

امکان ارائه نتیجه‌ای کاربردی‌تر را دارا باشد. چرا که تنها قابل حل بودن مسئله HHC در این پژوهش مطرح نیست بلکه مدل برای ارائه‌ی یک جواب بهینه کاربردی، اصلاح شده است تا هزینه‌های جاری مثل اتلاف زمان در سفرهای بین خدمات و پرداخت‌های مالی موسسه ارائه دهنده خدمات HHC را کاهش دهد و برنامه بدست آمده از نتیجه حل مدل اصلاح شده، امکان ملاقات بیماران بیشتری در اختیار موسسه قرار دهد. لذا در راستای تحقق اهداف ذکر شده در برخی از متغیرها جزئیات بیشتری مدنظر قرار داده شده است، در مقایسه با متغیرهایی که در پژوهش‌های پیشین استفاده شده است، تغییرات بسیار مشهود و مشخص است. برای مثال پارامتر t_{ijn} ، سفرها را برای هر پرستار متمایز کرده تا تفاوت بین زمان‌های سفر از محل پرستاران به اولین خدمت آنها و یا از آخرین خدمت به محل پرستاران قابل لمس و مشخص باشد. مثالی دیگر می‌توان به متغیرهای بازه زمان کاری پرستاران اشاره کرد که بازه‌های کاری پرستاران به تفکیک پرستار و شیفت دسته‌بندی می‌شود. از مدل می‌توان زمان شروع و پایان بازه زمان کاری هر پرستار در هر شیفت را بدست آورد و همین‌طور پارامترها جزئیات بیشتری از کاربران تقاضا می‌کنند و در مقابل برنامه زمان‌بندی شده تیم پزشکی را با حداکثر جزئیات در اختیار قرار می‌دهد. در جدول ذیل فهرستی از تمام متغیرهای اصلاح شده استفاده شده در مدل ریاضی که در بخش ۷.۲ اشاره خواهد شد، آورده شده است:

جدول ۴.۲: نمایش تمامی متغیرهای استفاده شده در مدل ریاضی

ردیف	متغیر	تعریف متغیر
۱	J	مجموعه خدمات پرستاری
۲	q_j	سطح تخصصی (کیفی) برای خدمت j (یا درجه سختی خدمت j)
۳	d_j	مدت زمان انجام خدمت پزشکی j است
۴	$[a_j, b_j]$	بازه زمانی که خدمت j باید آغاز شود.
۵	$[as_j, bs_j]$	بازه زمانی که بیمار ترجیح می‌دهد خدمت پزشکی j در آن زمان انجام شود که در آن $a_j \leq as_j \leq bs_j \leq b_j$.
۶	p_j	اولویت به‌کارگیری یک پرستار خاص برای خدمت j (این اولویت توسط بیمار مربوط به خدمت j ام تعیین می‌شود).
۷	t_{ijn}	زمان رانندگی پرستار n بین خدمت i و j که البته j و i می‌توانند محل شروع (مبدأ) و پایان (مقصد) هر شیفت باشد.
۸	N	تعداد پرستاران
۹	Q_n	سطح تخصصی (کیفی) که به پرستار n اختصاص داده شده است
۱۰	S_n	مدت زمان کاری که پرستار n با شرکت ارائه دهنده خدمات منعقد کرده است.
۱۱	$break_{nk}$	مدت زمانی که پرستار n ام در شیفت k برای استراحت سپری می‌کند.
۱۲	$[ab_{nk}, bb_{nk}]$	بازه زمانی که پرستار n ام در شیفت k ام ترجیح می‌دهد که استراحت کند. در واقع پرستار ترجیح می‌دهد در این بازه آغاز شود.

