مهندسی صنایع و مدیریت شریف (تابستان ۱۴۰۳)
دوره‌ی ۴۰، شماره‌ی ۱، ص. ۹۱-۱۰۴، (پژوهشی)

Original Article

پذیرش بیمار و مسیریابی خدمات سلامت در منزل با در نظرگرفتن ویزیت حضوری و غیرحضوری (مطالعه موردی: مرکز کنترل و درمان بیمارهای سرطانی مکسا)

محسن توکلی (کارشناس ارشد)
مهدی ایرانپور (استادیار)
مهدی مهنام* (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان

در سال‌های اخیر، ارائه خدمات سلامت در منزل و ارائه خدمات غیرحضوری رشد چشم‌گیری داشته‌اند. در این پژوهش، یک رویکرد یکپارچه جهت تصمیم‌گیری برای پذیرش بیماران، نحوه ارائه خدمات به‌صورت حضوری و غیرحضوری، تخصیص بیمار به کادر درمان، مسیریابی کادر درمان و زمان‌بندی خدمات ارائه می‌شود. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده است. در طول افق برنامه‌ریزی، بیماران می‌توانند چندین ویزیت از هر نوع سرویس دریافت کنند. هدف، بیشینه‌سازی ترجیحات بیماران برای شیوه دریافت خدمت، بهره‌وری کادر درمان و کمینه‌سازی نارضایتی بیماران است. یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر مدل آزاد شده و الگوریتم کلونی مورچگان توسعه داده شده است. نتایج عددی نشان می‌دهد میانگین درصد خطا نسبت به حد بالا کمتر از ۱۰٪ است. مطالعه موردی در مرکز کنترل و درمان بیماری‌های سرطانی مکسا موید این موضوع است که برنامه الگوریتم پیشنهادی می‌تواند شاخص‌های ترجیحات و نارضایتی بیماران و بهره‌وری کادر درمان را در مجموع به‌میزان ۳۱٪ بهبود دهد.

واژگان کلیدی: خدمات سلامت در منزل، زمان‌بندی و مسیریابی کادر درمان، خدمات سلامت از راه دور، بهینه‌سازی کلونی مورچگان.

mohsentavakoli@in.iut.ac.ir
iranpoor@iut.ac.ir
m.mahnam@iut.ac.ir

۱. مقدمه

در چند دهه‌ی گذشته امید به زندگی در کشورهای در حال توسعه به‌شدت افزایش یافته‌است. به‌گونه‌ای که از ۴۷ سال در ۱۹۵۰ به ۷۳٫۲ سال در ۲۰۲۰ رسیده است. در ایران نیز امید به‌زندگی در همین بازه زمانی از ۴۰٫۶ به ۷۷٫۳ سال افزایش یافته‌است.[۱] این به‌معنای افزایش نرخ سالمندان وابسته به مراقبت است. در اتحادیه اروپا، سهم جمعیت افراد بالاتر از ۶۰ سال، در سال ۱۹۸۰، ۱۷ درصد بوده و در سال ۲۰۰۴ به ۲۲ درصد افزایش یافته و انتظار می‌رود در سال ۲۰۳۰ به ۳۲ درصد برسد.[۲] در ایران هم پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۴۱ این نرخ به ۲۵ درصد برسد.[۳] همچنین افراد دچار بیماری‌های مزمن، کودکان با مشکلات شدید بهداشتی، افراد دچار ناتوانی‌های ذهنی و جسمی و افراد دارای اختلالات روانی نیز ممکن است به خدمات مراقبتی و درمانی پزشکی در منزل نیاز داشته باشند.[۴] به‌منظور پاسخ به این نیاز، ارائه خدمات سلامت در منزل یکی از امکاناتی است که در نظام سلامت شکل گرفته است.[۵] این نوع سرویس در منزل به دو شکل مراقبت در منزل[۱] و خدمات سلامت در منزل[۲] انجام می‌شود. مراقبت در منزل برای افراد ناتوان در انجام کارهای روزمره ارائه می‌شود که عمدتاً نیازمند مهارت ویژه‌ای نیست. اما خدمات سلامت در منزل شامل خدماتی چون آموزش، درمان، مشاوره روانشناسی و توان‌بخشی است که توسط کادر درمانی (پرستار، پزشک، روانشناس، درمانگر) و با مهارت لازم ارائه می‌شود.[۶] افزایش تقاضا در چند دهه گذشته باعث شده است تا تعداد مراکز عرضه‌کننده خدمات مراقبتی و درمانی در منزل افزایش پیدا کند. به‌طور

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۸/۹، اصلاحیه ۱۴۰۲/۶/۲۶، پذیرش ۱۴۰۲/۸/۸.

استناد به این مقاله:
توکلی، محسن، ایرانپور، مهدی، و مهنام، مهدی، ۱۴۰۳. پذیرش بیمار و مسیریابی خدمات سلامت در منزل با در نظرگرفتن ویزیت حضوری و غیرحضوری (مطالعه موردی: مرکز کنترل و درمان بیمارهای سرطانی مکسا)، مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۴۰(۱)، صص. ۹۱-۱۰۴. DOI:10.24200/J65.2023.61158.2323

مثال در فرانسه از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ تعداد سازمان‌های خدماتی ارائه‌دهنده از ۱۲۳ تا ۳۰۵ افزایش یافته است.[۷] تمرکز این مقاله در ادامه بر خدمات سلامت در منزل است.

با توجه به تقاضای درحال رشد در مراکز ارائه دهنده خدمات سلامت در منزل، نیاز به بهینه‌سازی فعالیت‌ها به‌منظور پاسخگویی مناسب به متقاضیان، افزایش رضایت بیماران و کادر درمان و همچنین کاهش هزینه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. این درحالی است که این مراکز اغلب تخصیص بیمار به کادر درمان و زمان‌بندی و مسیریابی کادر درمان را، با وجود پیچیدگی بالا،[۸] به‌صورت دستی انجام می‌دهند که لازمه آن تلاش‌های زیاد سازمانی با صرف زمان فراوان می‌باشد درحالی که راه‌حل‌های مطلوبی ایجاد نمی‌شود. بدین منظور تحقیقات گسترده‌ای در دهه‌های اخیر جهت بهبود فعالیت‌های این‌گونه مراکز صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه، کنداک‌اغلو و همکاران[۹] نشان دادند که سیستم پشتیبانی ارائه شده توسط ایشان قادر است با تعداد پرستاران کمتر، میانگین کل مسافت و زمان جابجایی را به‌ترتیب ۲۷٪ و ۲۵٪ در مقایسه با برنامه‌ریزی دستی سازمان در افق برنامه‌ریزی هفتگی کاهش دهد. همچنین هلم و آنجلسن[۱۰] نشان داده‌اند که بین ۱۸٪ تا ۲۶٪ از زمان کاری در این مراکز صرف سفر می‌شود، که می‌تواند تا ۲۲٪ کاهش یابد. به‌علاوه در تحقیقی دیگر بارد و همکاران[۱۱] کاهش ۱۸ درصدی هزینه‌ها را در مقایسه با برنامه‌ریزی دستی، و اوبورن و همکاران[۱۲] صرفه‌جویی ۷٪ درکل زمان کار و ۲۰٪ درکل زمان سفر را گزارش کرده‌اند. بهبود حاصل شده در این پژوهش‌ها نشان‌دهنده میزان تأثیر بهینه‌سازی تصمیمات موجود در این حوزه می‌باشد.

