

ارائه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه جهت زمانبندی و مسیریابی پرستاران در ارائه خدمات پزشکی در منزل

حمیدرضا یوسف‌زاده^۱، سمیه هراتی مطلق^{۲*}، موسی الرضا شمسینه زاهدی^۳

(^{۱و۲و۳}) گروه ریاضی، دانشگاه پیام نور، ص. پ. ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵

چکیده

امروزه با رشد روزافزون جمعیت و همچنین عواملی مانند افزایش افراد سالمند، تغییرات اجتماعی، افزایش تعداد بیمارانی که از بیماری‌های مزمن رنج می‌برند، تقاضا برای دریافت مراقبت‌های پزشکی در منزل (HHC) در حال افزایش است. مراکز ارائه دهنده خدمات مراقبتی- پزشکی همواره به دنبال راهکارهایی جهت برنامه‌ریزی و زمانبندی دقیق ارائه خدمات مراقبتی- درمانی هستند تا علاوه بر کمینه کردن هزینه‌های خود، میزان رضایت بیماران و پرستاران را بیشینه نمایند. در این راستا، از یک‌سو بیمار تمایل دارد تا با در نظر گرفتن مهارت پرستار اختصاص داده شده، در پنجره زمانی مورد ترجیحش ملاقات شود. از سوی دیگر، پرستار نیز ترجیح می‌دهد که در پنجره زمانی مورد مطلوب خود به ارائه خدمات بپردازد. علاوه بر این موارد، حفظ قوانین ساعت کاری در قرارداد، رعایت بازه‌های زمانی نرم و سخت ارائه خدمات و استراحت‌های الزامی از محدودیت‌هایی هستند که ضروری است در این نوع مسائل در نظر گرفته شوند. اهداف این مقاله کمینه کردن زمان رفت و آمد پرستاران و بیشینه نمودن همزمان سطح رضایت بیماران و پرستاران و همچنین کاهش ساعات اضافه کاری پرستاران می‌باشد که با در نظر گرفتن شرایط و محدودیت‌های موجود، در قالب یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه ارائه می‌گردد. بدین منظور، در مدل بهینه‌سازی چندهدفه پیشنهادی، همچنین با در نظر گرفتن ترجیحات پرستاران و بیماران و اختصاص استراحت‌های اجباری به پرستاران بعد از مدت زمان کاری مشخص، به تخصیص پرستاران واجد شرایط به بیماران و نیز به محاسبه زمانبندی بهینه و تعیین مسیر حرکت پرستاران جهت ارائه خدمات مطلوب‌تر، پرداخته می‌شود. در ادامه به منظور بررسی و تحلیل عملکرد مدل پیشنهادی، با در نظر گرفتن معیار توقف بر روی زمان حل مسئله، مدل پیشنهادی را بر روی مجموعه‌ای از مسائل تصادفی متفاوت مورد آزمون قرار می‌دهیم.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی، بهینه‌سازی چند هدفه، مراقبت پزشکی در منزل، زمانبندی، مسیریابی.

۱- مقدمه

در دو دهه اخیر مسئله مسیریابی و زمانبندی پرستاران شاغل در مؤسسات ارائه خدمات مراقبتی-درمانی (پزشکی) در منزل مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است. ارائه این‌گونه خدمات یک راهکار مناسب برای جلوگیری از بستری شدن بیماران در بیمارستان‌ها می‌باشد، که می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های تحمیلی به بیماران داشته باشد که متعاقباً افزایش بهره‌وری مراکز بهداشتی و درمانی در ارائه خدمات مطلوب‌تر به بیماران حاد، را به دنبال خواهد داشت. در طول دهه گذشته صنعت خدمات مراقبت پزشکی در منزل (HHC)^۱ به طور معناداری شکوفا شده است و این رشد دلایل متعددی از جمله پیری جمعیت، تغییرات فرهنگی-اجتماعی، افزایش تعداد بیمارانی که از بیماریهای مزمن رنج می‌برند و ... است. در ایران نیز مراقبت‌های بهداشتی در منزل که در سال‌های اخیر به‌ویژه با بروز پاندمی ویروس کرونا، مورد توجه مؤسسات و مراکز درمانی قرار گرفته است، مزایای مهمی از جمله کاهش هزینه‌های درمانی در مقایسه با هزینه‌های بیمارستانی، نظارت مستمر بر نحوه درمان به‌صورت مطلوب‌تر و با هزینه کمتر و تقویت سیستم دفاعی بدن بیمار با کاهش مراجعات به بیمارستان را می‌تواند به‌همراه داشته باشد.

مؤسسات ارائه دهنده خدمات HHC سعی دارند، به‌طور همزمان هزینه‌های عملیاتی خود را کمینه و میزان رضایت بیماران خود را بیشینه نمایند. بنابراین، این مسئله می‌تواند به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه بیان گردد. به‌طور کلی مسائل HHC، دربرگیرنده اهدافی مانند کمینه کردن هزینه و یا بیشینه کردن کیفیت ارائه خدمات با در نظر گرفتن برخی از شرایط است. با ارائه خدمات

مطلوب‌تر به بیماران، رضایت و اعتماد بیماران نسبت به مؤسسه افزایش می‌یابد که منجر به تبلیغ و استفاده مجدد مشتریان از خدمات مرکز درمانی خواهد شد.

مطالعات اولیه در زمینه HHC، نشان می‌دهد که این مسئله را شاید بتوان در قالب یک مسئله حمل و نقل (VRP)^۲ با هدف طراحی مجموعه‌ای از مسیرها به‌گونه‌ای که به همه بیماران خدمت رسانی شود، در نظر گرفت. بررسی‌های دقیق‌تر نشان می‌دهد، هرچند ساختار اولیه مسئله HHC دارای شباهت‌هایی با مسئله حمل و نقل VRP می‌باشند ولی این مسائل به دلیل ویژگیهای خاص خود، از جهاتی با ساختار VRP متفاوت هستند. به‌عنوان نمونه، می‌توان به محدودیت‌های نحوه تخصیص پرستار به بیمار یا محدودیت‌های زمانی متناظر با شروع و پایان یک خدمت مراقبتی-درمانی (خدمت پزشکی) اشاره کرد. از ویژگیهای دیگر این مسائل که باعث متمایز شدن آن با مسائل VRP می‌شود، می‌توان به این مورد اشاره کرد که خدمات HHC در یک زمان مشخص باید شروع شوند و یا یک پرستار باید در یک زمان مشخص به ارائه خدمت بپردازد، شرایطی که در VRP قابل پیاده‌سازی نیست.

در حال حاضر، بخش عمده‌ای از برنامه‌ریزی‌های مرتبط با زمانبندی و تخصیص پرستاران به بیماران به صورت دستی صورت می‌پذیرد که این امر هزینه بسیار بالایی از نظر زمان به خود اختصاص می‌دهد و هم از کیفیت و کارایی مطلوبی نیز برخوردار نیست. به عنوان مثال، با پیاده‌سازی شیوه دستی، ممکن است از تمام پتانسیل کادر مراقبتی-درمانی برای ارائه خدمات به بیماران استفاده نشود و زمان زیادی در رفت و آمدهای انجام شده بین بیماران مختلف تلف گردد. این امر ضرورت استفاده از

² Vehicle Routing Problem (VRP)

¹ Home Health Care (HHC)

پزشکی در منزل داشتند، آن‌ها از یک مدل مناقصه رقابتی برای اعطای قرارداد به مؤسسات ارائه دهنده خدمات HHC که دستمزد پرستاران را تعیین می‌کنند، استفاده کردند. قراردادهای بر اساس کیفیت خدمات ارائه شده به بیماران و قیمت اعطا گردید که بر این اساس سعی کردند تا زمینه لازم برای ارائه خدمات مطلوب‌تر به بیماران را فراهم کنند [۱۳]. در سال ۲۰۰۶، ایوبورن^۴ و همکارانش یک سیستم پشتیبانی تصمیم به نام مراقبت از راه دور را طراحی کردند. مسئله مورد مطالعه آن‌ها، با توجه به تخصیص پرستاران به مناطق کاری مشخص شده، به چند زیر مسئله تبدیل شد. رویکرد ابتکاری معرفی شده توسط آن‌ها قادر به حل نمونه‌هایی با تعداد ۸۶ الی ۱۲۳ بیمار و تعداد ۱۲ الی ۲۱ پرستار بود [۳]. برایسی^۵ و همکارانش در سال ۲۰۰۷، امکان صرفه جویی در زمان را برای یک مورد مطالعاتی در فنلاند مطالعه کردند و نشان دادند کاهش تعداد شیفت‌ها به بیش از ۷۰ درصد امکان پذیر است [۱]. تراسامویزر^۶ و هرش^۷ در سال ۲۰۱۱، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مسئله تخصیص پرستاران به بیماران ارائه کردند. روش حل در این پژوهش، روش جستجوی همسایگی متغیر (VNS)^۸ بود. بر اساس مطالعاتی که آن‌ها در کشور اتریش انجام دادند، از جمله اهداف اصلی و مهم مؤسسات ارائه دهنده خدمات HHC، کمینه کردن زمان رفت و آمد پرستاران و همچنین کمینه کردن میزان نارضایتی پرستاران و بیماران عنوان شد. روش حل ابتکاری مورد استفاده در این مقاله، صرفاً برای پیدا کردن یک جواب شدنی طراحی شده است و آن‌ها هیچ‌گونه اشاره‌ای به نحوه زمانبندی و

راهکارهای علمی را نشان می‌دهد تا به کمک آن، پرستاران بتوانند کلیه خدمات مورد نیاز بیماران را با رعایت محدودیت‌های سخت و نرم موجود، پوشش دهند. برای رسیدن به این مهم، ضروری است ابتدا مسئله تخصیص پرستاران و زمانبندی نحوه حضور آن‌ها جهت ارائه خدمات در منزل به بیماران، در قالب یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی بیان شود. اتخاذ چنین رویکردی، منجر به ایجاد یک بانک اطلاعاتی منظم و جامع برای ثبت اطلاعات زوج (پرستار، بیمار) خواهد شد که در هر زمان به راحتی قابل استناد و استفاده است. ساختار کلی این مقاله به شرح ذیل تنظیم شده است. در بخش ۲، به صورت مروری برخی از مطالعات و تحقیقات صورت گرفته در زمینه مسائل HHC و شیوه حل آن‌ها بیان گردیده است. در بخش ۳، به بیان مسئله و مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی پرداخته شده است. حل مدل بهینه‌سازی چندهدفه HHC و در نتیجه شیوه تعیین زمانبندی و تخصیص بهینه پرستاران در ابعاد کوچک در بخش ۴ شرح داده شده است. در بخش ۵، تحلیل نتایج بدست آمده مانند تأثیر افزایش یا کاهش تعداد پرستاران و تعداد خدمات پزشکی بر زمان محاسباتی و همچنین تأثیر هر یک از این پارامترها بر پیچیدگی مدل، مورد مطالعه قرار گرفته است. نتیجه‌گیری نهایی نیز در بخش ۶ بیان شده است.

۲- پیشینه تحقیق

در این بخش، به صورت مروری به بیان برخی از کارهای انجام شده در زمینه مسائل HHC پرداخته می‌شود:

با توجه به تحقیقاتی که در سال ۲۰۰۴ توسط وودوارد^۳ و همکارانش در کانادا صورت گرفت و همچنین مصاحبه با افرادی که نیاز به ارائه خدمات

⁴ Evehorn

⁵ Brassly

⁶ Trautsamwieser

⁷ Hirsch

⁸ Variable Neighborhood Search (VNS)

^۹ روش VNS اولین بار توسط ملاندوویچ و هانسن ارائه گردید [۴].