حداکثر زمان مجاز، هر پرستار بعد از B ساعت خدمت باید استراحت کند.	B	۱۳
حداکثر مدت زمان کاری مجاز برای کلیه پرستاران	T	۱۴
مجموعه پرستاران شیفت k ام	$V(k)$	۱۵
بازه زمان کاری پرستار n ام در شیفت k ام که ترجیح می‌دهد خدمت کند.	$[at_{nk}, bt_{nk}]$	۱۶
پنجره زمانی پرستار n ام در شیفت k ام است که از st_{nk} شروع و et_{nk} پایان می‌یابد (متغیر تصمیم).	$[st_{nk}, et_{nk}]$	۱۷
نوع قرارداد که پرستار خدمتش را از کلینیک شروع و در کلینیک تمام می‌کند	D	۱۸
نوع قرارداد که پرستار خدمتش را از منزل خود شروع و به خانه خود تمام می‌کند (مدت زمان رانندگی از منزل پرستار تا بیمار پرداخت می‌شود)	H_1	۱۹
نوع قرارداد که پرستار خدمتش را از منزل بیمار اول شروع و در خانه بیمار آخر تمام می‌کند (مدت زمان رانندگی از منزل پرستار تا بیمار و بالعکس پرداخت نمی‌شود)	H_2	۲۰
اجتماع مجموعه تمام خدمات (J) و نقاط ابتدا (انتهای) هر شیفت	J_0	۲۱
مجموعه پرستارانی که در نوع قرار داد D مشغول به کار هستند.	ND	۲۲
مجموعه پرستارانی که در نوع قرار داد H_1 مشغول به کارند	NH_1	۲۳
مجموعه پرستارانی که در نوع قرار داد H_2 مشغول به کارند.	NH_2	۲۴
زمان شروع استراحت پرستار n ام در شیفت k ام.	Sp_{nk}	۲۵
اضافه کار خدمتی پرستار n .	O_n	۲۶
مجموعه شیفت‌ها	V	۲۷
گره استراحت	P	۲۸
متغیری دودویی است که اگر خدمت پزشکی j بلافاصله بعد از خدمت پزشکی i ام توسط پرستار n ام شیفت k انجام شده باشد $x_{ijnk} = 1$ در غیر این صورت صفر است $x_{ijnk} = \{0, 1\}$ (متغیر تصمیم).	x_{ijnk}	۲۹
متغیری که نشان می‌دهد که آیا پرستار n ام در شیفت k استراحت کرده است یا خیر ($y_{nk} = \{0, 1\}$) اگر استراحت کرده باشد $y_{nk} = 1$ در غیر این صورت برابر با صفر است (متغیر تصمیم).	y_{nk}	۳۰
زمان شروع خدمت j در شیفت k (متغیر تصمیم).	S_{jnk}	۳۱
انحراف شروع خدمت j از ابتدایی بازه $[as_j, bs_j]$ در صورتی که $S_{jnk} < as_j$ (متغیر تصمیم).	lw_j	۳۲
انحراف شروع خدمت j از انتهای بازه $[as_j, bs_j]$ در صورتی که $bs_j < S_{jnk}$ (متغیر تصمیم).	uw_j	۳۳
انحراف شروع بازه کاری پرستار n ام در شیفت k ام از ابتدای بازه	lnw_{nk}	۳۴

		$[at_{nk}, bt_{nk}]$ در صورتی که $st_{nk} < at_{nk}$ (متغیر تصمیم).
۳۵	unw_{nk}	انحراف پایان بازه کاری پرستار n ام در شیفت k ام از پایان بازه $[at_{nk}, bt_{nk}]$ در صورتی که $et_{nk} < bt_{nk}$ (متغیر تصمیم).
۳۶	lbw_{nk}	انحراف شروع زمان استراحت پرستار n ام در شیفت k ام از شروع بازه $[ab_{nk}, bb_{nk}]$ در صورتی که $sp_{nk} < ab_{nk}$ (متغیر تصمیم).
۳۷	ubw_{nk}	انحراف پایان زمانی استراحت پرستار n ام در شیفت k ام از پایان بازه $[ab_{nk}, bb_{nk}]$ در صورتی که $bb_{nk} < sp_{nk}$ (متغیر تصمیم).
۳۸	k	شمارنده شیفت‌ها
۳۹	M_1, M_2, \dots, M_{10}	ضرایب عددی بسیار بزرگ هستند

۷.۲ مدل بهینه سازی مسئله HHC

بر اساس پارامترها و متغیرهای تعریف شده تمامی روابط (۱.۲) - (۴۰.۲) بازنویسی گردیده است برای کسب نتیجه دلخواه نیاز بود که سطر به سطر مدل دچار تغییراتی شوند و مدل تغییر ماهیت دهد تا بتوان به اهداف مورد نظر دست یابد نه تنها متغیرهای مدل تغییر کرده‌اند بلکه مدل بعد جدید گرفته است و به تعداد پارامترها اضافه شده است. در ادامه تک تک روابط مدل به طور کامل توضیح داده خواهد شد. حال به بیان مدل ریاضی اصلاح شده در قالب مدل زیر می‌پردازیم:

$$\min \alpha_1 \cdot \left(\sum_{n \in N} \sum_{k \in V} (et_{nk} - st_{nk} - break_{nk} \cdot y_{nk}) - \sum_{j \in J} d_j \right) \quad (۴۱.۲)$$

$$+ \alpha_2 \cdot \sum_{n \in N} O_n \quad (۴۲.۲)$$

$$+ \alpha_3 \cdot \sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} \sum_{\substack{k \in V \\ p_j = v(k)}} (1 - x_{ijnk}) \cdot d_j \quad (۴۳.۲)$$