از طرف دیگر، در سالیان اخیر استفاده از فنّاوری ارتباطات نقش اساسی در ارائه خدمات سلامت در منزل داشته که بحث خدمات سلامت از راه دور[۳] را مطرح کرده است. به‌کارگیری این فنّاوری‌های نقشی اساسی در افزایش کیفیت، تنوع و سهولت ارائه خدمات مراقبتی و درمانی ایفا می‌نماید.[۱۳] این نوع خدمات به‌شیوه‌های مختلف از جمله آموزش پزشکی، نظارت بیمار از راه دور، مشاوره بیمار از طریق کنفرانس ویدیویی، برنامه‌های سلامت بی‌سیم و انتقال گزارش‌های بیمار صورت می‌گیرد.[۱۴] سلامت از راه دور می‌تواند ویزیت‌های غیر ضروری (اورژانسی و سرپایی) و بستری طولانی مدت در بیمارستان‌ها را کاهش دهد. در نتیجه، سلامت از راه دور کارآیی را بدون صرف هزینه‌های اضافی زیاد بهبود می‌بخشد، زمان سفر کادر درمان و انتظار بیمار را کاهش داده و دسترسی بیمار را به خدمات سلامت افزایش می‌دهد، همچنین با ایجاد راحتی و کاهش استرس، رضایت بیمار را در سطح بالایی حفظ می‌کند.[۱۴]

در این مقاله، مسئله یکپارچه پذیرش بیمار، تعیین زمان ویزیت و تخصیص بیمار به کادر درمان و همچنین مسیریابی و زمان‌بندی کادر درمان در حوزه خدمات سلامت در منزل در نظرگرفته می‌شود. در مسئله مورد بررسی، پذیرش بیماران برای بعضی از سرویس‌ها به‌شکل حضوری و برای بعضی دیگر به دو شکل حضوری و غیرحضوری امکان‌پذیر است که باعث می‌شود مسئله به‌دنیای واقعی نزدیک‌تر شود.

علاوه بر این امکان دارد با توجه به محدودیت‌های دسترسی به کادر درمان، برای برخی از سرویس‌ها زمان ارائه ویزیت در روزهای قبل یا بعد از بازه زمانی درخواستی بیمار انجام شود. برای سایر سرویس‌ها قابلیت تغییر روز ویزیت وجود نداشته و محدودیت آنها در مدل مسئله به‌صورت سخت در نظرگرفته می‌شود. از دیگر مواردی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته، بحث تداوم مراقبت بین بیماران و کادر درمان به‌منظور ایجاد رابطه مناسب بین بیمار و کادر درمان می‌باشد. این ویژگی نیز به مانند تغییر روز ویزیت به‌صورت ترکیبی بررسی شده است. بدین ترتیب در مدل مسئله برای بعضی از سرویس‌ها محدودیت مربوطه به‌صورت سخت مدنظر قرارگرفته که امکان نقض آن وجود ندارد و اصطلاحاً سرویس با تداوم مراقبت کامل می‌باشد. برای سایر سرویس‌ها امکان تغییر کادر درمان وجود داشته (محدودیت نرم) ولی تغییرات به‌عنوان نارضایتی بیماران در تابع هدف در نظرگرفته می‌شود.

ساختار مقاله در ادامه به‌شرح زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم مروری بر ادبیات موضوع انجام گرفته و در بخش سوم بعد از تعریف مسئله، مدل تحقیق ارائه خواهد شد. در بخش چهارم الگوریتم پیشنهادی تشریح می‌شود. در بخش پنجم نتایج حاصل از محاسبات و همچنین مطالعه موردی بر روی داده‌های مرکز مکسا ارائه شده است. در نهایت، دستاوردهای این پژوهش و پیشنهادات مورد نظر برای تحقیقات آینده در بخش ششم ارائه گردیده است.

۲. پیشینه پژوهش

مطالعات انجام گرفته در زمینه زمان‌بندی و مسیریابی خدمات سلامت در منزل را می‌توان از منظر افق زمانی به دو دسته کلی تحقیقات با افق تک‌دوره‌ای و افق چنددوره‌ای تقسیم کرد. در دسته اول مطالعات، برنامه‌ریزی برای تنها یک روز کاری انجام می‌شود در حالی که در دسته دوم یک افق چند دوره‌ای (معمولاً یک هفته) مدنظر قرار می‌گیرد. پژوهش حاضر، به زمان‌بندی و مسیریابی در افق چنددوره‌ای اختصاص دارد و به‌همین جهت به‌مرور مطالعات این دسته می‌پردازد. خوانندگان علاقه‌مند به مطالعات با افق زمانی تک‌دوره‌ای را به بخش سوم مقاله مروری فیکار و هیرچ[۱۵] و همچنین مقاله مروری گریه‌کو و همکاران[۱۶] ارجاع می‌دهیم.

در میان مطالعات چنددوره‌ای، تعدادی فرض کرده‌اند که روزهای ویزیت هر بیمار از قبل مشخص است. بارد و همکاران[۱۱] مسیر حرکت و برنامه زمانی ویزیت‌های هر درمانگر را با داشتن روز و زمان دقیق ویزیت هر بیمار برای یک هفته تعیین کردند. ایشان، ساختار غیرخطی هزینه‌های حمل و نقل و اضافه‌کاری را در نظرگرفتند ولی به بحث تداوم مراقبت توجهی نداشتند. تراتسام‌وپه‌چر و هیرچ،[۱۷] مسئله تخصیص پرستاران و زمان‌بندی ویزیت بیماران را مجددا با در نظرگرفتن اطلاع قبلی از روزهای ویزیت ولی با فرض یک پنجره زمانی ثابت در طول افق برنامه‌ریزی برای هر بیمار مطالعه کرده‌اند. ایشان همچنین، محدودیت ساعات کاری و استراحت‌های الزامی پرستاران را مورد نظر قرار داده‌اند. در این مطالعه، یک الگوریتم شاخه و قیمت[۴] و یک روش فرا ابتکاری جستجوی همسایگی متغیر برای حداقل‌سازی مجموع زمان کاری پرستاران ارائه شده است. ویزنیتزر و همکاران[۱۸] مسئله شیفت‌بندی و تخصیص پرستاران به تورهای از پیش تعیین شده ویزیت بیماران در منزل را با هدف حداکثرسازی تداوم مراقبت بررسی کردند. زمان شروع هر تور و ترتیب ویزیت بیماران در هر تور از قبل مشخص بوده و لذا، مسئله مورد بررسی شامل مسیریابی و زمان‌بندی نیست. موسوی و همکاران[۱۹] مسئله تخصیص پرستاران و مسیریابی حرکت آنها را با فرض اطلاع از زمان و روز دقیق ویزیت‌ها به‌صورت ترکیب دو مسئله مسیریابی وسیله نقلیه و تخصیص تعمیم یافته با هدف حداقل‌سازی مسافت پیموده شده مدل‌سازی نمودند. در این مطالعه، هر روز به تعدادی دوره تقسیم و فرض شده که فاصله زمانی بین دو بیمار برابر یک دوره است. در پژوهش مذکور، یک روش ابتکاری مبتنی بر تجزیه مدل ریاضی برای حل مسئله ارائه شده است. یانگ و همکاران[۲۰] مسئله تخصیص ویزیت به پرستار و تعیین مسیر و زمان ویزیت هر بیمار را با در نظرگرفتن شاخص‌های تداوم مراقبت، تاخیر در انجام ویزیت، هزینه‌های جابجایی و تعادل بار ـ کاری پرسنل بررسی کردند. ایشان فرض کرده‌اند که روزهای دریافت ویزیت برای هر بیمار همچنان از قبل مشخص بوده و هر بیمار باید حتی‌الامکان در زمان

ثابت و از پیش تعیین شده‌ای در طول روز ملاقات شود ولی زمان جابجایی و انجام سرویس غیرقطعی است. این محققان، از ترکیب الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی و جستجوی محلی بزرگ برای حل مسئله استفاده کرده‌اند.