³ Woodward

قرار دادند [۵]. عبدالنصیر^{۱۱} و همکاران در سال ۲۰۱۸، مسئله HHC را با هدف کمینه کردن هزینه‌ها مورد بررسی قرار دادند. آنها با بهره‌گیری از رویکرد VNS به حل مسئله مورد نظر پرداختند. نتایج بدست آمده در این تحقیق کارائی و اثربخشی الگوریتم مورد استفاده را نشان می‌دهد [۹]. اردکانی و همکاران در سال ۲۰۲۰، به بررسی یک مسئله HHC پرداختند که در آن از تیم‌های پرستاری محدود برای خدمت رسانی به تعداد خاصی اورژانس استفاده شد. در این مقاله پنجره زمانی بهینه برای بازدید هر بیمار از قبل مشخص و داده شده بود. در حل این مسئله ابتدا پس از تخصیص بیماران به پرستاران در دسترس، مسیریابی پرستار برای ارائه خدمات به بیماران انجام گردید. تابع هدف در این مسئله به کمینه کردن انحراف از پنجره زمانی بهینه داده شده برای ملاقات بیماران، بیشینه کردن بیمارانی که در بازه زمانی بهینه خود ملاقات می‌شوند و کمینه کردن بیمارانی که ملاقات نمی‌شوند، می‌پردازد که در نهایت این مسئله با روش فازی حل گردید [۶]. وانگ^{۱۲} و همکاران در سال ۲۰۲۰، یک مسئله زمانبندی HHC با حالت منابع مشترک را مورد بررسی قرار دادند. تحت چنین حالتی، دو نوع پرستار (پرستار پاره وقت و پرستار تمام وقت) به‌عنوان نیروی کار توسط مؤسسات ارائه خدمات HHC در نظر گرفته شد که در برنامه‌ریزی مسئله HHC، برای هر نوع پرستار، زمان‌های کاری متفاوت لحاظ گردید. آنها در مقاله خود، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با توجه به منابع مشترک، ارائه کردند و سپس با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، مدل پیشنهادی خود را حل نمودند [۱۲]. لی^{۱۳} و همکاران در سال ۲۰۲۱ در چین یک مسئله مسیریابی مراقبت‌های بهداشتی

تقسیم کار پرستاران نکردند. همچنین در نتایج حاصل از پیاده‌سازی رویکرد ابتکاری مورد استفاده، هیچ اشاره‌ای حتی به نحوه تخصیص پرستاران به بیماران نشده است و صرفاً به یک جواب شدنی کلی (نه لزوماً بهینه) بسنده شده است، جوابی که در آن جزئیات مربوط به حل مسئله HHC مورد مطالعه مانند شیفتهای یک پرستار، زمان استراحت و یا مدت زمان رانندگی هر پرستار و ... مورد توجه قرار نگرفته‌اند و لذا بازیابی و دسترسی به این اطلاعات ضروری که مورد نیاز هر مؤسسه یا کلینیک می‌باشد، نیازمند صرف وقت جهت حل دستی و یا ارائه و حل مدل‌های ریاضی مجزای دیگری می‌باشد [۱۱]. بریکرز^{۱۰} و همکاران در سال ۲۰۱۶، یک مسئله مسیریابی و زمانبندی دو هدفه را برای ارائه خدمات HHC مورد مطالعه قرار دادند. آنها برای حل مدل پیشنهادی خود، از الگوریتم فراابتکاری جستجوی محلی چندجهته استفاده کردند. نتایج محاسبات آنها بر روی نمونه‌های مبتنی بر داده‌های واقعی، نشان از کارائی روش مورد استفاده داشت [۲]. حدائق و همکاران در سال ۲۰۱۷، به مسئله مسیریابی مراقبت در منزل، به صورت یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه پرداختند که تابع هدف اول درصد کمینه کردن هزینه‌ها و تابع هدف دوم، بیشینه کردن میزان رضایت کادر پزشکی بود. آنها با افق برنامه‌ریزی بیش از یک روز، مجموعه‌ای از کادر پزشکی را به مجموعه‌ای از بیماران طوری تخصیص دادند که رضایت درمانگران بیشینه گردد و از آنجایی که کادر پزشکی باید در منزل بیماران به ارائه خدمت بپردازد، لذا آنها به دنبال تعیین مسیر و تخصیص بهینه با توجه به پنجره زمانی مورد ترجیح کادر پزشکی بودند به‌گونه‌ای که هزینه‌های سیستم کمینه گردد. آنها الگوریتم فراابتکاری NSGA-II را برای حل مسئله خود مورد استفاده

¹¹ Abdul Nasir

¹² Wang

¹³ Li

¹⁰ Braekers

طراحی شبکه مراقبت بهداشتی در منزل پیشنهاد دادند. مدل پیشنهادی در دو مرحله، شبکه‌ای پایدار و کارآمد را طراحی می‌کند، که مرحله اول کارایی مراکز ارائه دهنده خدمات HHC را بررسی می‌کند و مرحله دوم به برنامه‌ریزی برای مسیریابی و زمانبندی با در نظر گرفتن اهداف متعددی مانند کمینه کردن هزینه‌ها و کمینه کردن ناکارآمدی مرکز و بیشینه کردن تأثیرات اجتماعی (مانند ایجاد فرصت‌های شغلی برای پرستاران و افزایش توسعه اقتصادی) می‌پردازد. برای اندازه‌گیری کارایی مرکز ارائه دهنده خدمات مراقبتی- بهداشتی از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها در مدل بهینه‌سازی استفاده شد و برای حل مسئله مسیریابی چندهدفه، رویکرد فازی مقاوم^{۱۴} پیشنهاد گردید. نتایج، روی موارد واقعی نشان داد که ترجیحات تصمیم‌گیرندگان نقش کلیدی در برنامه‌ریزی منابع دارد [۱۰].

با مطالعه ادبیات موضوع در زمینه مسائل HHC، می‌توان گفت تمرکز اصلی محققین بر روی شیوه حل مسائل HHC بوده است به‌گونه‌ای که خلأ وجود یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی که جنبه‌های مختلف یک مسئله HHC را در نظر بگیرد، به وضوح مشاهده می‌شود. مدلی که بر آن اساس اهداف مؤسسات HHC را به‌صورت بهینه برآورده کرد. بر این اساس، در مقاله حاضر، سعی شده است که مدل برنامه‌ریزی ریاضی به‌گونه‌ای ارائه شود که در آن علاوه بر تخصیص بهینه پرستاران به بیماران مختلف، برنامه زمانبندی پرستاران نیز با جزئیات لازم (مانند پنجره زمانی ارائه خدمات هر پرستار در هر شیفت، مسیر ارائه خدمات هر پرستار، مدت زمان اضافه‌کاری هر پرستار و ...) در اختیار مؤسسات ارائه دهنده خدمات HHC، قرار گیرد. در مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی، بر خلاف تحقیقات انجام شده، فقط به بیان یک مدل ریاضی کلی HHC پرداخته نمی‌شود، بلکه هدف از ارائه

در منزل را با در نظر گرفتن خدمات سرپائی مطرح نمودند. از جمله معیارهای در نظر گرفته شده در این مدل می‌توان به کمینه کردن هزینه جابجائی و مجموع جریمه‌های انتظار بیماران سرپائی و بیشینه نمودن رضایت بیماران اشاره کرد. آن‌ها برای به‌دست آوردن جواب مدل از الگوریتم ابتکاری ژنتیک ترکیبی استفاده کردند. ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی نیز نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک ترکیبی قادر است جواب‌هایی با کیفیت و زمان محاسباتی کم ارائه کند [۷]. لیو^{۱۴} و همکاران در سال ۲۰۲۱ مسئله مسیریابی و برنامه‌ریزی خدمات بهداشتی- درمانی در منزل را با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی مانند پنجره‌های زمانی، معاینه همزمان برای یک بیمار و زمان استراحت برای ناهار و با هدف کمینه کردن هزینه‌های عملیاتی مؤسسه ارائه دهنده خدمات HHC مورد مطالعه قرار دادند. مسئله به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح-مختلط ارائه شد و با چهار الگوریتم فراابتکاری مختلف، بر روی مسائل آزمون فریدمن عملکرد مدل بررسی گردید [۸]. یاداو^{۱۵} و همکارش در سال ۲۰۲۲، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تعمیم یافته را برای مسئله HHC ارائه کردند. در این مدل بازدیدهای متعدد کارکنان را با در نظر گرفتن ترجیحات آن‌ها مانند استراحت، مسیرهای مناسب، زمانبندی با توجه به رعایت پنجره زمانی، مدنظر قرار گرفت. هدف در مقاله بیشینه کردن درآمد مؤسسه ارائه دهنده خدمات HHC بود. برای حل این مدل از تجزیه مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و همچنین الگوریتم ابتکاری ژنتیک اصلاح شده p-GA، استفاده شد. عملکرد رویکرد پیشنهادی بر روی داده‌های نمونه‌ای نیز بررسی گردید [۱۴]. در سال ۲۰۲۲، شیرری و همکاران، مدل خطی اعداد صحیح مختلط چندهدفه را برای

¹⁴ Liu¹⁵ Yadav

دستی یا حل یک یا چند مدل برنامه‌ریزی ریاضی دیگر می‌باشد، نکاتی که می‌تواند کارائی مدل ریاضی آن‌ها را در حل مسائل دنیای واقعی، با چالش جدی روبرو کند.

در ادامه لازم است قبل از بیان و توصیف مناسب مدل ریاضی پیشنهادی، برخی از ویژگیهای مراجعان و پرستاران شرح داده شود.

در دنیای واقعی، هر بیمار در یک مسئله HHC، نیازمند یک یا چند فعالیت پزشکی، مانند دادن دارو، تزریق، استحمام و ... است که در این مقاله هر یک را به عنوان یک خدمت پزشکی تعریف می‌کنیم. همچنین علاوه بر این‌که هر پرستار می‌تواند در چندین شیفت مختلف کار کند به‌طوری‌که کل زمان کار او از حداکثر زمان کار مجاز تجاوز نکند، هر پرستار می‌تواند خدمت‌رسانی به یک بیمار خاص را قبول یا رد نماید. تابع هدف مسئله شامل اهدافی مانند کمینه کردن مجموع زمان رانندگی‌ها، مجموع اضافه کاری، مجموع نقض (انحراف) از ترجیحات بیماران و پرستاران و مجموع زمان‌های رانندگی پرستارانی که در نوع قرارداد آن‌ها مؤسسه هیچ تعهدی در خصوص پرداخت متناسب با مدت زمان رانندگی آن‌ها ندارد. سایر محدودیت‌های مدل نیز شامل تخصیص شدنی پرستاران به بیماران (متناسب با سطح تخصص پرستار و نیز سطح تخصص درخواست شده توسط بیمار)، رعایت قانون ساعت کاری در قرارداد، رعایت بازه‌های زمانی نرم و سخت و استراحت‌های الزامی می‌باشند که در بخش ۳-۱ شرح داده خواهند شد. بنابراین در این مقاله سعی می‌شود که با رفع ضعف‌ها و نواقص مدل ریاضی مطرح شده در [۱۱] و با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جدید، نحوه زمانبندی و ارائه خدمات به بیماران توسط پرستاران به‌صورت مطلوب‌تری مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

مدل برنامه‌ریزی ریاضی محاسبه یک زمانبندی بهینه به‌گونه‌ای است تا علاوه بر کمینه کردن هزینه‌های جاری و افزایش بهره‌وری پرستاران، امکان ارائه خدمات مطلوب‌تر به بیماران بیشتر با توجه به شرایط متفاوت بیماران و یا حتی پرستاران، فراهم گردد، فرایندی که تاکنون به‌صورت دقیق به آن پرداخته نشده است.

