکان می‌باشند[۱]، عبارتند از:

-"Tangier Emergency Physician Scheduling Software", Peake Software Laboratories

-"Epsked", ByteBloc Medical Software

"Docs for Windows" از Acme Express [۲۷] و "Physician Scheduler 4.0" از Sana Med نیز نرم‌افزارهای کاربردی دیگری در این زمینه هستند که مورد استفاده بخش‌های اورژانس قرار گرفته‌اند.

اولین تحقیق انجام شده بر روی مقوله کلی برنامه‌ریزی پرسنل خدمات درمانی توسط Dantzig [۱۰] انجام شد و بعد از آن دو نمونه از موفقترین تحقیقات انجام شده در این زمینه توسط Miller et al. [۲۲] و Warner [۳۱] بود که در آنها از برنامه‌ریزی ریاضی که روش غالب برای حل اینگونه مسائل است، استفاده شده بود. از آنجا که اهداف مختلفی در اینگونه مدل‌ها می‌تواند وجود داشته باشد، Arthur & Ravindran [۲] یک مدل با آرمانهای چندگانه ارائه داد که با روش شهودی حل می‌شد. بعد از آن Berrada et al. [۴] این مدل را توسعه داد تا مسأله برنامه‌ریزی پرستاران را به گونه واقعی‌تری حل کند. در ادامه Jaumard et al. [۱۵و۱۶] روشهای دقیقی برای حل مسائل برنامه‌ریزی پرستاران با چند آرمان ارائه داد. Beaulieu et al. [۳] نیز در تحقیقات خود مدل ارائه شده توسط Berrada et al. [۴] را برای حل اینگونه مسائل بسیار مناسب دانست، در صورتیکه محدودیت چرخش شیفتها در نظر گرفته نشود.

اولین تحقیق انجام شده بر روی برنامه‌ریزی سیکلی در زمینه خدمات درمانی بوسیله Maier Rothe & Wolfe [۲۱] انجام شد که این مدلسازی‌های اولیه بر اساس برنامه‌ریزی در تک شیفت انجام می گرفت؛ هدف اصلی، کمینه کردن شمار کارمندان بود (به طور مشابه Burns & Carter [۶]). مقالات اولیه بر روی برنامه‌ریزی در چند شیفت تنها قواعد و اصول محدودی را در نظر می‌گرفتند. از آن جمله است مقاله Morris & Showalter [۲۳] که این برنامه‌های دوره‌ای اولیه براحتی و بدون کمک کامپیوتر حل می‌شدند. اما در Siferd & Benton [۲۹] این

مسأله عنوان شد که استراتژیهای برنامه‌ریزی باید تغییر کند. توالی خاص از انواع شیفتهای کاری‌ای که به یک فرد از پرسنل تخصیص می‌دهیم می‌تواند اثرات منفی بر روی وضعیت خواب و ریتم قلبی وی داشته باشد. در این راستا تحقیقات بسیاری بر روی قواعد ارگونومیکی[1] انجام شد تا اثرات مضر اینگونه برنامه‌ها را حداقل کند. با بحساب آوردن این اصول، برنامه‌ریزی سیکلی مشکل‌تر و مشکل‌تر شد. Hung [۱۴]، Schwarzenau et al. [۲۷] ، Lappierre et al. [۱۷] و Lau [۲۰] الگوریتمهایی را برای ساخت برنامه‌های سیکلی ایجاد کردند که معیارهای ارگونومیکی در آنها رعایت می‌شد، اما باز جای تحقیقات بیشتر در این زمینه باقی است.

در این میان رویکرد دیگری با نام رویکرد «خودبرنامه‌ریزی»[2] معرفی شده‌است [۱۳و۱۹] که در آنها پرسنل، خود، برنامه شان را می‌سازند، بجای آنکه این کار را مدیریت انجام دهد. در این رویکرد استدلال می‌شود که برنامه‌ریزی توسط یک نفر، چه با کمک کامپیوتر و چه تنها، کارا نبوده و اگر وظیفه برنامه‌ریزی را بجای یک نفر به تمامی افراد واگذار کنیم، کیفیت بهتری را در برنامه خواهیم داشت.