در مقابل، بسیاری از پژوهش‌های اخیر، به تعیین هم‌زمان روزهای ویزیت و تخصیص پرستار پرداخته‌اند. کاپانه‌را و همکاران،[۲۱] مسئله تخصیص پرستار، تعیین روزهای ویزیت و زمان‌بندی ویزیت بیماران را با هدف بیشینه‌سازی تعادل بارکاری پرستاران بررسی کردند. آنها برای رعایت تداوم مراقبت، تعداد پرستاران مختلفی که ویزیت‌های یک بیمار را انجام می‌دهند را محدود کردند. همچنین، این مطالعه عدم قطعیت در تقاضا را در نظرگرفته و از رویکرد بهینه‌سازی استوار برای حل مسئله استفاده کرده است. اسپایسر[۲۲] در مسئله خود ویزیت حضوری و غیرحضوری را در نظرگرفت. در این پژوهش، بیمار یا به پرستار تخصیص می‌یابد (ویزیت حضوری) یا توسط دستگاه‌های کنترل از راه دور (مانند فشارسنج یا اکسیژن‌سنج) ویزیت می‌شود (ویزیت غیرحضوری). هدف از این پژوهش بهینه کردن بارکاری پرستاران، کاهش هزینه جابه‌جایی و افزایش تداوم مراقبت می‌باشد.

در سال‌های اخیر، تعدادی از پژوهشگران مسئله پذیرش و برنامه‌ریزی ویزیت‌ها را به‌صورت یکپارچه درنظرگرفته‌اند. نیکل و همکاران[۲۳] مسائل تعیین شیفت ویزیت، زمان‌بندی و مسیریابی خدمات مراقبت درمانی در منزل را با درنظرگرفتن پنجره‌های زمانی ثابت برای هر بیمار بررسی کرده‌اند. تابع هدف مسئله، کمینه کردن کل مسافت طی شده توسط پرستاران، جریمه ویزیت‌های انجام نشده و اضافه‌کاری و تعداد پرستارانی که یک بیمار را ویزیت می‌کنند، است. ایشان با استفاده از برنامه‌ریزی محدودیت‌ها یک جواب اولیه برای مسئله یافته و با استفاده از جستجوی محلی بزرگ تطبیقی[5] آن را بهبود دادند. نظرپور[۲۴] مسئله تخصیص پرستار، تعیین روز و زمان ویزیت هر بیمار را با هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های تاخیر در روز ویزیت، تعجیل و تاخیر نسبت به پنجره زمانی موردنظر بیمار و همچنین تخصیص پرستار نامطلوب مطالعه کردند. ایشان همچنین نسخه پویای مسئله را که در آن تعدادی از ویزیت‌ها لغو و تعدادی درخواست ویزیت جدید وارد مسئله شده است را بررسی کردند. در حالت اخیر، جریمه عدم انجام ویزیت‌های جدید در نظرگرفته شده است. در هر دو مسئله، هر بیمار در طول افق برنامه‌ریزی (در صورت پذیرش) یک بار ویزیت می‌شود. در این مطالعه، دو الگوریتم فرا‌ابتکاری جستجوی همسایگی متغیر و جستجوی همسایگی متغیر تطبیقی طراحی شده‌است. هچینگ و همکاران[۲۵] مسئله تخصیص پرستار به بیمار و تعیین روزها و زمان ویزیت هر بیمار در هرروز را با هدف بیشینه‌سازی تعداد بیماران پذیرش شده بررسی کردند. ایشان فرض کردند هر بیمار دارای یک پنجره زمانی ویزیت ثابت در کل افق بوده و همچنین زمان ویزیت وی باید در طول افق برنامه‌ریزی ثابت باشد. ایشان الگوریتم بندرز مبتنی بر منطق را که در حل آن از برنامه‌ریزی محدودیت‌ها استفاده می‌شود برای این مسئله توسعه دادند. گرونویل و همکاران[۲۶] مسئله تخصیص پرستاران به بیماران و تعیین روز و زمان ویزیت بیماران را با رعایت محدودیت‌های پنجره زمانی ویزیت مطالعه کرده و جریمه‌ای برای عدم انجام ویزیت‌ها درنظرگرفتند. علاوه بر این، تابع هدف مسئله در برگیرنده تخصیص پرستار مطلوب بیمار، هزینه‌های اضافه‌کاری و بیکاری کادر درمان و همچنین طول تورها است. ایشان از ترکیب جستجوی همسایگی بزرگ و فرموله‌بندی افراز مجموعه برای حل مسئله استفاده کردند. در ادامه، گرونویل و همکاران[۲۷] مسئله بیشینه‌سازی تعداد بیماران جدید را در شرایطی که تغییر روز، زمان و پرستار تخصیص یافته به بیماران موجود مجاز نیست، بررسی کردند. ایشان فرض کردند در صورت پذیرش، تمام ویزیت‌های درخواستی هر بیمار جدید باید ارائه شود. ضمناً زمان ویزیت هر بیمار در طول افق ثابت بوده و به هر بیمار یک پرستار تخصیص داده می‌شود. آنها برای حل مسئله از جستجوی همسایگی بزرگ و تجزیه بندرز مبتنی بر منطق استفاده کردند. سینار و همکاران[۲۸] مسئله تصمیم‌گیری در مورد ویزیت یا عدم ویزیت و همچنین، تعیین روز ویزیت بیماران توسط یک پرستار را با هدف ویزیت سریع‌تر بیماران دارای اولویت بالاتر بررسی کردند. ایشان فرض کردند هر بیمار در کل افق حداکثر یک بار ویزیت دریافت کرده و هر بیمار در صورت ویزیت باید در یک پنجره زمانی مشخص در طول روز ملاقات شود. این پژوهشگران یک الگوریتم افق غلتان و یک الگوریتم جستجوی همسایگی بزرگ تطبیق یافته برای حل مسئله توسعه دادند.

جدول ۱. مقایسه ویژگی‌های پژوهش‌های پیشین با مطالعه حاضر.

نویسندگان	سرویس‌دهی حضوری و غیرحضوری	بیماران جدید و موجود	ترجیح نوع دریافت سرویس	تداوم مراقبت	چند نوع سرویس درخواست	تقویم کاری کادر درمان
اسپایسر[۲۲]	*			*		
نظرپور[۲۴]		*				*
هچینگ و همکاران[۲۵]		*		*		*
گرونویل و همکاران[۲۶]				*	*	*
مطالعه حاضر	*	*	*	*	*	*

در جدول ۱ مقایسه‌ای بین پژوهش‌های مشابه با مطالعه حاضر صورت گرفته است. در مقایسه با مطالعات پیشین، پژوهش حاضر دارای دو نوآوری عمده است. اولاً مسئله برنامه‌ریزی ترکیبی ویزیت‌های حضوری و غیرحضوری مورد بررسی قرار می‌گیرد که متفاوت با پژوهش اسپایسر[۲۲] است. زیرا امکان ارائه چند نوع سرویس به‌همراه ترجیح دریافت سرویس (به‌صورت حضوری یا غیرحضوری) برای بیماران در نظرگرفته شده‌است. همچنین با توجه به‌اینکه در پژوهش حاضر، ویزیت‌های غیرحضوری توسط کادر درمان ارائه می‌شوند (بر خلاف پژوهش اسپایسر[۲۲] که ویزیت غیرحضوری توسط وسایل کنترل از راه دور صورت می‌گرفت)، مسیر مربوط به کادر درمان می‌تواند شامل هر دو نوع ویزیت حضوری و غیرحضوری باشد. ثانیاً، برای اولین بار در این پژوهش بحث تداوم مراقبت بیمار به‌صورت ترکیبی لحاظ شده است؛ به این معنی که برای برخی از انواع سرویس‌ها تداوم مراقبت الزامی و برای برخی مطلوب است. به‌علاوه، این مطالعه به‌صورت یکپارچه تصمیمات مبتنی بر پذیرش بیمار، تعیین روزهای ویزیت، مسیریابی و زمان‌بندی را درنظر می‌گیرد. همچنین، در این مطالعه به ترجیحات بیماران در مورد روز ویزیت و نحوه ارائه سرویس توجه شده است. به‌علاوه، پنجره‌های زمانی بیمار و پرستار و همچنین بهره‌وری کادر درمان مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای حل مسئله نیز یک الگوریتم فرا‌ابتکاری چند مرحله‌ای ارائه می‌شود. در مرحله اول یک مدل آزاد شده از مدل ریاضی مسئله ارائه و حل می‌شود که حد بالای مسئله را نیز به‌عنوان شاخص کیفی جواب‌ها در اختیار قرار می‌دهد. در مرحله دوم از جواب مدل آزاد شده برای اجرای الگوریتم سیستم کلونی مورچگان به‌کار گرفته می‌شود. در نهایت از یک الگوریتم جست و جوی محلی برای بهبود جواب استفاده شده است.