۳- بیان مسئله

همانطور که در بخش ۲ اشاره شد، مدل برنامه‌ریزی اشاره شده در [۱۱] را شاید بتوان تنها مدل ریاضی مسئله HHC عنوان کرد، مدلی که به بهینه‌سازی زمانبندی و تخصیص پرستاران به‌منظور ارائه خدمات HHC پرداخته است. هرچند در این مدل، سعی شده است که جنبه‌های مختلف یک مسئله HHC در دنیای واقعی منعکس شود ولی در عمل، پیاده‌سازی این مدل ایرادات و نواقص اساسی را در بردارد. از جمله مهم‌ترین نقاط ضعف مدل ریاضی مطرح شده در [۱۱] که می‌توان به آن اشاره کرد این است که ساختار مدل ریاضی آن‌ها به گونه‌ای است که در آن نحوه تعیین زمانبندی و تخصیص پرستاران به بیماران در شیفت‌های کاری مختلف به‌درستی تبیین نشده است و ارائه یک زمانبندی و تخصیص (نه لزوماً بهینه)، نیازمند حل یک یا چند مدل برنامه‌ریزی ریاضی دیگر می‌باشد. همچنین در پیاده‌سازی رویکرد ابتکاری مورد استفاده، نحوه تخصیص و زمانبندی شدنی پرستاران به بیماران شرح داده نشده است و صرفاً به تعیین یک جواب شدنی کلی بسنده شده است، جوابی که در آن جزئیات مربوط به زمانبندی و تخصیص متناظر با مسئله HHC مورد بحث (مانند شیفت‌های یک پرستار، نوع خدمات اختصاص داده شده به هر پرستار، زمان استراحت و یا مدت زمان رانندگی هر پرستار و ...) مورد توجه قرار نگرفته است. بازیابی این اطلاعات نیازمند صرف زمان به‌صورت حل

پرستار است، بنابراین در مدل ریاضی، کمینه کردن مجموع انحرافات از بازه زمانی ترجیح پرستار در نظر گرفته می‌شود.

۶. رعایت سطح کیفی ارائه خدمات (سطح تخصص)؛ هر بیمار سطح مشخصی از مهارت را نیاز دارد و هر پرستار یک سطح مشخص از شایستگی انجام یک خدمت را داراست که می‌تواند مطابق با مهارت خود و در صورت لزوم، خدمات با سطح تخصص پایین‌تر را انجام دهد، لذا در مدل ریاضی پیشنهادی به منظور افزایش رضایت پرستار، مدت زمان کاری که صرف ارائه خدمات با سطح تخصص پایین‌تر از سطح تخصص وی شده است را کمینه می‌کنیم.

۷. استفاده حداکثری از پتانسیل پرستاران؛ برخی پرستاران برای مدت زمان رانندگی بین بیماران هزینه‌ای دریافت نمی‌کنند، بنابراین آن‌ها تمایل دارند که این زمان‌ها کمینه گردد، لذا در مدل، مدت زمان رانندگی بین منزل پرستار و محل خدمت آنها و بعکس (که با قرارداد نوع R_p نمایش می‌دهیم) کمینه خواهد شد.

شایان ذکر است که با توجه به اینکه بیمار قادر است به هر دلیل از پذیرش پرستاری خاص امتناع کند، لذا ارائه خدمت تنها زمانی صورت می‌پذیرد که الف- سطح تخصص خدمت، کمتر و یا برابر با سطح تخصص پرستار باشد.

ب- پرستار و بیمار زبان مشترکی داشته باشند و هر دو یکدیگر را بپذیرند.

۳-۲ مدل ریاضی مسئله HHC

در راستای تحقق اهداف مدل و در عین حال تعیین یک تخصیص و زمانبندی بهینه که شامل جزئیات مورد نیاز یک مؤسسه باشد، در مدل ریاضی ارائه شده، متغیرها و پارامترها به گونه‌ای معرفی می‌شوند تا بتوان علاوه بر تعیین اختصاص بهینه پرستاران به نوع خدمات ارائه شده توسط آن‌ها، جزئیات و

۳-۱ اهداف و مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی

در این بخش، اهداف و محدودیت‌هایی که در مدل ریاضی پیشنهادی برای بهینه کردن رضایت بیماران و پرستاران و کمینه کردن هزینه‌های عملیاتی مؤسسات ارائه دهنده خدمات HHC که باید مورد توجه قرار بگیرد، شرح داده می‌شود. اهداف اصلی که در مدل برنامه‌ریزی ریاضی مسئله تخصیص و زمانبندی لحاظ می‌شود، به صورت ذیل بیان می‌شوند.

۱. کمینه کردن مجموع مدت زمان رفت و آمدهای^{۱۷} پرستاران جهت ملاقات بیماران مختلف.

۲. کاهش ساعات اضافه‌کاری پرستاران مؤسسه ارائه دهنده خدمات HHC.

۳. افزایش میزان رضایت بیمار با انجام خدمات درمانی بیمار توسط پرستار مورد علاقه وی؛ افزایش میزان رضایت بیمار، بر تمایل استفاده مجدد بیماران از خدمات درمانی مؤثر خواهد بود. لذا کمینه کردن مجموع مدت زمان انجام خدماتی که پرستار تخصیص داده شده، مطابق ترجیح بیمار نباشد، یکی از اهداف مدل در نظر گرفته شده است.

۴. در نظر گرفتن ترجیحات بیماران؛ با توجه به ترجیح بیمار به دریافت خدمات در زمان‌های مطلوب وی، کمینه کردن مجموع انحرافات از بازه زمانی مورد ترجیح بیمار نیز از اهداف مدل است.

۵. رعایت ترجیحات پرستاران؛ با توجه به پاره وقت بودن برخی از پرستاران و تمایل آنها به ارائه خدمت و یا زمان استراحت در بازه زمانی مورد علاقه آنها، یکی از اهداف مؤسسات، حداکثر کردن میزان رضایت پرستار با رعایت بازه زمانی مورد ترجیح

^{۱۷} زمان رفت و آمد در این مقاله، شامل زمان رانندگی بین منزل بیماران، بین منزل پرستاران و بیماران می‌باشد و همچنین منظور از مدت زمان انتظار، زمان انتظاری که پرستاران زودتر از ساعت مقرر به منزل بیمار می‌رسند، می‌باشد.

پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در مقایسه با ساختار سایر مدل‌های ریاضی HHC موجود در ادبیات موضوع، مشهود و قابل ارزیابی است ([۹] و [۱۱] و [۱۲] از جمله مدل‌های ریاضی معرفی شده در ادبیات موضوع هستند که برای درک تفاوت ساختار مدل ریاضی پیشنهادی در این مقاله، قابل ارزیابی می‌باشند). قبل از ارائه مدل ریاضی، برای درک بهتر ساختار مدل پیشنهادی، در جداول ۱ و ۲، به ترتیب فهرستی از پارامترها و متغیرهای مورد استفاده در مدل، آورده شده است.

اطلاعات مورد نیاز یک زمانبندی بهینه به‌طور مستقیم و بدون نیاز به محاسبات اضافی در دسترس قرار گیرند. برای نمونه، پارامتر متناظر با مدت زمان رانندگی برای هر خدمت و پرستار طوری در نظر گرفته شده است تا تفاوت بین زمان‌های رانندگی از محل پرستاران به اولین خدمت آن‌ها و یا از آخرین خدمت به محل پرستاران به راحتی قابل تشخیص باشد. همچنین متغیرهای متناظر با بازه زمان کاری پرستاران به تفکیک هر پرستار و نوع شیفت وی، دسته‌بندی و قابل دسترسی است. تغییرات اعمال شده در مدل و همچنین جواب‌های بهینه حاصل از

جدول ۱ - پارامترهای مورد استفاده در مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی

پارامترهای مدل	تعریف
J	مجموعه خدمات پزشکی.
J_0	مجموعه J بعلاوه نقاط ابتدائی و انتهائی هر شیفت.
N	تعداد پرستاران.
K	تعداد شیفت‌ها.
D	نوع قرارداد که پرستار خدمتش را از کلینیک شروع و در کلینیک خاتمه می‌دهد (هزینه مدت زمان رانندگی از کلینیک تا منزل بیمار و بعکس پرداخت می‌شود).
R_1	نوع قرارداد که پرستار خدمتش را از منزل خود شروع و در منزل خود تمام می‌کند (هزینه مدت زمان رانندگی از منزل پرستار تا بیمار پرداخت می‌شود).
R_2	نوع قرارداد که پرستار خدمتش را از منزل بیمار اول شروع و در منزل بیمار آخر تمام می‌کند (هیچ هزینه رانندگی به پرستار پرداخت نمی‌شود).
ND	مجموعه پرستارانی که در قرارداد D مشغول به کار هستند.
NR_1	مجموعه پرستارانی که در قرارداد R_1 مشغول به کار هستند.
NR_2	مجموعه پرستارانی که در قرارداد R_2 مشغول به کار هستند.
q_j	سطح تخصصی (کیفی) خدمت پزشکی $j \in J$.
d_j	مدت زمان انجام خدمت پزشکی $j \in J$.
$[a_j, b_j]$	بازه زمانی که خدمت پزشکی j در آن بازه باید انجام شود (محدودیت سخت).
$[as_j, bs_j] \subseteq [a_j, b_j]$	بازه زمانی که بیمار ترجیح می‌دهد خدمت پزشکی j در این بازه انجام شود (محدودیت نرم).
p_j	ترجیح به‌کارگیری یک پرستار خاص برای خدمت j (این ترجیح توسط بیمار مربوط به خدمت j تعیین می‌شود).
t_{ijn}	مدت زمان رانندگی پرستار n بین دو خدمت پزشکی i و j که i و j می‌توانند محل شروع و پایان هر شیفت باشند.
$V(k)$	مجموعه پرستاران شیفت k ($k \in K$).
Q_n	سطح کیفی پرستار n .

مدت زمان کاری در قرارداد پرستار n .	S_n
مدت زمان استراحت پرستار n در شیفت k .	$break_{nk}$
بازه زمانی شروع استراحت مورد ترجیح پرستار n در شیفت k .	$[ab_{nk}, bb_{nk}]$
حداکثر زمان خدمت هر پرستار قبل از شروع استراحت.	B
حداکثر مدت زمان کاری مجاز برای همه پرستاران.	T
بازه زمانی خدمت مورد ترجیح پرستار n در شیفت k .	$[at_{nk}, bt_{nk}]$
نماد استراحت.	P
اعداد حقیقی به اندازه کافی بزرگ.	M_1, \dots, M_{11}

جدول ۲ - متغیرهای مورد استفاده در مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی

تعریف	متغیرهای مدل
پنجره زمانی ارائه خدمت پرستار n در شیفت k که از st_{nk} شروع و در et_{nk} پایان می‌یابد.	$[st_{nk}, et_{nk}]$
زمان شروع استراحت پرستار n در شیفت k .	Sp_{nk}
اضافه کاری پرستار n .	O_n
متغیری دودویی که اگر $x_{ijnk} = 1$ خدمت پزشکی j بلافاصله بعد از خدمت پزشکی i توسط پرستار n در شیفت k انجام شده است، در غیر این صورت $x_{ijnk} = 0$.	$x_{ijnk} \in \{0, 1\}$
متغیری دودویی که $y_{nk} = 1$ نشان می‌دهد پرستار n در شیفت k استراحت کرده است، در غیر این صورت $y_{nk} = 0$.	$y_{nk} \in \{0, 1\}$
زمان شروع خدمت پزشکی j در شیفت k توسط پرستار n .	S_{jnk}
بیانگر میزان انحراف S_{jnk} از as_j اگر $as_j < S_{jnk}$ در غیر این صورت $ltw_j = 0$.	ltw_j
بیانگر میزان انحراف S_{jnk} از bs_j اگر $bs_j < S_{jnk}$ در غیر این صورت $utw_j = 0$.	utw_j
بیانگر میزان انحراف st_{nk} از at_{nk} اگر $at_{nk} < st_{nk}$ در غیر این صورت $ln tw_{nk} = 0$.	$ln tw_{nk}$
بیانگر میزان انحراف et_{nk} از bt_{nk} اگر $bt_{nk} < et_{nk}$ در غیر این صورت $untw_{nk} = 0$.	$untw_{nk}$
بیانگر میزان انحراف Sp_{nk} از ab_{nk} اگر $ab_{nk} < Sp_{nk}$ در غیر این صورت $lbtw_{nk} = 0$.	$lbtw_{nk}$
بیانگر میزان انحراف Sp_{nk} از bb_{nk} اگر $bb_{nk} < Sp_{nk}$ در غیر این صورت $ubtw_{nk} = 0$.	$ubtw_{nk}$

(۱) تا (۴۰) در قالب مدل بهینه‌سازی چندهدفه ۲-۳ ارائه شده است.