در متون تحقیق در عملیات مربوط به حل مسأله زمانبندی، اکثراً از برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده‌است. تابع هدف، همانطور که قبلاً نیز بیان شد، از مقوله هزینه و درآمد صرفنظر کرده و انحراف از آرمانهای مشخصی را که تماماً مربوط به کیفیت سرویس می‌باشند حداقل می‌کند. جواب مدل، برنامه کاری هر فرد در پرسنل اورژانس بوده و محدودیت‌ها شامل رعایت یک سری اصول است، ضمن آنکه یک مجموعه از آرمانها نیز در آنها تعریف می‌شود. در این بخش ما به مدلسازی این مسأله با استفاده از گزیده‌ای از روش‌های بکار رفته در تحقیقات ذکر شده می‌پردازیم.

۶- رویکردهای مختلف برنامه‌ریزی پرسنل خدمات درمانی

دو رویکرد متفاوت برای حل مسائل برنامه‌ریزی پرسنل بخش درمانی مطرح است:

1 - Ergonomic Rules
2 - Self- Scheduling

رویکرد اول: در این روش بکمک متغیرهای تصمیم برنامه هر فرد ساخته می‌شود. در این حالت از متغیرهایی که فرد و روز و شیفت کاری را مشخص می‌کنند استفاده شده و با حل مدل مقادیری از صفر و یک به آنها تخصیص می‌یابد که برنامه آن فرد را مشخص می‌کند. به این رویکرد، رویکرد فرد/ شیفت (person/ shift) می‌گویند.

رویکرد دوم: در این رویکرد مجموعه برنامه‌های مختلفی برای هر فرد بصورت بالقوه تعیین می‌شود که میزان ناخوشایندی آن برنامه نیز از نظر آن فرد تعیین شده و با توجه به تأمین تقاضا در هر شیفت در بیمارستان، برنامه بهینه از بین مجموعه برنامه‌های ممکن برای هر فرد تعیین می‌شود. رویکرد اخیر رویکرد انتخاب برنامه (Schedule Selecting) نامیده می‌شود.

۸- پیاده‌سازی برنامه‌ریزی پرسنل در مرکز طبی کودکان

جهت پیاده سازی برنامه‌ریزی پرسنل در بخش اورژانس به مرکز طبی کودکان[۱] واقع در بلوار کشاورز مراجعه شده و با همکاری سرپرستار بخش اورژانس اطلاعات لازم در این زمینه بدست آمده‌است.

آنچه در زمانبندی پرسنل در این بخش قابل برنامه‌ریزی بتوسط مدلسازی ریاضی است، زمانبندی دو کلاس کاری پرستاران و بهیاران می‌باشد. پزشکان و دانشجویان پزشکی چون به تعداد محدودی مورد نیازند، برنامه‌ریزی شان به صورت دستی براحتی صورت می‌گیرد. اما در کلاس کاری پرستاران و بهیاران، در شیفتهای صبح روزهای وسط هفته مجموعاً ۲ پرستار و بهیار و در سایر شیفتها و روزها مجموعاً ۳ نفر لازم می‌باشند.

برنامه‌ریزی را با رویکرد فرد/ شیفت انجام می‌دهیم و در نتیجه متغیر تصمیم، X_{nipq} می‌باشد که متغیر صفر و یک بوده و وضعیت کاری فرد i- ام از کلاس پرسنلی n را در روز p و شیفت q تعیین می‌کند. در بخش اورژانس مرکز طبی کودکان در حال حاضر ۶ پرستار و ۳ بهیار مشغول بکارند و چون این تعداد کفایت نمی‌کند، تعدادی از پرسنل بخش‌های دیگر این مرکز روزهای مختلف به کمک این

۱- این مرکز وابسته به دانشکده علوم پزشکی دانشگاه تهران می‌باشد.