۳. مدل ریاضی

برای فرمول‌بندی مساله از یک مدل عدد صحیح مختلط با افق برنامه‌ریزی چندروزه

استفاده شده است. در این فرمول‌بندی مجموعه I_1 که با اندیس‌های i, j نمایش داده می‌شود، نشان‌دهنده محل سکونت بیماران می‌باشد که باید در مورد پذیرش و نحوه ارائه سرویس‌دهی آنها تصمیم‌گیری شود و مجموعه $I_2 \subseteq I_1$، بیانگر محل سکونت بیمارانی است که در صورت پذیرش امکان ارائه خدمات به‌صورت غیرحضوری برای آنها وجود دارد. همچنین مجموعه $I = I_1 \cup \{0\}$ نشان‌دهنده محل اسکان تمامی بیماران و مرکز ارائه خدمات $\{0\}$ می‌باشد. مجموعه S سرویس‌های قابل ارائه را تعیین می‌کند که به سه زیرمجموعه S_1، S_2 و S_3 افراز می‌شود. S_1 شامل سرویس‌هایی است که در آن تغییر پرستار مجاز نبوده (کادر ـ ثابت) ولی امکان تغییر روز ویزیت وجود دارد (روز ـ متغیر) و به دو صورت حضوری و غیرحضوری ارائه می‌شوند (مانند خدمات مشاوره). S_2 مجموعه سرویس‌هایی است که هم تغییر پرستار و هم تغییر روز ویزیت در مورد آنها مجاز بوده (روز ـ متغیر، کادر ـ متغیر) و تنها به‌صورت حضوری ارائه می‌شوند (مانند خدمات توانبخشی). همچنین S_3 مجموعه سرویس‌هایی است که تغییر پرستار مجاز بوده (کادر ـ متغیر ولی امکان تغییر در روز ویزیت وجود ندارد (روز ـ ثابت) و به‌صورت حضوری ارائه می‌شوند (مانند تزریق انسولین). مجموعه K_{is} بیانگر مجموعه ویزیت‌های مربوط به سرویس s بیمار i است که در آن κ_{is} تعداد ویزیت‌های درخواستی بیمار i برای سرویس s است. همچنین H مجموعه روزهای افق برنامه‌ریزی و N مجموعه کادر درمان می‌باشد.

همچنین، برای مدل چندین پارامتر غیرمنفی و باینری در نظر گرفته شده است. r^d_{iks} پارامتر باینری است و در صورتی مقدار یک می‌گیرد که بیمار i برای kامین ویزیت مربوط به سرویس s در روز d درخواست ویزیت داده باشد. پارامتر μ_{iks} نمایانگر روز ارائه kامین ویزیت مربوط به سرویس s برای بیمار i است. همچنین $[e_{id}, l_{id}]$ بازه زمانی دسترسی بیمار i در روز d می‌باشد. پارامتر δ_{is} بیان‌کننده بیشترین تغییر ممکن در روز ارائه سرویس s برای بیمار i است. پارامترهای pa_{is} و pt_{is} به‌ترتیب بیانگر میزان ترجیحات بیمار i برای دریافت سرویس s به‌صورت حضوری و غیرحضوری هستند. پارامتر π_i نشان‌دهنده نارضایتی بیمار i در اثر تغییر کادر درمان و ρ_{is} نمایانگر نارضایتی بیمار i در اثر تغییر روز ویزیت سرویس s می‌باشد. پارامتر باینری α_{nd} مقدار یک می‌گیرد، در صورتی‌که روز d برای کادر درمان n روز کاری باشد و پارامتر باینری q_{ns} نیز زمانی مقدار یک می‌گیرد که کادر درمان n مهارت مورد نیاز را برای ارائه سرویس s داشته باشد. بازه $[a_{nd}, b_{nd}]$ تعیین‌کننده ساعات کاری کادر درمان n در روز d است. زمان جابه‌جایی از بیمار i تا بیمار jهم با پارامتر t_{ij} و مدت زمان ارائه سرویس s نیز با τ_s نمایش داده می‌شود. همچنین پارامترهای غیرمنفی w_1 تا w_5 وزن‌های مربوط به‌عبارات تابع هدف و M به‌عنوان عدد صحیح بزرگ استفاده شده‌اند.

در ادامه متغیرهای مدل ارائه شده به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

z_i: متغیر باینری؛ ۱ اگر بیمار i برای خدمت‌دهی پذیرش شود؛

z^a_{is}: متغیر باینری؛ ۱ اگر سرویس s برای بیمار i به‌صورت حضوری ارائه شود؛

z^t_{is}: متغیر باینری؛ ۱ اگر سرویس s برای بیمار i به‌صورت غیرحضوری ارائه شود؛

x^{cd}_{ij}: متغیر باینری؛ ۱ اگر بیمار j بلافاصله بعد از بیمار i توسط کادر درمان c در روز d ویزیت شود؛

y^{cd}_{iks}: متغیر باینری؛ ۱ اگر بیمار i برای kامین ویزیت مربوط به خدمت S در روز d و توسط کادر درمان c ویزیت شود؛

T_{iks}: متغیر صحیح نامنفی؛ ساعت شروع ویزیت بیمار i برای kامین ویزیت مربوط به سرویس s؛

v_{iks}: متغیر صحیح نامنفی؛ اختلاف روز بین روز ویزیت درخواستی بیمار i برای kامین ویزیت سرویس s با روز ویزیت صورت‌گرفته از طرف مرکز؛

u_{iks}: متغیر باینری؛ ۱ در صورتی‌که تغییر پرستار برای kامین ویزیت سرویس s بیمار i اتفاق بیافتد.

در نهایت، مدل ریاضی مسئله با رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&Max w_1 \sum_{i\in I_1}\sum_{s\in S_2}(pa_{is}z^a_{is}) + w_2 \sum_{i\in I_2}\sum_{s\in S_2}(pt_{is}z^t_{is}) \\
&+w_3\left(\sum_{c=1}^{|N|}\sum_{d=1}^{|H|}\frac{\sum_{i=1}^{|I_1|}\sum_{k=1}^{\kappa_{is}}\sum_{s=1}^{|S_1|}\tau_s y^{cd}_{iks}}{b_{cd}-a_{cd}}\right) \\
&-w_4\left(\sum_{i=1}^{|I_1|}\sum_{k=1}^{\kappa_{is}}\sum_{s\in S_2\cup S_3}\rho_{is}v_{iks}\right) \\
&-w_5\left(\sum_{i=1}^{|I_1|}\sum_{k=2}^{\kappa_{is}}\sum_{s\in S_2\cup S_3}\pi_i u_{iks}\right) \qquad (1)
\end{aligned}
$$

$$Subject to:$$

$$\sum_{j\in I\setminus\{0\}} x^{cd}_{0j} \le \alpha_{cd}; \forall cN, dH \qquad (2)$$

$$\sum_{i\in I\setminus\{0\}} x^{cd}_{i0} \le \alpha_{cd}; \forall cN, dH \qquad (3)$$

$$\sum_{s=1}^{|S_1|}\sum_{k=1}^{\kappa_{is}}\sum_{c=1}^{|N|} y^{cd}_{iks} \le 1; \forall iI_1, dH \qquad (4)$$