بر اساس پارامترها و متغیرهای تعریف شده در جدول‌های ۱ و ۲، مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی متناظر با مسئله HHC توسط روابط

$$\min z_1 = \left(\sum_{n \in N} \sum_{k \in v} (et_{nk} - st_{nk} - (break_{nk} \cdot y_{nk})) \right) - \sum_{j \in J} d_j \quad (1)$$

$$\min z_2 = \sum_{n \in N} O_n \quad (2)$$

$$\min z_3 = \sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} \sum_{\substack{k \in v \\ p_j = v(k)}} (1 - x_{ijnk}) \cdot d_j \quad (3)$$

$$\min z_{\varphi} = \sum_{j \in J} (ltw_j + utw_j) \quad (۴)$$

$$\min z_{\delta} = \sum_{n \in N} \sum_{k \in V} (\ln tw_{nk} + untw_{nk} + lbtw_{nk} + ubtw_{nk}) \quad (۵)$$

$$\min z_{\varphi} = \sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} \sum_{j \in J} \sum_{\substack{n \in N \\ q_j < Q_n}} \sum_{k \in V} d_j \cdot x_{ijnk} \quad (۶)$$

$$\min z_{\psi} = \sum_{\substack{j \in J \\ j \neq o}} \sum_{n \in NR_{\psi}} \sum_{k \in V} (t_{ojn} \cdot x_{ojnk} + t_{j\circ n} \cdot x_{j\circ nk}) \quad (۷)$$

s.t.

$$\sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} \sum_{n \in N} \sum_{k \in V} x_{ijnk} = 1 \quad \forall j \in J \quad (۸)$$

$$\sum_{j \in J} x_{jPnk} = y_{nk} \quad \forall k \in V, \forall n \in N \quad (۹)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ojnk} \leq 1 \quad \forall k \in V, \forall n \in N \quad (۱۰)$$

$$\sum_{j \in J} x_{j\circ nk} \leq 1 \quad \forall k \in V, \forall n \in N \quad (۱۱)$$

$$\sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} x_{ihnk} = \sum_{j \in J_0} x_{hjnk} \quad \forall h \in J, \forall k \in V, \forall n \in N \quad (۱۲)$$

$$x_{Pjnk} - x_{jPnk} = 0 \quad \forall j \in J, \forall k \in V, \forall n \in N \quad (۱۳)$$

$$x_{Pjnk} - \sum_{\substack{i \in J \\ i \neq j}} x_{ijnk} \leq 0 \quad \forall j \in J, \forall k \in V, \forall n \in N \quad (۱۴)$$

$$S_{ink} + t_{ijn} + d_i - M_{\lambda} \cdot (1 - x_{ijnk}) \leq S_{jnk} \quad \forall i, j \in J, \forall k \in V, \forall n \in N \quad (۱۵)$$

$$Sp_{nk} + break_{nk} - M_{\psi} \cdot (1 - x_{jPnk}) \leq S_{jnk} \quad \forall j \in J, \forall k \in V, \forall n \in N \quad (۱۶)$$

$$S_{ink} + t_{ijn} + d_i - Sp_{nk} \leq M_{\psi} \cdot (\psi - x_{ijnk} - x_{jPnk}) \quad \forall i, j \in J, \forall k \in V, \forall n \in N \quad (۱۷)$$

$$st_{nk} + t_{ojn} - M_{\varphi} \cdot (1 - x_{ojnk}) \leq S_{jnk} \quad \forall j \in J, \forall n \in ND, \forall k \in V \quad (۱۸)$$

$$st_{nk} + t_{ojn} - M_{\delta} \cdot (1 - x_{ojnk}) \leq S_{jnk} \quad \forall j \in J, \forall n \in NR_{\delta}, \forall k \in V \quad (۱۹)$$

$$st_{nk} - M_{\varphi} \cdot (1 - x_{ojnk}) \leq S_{jnk} \quad \forall j \in J, \forall n \in NR_{\varphi}, \forall k \in V \quad (۲۰)$$

$$S_{jnk} + t_{j\circ n} + d_j - M_{\psi} \cdot (1 - x_{j\circ nk}) \leq et_{nk} \quad \forall j \in J, \forall n \in ND, \forall k \in V \quad (۲۱)$$

$$S_{jnk} + t_{j\circ n} + d_j - M_{\lambda} \cdot (1 - x_{j\circ nk}) \leq et_{nk} \quad \forall j \in J, \forall n \in NR_{\lambda}, \forall k \in V \quad (۲۲)$$

$$S_{jnk} + d_j - M_{\psi} \cdot (1 - x_{j\circ nk}) \leq et_{nk} \quad \forall j \in J, \forall n \in NR_{\psi}, \forall k \in V \quad (۲۳)$$

$$a_j \cdot \sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} x_{ijnk} \leq S_{jnk} \leq b_j \cdot \sum_{\substack{i \in J_0 \\ i \neq j}} x_{ijnk} \quad \forall j \in J, \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۲۴)$$

$$Sp_{nk} \leq \min(B + st_{nk}, M_{\psi} \cdot y_{nk}) \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (۲۵)$$

$$\frac{et_{nk} - st_{nk} - B}{B} \leq y_{nk} \leq \frac{et_{nk} - st_{nk}}{B} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (26)$$

$$et_{nk} + break_{nk} \leq st_{nl} \quad \forall n \in N, \forall k, l \in V, k < l, v(k) = v(l) \quad (27)$$

$$\sum_{\substack{k \in V \\ v(k)=n}} (et_{nk} - st_{nk} - break_{nk} \cdot y_{nk}) \leq T \quad \forall n \in N \quad (28)$$

$$\sum_{\substack{k \in V \\ v(k)=n}} (et_{nk} - st_{nk} - break_{nk} \cdot y_{nk}) - S_n \leq O_n \quad \forall n \in N \quad (29)$$

$$ltw_j \geq as_j - \sum_{k \in V} S_{jnk} - M_{\forall} (1 - x_{ijnk}) \quad \forall j \in J, \forall n \in N \quad (30)$$

$$utw_j \geq \left(\sum_{k \in V} S_{jnk} + d_j \right) - bs_j \quad \forall j \in J, \forall n \in N \quad (31)$$

$$lbtw_{nk} \geq (ab_{nk}) \cdot y_{nk} - Sp_{nk} - M_{\forall} (1 - y_{nk}) \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (32)$$

$$ubtw_{nk} \geq Sp_{nk} - (bb_{nk}) \cdot y_{nk} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (33)$$

$$\ln tw_{nk} \geq at_{nk} - st_{nk} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (34)$$

$$untw_{nk} \geq et_{nk} - bt_{nk} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (35)$$

$$O_n \geq 0 \quad \forall n \in N \quad (36)$$

$$ltw_j, utw_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (37)$$

$$\ln tw_{nk}, untw_{nk} \geq 0, lbtw_{nk}, ubtw_{nk} \geq 0 \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (38)$$

$$x_{ijnk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in J, \forall n \in N, \forall k \in V \quad (39)$$

$$y_{nk} \in \{0, 1\} \quad \forall n \in N, \forall k \in V \quad (40)$$

ترجیح هر بیمار را محاسبه می‌کند (رابطه (۴)). تابع هدف Z_6 که در رابطه (۵) آورده شده است، انحراف از مدت زمان کاری و بازه زمانی مورد ترجیح پرستار برای استراحت را نشان می‌دهد. محاسبه مدت زمان کاری که صرف ارائه خدمات با سطح تخصص پائین‌تر از سطح تخصص پرستار در رابطه (۶) (تابع هدف Z_7) ارائه می‌شود. تابع هدف Z_7 در رابطه (۷)، مجموع زمان رانندگی پرستارانی که در قرارداد نوع R_p هستند را محاسبه می‌کند، زیرا در این نوع قرارداد، هزینه‌ای برای مدت زمان رانندگی یک پرستار از منزل وی تا محل یک خدمت مشخص شده، پرداخت نمی‌شود. محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی ریاضی ۲-۳ نیز به صورت زیر شرح داده می‌شوند:

مدل ۲-۳. مدل برنامه‌ریزی ریاضی متناظر با مسئله HHC

برای درک بهتر مدل ۲-۳، توابع هدف و محدودیت‌های مدل در ذیل شرح داده می‌شوند. تابع هدف Z_1 دربرگیرنده مجموع زمان‌های رانندگی همه پرستاران است به طوری که اگر از مدت زمان شیفت هر پرستار، مدت زمان ارائه خدمات کم شود، آن‌گاه می‌توان مدت زمان رانندگی هر پرستار را محاسبه کرد (رابطه (۱)). تابع هدف Z_2 به محاسبه اضافه‌کاری پرستاران می‌پردازد (رابطه (۲)). در رابطه (۳)، تابع هدف Z_3 هزینه عدم رعایت ترجیحات بیمار به پرستاری خاص که از قبل توسط بیمار اعلام شده است، را نشان می‌دهد. تابع هدف Z_4 هزینه عدم رعایت بازه زمانی مورد

پایان هر شیفت باید بعد از پایان آخرین خدمت و مدت زمان رانندگی تا منزل پرستار باشد. محدودیت (۲۳) بیانگر آن است که (برای پرستارانی با نوع قرارداد R_p) زمان پایان هر شیفت باید بعد از پایان آخرین خدمت باشد. محدودیت (۲۴) بیانگر آن است که ارائه خدمات باید در بازه زمانی سخت $[a_j, b_j]$ انجام پذیرد. محدودیت (۲۵) تضمین می‌کند که اگر پرستاری در حال استراحت باشد، زمان شروع استراحت وی، حداکثر بعد از B ساعت زمان کاری، آغاز شده است. محدودیت (۲۶) بیانگر آن است که اگر یک پرستار حداقل B ساعت کار کرده باشد آن‌گاه باید استراحت صورت پذیرد و بعکس. محدودیت (۲۷) بیان می‌کند که اگر پرستار روزانه چندین شیفت کار کند (برای مثال دو شیفت صبح و عصر)، زمان بین شیفت‌ها باید حداقل به اندازه زمان استراحت وی باشد. محدودیت (۲۸) نشان می‌دهد که کل زمان بهینه فعالیت پرستاران (بدون در نظر گرفتن استراحت) باید کمتر یا مساوی حداکثر مدت زمان کاری مجاز برای هر پرستار (T) در طول یک روز باشد. شایان ذکر است با در نظر گرفتن تساوی برای این محدودیت، فضای جواب مسئله کوچکتر شده و لذا پیدا کردن یک زمانبندی که در آن تمام پرستاران دقیقاً T ساعت کار کنند، ممکن است باعث شود که مسئله، نشدنی شود. محدودیت (۲۹) بیانگر اضافه‌کاری هر پرستار است. محدودیت‌های (۳۰) و (۳۱) به ترتیب بیانگر انحراف از ابتدا و انتهای بازه زمانی مورد ترجیح بیمار برای هر خدمت است. در مورد این دو محدودیت می‌توان گفت که برای هر بیمار یک بازه ترجیحی در پنجره زمانی تعریف می‌شود، که اگر دریافت خدمت در این بازه صورت پذیرد، میزان رضایت بیمار افزایش می‌یابد، در غیر این صورت، نارضایتی بیمار را به دنبال خواهد داشت. محدودیت‌های (۳۲) و (۳۳) به ترتیب انحراف از ابتدا و انتهای بازه استراحت مورد نظر پرستار را نشان