بخش می‌آیند. با اضافه کردن ۱ پرستار به تعداد پرسنل اورژانس می‌توان با رعایت استانداردهای کاری قابل قبولی برای افراد، نیازهای پرسنلی بخش را نیز تأمین کرد. در نتیجه در مدلسازی N را برابر با ۲ کلاس پرسنلی (n =۱ پرستاران و n =۲ بهیاران) و I_1 را برابر با ۷ و I_2 را برابر با ۳ در نظر می‌گیریم. P که تعداد کل روزهای برنامه‌ریزی است را برای سهولت برابر با ۷ در نظر گرفته و محدودیتها را به شکل زیر اعمال می‌کنیم:

- تأمین نیروی مورد نیاز بخش

$$\sum_{n=1}^{2}\sum_{i=1}^{I_n} X_{nipq} \geq D_{pq}$$

D_{pq} برابر با تعداد مورد نیاز از کل پرستاران و بهیاران است در روز p و شیفت q. در نتیجه داریم:

$$D_{pq} = 2 \qquad p = 1,2,...,6;\ q = 1$$
$$D_{pq} = 3 \qquad p = 7,\ q = 1$$
$$D_{pq} = 3 \qquad p = 1,2,...,7;\ q = 2,3$$

- حداکثر ۶ روز کاری در هفته برای هر فرد

$$\sum_{p=1}^{7}\sum_{q=1}^{3} X_{nipq} \leq 6 \qquad \forall n, i$$

- نبود بیش از یک شیفت کاری در هر روز برای هر فرد

$$\sum_{q=1}^{3} X_{nipq} \leq 1 \qquad \forall n, i, p$$

- محدودیت عدم وجود شیفت صبح بعد از شیفت شب کاری برای هر فرد[۱]

$$X_{nip3} + X_{ni,p+1,1} \leq 1 \qquad p = 1,2,...,6; \forall n, i$$
$$X_{ni73} + X_{ni11} \leq 1$$[۲]

۱- چون تعداد پرسنل کم است، رعایت ۱۶ ساعت استراحت بین دو شیفت کاری منجر به عدم وجود جواب موجه می‌شود. بنابراین تنها ۸ ساعت استراخت را وارد مدل می‌کنیم.

۲- چون برنامه‌ریزی به صورت سیکلی است، برای روز هفتم نیز این محدودیت در نظر گرفته شده است.

- محدودیت عدم وجود بیش از دو شیفت شب برای هر پرستار[۱]

$$\sum_{p=1}^{7} X_{1ip3} \le 2$$

- محدودیت مقدار امتیاز هر برنامه

برای هر برنامه امتیازی در نظر می‌گیریم. این امتیاز برای کلاس پرستاران بصورت W_{1i} نمایش داده شده و برابر است با مجموع فاکتورهای زیر:

(۱) تعداد روزهای تعطیلی در هفته که علاوه بر ۱ روز تعطیلیِ موجود در تمام برنامه‌ها است. وزن این امتیاز ۱ می‌باشد.[۲] چون پرسنل مجموعاً ۱۰ نفر هستند که هر یک حداکثر ۶ شیفت در هفته کار می‌کنند (یعنی ۶۰ فرد- شیفت کاری در هفته موجود است.) و تعداد کل شیفتهای لازم در هفته برابر با ۵۷= (۱×۳)+ (۲×۶)+(۳×۷×۲) است، پس ۳=۱×۳ امتیاز می‌تواند در این خصوص در بین پرسنل پخش شود.

(۲) تعداد شیفتهای صبح کاری در هفته با وزن ۰/۵. چون مجموعاً ۱۵= (۱×۳)+(۶×۲) فرد- شیفت صبح کاری در هفته لازم است، پس ۷/۵=۰/۵×۱۵ امتیاز از این بابت در میان پرسنل تقسیم خواهد گشت.

(۳) روز جمعه تعطیل با وزن ۲. چون در روز جمعه ۹ = ۳×۳ نفر- شیفت لازم است و هر فرد در روز حداکثر یک شیفت می‌تواند کار کند، پس تنها ۱ نفر از کل ۱۰ نفر می‌تواند از این امتیاز برخوردار باشد و ۲ امتیاز را به برنامه‌اش اختصاص دهد.