$$\sum_{c=1}^{|N|}\sum_{d=1}^{|H|} y^{cd}_{iks} \le 1; \forall iI_1, kK_{is}, sS_1 \qquad (5)$$

$$\sum_{c=1}^{|N|} y^{cd}_{i(k+1)s} \le \sum_{c=1}^{|N|}\sum_{h=1}^{|d|-1} y^{ch}_{iks}; \forall iI_1, kK_{is}\setminus\{\kappa_{is}\}, sS_1, dH \qquad (6)$$

$$\sum_{d=1}^{|H|}\sum_{k=1}^{\kappa_{is}}\sum_{s=1}^{|S_1|}\sum_{c=1}^{|N|} y^{cd}_{iks} = \left(\sum_{d=1}^{|H|}\sum_{k=1}^{\kappa_{is}}\sum_{s=1}^{|S_1|} r^d_{iks}\right) z_i; \forall iI_1 \qquad (7)$$

$$z^a_{is} + z^t_{is} = z_i \sum_{d=1}^{|H|} r^d_{i1s}; \forall iI_2, sS_2\theta \qquad (8)$$

$$z^a_{is} = z_i \sum_{d=1}^{|H|} r^d_{i1s}; \quad \forall (i,s)|\{(iI_1 and sS_1\setminus S_2)\, or\, (iI_1\setminus I_2)\} \qquad (9)$$

$$\sum_{k=1}^{\kappa_{is}}\sum_{s=1}^{|S_1|} y^{cd}_{jks} = \sum_{i\in I, i\neq j} x^{cd}_{ij}; \forall jI_1, dH, cN \qquad (10)$$

$$\sum_{c=1}^{|N|}\sum_{d\ge\mu_{iks}-\delta_{is}}^{\mu_{iks}+\delta_{is}} q_{cs}\theta_{icd} y^{cd}_{iks} \le z_i; \forall iI_1, kK_{is}, sS_1 \qquad (11)$$

$$\sum_{i\in I, i\neq j} x^{cd}_{ij} = \sum_{i\in I, i\neq j} x^{cd}_{ji}; \forall jI_1, cN, dH \qquad (12)$$

$$
\begin{aligned}
&T_{iks} + \tau_s + t_{ij} \le T_{jmo} - M\left(5 - x^{cd}_{ij} - y^{cd}_{iks} - y^{cd}_{jmo} - \right. \\
&\left. z^a_{is} - z^a_{jo}\right) \quad \forall i, jI_1, dH, cN, kK_{is}, \\
&m \in K_{jo}, s, oS_1, d \ge k, d \ge m
\end{aligned} \qquad (13)
$$

$$
\begin{aligned}
&T^+_{iks}\tau_s + t_{i0} \le T^-_{jmo} - M\left(5 - x^{cd}_{ij} - y^{cd}_{iks} - y^{cd}_{jmo} - z^a_{is} - z^t_{jo}\right. \\
&\left. -z^a_{is} - z^t_{jo}\right) \ \forall iI_1, jI_2, dH, cN, kK_{is}, \\
&mK_{jo}, sS_1, oS_2, d \ge k, d \ge m
\end{aligned} \qquad (14)
$$

$$
\begin{aligned}
&T^+_{iks}\tau_s + t_{0j} \le T^-_{jmo} - M\left(5 - x^{cd}_{ij} - y^{cd}_{iks} - y^{cd}_{jmo}\right) \\
&z^t_{is} - z^a_{jo}), \ \forall iI_2, jI_1, dH, cN, kK_{is}, \\
&mK_{jo}, sS_2, oS_1, d \ge k, d \ge m
\end{aligned} \qquad (15)
$$

$$T^{+}_{iks}\tau_s \le T^{-}_{jmo} - M\left(۵ - x^{cd}_{ij} - y^{cd}_{iks} - y^{cd}_{jmo} - z^{t}_{is} - z^{t}_{jo}\right),\quad \forall i,jI_۱,dH,cN,kK_{is},\ mK_{jo},s,oS_۲,d \ge k,d \ge m \tag{۱۶}$$

$$z_i r^{d}_{iks} = \sum_{c=۱}^{|N|} y^{cd}_{iks}; \forall iI_۱,kK_{is},sS_۲,dH \tag{۱۷}$$

$$v_{isk} \ge |d - -h| - M\left(۲ - r^{h}_{iks} - \sum_{c=۱}^{|N|} y^{cd}_{iks}\right);\ \forall iI_۱,\ h,h-\delta_{is} \le d \le h+\delta_{is}H,sS_۲ \cup S_۳,kK_{is} \tag{۱۸}$$

$$a_{cd} + t_{۰i} - M\left(۳ - y^{cd}_{iks} - x^{cd}_{۰i} - z^{a}_{is}\right) \le T_{iks} \quad \forall iI_۲,dH,sS_۲,kK_{is},cN \tag{۱۹}$$

$$a_{cd} - M\left(۳ - y^{cd}_{iks} - x^{cd}_{۰i} - z^{t}_{is}\right) \le T_{iks} \quad \forall iI_۲,dH,sS_۲,kK_{is},cN \tag{۲۰}$$

$$b_{cd} - \tau_s - t_{i۰} + M\left(۳ - y^{cd}_{iks} - x^{cd}_{i۰} - z^{a}_{is}\right) \ge T_{iks} \quad \forall iI_۱,dH,sS_۱,kK_{is},cN \tag{۲۱}$$

$$b_{cd} - \tau_s + M\left(۳ - y^{cd}_{iks} - x^{cd}_{i۰} - z^{t}_{is}\right) \ge T_{iks} \quad \forall iI_۲,dH,sS_۲,kK_{is},cN \tag{۲۲}$$

$$\sum_{c=۱}^{|N|}\sum_{d\ge\mu_{iks}-\delta_{is}}^{\mu_{iks}+\delta_{is}} e_{id}y^{cd}_{iks} \le T_{iks};\ \forall i \in I_۱,s \in S_۱,k \in K_{is}\backslash\{۱\},c \in N \tag{۲۳}$$

$$\sum_{c=۱}^{|N|}\sum_{d\ge\mu_{iks}-\delta_{is}}^{\mu_{iks}+\delta_{is}} (l_{id}-\tau_s)y^{cd}_{iks} \le T_{iks};\ \forall i \in I_۱,s \in S_۱,k \in K_{is}\backslash\{۱\},c \in N \tag{۲۴}$$

$$\sum_{d=۱}^{|H|} y^{cd}_{iks} = \sum_{d=۱}^{|H|} y^{cd}_{i(k-۱)s};\ \forall iI_۱,sS_۲,kK_{is}\backslash\{۱\},cN \tag{۲۵}$$

$$u_{iks} \ge ۱ - M\left(۲ - y^{cd}_{iks} - y^{nh}_{i(k-۱)s}\right);\ \forall iI_۱,sS_۲ \cup S_۲,kK_{is}\backslash\{۱\},c \ne nN,d,h \in H,d<h \tag{۲۶}$$

$$y^{cd}_{iks},x^{cd}_{ij},z_i,za_{is},u_{iks} \in \{۰,۱\};\ \forall i,jI_۱,kK_{is},sS_۱,cN,dH \tag{۲۷}$$

$$z_{is} \in \{۰,۱\}; \forall i \in I_۲ s \in S_۱ \tag{۲۸}$$

$$v_{iks} \in Z^{+}, T_{iks} \ge ۰; \forall iI_۱,kK_{is},sS_۱ \tag{۲۹}$$

در این مدل، رابطه ۱ تابع هدف مسئله است که عبارات اول و دوم نشان‌دهنده مجموع میزان ترجیحات بیماران از لحاظ دریافت حضوری و غیرحضوری خدمات است، عبارت سوم بیانگر مجموع بهره‌وری کادر درمان، عبارت چهارم نمایانگر مجموع نارضایتی بیماران از تغییر روز ویزیت، و عبارت پنجم نیز نشان‌دهنده مجموع نارضایتی بیماران برای تغییر کادر درمان می‌باشد. محدودیت‌های ۲ و ۳ بیانگر این هستند که اگر کادر درمان در روز کاری خود موظف به ارائه سرویسی باشد، باید مسیر خود را از مرکز شروع کرده و در پایان هم به مرکز بازگردد. طبق محدودیت ۴ هر بیمار برای هر روز از افق برنامه‌ریزی حداکثر یک ویزیت دریافت می‌کند. محدودیت ۵ بیان می‌کند که هر ویزیت مربوط به یک سرویس خاص برای بیماران حداکثر یک‌بار انجام می‌شود. محدودیت ۶ مربوط به‌رعایت ترتیب ارائه ویزیت‌های یک سرویس می‌باشد.