محدودیت (۸) تضمین می‌کند که هر خدمت تنها یک‌بار در تمام شیفت‌ها ملاقات شده است. محدودیت (۹) بیانگر آن است که اگر گره استراحت P در شیفت k ملاقات شده باشد، y_{nk} برابر یک خواهد شد و در غیر این صورت صفر است. محدودیت (۱۰) بیانگر آن است که هر پرستار در هر شیفت، کار خود را باید فقط با یک خدمت آغاز کند (گره صفر به طور کلی بیانگر نقطه آغاز و پایان تمام شیفت‌های پرستاران است). با توجه به محدودیت (۱۱)، هر پرستار در هر شیفت، کار خود را تنها با یک خدمت به پایان می‌رساند. محدودیت (۱۲) بیان می‌کند که اگر پرستار، یک بیمار را ملاقات کرد، باید پس از اتمام خدمت مربوطه، وی را ترک کند. محدودیت (۱۳) نشان می‌دهد که اگر استراحت‌ها در محل خدمت انجام می‌شود، پرستار به گره استراحت حرکت کرده و سپس به همان بیمار باز می‌گردد. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که استراحت در زمان مناسب انجام می‌شود. محدودیت (۱۵) اطمینان می‌دهد که بعد از انجام خدمت i ، خدمت j شروع می‌شود. محدودیت (۱۶) اطمینان می‌دهد که مجموع زمان آغاز استراحت هر پرستار و مدت زمانی که وی به استراحت می‌پردازد، قبل از شروع یک خدمت باشد. محدودیت (۱۷) تضمین می‌کند که زمان آغاز استراحت پرستار باید بعد از مجموع زمان اتمام یک خدمت و مدت زمان رانندگی بین آن خدمت و خدمت دیگر صورت گیرد. محدودیت‌های (۱۸) و (۱۹) و (۲۰) به ترتیب متناظر با پرستارانی با نوع قرارداد D ، R_1 و R_p ، بیانگر آن هستند که زمان آغاز هر شیفت کاری باید کمتر از زمان شروع اولین خدمت باشد. محدودیت (۲۱) بیانگر آن است که (برای پرستارانی با نوع قرارداد D) زمان پایان هر شیفت باید بعد از پایان آخرین خدمت و مدت زمان رانندگی تا مؤسسه باشد. محدودیت (۲۲) بیان می‌کند که (برای پرستارانی با نوع قرارداد R_1) زمان

با استفاده از روش شناخته شده مجموع وزنی^{۱۹} با وزن‌های دلخواه و یکسان $\alpha_i = 0.16$ برای $i = 1, \dots, 7$ صورت خواهد گرفت.

مثال ۴-۱: در این مثال، مدل ریاضی پیشنهادی را بر روی یک مسئله HHC با دو پرستار ($N = 2$) و هفت خدمت پزشکی ($J = 7$) و یک شیفت کاری و با فرض اینکه همه خدمات و پرستاران دارای سطح تخصصی یکسان می‌باشند، پیاده‌سازی می‌کنیم. حداکثر مدت زمان کاری برای پرستاران برابر با $T = 8$ ساعت ولی زمان قرارداد کاری پرستاران با مؤسسه ارائه‌دهنده خدمات HHC (کلینیک) متفاوت و به ترتیب $S_1 = 6$ و $S_2 = 8$ ساعت است. لازم به ذکر است که در این مثال می‌توان پرستار اول را به‌عنوان یک پرستار پاره وقت و پرستار دوم را یک پرستار تمام وقت، در نظر گرفت. برای سادگی فرض می‌شود، هر دو پرستار در نوع قرارداد D مشغول به فعالیت هستند. بازه‌های زمانی مورد ترجیح پرستاران و بیماران و همچنین بازه‌های متناظر با زمان استراحت پرستاران از قبل مشخص و داده شده‌اند. مرتبه ماتریس زمان‌های رانندگی که بین خدمات، نقطه شروع و نقطه پایان یک مسیر طی می‌شود برابر با $(J+2) \times (J+2)$ است. این ماتریس نیز از پارامترهای اولیه مسئله می‌باشد که به‌صورت تصادفی تولید می‌شود. در این ماتریس، زمان‌های رانندگی برحسب ساعت لحاظ شده‌اند. پارامترهای آغازین و ورودی مسئله حل شده در جدول ۳، آورده شده است.

شایان ذکر است که با توجه به عدم وجود دسته مسائل مورد آزمون، فرایند مقارن‌دهی و تعیین پارامترهای آغازین مسئله، خود یک مشکل اساسی می‌باشد که ضروری است به دقت مورد توجه قرار گیرد.

می‌دهد. محدودیت‌های (۳۴) و (۳۵) به ترتیب بیانگر انحراف از ابتدا و انتهای بازه زمان کاری مورد ترجیح هر پرستار می‌باشد. محدودیت‌های (۳۶) الی (۳۸) متغیرهای نامنفی مدل و محدودیت‌های (۳۹) و (۴۰) بیانگر دودوئی بودن متغیرهای مدل هستند.

۴- پیاده‌سازی مدل ریاضی پیشنهادی

در این بخش عملکرد مدل ریاضی پیشنهادی را بر روی یک مثال، مورد مطالعه قرار می‌دهیم (این مثال و مسائل مورد آزمون ارائه شده در بخش ۵، با نرم‌افزار تخصصی CPLEX در سیستمی با پردازشگر Corei5 و RAM 8G کدنویسی و اجرا شده است. انتخاب این نرم‌افزار تخصصی به این علت می‌باشد که CPLEX یک حل‌کننده قوی برای انواع مسائل برنامه‌ریزی ریاضی، به ویژه برای حل مدل‌های بهینه‌سازی طراحی شده است. استفاده از قطعه کدهای بدون پیچیدگی در این زبان نسبت به زبان‌های نظیر JAVA و C++ راه را برای رسیدن به اهداف مسائل بهینه‌سازی هموار می‌سازد).

نظر به اینکه مجموعه داده آزمایشی استاندارد برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها و روش‌های ارائه شده در حوزه مطالعاتی HHC وجود ندارد، لذا در این مقاله با تولید نمونه‌های آزمایشی مختلف و پیاده‌سازی مدل ریاضی ۲-۳ بر روی آن‌ها، نتایج حاصل از حل بهینه مدل مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در این راستا، در گام نخست، به منظور بررسی اولیه پیچیدگی ساختار مدل و همچنین چالش‌های پیش‌رو در نحوه تنظیم پارامترهای آغازین نمونه‌های آزمایشی، مدل ریاضی ارائه شده را برای یک نمونه داده کوچک بازنویسی و حل می‌کنیم. در گام دوم (بخش ۵ ملاحظه شود)، تحلیلی از نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی ۲-۳ بر روی نمونه‌های آزمایشی بزرگ‌تر ارائه می‌گردد. لازم به ذکر است که حل مدل بهینه‌سازی چندهدفه ۲-۳ متناظر با تمام مسائل مورد آزمون در این بخش و همچنین در بخش بعد،

¹⁹ Weighted Sum Method

جدول ۳- پارامترهای آغازین برای پیاده‌سازی مدل برنامه‌ریزی ریاضی (مثال ۴-۱)

پارامترهای ورودی	توضیحات
$B = 3$	حداکثر زمان مجاز هر پرستار قبل از شروع استراحت اجباری پرستار بر حسب ساعت.
$break_{nk} = [0/5, 0/5]$	مدت زمان استراحت برای پرستاران بر حسب ساعت.
$d = [0/5, 0/25, 0/75, 1/5, 0/66, 1, 1/5]$	مدت زمان انجام هر خدمت پزشکی بر حسب ساعت.
$a = [8 \ 10 \ 15 \ 11 \ 8 \ 12 \ 11]$ $b = [9 \ 11 \ 19 \ 13 \ 10 \ 14 \ 15]$	ابتدا و انتهای بازه شروع هر خدمت پزشکی.
$as = [8 \ 10 \ 18 \ 11 \ 9 \ 12/5 \ 11]$ $bs = [9 \ 11 \ 19 \ 12/5 \ 10 \ 14 \ 14]$	ابتدا و انتهای بازه زمانی نرم هر خدمت پزشکی.
$at = [8 \ 10]$ $bt = [16 \ 18]$	ابتدا و انتهای بازه زمانی کاری مورد ترجیح هر پرستار.

تخصیص (x_{ijnk}) که برای تعیین زمانبندی نحوه ارائه خدمات هر یک از پرستاران مورد استفاده قرار می‌گیرد، در جدول ۴ آورده شده‌اند. در جدول ۴، فقط متغیرهای تخصیص متناظر با خدمات‌هایی نمایش داده شده است که توسط یک پرستار پوشش داده شده‌اند که این خدمات در جواب با توجه به متغیرهای تخصیص با مقدار $x_{ijnk} = 1$ قابل شناسایی هستند. به‌عنوان مثال، متغیر $x_{6311} = 1$ بیانگر آن است که پرستار ۱ در شیفت ۱، بعد از انجام خدمت پزشکی ۶ ام به ارائه خدمت پزشکی ۳ ام می‌پردازد (چون قرارداد هر دو پرستار از نوع D می‌باشد، لذا نقطه شروع و نقطه پایان کار پرستاران، کلینیک خواهد بود). شایان ذکر است که J متشکل از ۱۰ گره شامل گره شروع ۱، گره استراحت P ، ۷ خدمت پزشکی متمایز و گره پایان ۹ (که با توجه به قرارداد D ، منظور کلینیک است) می‌باشد.

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر، در جدول ۵، سایر نتایج حاصل از حل مدل ریاضی ۳-۲ متناظر با مثال ۴-۱ که شامل زمان شروع و زمان پایان کار هر پرستار، زمان استراحت و انحرافات از ابتدا و انتهای بازه‌های مورد ترجیح بیماران و پرستاران آورده شده است.

با توجه به عدم دسترسی به جزئیات اطلاعات مؤسسات HHC خارج از ایران و این‌که مؤسسات HHC در داخل ایران نیز از ارائه اطلاعات اولیه خودداری می‌کنند، لذا در این مقاله مجبور به تولید مجموعه داده‌های اولیه به صورت تصادفی شدیم. بنابراین، می‌توان گفت که تنظیم پارامترهای آغازین و تعیین داده‌های منطقی برای ناتهی شدن فضای جواب مدل ۳-۲، یکی از پیچیدگی‌های مدل HHC، در بدست آوردن جواب بهینه مسئله HHC می‌باشد که با افزایش تعداد پرستاران و یا تعداد خدمات پزشکی، به‌عنوان یک مسئله جداگانه باید مورد بررسی و مطالعه قرار بگیرد.

همانطور که اشاره شد، مسئله مهمی که در این قسمت باید به آن توجه نمود، تنظیم پارامترهای آغازین (مانند بازه‌های زمان هر خدمت، بازه‌های زمانی مورد ترجیح پرستاران و خدمات پزشکی و غیره) متناسب با تعداد پرستاران و خدمات پزشکی تعریف شده، است. زیرا تنظیم مقادیر پارامترهای ورودی مسئله، در وجود جواب و حتی در کیفیت جواب بهینه تأثیر بسزایی دارد.

پس از حل مدل پیشنهادی متناظر با مسئله مورد آزمون ارائه شده در مثال ۴-۱، مقادیر متغیرهای

جدول ۴- متغیرهای تخصیص مثال ۱-۴ برای ۲ پرستار و ۷ خدمت پزشکی در شیفت ($k = 1$)

$x_{1211} = 1, x_{2611} = 1, x_{6311} = 1, x_{3811} = 1, x_{8911} = 1$	متغیرهای تخصیص (x_{ijnk}) مربوط به پرستار یک ($n = 1$)
$x_{1521} = 1, x_{5721} = 1, x_{7421} = 1, x_{4p21} = 1, x_{p421} = 1, x_{4921} = 1$	متغیرهای تخصیص (x_{ijnk}) مربوط به پرستار دو ($n = 2$)

جدول ۵- مقادیر برخی از متغیرهای مدل ۲-۳ برای ۲ پرستار و ۷ خدمت پزشکی در مثال ۱-۴

n	st_{nk}	et_{nk}	$\ln tw_{nk}$	$untw_{nk}$	$lbtw_{nk}$	$ubtw_{nk}$	Sp_{nk}	.
۱	۸	۱۲/۴۰	.	.	.	.	.	.
۲	۱۰	۱۵/۵۰	.	.	.	.	۱۳/۵۵	۱

استراحت نسبت به بازه مورد ترجیح این پرستار روی نداده است.