برای امتیاز برنامه بهیاران نماد W_{2i} بکار رفته که فاکتورهای مؤثر در آن مثال مورد قبل است به علاوهٔ امتیاز چهارمی به صورت زیر:

(۴) تعداد شیفتهای شب بیش از ۲ شیفت در هفته با وزن ۱-. چون تنها یک فرد سه شیفت شب خواهد داشت، کل امتیاز ناشی از این مورد برابر با ۱- خواهد بود.

در نتیجه کل امتیازاتی که بین این ۱۰ نفر پرسنل تقسیم خواهد شد ۱۱/۵=۱-۲+۷/۵+۳ می‌باشد. می‌توانیم محدودیت مقدار امتیاز هر برنامه را به صورت محدود کردن امتیازات برنامه‌های بهیاران و پرستاران مطرح کنیم:

۱- چون شیفتهای شب لازم برای کل پرستاران و بهیاران برابر با ۲۱ فرد- شیفت می‌باشد یکی از پرسنل ۳ شیفت شب را در برنامه هفتگی خود خواهد داشت که به دلخواه این فرد را از بین بهیاران فرض کرده‌ایم.

۲- به هر فاکتور برتری در برنامه یک وزن می دهیم که این وزن را در اینجا به صورت اختیاری تعیین کرده‌ایم تا برتری هر فاکتور را نسبت به سایرین مشخص کند.

$$W_{1i} \geq 1$$

$$W_{2i} \leq 1$$

که در این حالت ارجحیت برنامه‌های بهتر برای کلاس پرستاری بالاتر نیز لحاظ شده‌است.

تابع هدف را حداکثر امتیازات پرسنل در نظر می‌گیریم که آنرا می‌خواهیم کمینه کنیم. در اینصورت سه بهیار، هریک، دارای ۱ امتیاز و در بین پرستاران حداکثر امتیازات برابر با ۱/۵ خواهد شد.

با استفاده از Excel Premium Solver 5.0 برنامه را حل کرده و نتایج حل مدل در جدول (۵) نشان داده شده‌اند. این برنامه شامل ۲۱۰ متغیر صفر و یک و ۱۹۲ محدودیت می‌باشد. نتیجه مدل در برنامه‌ای ساده تر نیز در جدول (۶) نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌کنیم، با ایجاد یک مدل ریاضی ساده می‌توان به یک برنامه زمانبندی کامل دست یافت. که درآن تمامی معیارهای یک برنامه قابل قبول رعایت شده است. در سیستم فعلی بخش اورژانس مرکز طبی این زمانبندی به صورت دستی و بتوسط سرپرستار بخش انجام می‌گیرد. در این صورت برنامه‌های بهتر به صورت تصادفی به افراد تخصیص می‌یابد، حال آنکه اگر این کار بکمک برنامه‌ریزی ریاضی انجام شود، علاوه بر بالا بردن سرعت کار، با لحاظ داشتن امتیازات مربوط به هر برنامه، این کار را منصفانه‌تر انجام می‌دهد.

جدول ۵- نتیجه برنامه‌ریزی پرسنل برای بخش اورژانس مرکز طبی کودکان

		Sat			Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri		
	i	M	E	N	M	E	N	M	E	N	M	E	N	M	E	N	M	E	N	M	E	N
	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱
	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰
	۳	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰
۸-۱	۴	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰
	۵	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱
	۶	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰
	۷	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰
	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰
۱۶-۸	۲	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱
	۳	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰

جدول ۶- برنامه کاری پرسنل بخش اورژانس مرکز طبی کودکان

روز / فرد	شنبه	یکشنبه	دوشنبه	سه شنبه	چهارشنبه	پنجشنبه	جمعه
پرستار ۱	تعطیل	تعطیل	عصر	صبح	شب	عصر	شب
پرستار ۲	تعطیل	تعطیل	عصر	شب	شب	عصر	عصر
پرستار ۳	شب	شب	تعطیل	صبح	عصر	عصر	صبح
پرستار ۴	شب	شب	تعطیل	عصر	عصر	صبح	صبح
پرستار ۵	عصر	عصر	شب	عصر	تعطیل	تعطیل	شب
پرستار ۶	شب	شب	عصر	تعطیل	عصر	صبح	صبح
پرستار ۷	صبح	صبح	شب	تعطیل	صبح	شب	عصر
بهیار ۱	عصر	عصر	صبح	شب	شب	شب	تعطیل
بهیار ۲	عصر	صبح	شب	عصر	صبح	تعطیل	شب
بهیار ۳	صبح	عصر	صبح	شب	تعطیل	شب	عصر