محدودیت ۷ بیان می‌کند، در صورت پذیرش یک بیمار می‌بایست تمامی ویزیت‌های درخواستی مربوط به سرویس‌های آن بیمار ارائه شود. محدودیت‌های ۸ و ۹ تعیین‌کننده نوع ارائه سرویس برای بیماران پذیرش شده‌اند. محدودیت ۱۰ بیان می‌کند که درصورت برنامه‌ریزی ویزیت بیمار توسط یکی از اعضای کادر درمان در روز خاص، آن عضو باید در همان روز یک مراجعه به محل سکونت بیمار مربوطه انجام دهد. طبق محدودیت ۱۱ کادر درمان باید مهارت لازم و حداقل بازه زمانی مشترک را برای ارائه سرویس به‌بیمار تخصیص داده شده، داشته باشد. محدودیت ۱۲ بیان می‌کند کادر درمان بعد از ارائه یک سرویس باید محل سکونت بیمار را ترک کند. محدودیت‌های ۱۳ تا ۱۶ با توجه به نحوه ارائه سرویس، رابطه‌ی بین زمان‌های شروع سرویس را برای دو بیماری که به‌صورت متوالی توسط یک عضو کادر درمان خدمت‌دهی می‌شوند، بیان می‌کنند. محدودیت ۱۷ بیان می‌کند که برای سرویس‌های روز ـ ثابت امکان تغییر روز ویزیت وجود ندارد. همچنین محدودیت ۱۸ تغییرات روز ویزیت را برای سرویس‌های روز ـ متغیر محاسبه می‌کند. محدودیت‌های ۱۹ تا ۲۲ بیان می‌کند هر یک از اعضای کادر درمان فقط در ساعات کاری خود مجاز به خدمت‌دهی می‌باشند. همچنین، محدودیت‌های ۲۳ و ۲۴ مربوط به پنجره زمانی دسترسی به بیماران می‌باشند. بر طبق محدودیت ۲۵ امکان تغییر کادر درمان برای سرویس‌های کادر ثابت وجود ندارد و محدودیت ۲۶ تغییرات کادر درمان را برای سرویس‌های کادر ـ متغیر محاسبه می‌کند. روابط ۲۷ تا ۲۹ نیز مربوط به دامنه متغیرهای تصمیم مسئله هستند.

۴. رویکرد حل پیشنهادی

مسئله زمان‌بندی و مسیریابی خدمات سلامت در منزل جزء دسته مسائل NP-hard می‌باشد[۸] و با توجه به ابعاد بالای مدل ریاضی در نمونه‌های واقعی، حل مسئله از طریق حل‌کننده‌های تجاری امکان‌پذیر نیست. برای حل مسئله یک الگوریتم سه فازی ترکیبی مبتنی بر مدل ریاضی و روش فرابتکاری بهینه‌سازی کلونی مورچگان (ACO) [۶] توسعه داده شده است. با توجه به اینکه مدل مسئله از نوع بیشینه‌سازی می‌باشد، برای ارزیابی جواب رویکرد حل پیشنهادی از حد بالای به‌دست آمده از مدل آزاد شده استفاده می‌شود. حدبالا از حل یک مدل آزاد شده با تابع هدف بیشینه‌سازی ارائه می‌شود که در آن برخی متغیرها و محدودیت‌ها حذف و برخی از محدودیت‌ها به‌صورت آزاد شده در نظرگرفته شده‌اند. برای تبدیل مدل اصلی مسئله حاضر، به مدل آزاد شده ابتدا متغیرها و محدودیت‌های مسیریابی حذف شدند. بنابراین، در مدل آزاد شده توالی بیماران در مسیرهای کادر درمان مشخص نشده و پارامتر مدت زمان جابه‌جایی بین محل سکونت بیماران از مدل حذف می‌شود. در نتیجه مدت زمان جابه‌جایی بین محل سکونت تمامی بیماران یکسان و برابر صفر خواهد بود. سپس متغیرهای زمان‌بندی حذف و محدودیت‌های مربوطه آزاد شدند. با این تغییر پارامتر بازه زمانی دسترسی بیمار درنظرگرفته نشده و در نتیجه تخصیص بیمار به‌کادر درمان صرف‌نظر از پارامتر پنجره زمانی دسترسی بیمار انجام خواهد شد. با حذف مسائل مسیریابی و زمان‌بندی، در مدل آزاد شده فقط پذیرش بیماران، نحوه سرویس‌دهی آنها (حضوری یا غیرحضوری) و تخصیص بیمار به کادر درمان تعیین می‌شود. با توجه به‌اینکه تابع هدف مدل اصلی مستقل از متغیرهای حذفی در مدل آزاد شده‌است، تابع هدف بدون تغییر باقی می‌ماند. در نتیجه مقدار تابع هدف مدل آزاد شده یک حدبالا برای مسئله ارائه می‌کند.

مراحل کلی رویکرد پیشنهادی به‌صورت زیر است:

فاز اول: حل مدل آزاد شده و تعیین بیماران پذیرفته شده و نحوه سرویس‌دهی به

آنها و همچنین به‌دست آوردن حدبالا؛

فاز دوم: اجرای الگوریتم ACO بر روی بیماران پذیرفته شده در فاز اول و مسیردهی و زمان‌بندی فعالیت‌ها؛

فاز سوم: اجرا کردن الگوریتم جست‌وجوی محلی[۷] برروی بهترین جواب به‌دست آمده از فاز دوم.

۱.۴. فاز اول: مدل آزاد شده

در این مدل، محدودیت‌های زمان‌بندی ۱۹-۲۲ آزاد شده و در عوض محدودیت ۳۰ به مسئله اضافه می‌شود.

$$b_{cd} - a_{cd} \geq \sum_{i_1=1}^{|I_1|} \sum_{k=1}^{\kappa_{is}} \sum_{s=1}^{|S_1|} y_{iks}^{cd} (\tau_s) \ \ \forall cN, dH \qquad (۳۰)$$

در این محدودیت برای هر یک از اعضای کادر درمان مجموع مدت زمان سرویس‌های ارائه شده در طول یک روز کاری نمی‌تواند از زمان کاری (ظرفیت زمانی) آنها بیشتر باشد. بنابراین، محدودیت اضافه شده از تخصیص بیش از حد بیماران به اعضای کادر درمان در یک روز جلوگیری می‌کند.

مقدار تابع هدف این مدل به‌عنوان حدبالا استفاده خواهد شد.

۲.۴. فاز دوم: الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان

پس از حل مدل آزاد شده و مشخص شدن بیماران پذیرفته شده و نحوه ارائه سرویس برای هر یک از آنها، رویکرد پیشنهادی وارد فاز دوم، یعنی الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای تعیین مسیرها و زمان‌بندی کادر درمان می‌شود.