با توجه به جواب بهینه حاصل از حل مدل ریاضی ۲-۳، در جدول ۶، زمان شروع هر خدمت پزشکی و اینکه انجام هر خدمت پزشکی توسط کدام پرستار صورت می‌گیرد، مشخص گردیده است. به‌عنوان مثال، در سطر ششم جدول ۶، مقدار $K_{621} = 12/40$ بیانگر آن است که شروع ارائه خدمت پزشکی ششم توسط پرستار دوم در شیفت اول، در ساعت ۱۲/۴۰ ظهر می‌باشد. برای هر بیمار یک بازه ترجیحی (بازه زمانی نرم) در پنجره زمانی تعریف می‌شود، که اگر دریافت خدمت در این بازه صورت پذیرد، میزان رضایت بیمار افزایش می‌یابد، در غیر این‌صورت، نارضایتی بیمار را می‌تواند به دنبال داشته باشد. بر این اساس در جدول ۷، نتایج انحراف از بازه زمانی نرم هر خدمت نمایش داده شده است. مقادیر ltw_j و utw_j به ترتیب نشان دهنده انحرافات از ابتدا و انتهای بازه زمانی نرم خدمت j است. در این جدول، مقادیر صفر بیانگر عدم وجود انحراف در شروع و یا پایان خدمت مربوطه است. به عبارت دیگر، هر خدمت در بازه زمانی نرم خودش صورت گرفته است.

در جدول ۵، مقادیر متغیرهای st_{nk} و et_{nk} نشان می‌دهد که پرستار ۱، کار خود را در ساعت ۸ آغاز و در ساعت ۱۲/۴۰ ظهر، به پایان رسانده است. همچنین پرستار ۲ نیز، کار خود را در ساعت ۱۰ آغاز و در ساعت ۱۵/۵۰ ظهر، به اتمام رسانده است (این مقادیر شامل زمان‌های رانندگی هر پرستار نیز می‌باشد). با توجه به نتایج جدول ۵، ملاحظه می‌شود با توجه به اینکه $\ln tw_{11} = \ln tw_{21} = 0$ لذا می‌توان گفت که هر دو پرستار، کار خود را در بازه مورد ترجیحشان به انجام رسانده‌اند. از طرف دیگر، چون مقادیر انحراف از انتهای بازه مورد ترجیح هر دو پرستار برابر با صفرند یعنی، $ubtw_{11} = ubtw_{21} = 0$ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این دو پرستار کار خود را بدون تأخیر نسبت به بازه زمانی هر خدمت ارائه شده، به پایان رسانده‌اند. همچنین، در این جدول مقادیر $l_{11} = 0, l_{21} = 1$ ، بیانگر این موضوع است که فقط پرستار دوم از زمان استراحت خود استفاده کرده است. از سوی دیگر، مقدار $lbtw_{21} = 0$ بیان می‌کند که پرستار دوم در بازه زمانی مورد ترجیح خود به استراحت پرداخته است و عدم وجود انحراف از انتهای بازه مورد ترجیح پرستار دوم، یعنی $ubtw_{21} = 0$ نشان دهنده این است که تأخیری در

جدول ۶- زمان شروع هر خدمت پزشکی و پرستار متناظر آن

پرستار (n)	خدمت (j)	شیفت (k)	زمان شروع (S_{jnk})
۱	۱	۱	۸/۱۶
۱	۲	۱	۱۰
۲	۳	۱	۱۵
۲	۴	۱	۱۱
۱	۵	۱	۹
۲	۶	۱	۱۲/۴۰
۱	۷	۱	۱۱

جدول ۷- انحراف از بازه‌ی زمانی نرم هر خدمت در مثال ۴-۱

نوع خدمت (j)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
ltw_j	*	*	*	*	*	*	*
utw_j	*	*	*	*	*	*	*

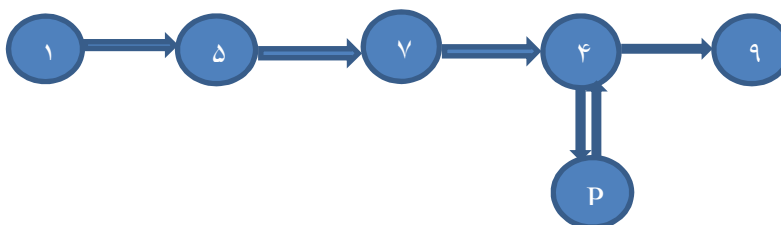
است. به منظور درک بهتر، در شکل ۲، پرستار ۲، فعالیت خود را از گره ۱ (که با توجه به نوع قرارداد کاری D ، بیانگر کلینیک است) آغاز و پس از انجام خدمات ۵، ۷ و ۴ به استراحت می‌پردازد (گره P) و پس از استراحت، کار خود را با انجام خدمت تعریف شده در گره ۹ (یعنی برگشت به کلینیک) به اتمام می‌رساند.

مقادیر بهینه هر یک از توابع هدف مدل ریاضی ۳-۲ در جدول ۸، آورده شده است.

به‌منظور درک بهتر، نحوه ارائه خدمات توسط هر پرستار را می‌توان به‌صورت یک شبکه گره‌ای نمایش داد که در آن گره‌ها و یال‌ها به ترتیب بیانگر نوع خدمات پزشکی و ترتیب انجام کارها تعریف می‌شوند. همچنین، مقادیر X_{ijnk} نشان دهنده وجود یا عدم وجود یال‌ها در شبکه می‌باشند. بر این اساس در شکل‌های ۱ و ۲، به ترتیب نحوه تخصیص خدمات پزشکی مثال ۴-۱ به دو پرستار ۱ و ۲ با توجه به جواب بهینه مدل ریاضی ۳-۲، ترسیم شده



شکل ۱- مسیر انجام خدمات تخصیص داده شده به پرستار ۱



شکل ۲- مسیر انجام خدمات تخصیص داده شده به پرستار ۲

جدول ۸- مقادیر بهینه اهداف مدل ریاضی پیشنهادی متناظر با مثال ۴-۱

مقدار تابع هدف	تابع هدف
$z_1^* = 3 / 84$	زمان رفت و آمد
$z_2^* = 0$	اضافه کاری
$z_3^* = 0$	نقض ترجیحات بیمار به پرستاری خاص
$z_4^* = 0$	ترجیح بیمار
$z_5^* = 0$	ترجیح پرستار
$z_6^* = 0$	عدم رعایت تخصص‌ها
$z_7^* = 0$	زمان‌های رانندگی پرداخت نشده

۵- نتایج عددی مدل ریاضی پیشنهادی

همانطور که در بخش ۴ نیز بیان شد، با توجه به خودداری مؤسسات معدود ایرانی ارائه دهنده خدمات HHC از ارائه اطلاعات اولیه و همچنین عدم دسترسی دقیق به جزئیات اطلاعات مورد نیاز در مؤسسات HHC سایر کشورها، لذا در این مقاله، به منظور پیاده‌سازی مدل ۲-۳ و ارزیابی دقیق‌تر کیفیت نتایج عددی حاصل از پیاده‌سازی مدل ریاضی ۲-۳، مسائل مورد آزمون بزرگتری، به صورت تصادفی تولید می‌شوند. این نمونه داده‌های آزمایشی، شامل تعداد $N = 2, 3, 4, 5, 6$ پرستار و تعداد $J = 7, \dots, 20$ خدمت پزشکی می‌باشد.

لازم به ذکر است که با توجه به نتایج عددی بدست آمده، انتخاب $N > 6$ پرستار برای $J \leq 20$ خدمت پزشکی منجر به بروز جواب‌هایی با مقادیر بهینه نامطلوب در حل یک مسئله HHC می‌شود (به عنوان نمونه، عدم استفاده حداکثری از پتانسیل هر پرستار و توزیع نامتوازن خدمات پزشکی بین پرستاران) که در ادامه به آن بیشتر خواهیم پرداخت. همچنین در این مقاله، با توجه به در نظر گرفتن معیار توقف $t = 3600$ ثانیه برای حل مدل ریاضی پیشنهادی، انتخاب مجموعه داده با $J > 20$ خدمت پزشکی و تعداد $N \geq 6$ مورد بررسی قرار نگرفته است. یکی دیگر از موارد با

اهمیت در تولید مسائل مورد آزمون که باید مدنظر قرار گیرد، نسبت تعداد پرستاران به تعداد خدمات پزشکی است که لازم است به صورت متعادل و منطقی تعریف شوند به گونه ای که هر پرستار، قادر به انجام تمام خدمات تخصیص داده شده، باشد. اگر تعداد خدمات با تعداد پرستاران متناسب نباشد، آن‌گاه رعایت بازه زمانی مورد ترجیح بیماران و پرستاران، امکان‌پذیر نخواهد بود و یا اینکه خدمات درخواست شده با انحرافات زیاد نسبت به محدودیت‌های نرم و سخت موجود در مسئله قابل پوشش هستند. بنابراین، در نحوه پذیرش خدمات به این نکته باید توجه شود که تعداد کل خدمات پذیرش شده توسط مؤسسه ارائه دهنده خدمات HHC، باید متناسب با تعداد کل پرستاران آماده همکاری در آن مؤسسه باشد. همچنین فراوانی خدمات پزشکی ضروری در هر بازه زمانی با فراوانی پرستاران در آن بازه زمانی باید متناسب باشد. در این راستا، از یک‌سو ضمن رعایت موارد فوق در تولید مسائل مورد آزمون و از سوی دیگر با توجه به نیاز مبرم مؤسسات HHC به در دست داشتن اطلاعاتی در خصوص حداقل تعداد پرستاران (و در بهترین حالت، دانستن تعداد بهینه پرستاران) برای پوشش دادن به تمام خدمات پزشکی درخواست شده، در ارائه مدل ریاضی پیشنهادی سعی شده است، به این نکته مهم توجه شود که بتوان براساس

جدول ۱۰- زمانبندی بهینه پرستاران در مسئله مورد آزمون ۱ ($k = 1$)

شماره پرستار (n)	۱	۲	۳	۴	۵	۶
st_{nk}	۴/۳۹	۲/۳۲	۱۱/۳۶	۸/۵۴	۱۹/۳۳	۲/۱۳
et_{nk}	۶/۴۳	۱۰/۳۲	۱۵/۲۰	۱۱/۴۸	۱/۵۵	۵/۴۱
Sp_{nk}	۰	۵/۳۰	۰	۰	۲۳/۳۳	۰
y_{nk}	۰	۱	۰	۰	۱	۰

جدول ۹، بیانگر این مطلب است که هر خدمت پزشکی به کدام پرستار تخصیص داده می‌شود. به‌عنوان نمونه، در این مسئله، مشاهده می‌شود خدمات پزشکی ۴، ۸ و ۱۱ به پرستار ۵ اختصاص داده شده است.

نتایج متناظر با مقادیر متغیرهای st_{nk} و et_{nk} (شروع و پایان زمان کاری هر پرستار n در شیفت k) در جدول ۱۰، نشان می‌دهد که مثلاً پرستار ۱ زمان کاری خود را در ساعت ۴/۳۹ آغاز و در ساعت ۶/۴۳ به پایان رسانده است. مقادیر Sp_{nk} و y_{nk} مربوط به پرستار ۱، نیز بیانگر آن است که به این پرستار، هیچ استراحتی داده نشده است، در حالی که بازه زمانی انجام خدمت پرستار ۲، برابر با [۲/۳۲ و ۱۰/۳۲] است که این پرستار در این بازه نیز به استراحت پرداخته است ($y_{۲۱} = 1$) و شروع

۲-۵ نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل

پیشنهادی بر روی مسئله مورد آزمون ۲

مسئله مورد آزمون دومی که در اینجا مورد مطالعه قرار گرفته است، شامل تعداد $N=6$ پرستار و تعداد $J=20$ خدمت پزشکی است. سایر پارامترهای دیگر این مسئله مشابه مسئله مورد آزمون ۱، تعریف شده‌اند. جزئیات مربوط به نحوه تخصیص بهینه خدمات به پرستاران در مسئله مورد آزمون ۲ و همچنین نحوه زمانبندی بهینه هر پرستار شامل زمان شروع و پایان فعالیت هر پرستار به ترتیب در جدول‌های ۱۱ و ۱۲ بیان شده‌اند.