نتیجه‌گیری

سیستم‌های خدمات درمانی مسائل پیچیده بسیاری را در برمی‌گیرند که می‌توان برای حل آنها از تحلیل‌ها و کاربردهای تحقیق در عملیات بهره برد. در این مقاله، ابتدا استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح در استقرار بهینه آمبولانس‌ها در سطح شهر است که در ادامه این مدل در مرکز اورژانس تهران پیاده‌سازی و نتایج، مشاهده و تحلیل شده‌است. در قسمت بعدی، با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح به برنامه‌ریزی پرسنل خدمات درمانی پرداخته و مدل بدست آمده در مرکز طبی کودکان پیاده سازی شده است.

چون تاکنون مقاله‌ای در این زمینه برای بهبود سیستم خدمات درمانی کشور ارائه نشده است امید است که نتایج بدست آمده از این مقاله موجب توجه بیشتر به کاربردهای فراوان این رشته علمی در مراکز درمانی کشورمان شود.

منابع و مآخذ

1-American College of Emergency Physicians, Directory of Software in Emergency Medicin, Dallas, TX (http://www.acep.org) (1998).
2-Arthur, J.L., and Ravindran, A. (1981). "A Multiple Objective Nurse Scheduling Model.", IIE Transactions, Vol. 13, 55-60.
3-Beaulieu, H., Ferland, J.A., Gendron, B., and Michelon, P. (2000). "A Mathematical Programming Approach for Scheduling Physicians in the Emergency Room.", Health Care Management Science, Vol. 3, 193-200.
4-Berrada, I., Ferland, J.A., and Michelon, P. (1996). "A Multi-Objective Approach to Nurse Scheduling with both Hard and Soft Constraints.", Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 30, 183-193.
5-Blake, J., Carter, M.W., and Richardson, S. (1996). "An Analysis of Emergency Room Wait Time Issues via Computer Simulation.", INFOR, Vol. .34, No.4, 263-273.
6-Burns, R.N., and Carter, M.W. (1985). "Work Force Size and Single Shift Schedules with Variable Demands.", Management Science, Vol. 31, 599-607.
7-Cabot, A., Francis, R., and Stary, M. (1970). "A Network Flow Solution to a Rectilinear Distance Facility Location Problem", AIIE Transactions, Vol. 2, 132-141.
8-Carter, M. (2002). "Diagnosis: Mismanagement of Resources", OR/MS Today, Vol. 29, No.2.
9-Church, R., and ReVelle, C. (1974). "The Maximal Covering Location Problem", Papers of the Regional Science Association, Vol. 32, 101-118.
10-Dantzig, G. (1954). "A Comment on Edie' Traffic Delays at Toll Booths", Operations Research, Vol. 2, 339- 341.
11-Daskin, M.S. (1983). "A Maximum Expected Covering Location Model: Formulation, Properties and Heuristic Solution", Transportation Science, Vol. 17, 48-70.
12-Eaton, D., Hector, M., Sanchez, V., Lantigua, R., and Morgan, J. (1986). "Determining Ambulance Deployment in Santo Domingo, Dominican Republic", Journal of the Operational Research Society, Vol. 37, 113.