$$+ \alpha_4 \cdot \sum_{j \in J} (lw_j + uw_j) \quad (۴۴.۲)$$

$$+ \alpha_5 \cdot \sum_{n \in N} \sum_{k \in V} (lnw_{nk} + unw_{nk} + lbw_{nk} + ubw_{nk}) \quad (۴۵.۲)$$

$$+ \alpha_{\phi} \cdot \sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} \sum_{j \in J} \sum_{\substack{n \in N \\ q_j < Q_n}} \sum_{k \in V} d_j \cdot x_{ijnk} \quad (46.2)$$

$$+ \alpha_{\psi} \cdot \sum_{\substack{j \in J \\ \neq j}} \sum_{n \in NH_{\psi}} \sum_{k \in V} (t_{ojn} \cdot x_{ojnk} + t_{jon} \cdot x_{jonk}) \quad (47.2)$$

subject to

$$\sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} \sum_{n \in N} \sum_{k \in V} x_{ijnk} = 1 \quad \forall j \in J \quad (48.2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{jpnk} = y_{nk} \quad \forall k \in V, \forall n \in N \quad (49.2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ojnk} \leq 1 \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (50.2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{jonk} \leq 1 \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (51.2)$$

$$\sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} x_{ihnk} = \sum_{j \in J_0} x_{hjn k} \quad \forall h \in J, \forall n \in N, \forall k \in V \quad (52.2)$$

$$x_{Pjnk} - x_{jPnk} = 0 \quad \forall j \in J, \forall n \in N, \forall k \in V \quad (53.2)$$

$$x_{Pjnk} - \sum_{\substack{i \in J \\ i \neq j}} x_{ijnk} \leq 0 \quad \forall j \in J, \forall n \in N, \forall k \in V \quad (54.2)$$

$$S_{ink} + t_{ijn} + d_i - M_{\lambda} \cdot (1 - x_{ijnk}) \leq S_{jnk} \quad \forall i, j \in J, \forall n \in N, \forall k \in V \quad (55.2)$$

$$S_{pnk} + break_{nk} - M_{\psi} \cdot (1 - x_{jPnk}) \leq S_{jnk} \quad \forall j \in J, \forall n \in N, \forall k \in V \quad (56.2)$$

$$S_{ink} + t_{ijn} + d_i - S_{pnk} \leq M_{\chi} \cdot (\chi - x_{ijnk} - x_{jpnk}) \quad \forall i, j \in J, \forall n \in N, \forall k \in V \quad (57.2)$$

$$st_{nk} + t_{ojn} - M_{\phi} \cdot (1 - x_{ojnk}) \leq S_{jnk} \quad \forall j \in J, \forall n \in ND, \forall k \in V \quad (58.2)$$

$$st_{nk} + t_{ojn} - M_{\delta} \cdot (1 - x_{ojnk}) \leq S_{jnk} \quad \forall j \in J, \forall n \in NH_{\lambda}, \forall k \in V \quad (59.2)$$

$$st_{nk} - M_{\phi} \cdot (1 - x_{ojnk}) \leq S_{jnk} \quad \forall j \in J, \forall n \in NH_{\psi}, \forall k \in V \quad (60.2)$$

$$S_{jnk} + t_{j\circ n} + d_j - M_V \cdot (\mathbb{1} - x_{j\circ nk}) \leq et_{nk} \quad \forall j \in J, \forall n \in ND, \forall k \in D \quad (۶۱.۲)$$

$$S_{jnk} + t_{j\circ n} + d_j - M_\Lambda \cdot (\mathbb{1} - x_{j\circ nk}) \leq et_{nk} \quad \forall j \in J, \forall n \in NH_1, \forall k \in V \quad (۶۲.۲)$$

$$S_{jnk} + d_j - M_\mathfrak{A} \cdot (\mathbb{1} - x_{j\circ nk}) \leq et_{nk} \quad \forall j \in J, \forall n \in NH_2, \forall k \in V \quad (۶۳.۲)$$

$$a_j \cdot \sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} x_{ijnk} \leq S_{jnk} \leq b_j \cdot \sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} x_{ijnk} \quad \forall j \in J, \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۶۴.۲)$$

$$Sp_{nk} \leq \min(B + st_{nk}, M_{\mathbb{1}\circ} \cdot y_k) \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۶۵.۲)$$

$$\frac{et_{nk} - st_{nk} - B}{B} \leq y_{nk} \leq \frac{et_{nk} - st_{nk}}{B} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۶۶.۲)$$