جدول ۱۱- تخصیص بهینه $J=20$ خدمت پزشکی به $N=6$ پرستار در مسئله مورد آزمون ۲

خدمت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	
پرستار																					
۱	*									*		*							*		
۲		*							*			*				*					
۳			*															*		*	
۴				*				*													
۵					*			*			*										
۶															*	*	*				

جدول ۱۲- زمانبندی بهینه پرستاران در مسئله مورد آزمون ۲ ($k = 1$)

شماره پرستار (n)	۱	۲	۳	۴	۵	۶
st_{nk}	۹ / ۳۰	۱ / ۴۸	۲۰ / ۱۰	۲ / ۱۳	۱۹ / ۳۳	۴ / ۳۹
et_{nk}	۱۷ / ۱۰	۹ / ۴۸	۲۴ / ۱۰	۵ / ۱۰	۱ / ۳۳	۱۱ / ۴۱
Sp_{nk}	۱۳ / ۳۰	۵ / ۳۰	۰	۰	۲۳ / ۳۳	۸ / ۳۹
y_{nk}	۱	۱	۰	۰	۱	۱

• مسئله مورد آزمون ۲:

$z_1^* = 13/871$ و $z_2^* = 0$ و $z_3^* = 0$ و $z_4^* = 0$ و $z_5^* = 26/912$ و $z_6^* = 0$ و $z_7^* = 0$.

در هر دو مسئله، مقدار $z_7^* = 0$ متناظر با تابع هدف دوم نشان‌دهنده این مطلب است که هیچ یک از پرستاران اضافه‌کاری نداشته‌اند که این نتیجه می‌تواند نشان از وجود پرستاران مازاد در هر مسئله مورد آزمون باشد. برای توضیح بیشتر، با توجه به نتایج جدول‌های ۱۰ و ۱۲ و مقایسه مدت زمان‌های کاری پرستاران ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که تمام پتانسیل پرستار ۳ مورد استفاده قرار نگرفته است و بنابراین این پرستار با کسری خدمت (حدود ۸ ساعت) نسبت به زمان قرارداد کاری ۱۲ ساعته که در مسئله تعریف شده است مواجه است. از آنجائی‌که در مسائل مورد آزمون ۱ و ۲، سطح تخصص خدمت پزشکی ($q_j = 1$) و سطح تخصص تمام پرستاران، یکسان و برابر با $Q_n = 1$ در نظر گرفته شده است، لذا مقادیر z_6^* که به محاسبه مدت زمان کاری که صرف ارائه خدمات با سطح تخصص پائین‌تر از سطح تخصص پرستار می‌پردازد، صفر بدست آمده است. همچنین با توجه به این‌که ملاقات بیمار، تنها زمانی صورت می‌پذیرد که پرستار و بیمار هر دو یکدیگر را بپذیرند، بنابراین مقادیر (z_7^*) در دو مسئله که هزینه نقض ترجیحات بیمار به پرستاری خاص که از قبل مشخص شده است را ارائه می‌دهد، بیانگر این موضوع است که با توجه به تنوع در تعداد پرستاران،

نتایج جدول ۱۱ بیانگر این موضوع است که هر پرستار کدام خدمات پزشکی را پوشش می‌دهد. بر اساس این نتایج، مشاهده می‌شود که پرستار ۲ بیشترین خدمت پزشکی (۵ خدمت) و پرستاران ۳ و ۴ کمترین تعداد خدمات پزشکی (۲ خدمت پزشکی) را ارائه می‌دهند که نشان از عدم استفاده از تمام پتانسیل برخی از پرستاران می‌باشد، که در بخش بعدی، این مقوله مورد بحث قرار خواهد گرفت. در جدول ۱۲، شروع و پایان زمان‌های کاری هر پرستار و همچنین استفاده و یا عدم استفاده هر پرستار از امتیاز استراحت خود آورده شده است. به‌عنوان نمونه، پرستار ۱ در شیفت ۱، کار خود را در ساعت ۹/۳۰ آغاز و در ساعت ۱۷/۱۰ به پایان رسانده است. مقادیر Sp_{nk} و y_{nk} متناظر با پرستار ۱، نشان می‌دهد که به این پرستار در ساعت ۱۳/۳۰ استراحت داده شده است. شایان ذکر است که زمان حل مدل ریاضی ۲-۳ متناظر با این مسئله آزمون برابر با ۲۸۲۰ ثانیه است.

در ادامه، مقادیر بهینه توابع هدف دو مسئله آزمون ۱ و ۲ مقایسه می‌شوند. با توجه به مقدار بهینه مجموع وزنی توابع هدف مسئله مورد آزمون ۱، ($z^* = 7/501$) و مسئله مورد آزمون ۲ ($z^* = 11/941$)، مقادیر هر یک از توابع هدف در هر مسئله به تفکیک در ذیل آورده شده‌اند.

• مسئله مورد آزمون ۱:

$z_1^* = 10/243$ و $z_2^* = 0$ و $z_3^* = 0$ و $z_4^* = 0$ و $z_5^* = 19/256$ و $z_6^* = 0$ و $z_7^* = 0$.

به صورت یک تابع خطی از تعداد پرستاران به صورت

$$C_{nurse}(n) = 3n + 3nk_0j_0^2 + 11nk_0 + 7nk_0j_0 + 2nj_0 + 3j_0$$

می‌باشد. از سوی دیگر، با تغییر در تعداد خدمات پزشکی و ثابت در نظر گرفتن تعداد پرستاران ($N = n_0$)، تعداد محدودیت‌های مدل بر حسب تعداد خدمات پزشکی به صورت یک تابع چند جمله‌ای درجه دوم

$$C_{job}(j) = 3j^2n_0k_0 + j(7n_0k_0 + 2n_0 + 3) + 17n_0k_0 + 3n_0$$

تغییر می‌کند. بنابراین، با توجه به روابط فوق و اینکه در حالت کلی، تعداد محدودیت‌های یک مسئله در میزان پیچیدگی آن مسئله بهینه‌سازی مؤثر هستند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تعداد خدمات پزشکی نسبت به افزایش تعداد پرستاران در افزایش پیچیدگی محاسباتی حل مدل پیشنهادی تأثیر بیشتری دارد. نتایج عددی ارائه شده در بخش ۵-۵ نیز صحت چنین نتیجه‌ای را از زاویه دیگر نشان می‌دهد.

۴-۵ تحلیل و ارزیابی مدل پیشنهادی از نظر

زمان محاسباتی

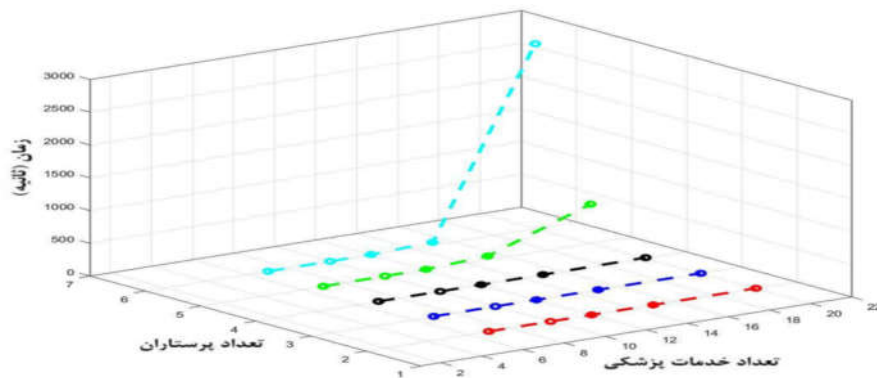
به منظور بررسی دقیق‌تر وابستگی پارامترهای تعداد پرستاران و تعداد خدمات پزشکی بر زمان حل مدل ریاضی، در این بخش تأثیر این دو پارامتر بر روی زمان محاسباتی حل مدل پیشنهادی متناظر با مسائل آزمون مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور در شکل ۳، تأثیر افزایش تعداد پرستاران و تعداد خدمات پزشکی، بر زمان محاسباتی حل مدل ریاضی ۳-۲، نمایش داده شده است.

ترجیحات بیمار در این خصوص همگی لحاظ شده اند. از طرفی چون قرارداد کاری تمام پرستاران از نوع D می‌باشد، لذا $z_v^* = 0$. توضیح بیشتر اینکه تابع هدف z_v^* به محاسبه مجموع زمان رانندگی پرستارانی که در قرارداد نوع R_p هستند، می‌پردازد (زیرا در قرارداد نوع R_p ، هزینه مدت زمان رانندگی از منزل پرستار تا بیمار و بعکس پرداخت نمی‌شود). مقایسه مقادیر بدست آمده برای توابع هدف z_v^* و z_h^* در دو مسئله مورد آزمون که به محاسبه میزان انحراف از بازه‌های زمانی نرم هر خدمت و هر پرستار می‌پردازد، نشان دهنده میزان عدم رضایت بیماران و پرستاران در نحوه ارائه و زمانبندی خدمات پزشکی است که با افزایش تعداد خدمات پزشکی در مسئله آزمون ۲ نسبت به مسئله آزمون ۱، میزان رضایت بیماران و پرستاران کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، همانطور که پیش‌بینی می‌شد، امکان انجام تمام خدمات پزشکی در بازه زمانی ترجیح بیماران و پرستاران با افزایش تعداد درخواست‌های خدمات پزشکی (با تعداد ثابت پرستار)، کاهش می‌یابد و در نتیجه با بروز انحرافات در پوشش خدمات پزشکی توسط پرستاران مواجه خواهیم بود.

در بخش بعدی، نتایج حاصل از حل بهینه مدل ریاضی ۳-۲، متناظر با مسائل آزمون مختلف مورد مطالعه، مورد بررسی و ارزیابی دقیق‌تر قرار خواهند گرفت.

۳-۵ پیچیدگی محاسباتی مدل پیشنهادی

در این بخش، پیچیدگی محاسباتی مدل ریاضی ۳-۲، با توجه به تغییر در تعداد پرستاران و تعداد خدمات پزشکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور، به راحتی می‌توان نشان داد که با ثابت در نظر گرفتن تعداد خدمات پزشکی ($J = j_0$) و افزایش تعداد پرستاران، تعداد محدودیت‌های مسئله



شکل ۳- تأثیر تعداد پرستاران و تعداد خدمات پزشکی بر زمان پردازش حل مدل پیشنهادی

استخدام نیروهای جدید مورد نیاز برای رسیدن به اهداف خود خواهد داشت. بنابراین، در ادامه، با ثابت در نظر گرفتن تعداد خدمات پزشکی و متغیر تعریف کردن تعداد پرستاران، کارکرد هر پرستار و در نتیجه ظرفیت بلا استفاده هر پرستار (که از آن می‌توان به عنوان "ظرفیت بالقوه مؤسسه" یاد کرد) را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. برای این منظور، ظرفیت بالقوه هر پرستار بر اساس نتایج مربوط به تخصیص و زمانبندی بهینه پرستاران متناظر با مسائل آزمون مختلف با $J = 20$ خدمت پزشکی و $n = 3, 4, 5, 6$ پرستار مختلف، محاسبه و در جدول ۱۳ آورده شده است. در این جدول همچنین برای بررسی و تحلیل دقیق‌تر ظرفیت بالقوه پرستاران، زمان‌های اضافه‌کاری انجام شده توسط پرستاران در هر مسئله نیز نشان داده شده است.

شایان ذکر است که در تمام این مسائل، مدت زمان قرارداد برای همه پرستاران یکسان و برابر با $T = 8$ ساعت و همچنین مدت زمان انجام تمام خدمت پزشکی نیز یکسان و یک ساعت در نظر گرفته شده است. جهت درک بهتر، مجدداً یادآوری می‌کنیم که مقدار بهینه z_4^* ، بیانگر هزینه نقض بازه زمانی نرم متناظر با بیماران و مقدار z_5^* ، بیانگر هزینه نقض بازه زمانی نرم پرستاران را نشان می‌دهد.