13-Hoffart, N., and Willdermood, S. (1997). "Self-Scheduling in Five Med/ Surg Units: A Comparison", Nursing Management, Vol. 28, No. 4, 42-45.
14-Hung. R. (1997). "Shiftwork Scheduling with Phase-Delay Feature", International Journal of Production Research, Vol. 35, 1961-1968.
15-Jaumard, B., Caron, G., and.Hansen, P. (1999). "The Assignment Problem with Seniority and Job Priority Constraint", Operations Research, Vol. 47, No.3, 449- 453.
16-Jaumard, B., Semet, F., and Vovor, T. (1998). "A Generalized Linear Programming Model for Nurse Scheduling", European Journal of Operational Research, Vol. 107, 1-18.
17-Lappiere, S.D., Soriano, P., Buzon, I., Labbe, S., and Gendreau, M. (2001) "Cyclic Schedules for Emergency Room Physicians", Working paper for the Centre for Research on Transportation, Montreal, Canada .
18-Larson, R. (1974). "A Hypercube Queueing Model for Facility Location and Redistricting in Urban Emergency Services," Computer Operations Research, Vol. 1, 67- 95.
19-Larson, R. (1975). "Approximating the Performance of Urban Emergency Service Systems," Operations Research, Vol. 23, 845-868.
20-Lau, H.C. (1992). "Preference-Based Scheduling via Constraint Satisfaction", Optimization Techniques and Applications, eds. Phua, K.L., Wang, C.M., Yeong, W.Y., Leong, T.Y., Loh, H.T., Tan, K.C., and Chou, F.S., World Sientific, 546-554.
21-Maier-Rothe, C., and Wolfe, H. (1973). "Cyclical Scheduling and Allocation of Nursing Staff," Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 7, 471- 487.
22-Miller, M.E., Pierskalla, W.P., and Rath, G.J. (1976). "Nurse Scheduling using Mathematical Programming", Operations Research, Vol. 24, 857-870.
23-Morris, J.G., and Showalter, M.J. (1983). "Simple Approaches to Shift, Days Off and Tour Scheduling Problems", Management Science, Vol. 29, 942- 950.
24-Pierskalla, W.P., and Brailer, D.J. (1994). "Applications of Operations Research in Health Care Delivery", Handbooks in OR and MS 6, eds. Pollock, S.M., Rothkopf, M.H., and Barnett, A., 469- 505.

25-ReVelle, C., and Hogan, K. (1989). "The Maximum Reliability Location Problem and α -Reliable p-Center Problem: Derivatives of the Probabilistic Location Set Covering Problem", Annals of Operations Research, Vol. 18, 155-174.
26-ReVelle, C., Marks, D., and Liebman, J. (1970). "An Analysis of Private and Public Sector Location Models," Management Science, Vol. 16, 692-707.
27-Schwarzenau, P., Knauth, P., Kiesswelter, E., Brockmann, W., and Rutenfranz, J. (1986). "Algorithms for the Computerized Construction of Shift Systems which Meet Ergonomic Criteria", Applied Ergonomics, Vol. 17, 169- 176.
28-Scipione, D., Zavadsky, V., Dong, X., Scipione, L., Sullivan, F., Betlach, T., Coker, C., Scipione, J., Cook, J., and Scipione, P. (1992). "Optimizing Staff Scheduling by Monte-Carlo Simulation", Proc Annu Symp Comput Appl Med Care, 678- 681.
29-Siferd, S.P, and Benton, W.C. (1992). "Workforce Staffing and Scheduling: Hospital Nursing Specific Model", European Journal of Operations Research, Vol. 60, 233- 246.
30-Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., and Bergman, L. (1971). "The Location of Emergency Service Facilities," Operations Research, Vol. 19, 1363-1373.
31-Warner, D.M. (1976). "Scheduling Nursing Personnel According to Nursing Preference: A Mathematical Programming Approach," Operations Research, Vol. 24, 842-856.
32-Warner, D.M., and Prawda, J. (1972). "A Mathematical Programming Model for Scheduling Nursing Personnel in a Hospital," Management Science, Vol. 19, 411-422.
33-White, J., and Case, K. (1974). "On Covering Problems and the Central Facility Location Problem", Geographical Analysis, Vol. 6, 281.
34-Wolf, H., and Young, J. P. (1965). "Staffing the Nursing Unit: Part I," Nursing Research, Vol. 14, No. 3, 236- 243.
35-Wolf, H., and Young, J. P. (1965), "Staffing the Nursing Unit: Part I," Nursing Research, Vol. 14, No. 3, 299- 303.
36-Zimmermann, P.G. (1995). "Self-Scheduling in the Emergency Department", Journal of Emergency Nursing, Vol. 21, No:1, 58-6.