$$et_{nk} + break_{nk} \leq st_{nl} \quad \forall n \in N, \forall k, l \in V, k < l, v(k) = v(l) \quad (۶۷.۲)$$

$$\sum_{k \in V} (et_{nk} - st_{nk} - break_{nk} \cdot y_{nk}) \leq T \quad \forall n \in N \quad (۶۸.۲)$$

$$\sum_{k \in V} (et_{nk} - st_{nk} - break_{nk} \cdot y_{nk}) - S_n \leq O_n \quad \forall n \in N \quad (۶۹.۲)$$

$$lw_j \leq as_j - \sum_{k \in V} S_{jnk} \quad \forall j \in J, \forall n \in N \quad (۷۰.۲)$$

$$uw_j \leq \sum_{k \in V} S_{jnk} - bs_j \quad \forall j \in J, \forall n \in N \quad (۷۱.۲)$$

$$lbw_{nk} \geq ab_{nk} \cdot y_{nk} - Sp_{nk} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۷۲.۲)$$

$$ubw_{nk} \geq Sp_{nk} - bb_{nk} \cdot y_{nk} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۷۳.۲)$$

$$lnw_{nk} \geq at_{nk} - st_{nk} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۷۴.۲)$$

$$unw_{nk} \geq et_{nk} - bt_{nk} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۷۵.۲)$$

$$O_n \geq \circ \quad \forall n \in N \quad (۷۶.۲)$$

$$lw_j, uw_j \in free \quad \forall j \in J \quad (۷۷.۲)$$

$$lbw_{nk}, ubw_{nk}, lnw_{nk}, unw_{nk} \in free \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۷۸.۲)$$

$$x_{ijnk} \in \{\circ, \mathbb{1}\} \quad \forall i, j \in J, \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۷۹.۲)$$

$$y_{nk} \in \{\circ, \mathbb{1}\} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۸۰.۲)$$

تعریف سطر به سطر روابط تابع هدف را ارائه می‌دهیم:

- (۴۱.۲) مجموع زمان رفت و آمد تمام پرستاران را ارائه می‌کند که از طول مدت شیفت هر پرستار، مدت زمان خدمتی که انجام داده است کم شود آنگاه زمان سفرها محاسبه می‌گردد.
 - (۴۲.۲) محاسبه اضافه کاری پرستاران را ارائه می‌دهد.
 - (۴۳.۲) هزینه نقص اولویت بیماران به پرستار خاص که از قبل تعیین شده، تحقق نیافته است.
 - (۴۴.۲) نقض بازه زمانی انعطاف‌پذیر هر خدمت است.
 - (۴۵.۲) نقض بازه زمان کاری (میزان انحراف نسبت به بازه کاری) مورد نظر پرستاران را نشان می‌دهد.
 - (۴۶.۲) خدمات تحت پوشش پرستاران دارای سطح تخصص بالاتر از تخصص مورد نیاز آن خدمت است.
 - (۴۷.۲) مجموع زمان رانندگی پرستارانی که در نوع قرارداد H_2 قرار دارند بعلت عدم پرداخت زمان سفر از منزل پرسنل تا محل خدمت است.
- ترجیح‌ها و خدمات با کیفیت بالا معمولا با تعداد خدمات مربوطه ارزیابی خواهند شد. هر چند تابع هدف در مقیاس ساعت است؛ بنابراین ترجیح‌های بیماران به پرستاری خاص و خدمات با تخصص پایین‌تر از تخصص پرستار در رابطه (۴۳.۲) و (۴۶.۲) در مدت زمان انجام خدمات ضرب می‌شود تا مقیاس یکسانی بدست آید. به‌علاوه می‌توان گفت زمان تلف شده برای بیماران که باید توسط پرستاران دیگر خدمات رسانی شوند محاسبه شده است.
- محدودیت‌های این مدل در روابط (۴۸.۲) تا (۷۵.۲) است:
- (۴۸.۲) تضمین می‌کند که هر خدمت تنها یکبار در تمام شیفت‌ها ویزیت شده است.
 - (۴۹.۲) اگر گره استراحت P در شیفت k ملاقات شده باشد $(x_{ijnk} = 1)$ ، y_{nk} برابر یک است در غیر اینصورت صفر خواهد بود.
 - (۵۰.۲) بیانگر آن است که هر پرستار در هر شیفت کار خود را باید تنها با یک خدمت پزشکی آغاز کند (از پذیرفتن ۲ خدمت همزمان جلوگیری می‌کند) به طور کلی گره " ° " بیانگر نقطه آغاز و پایان تمام شیفت‌های پرستاران است.