با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که در حالت وجود $N = 6$ پرستار، زمان محاسباتی حل مدل ریاضی برای $J = 20$ خدمت پزشکی در مقایسه با تعداد $J \leq 15$ از افزایش چشمگیری برخوردار است. همچنین با افزایش همزمان تعداد پرستاران ($N \geq 5$) و تعداد خدمات پزشکی ($J \geq 15$) زمان محاسباتی حل مدل، افزایش زیادی پیدا می‌کند که این نرخ رشد زمان محاسباتی، با افزایش تعداد خدمات پزشکی (J)، بیشتر مشهود خواهد بود. به عبارت دیگر، مشاهده می‌شود که زمان محاسباتی مسائل مورد آزمون با تعداد $J \leq 15$ خدمت پزشکی صرفنظر از تعداد پرستاران به کار گرفته شده، تقریباً یکسان و اختلاف آن‌ها در حدود چند ثانیه است.

۵-۵ تحلیل میزان کارکرد پرستاران

در دنیای واقعی با توجه به ظرفیت محدود مؤسسات ارائه دهنده HHC در استخدام نیروی انسانی و لذا استفاده حداکثری از پتانسیل پرستاران، تعیین تعداد بهینه پرستاران به منظور پوشش قرار دادن تمام خدمات پزشکی درخواست شده از سوی بیماران مختلف، نقش مهمی در کاهش هزینه‌های مؤسسه و برنامه‌ریزی دقیق‌تر آن مؤسسه در

جدول ۱۳- وضعیت کارکرد پرستاران در چهار مسئله مختلف با ۲۰ خدمت پزشکی

شماره مسئله	تعداد پرستاران	تعداد خدمات پزشکی	ظرفیت بالقوه پرستاران	اضافه کاری	Z_4^*	Z_5^*
۱	۳	۲۰	پرستار اول (۲ ساعت) پرستار دوم (۱ ساعت)	پرستار سوم (۴ ساعت)	۶۱/۰۰۳	۱۳۶/۹
۲	۴	۲۰	پرستار دوم (۲ ساعت) پرستار چهارم (۲ ساعت)	تمام پرستاران فاقد اضافه کاری	۳۳/۹۵۵	۳۵/۶۵
۳	۵	۲۰	پرستار سوم (۱ ساعت) پرستار چهارم (۲ ساعت) پرستار پنجم (۲ ساعت)	پرستار دوم (۲۱ دقیقه)	۳۴/۴۳۸	۱۶/۳۲۲
۴	۶	۲۰	پرستار سوم (۴ ساعت) پرستار چهارم (۵ ساعت) پرستار پنجم (۲ ساعت) پرستار ششم (۱ ساعت)	تمام پرستاران فاقد اضافه کاری	۲۶/۹۱۲	۳۳/۸۴۴

۳ در جدول ۱۳ ملاحظه شوند). بنابراین، مشاهده می‌شود که هرچند در مسئله ۲، ظرفیت بالقوه مؤسسه در انتهای زمانبندی بهینه برابر با ۴ ساعت کاری است ولی با افزایش یک نیروی جدید با زمان کاری ۸ ساعت به مسئله ۲ (یعنی تولید مسئله ۳)، از یک سو، ظرفیت بالقوه مؤسسه تفاوت محسوسی نداشته است و با در نظر گرفتن اضافه کاری پرستار دوم، این ظرفیت، کمتر از یک ساعت افزایش یافته است ولی از سوی دیگر، میزان رضایت پرستاران حداقل به میزان دو برابر (۱۱۸ درصد) افزایش یافته است.

با افزایش بیشتر پرستار (از ۵ به ۶) به وضوح می‌توان افزایش ظرفیت بالقوه مؤسسه را مشاهده کرد که این امر منجر به تحمیل هزینه اضافی به مؤسسات می‌گردد. در این حالت، ظرفیت بالقوه مؤسسه در مسئله ۴ برابر با ۱۲ ساعت است، که نسبت به مسئله ۳ با ظرفیت بالقوه حدود ۴ ساعت، عملاً می‌توان گفت که بدون بکارگیری پرستار جدید می‌توان یک زمانبندی و تخصیص بهینه با رضایت حداکثری نسبی برای مسئله HHC با ۲۰ خدمت پزشکی محاسبه کرد.

لازم به ذکر است که تعیین دقیق تر مقادیر

با توجه به ستون چهارم جدول ۱۳، مشاهده می‌شود که با ثابت در نظر گرفتن تعداد خدمات پزشکی و افزایش تعداد پرستاران، ظرفیت بالقوه مؤسسه در بهره‌گیری از نیروی‌های انسانی افزایش می‌یابد. به بیان دقیق‌تر، در مسئله ۱ که در آن از سه پرستار برای ۲۰ خدمت پزشکی استفاده شده است، در صورتی که اضافه کاری مجاز نباشد، حداکثر ظرفیت کاری تمام پرستاران مورد استفاده قرار گرفته است. نکته حائز اهمیت این است که نتایج فوق نشان می‌دهد، با توجه به اینکه در این نوع مسائل، مدت زمان رانندگی بخشی از مدت زمان خدمت پرستاران محسوب می‌شود (قرارداد نوع D)، لذا افزایش تعداد پرستاران از ۴ به ۵، منجر به انعطاف‌پذیری بیشتر در توزیع خدمات پزشکی بین پرستاران خواهد شد. به عبارت دیگر، با توجه به دسترس‌پذیر بودن بیشتر پرستاران در مسئله ۳ نسبت به مسئله ۲، بخش بیشتری از مدت زمان ارائه خدمات پرستاران به زمان رانندگی معطوف می‌شود تا رعایت بازه‌های زمانی مورد ترجیح پرستاران و بیماران بیشتر مدنظر قرار می‌گیرد که این امر منجر به افزایش میزان رضایت بیماران و پرستاران خواهد شد (مقادیر بهینه هدف در ستون‌های ششم و هفتم مسائل ۲ و

شرایط مؤسسه با کمینه کردن هزینه‌های آن مؤسسه، بدست دهد و تحلیل و ارزیابی نتایج عددی، از جمله اهداف مهم این مقاله بود. در این مقاله، با روش مرسوم ضرایب وزنی علاوه بر بررسی پیچیدگی‌های حل مدل پیشنهادی، یک تخصیص بهینه خدمات پزشکی به پرستاران و نیز زمانبندی بهینه نحوه ارائه خدمات توسط پرستاران، ارائه گردید. از دیگر نکات حائز اهمیت در نتایج عددی حاصل از حل بهینه مدل پیشنهادی، می‌توان به تعیین تعداد بهینه پرستاران مورد نیاز جهت پوشش دادن تمام خدمات پزشکی و به عبارتی به مدیریت پتانسیل کاری پرستاران و در نتیجه افزایش کارایی مؤسسه در استفاده حداکثری از ظرفیت نیروهای انسانی آن مؤسسه اشاره کرد.

پارامترهایی مانند حداکثر مدت زمان کاری پرستاران در قرارداد (T) و یا حداکثر مدت زمانی که پرستاران بعد از آن مجبور به استراحت هستند (B) نیز در استفاده حداکثری از ظرفیت مؤسسه و افزایش کارآمدی مؤسسه تأثیرگذار می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که همانطور که در بخش ۴ نیز اشاره شد، مقدار ضرایب وزنی توابع هدف (α_i) ها) در جواب‌های بهینه و در نتیجه نحوه بکارگیری پرستاران و چگونگی تخصیص خدمات پزشکی در مسئله تأثیر بسزائی دارند. در این راستا، با افزایش ضریب وزنی تابع هدف Z_7 مربوط به اضافه‌کاری پرستاران، تمام پرستاران ملزم به ارائه خدمات در مدت زمان کاری خود یعنی T می‌شوند و تا حد امکان اجازه اضافه‌کاری به هیچ یک از پرستاران داده نخواهد شد. با چنین رویکردی تعداد بهینه پرستاران قابل برآورد و محاسبه دقیق‌تر خواهد بود، هرچند باید توجه داشت که اتخاذ چنین رویکردی می‌تواند منجر به کاهش میزان رضایت پرستاران یا بیماران شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، از یک‌سو با ارائه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه به تعیین یک زمانبندی بهینه با جزئیات کامل مانند نحوه تخصیص خدمات به پرستاران، تعیین زمان شروع خدمت توسط پرستار مربوطه، زمان شروع و پایان کار هر پرستار در هر شیفت، زمان شروع استراحت‌های اجباری پرستاران، میزان اضافه‌کاری و ... پرداخته شد که این نتایج می‌تواند در برنامه‌ریزی دقیق‌تر مؤسسات ارائه دهنده خدمات HHC جهت رسیدن به مجموعه‌ای از اهداف از پیش تعیین شده آن‌ها کمک شایانی نماید. از سوی دیگر، بررسی ابعاد پیچیدگی مدل ریاضی HHC، فرایند تولید و تعیین پارامترهای آغازین مسئله در بدست آوردن جواب بهینه‌ای که همزمان تخصیص بهینه و زمانبندی دقیق را بر اساس ترجیحات و

- [8] Liu, W., Dridi, M., Fei, H., & El Hassani, A. H. (2021). Hybrid metaheuristics for solving a home health care routing and scheduling problem with time windows, synchronized visits and lunch breaks. *Expert Systems with Applications*, 183, 115307.
- [9] Nasir, J. A., & Dang, C. (2018). Solving a more flexible home health care scheduling and routing problem with joint patient and nursing staff selection. *Sustainability*, 10(1), 148.
- [10] Shiri, M., Ahmadizar, F., Thiruvady, D., & Farvaresh, H. (2022). A sustainable and efficient home health care network design model under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 118185.
- [11] Trautsamwieser, A., & Hirsch, P. (2011). Optimization of daily scheduling for home health care services. *Journal of applied operational research*, 3(3), 124-136.
- [12] Wang, H., He, Y., Li, Y., & Wang, F. (2020). Study on the Home Health Caregiver Scheduling Problem under a Resource Sharing Mode considering Differences in Working Time and Customer Satisfaction. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2020.
- [13] Woodward, C. A., Abelson, J., Tedford, S., & Hutchison, B. (2004). What is important to continuity in home care: Perspectives of key stakeholders. *Social science & medicine*, 58(1), 177-192.
- [14] Yadav, N., & Tanksale, A. (2022). An integrated routing and scheduling problem for home healthcare delivery with limited person-to-person contact. *European Journal of Operational Research*.
- [1] Bräysy, O. (2007). Municipal routing problems: a challenge for researchers and policy maker, *Nautilus Academic Books, Zelzate pp 330-347.*
- [2] Braekers, K., Hartl, R. F., Parragh, S. N., & Tricoire, F. (2016). A bi-objective home care scheduling problem: Analyzing the trade-off between costs and client inconvenience. *European Journal of Operational Research*, 248(2), 428-443.
- [3] Eveborn, P., Flisberg, P., & Rönnqvist, M. (2006). Laps Care—an operational system for staff planning of home care. *European journal of operational research*, 171(3), 962-976.
- [4] Hansen, P., & Mladenović, N. (2003). Variable Neighborhood Search. In *Handbook of Metaheuristics* (pp. 145-184). Springer, Boston, MA.
- [5] Hadayegh, S., Afshar najafi, B. (2017). Modeling and solving a home health care rostering and routing problem for therapists to minimize total cost and maximize staffs satisfactory. 13 th international conference on industrial engineering.
- [6] Hosseinpour-Sarkarizi, A., Davari-Ardakani, H., & Izadbakhsh, H. (2020). Home Health Care Routing and Scheduling Problem under Uncertainty Considering Patient Preferences and Service Desirability. *Scientia Iranica*.
- [7] Li, Y., Xiang, T., & Szeto, W. Y. (2021). Home health care routing and scheduling problem with the consideration of outpatient services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152, 102420.