ایده اصلی این الگوریتم از رفتار جست‌وجوی مورچه‌های واقعی الهام گرفته‌است. دنوبورگ و همکاران[۲۹] در سال ۱۹۸۹ نشان دادند که ارتباط غیر مستقیم بین مورچه‌ها از طریق مسیرهای فرومونی، آنها را قادر می‌سازد تا کوتاه‌ترین مسیرها را بین لانه و منابع غذایی خود پیدا کنند. این ویژگی کلونی مورچه‌های واقعی در کلونی‌مورچه‌های مصنوعی[۸] به‌منظور حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱.۲.۴. سیستم کلونی مورچگان (ACS)

رویکرد حل استفاده شده در این پژوهش، الگوریتم سیستم کلونی مورچگان است. برای توضیح دقیق‌تر ACS، مجموعه K که معرف کلونی مورچگان می‌باشد را در نظر می‌گیریم. گراف $G = (N, A)$ را با یال‌های $(i, j) \in A$ در نظر می‌گیریم، که برای هر یک از یال‌ها متغیر τ_{ij} نشان دهنده رد پای فرومون است. رفتار جست‌وجوی مورچه‌ها به این‌صورت است که هر مورچه با شروع از گره مبدأ و عبور از گام‌های مشخص جواب جدیدی را می‌سازد. در هرگره مورچه‌ها اطلاعات محلی ذخیره شده درگره یا یال‌های خروجی آن گره را بررسی کرده و با استفاده از این اطلاعات و یک روش احتمالی، گره مجاور بعدی را تعیین می‌کنند.

هسته اصلی این الگوریتم یک مدل احتمالی پارامتری است که مدل فرومونی نامیده می‌شود. مدل فرومونی از بردار پارامترهای مدل τ تشکیل شده است که پارامترهای دنباله فرومون نامیده می‌شود. پارامترهای دنباله فرومون $\tau_i \in \tau$ که معمولاً به‌اجزای جواب مرتبط‌اند دارای مقادیر τ_i هستند که مقادیر فرومونی نامیده می‌شود. در ابتدای فرایند جست‌وجو، یک مقدار فرومون ثابت (مثلا $\tau_{ij} = ۱$) به همه یال‌ها تخصیص داده می‌شود. گره بعدی برای حرکت مورچه kام $(k \in K)$ درگره i بر اساس یک عدد تصادفی q از مجموعه همسایگی‌های ملاقات نشده N_i^k انتخاب می‌شود. اگر q از یک شاخص مشخص مانند $q_۰$ بزرگ‌تر نباشد، آنگاه اندیس گره بعدی j از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$j = \arg(\max\{l \in N_i^k | \tau_{il}(\eta_{il})^\beta\} \qquad (۳۱)$$

درغیر این‌صورت، گره بعدی j از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{il})^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} (\tau_{ij})^\alpha (\eta_{il})^\beta} & ,j \in N_i^k \\ ۰ & ,j \notin N_i^k \end{cases} \qquad (۳۲)$$

که در این رابطه η_{ij} اطلاعات ابتکاری میان گره‌های i و j است. همچنین α و β نیز دو شاخص تعیین کننده تأثیر نسبی رد پای فرومونی و اطلاعات ابتکاری هستند. بعد از ایجاد جواب‌های هر یک از مورچه‌ها، نوبت به بروزرسانی فرومون یال‌ها می‌شود. در الگوریتم ACS دو شیوه زیر برای به هنگام‌سازی فرومون‌ها استفاده می‌شود:

ـ **به‌هنگام‌رسانی فرومون محلی:**[۹] هر بارکه مورچه‌ای از یال (i, j) عبور می‌کند، اولاً مقداری فرومون برروی آن یال برجای می‌گذارد و ثانیاً مقداری از فرومون آن یال به بدن او می‌چسبد. در نتیجه، بر اساس رابطه زیر، میزان فرومون آن یال به هنگام‌رسانی می‌شود:

$$\tau_{ij} \leftarrow (۱ - \xi)\tau_{ij} + \xi\tau_۰ \qquad (۳۳)$$

که در رابطه بالا ξ شاخصی بین صفر و یک بوده و $\tau_۰$ مقدار فرومون اولیه هر یال است.

به‌هنگام‌رسانی فرومون سراسری:[۱۰] در این روش تنها فرومون یال‌های متناظر با بهترین جوابی که تاکنون به‌دست آمده‌است از طریق رابطه‌ی زیر افزایش می‌یابد:

$$\tau_{ij} \leftarrow (۱ - \rho)\tau_{ij} + \rho\Delta\tau_{ij}^{bs}; \forall (i, j) \in T^{bs} \qquad (۳۴)$$

که در رابطه فوق ρ شاخصی بین صفر و یک بوده و T^{bs} بهترین جوابی است که تا به‌حال به دست آمده است.

۲.۲.۴. سیستم کلونی مورچگان پیشنهادی

با مشخص شدن بیماران پذیرفته شده و نحوه ارائه سرویس در فاز اول، الگوریتم ACS برای تعیین مسیر و زمان‌بندی کادر درمان به‌صورت زیر درنظر گرفته شده است:

- **گراف مسئله:** گراف پیشنهادی به‌صورت $G = (V, A)$ در نظر گرفته می‌شود. V مجموعه گره‌های گراف می‌باشد و به‌صورت $V_۱ \cup V_۲ \cup \{۰\}$ تعریف می‌شود که $V_۱$ مجموعه گره‌های ویزیت بیماران پذیرفته شده در فاز اول، $V_۲$ مجموعه گره‌های کادر درمان و $\{۰\}$ نشان‌دهنده مرکز خدمات می‌باشد. همچنین A، یال‌های جهت‌دارگراف را تشکیل می‌دهند. برای هرگره از نوع ویزیت، اطلاعات مربوط به بیمار یعنی نوبت ویزیت، نوع سرویس، نحوه ارائه سرویس، روز ویزیت و بازه زمانی ویزیت مشخص است. ویزیت‌هایی که امکان تغییر روز برای آنها وجود دارد، چندبار درگراف تکرار می‌شوند که این ویزیت‌ها فقط از نظر روز با هم متفاوت‌اند و در هنگام ساخت جواب فقط یکی از این ویزیت‌ها انتخاب می‌شود. همچنین، برای هر گره از نوع کادر درمان، اطلاعات روز کاری، مهارت‌های ارائه سرویس و پنجره ساعت کاری روزانه مشخص است؛
- **مورچه مصنوعی:** مورچه‌های درنظر گرفته شده دارای حافظه می‌باشند و هر جابجایی مورچه‌ها در طول ساخت جواب به منزله برنامه‌ریزی ویزیت یک بیمار می‌باشد. مورچه‌ها قادر هستند تا در هر جابجایی اطلاعات مربوط به بیمار، نوبت ویزیت، نوع سرویس، روز ویزیت و کادر درمان تخصیص یافته را به‌حافظه بسپارند؛

- **ساخت جواب:** هر مورچه از روز اول افق برنامه‌ریزی شروع به حرکت کرده و با انتخاب یک‌به‌یک همه اعضای کادر درمان که روز اول آماده به‌کار هستند، مسیر روزانه هر یک را مشخص می‌کند و سپس به‌روز بعدی می‌رود. لازم به‌ذکر است که ترتیب انتخاب اعضای کادر درمان برای ساخت مسیر روزانه از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، در هر روز از افق برنامه‌ریزی و برای تعیین ترتیب کادر درمان از یک مدل فرومونی استفاده شده است. زمانی که برای تمام روزهای افق برنامه‌ریزی مسیرهای اعضای کادر درمان مشخص شود، یک جواب برای مسئله حاصل خواهد شد؛
- **بروزرسانی فرومون:** نحوه بروزرسانی فرومون برروی جواب‌های حاصل از روابط ۳۳ و ۳۴ به‌دست می‌آید. همچنین در ACS پیشنهادی برای ترتیب انتخاب اعضای کادر درمان، در هر یک از روزهای افق برنامه‌ریزی، از مدل فرومونی استفاده می‌شود، که نحوه بروزرسانی این نوع فرومون هم براساس کیفیت جواب حاصل شده بوده و به‌صورت رابطه‌های ۳۳ و ۳۴ می‌باشد؛
- **اطلاعات ابتکاری:** به‌منظور پیش‌گیری از رکود هوشمندی الگوریتم از سه نوع اطلاعات ابتکاری استفاده شده است. هر مورچه برای محاسبه احتمال حرکت خود از گره (ویزیت) فعلی به گره‌های همسایه (ویزیت‌هایی که امکان ارائه شدن در حرکت بعدی را دارند) از این اطلاعات استفاده می‌کند:

۱. **تداوم مراقبت:** برای سرویس‌هایی که محدودیت تغییر کادر درمان به‌صورت نرم برروی آنها اعمال شده است، با توجه به تداوم مراقبت بیمار، کادر درمان و میزان نارضایتی بیمار، میزان امتیاز مشخصی برای ویزیت درنظرگرفته می‌شود. رابطه ۳۵ نحوه محاسبه امتیاز تداوم مراقبت هر ویزیت را نمایش می‌دهد:

$$f(X)=\begin{cases} ۰/۳+۰/۱X; \pi_i = low \\ ۰/۳+۰/۱۵X; \pi_i = medium \\ ۰/۳+۰/۲X; \pi_i = high \end{cases} \quad (۳۵)$$

که در این رابطه X یک متغیر باینری است و زمانی مقدار یک می‌گیرد که برای ویزیت فعلی تداوم مراقبت حفظ شده باشد. همچنین π_i نمایانگر نارضایتی بیمار از عدم تداوم مراقبت (تغییر کادر درمان) می‌باشد. بنابراین، اگر نارضایتی بیماری از تغییر کادر درمان زیاد باشد برای حفظ تداوم مراقبت برای این بیمار امتیاز بالاتری در نظرگرفته می‌شود؛

۲. **روز ترجیحی ویزیت:** برای سرویس‌هایی که محدودیت تغییر روز ویزیت به‌صورت نرم برروی آنها اعمال شده است، درصورت تغییر روز ویزیت و با توجه به میزان نارضایتی بیمار، مقدار امتیاز مشخصی برای ویزیت در نظرگرفته می‌شود. این امتیاز براساس رابطه ۳۶ محاسبه می‌شود:

$$f(X)=\begin{cases} ۰/۹X; \rho_{is} = low \\ ۰/۸X; \rho_{is} = medium \\ ۰/۷X; \rho_{is} = high \end{cases} \quad (۳۶)$$

که در آن X متغیر باینری بوده و زمانی که برای ویزیت در روز ترجیحی بیمار ارائه نشود مقدار یک می‌گیرد. اگر تغییری در روز ترجیحی اتفاق نیفتد امتیاز ویزیت ۱ در نظرگرفته می‌شود؛

۳. **اولویت‌بندی ویزیت‌ها:** این اولویت‌بندی‌ها براساس شروع بازه زمانی ویزیت‌ها تعیین می‌شود. برای تعیین اولویت‌ها تمامی ویزیت‌های مجاور دو به‌دو با هم مقایسه می‌شوند. برای درک بهتر نحوه اولویت‌بندی ویزیت دو بیمار ۱ و ۲ را در نظر می‌گیریم:

- اگر پایان بازه زمانی بیمار ۱ از شروع بازه زمانی بیمار ۲ زودتر باشد، بیمار ۱ اولویت بالاتری دارد؛
- اگر شروع و پایان بازه زمانی بیمار ۱ به‌ترتیب از شروع و پایان بازه زمانی بیمار ۲ زودتر باشد، بیمار ۱ اولویت بالاتری دارد؛
- اگر بیمار ۱ بازه زمانی بلندی داشته باشد، به‌گونه‌ای که بازه زمانی بیمار ۲ در داخل آن قرار بگیرد و همچنین اختلاف بین پایان بازه زمانی بیمار ۱ و ۲ به‌اندازه‌ای باشد که عضو کادر درمان بتواند فاصله زمانی بین محل سکونت دو بیمار را طی کرده و ویزیت بیمار ۱ را انجام دهد، بیمار ۲ اولویت بالاتری دارد. در غیر این‌صورت اولویت بیمار ۱ بیشتر است.

الگوریتم ACS پیشنهادی دارای سه مرحله می‌باشد که گام‌های هر یک به‌ترتیب توضیح داده می‌شود:

- **مرحله اول: شروع ACS و ساخت مسیر روزانه اعضای کادر درمان بدون امکان تغییر روز ویزیت**

این مرحله به‌ترتیب از گام‌های زیر تشکیل شده است:

گام ۱. حرکت مورچه‌ها به‌صورت سری از ابتدای افق برنامه‌ریزی صورت می‌گیرد. در این حالت پس از ساخت جواب کامل مورچه فعلی، مورچه بعدی حرکت خود را آغاز می‌کند؛

گام ۲. یکی از اعضای کادر درمان مشغول به‌کار در روز مربوطه، برای تشکیل مسیر روزانه براساس مدل فرومونی (رابطه‌های ۳۱ و ۳۲) انتخاب می‌شود؛

گام ۳. تعیین مجموعه ویزیت‌هایی که محدودیت‌های حداکثر یک ویزیت برای بیمار در هرروز، تداوم مراقبت (برای سرویس‌هایی سخت به‌صورت محدودیت برروی آنها اعمال شده) و مهارت کادر درمان انتخابی را نقض نمی‌کنند؛

گام ۴. برروی مجموعه ویزیت‌های تعیین شده درگام سه محدودیت‌های بازه زمانی ویزیت و ساعات کاری کادر درمان انتخابی اعمال می‌شود. در این مرحله، امکان درج ویزیت در بین ویزیت‌های تخصیص یافته یک مسیر وجود ندارد. بنابراین، در این گام، فقط ویزیت‌هایی انتخاب می‌شوند که بعد از اتمام ارائه آخرین ویزیت مسیر، امکان انجام شدن را داشته باشند.

گام ۵. یکی از گره‌های همسایه بر اساس میزان فرومون و اطلاعات ابتکاری گره‌ها (ویزیت‌ها) از رابطه‌های ۳۱ و ۳۲ انتخاب می‌شود؛

گام ۶. فرومون محلی برای گره (ویزیت) انتخابی در گام قبلی با استفاده از رابطه ۳۳ بروزرسانی می‌شود؛

گام ۷. زمان شروع ویزیت انتخاب شده درگام پنج با درنظرگرفتن مدت زمان سفر براساس نحوه سرویس‌دهی (حضوری و یا غیرحضوری) مشخص می‌شود؛

گام ۸. برگشت به‌گام سه، تا زمانی که مجموعه گره‌های همسایه تهی شود؛

گام ۹. برگشت به گام دو، تا زمانی که مسیر تمامی اعضای کادر درمان در روز مربوطه تکمیل شود (البته یک مسیر می‌تواند بدون ویزیت باشد).

گام ۱۰. رفتن به‌روز بعدی افق برنامه‌ریزی و برگشت به گام دو، تا انجام زمان‌بندی ویزیت‌ها و مسیریابی برای تمام روزها.

- **مرحله دوم: تکمیل مسیرهای مرحله اول با امکان تغییر در روز ویزیت**

گام‌های مرحله اول در مرحله دوم هم در نظر گرفته می‌شوند با این تفاوت که در گام سوم امکان تغییر روز وجود داشته و در گام چهارم، برای تکمیل مسیرهای مرحله اول، ویزیت‌های انتخابی در مرحله دوم می‌توانند در بین ویزیت‌های مسیرهای مرحله اول درج شوند. همچنین در گام پنج فقط از رابطه ۳۲ برای تعیین گره همسایه استفاده می‌شود. برای پرهیز از تکرار، گام‌های مرحله اول در این مرحله تکرار نمی‌شوند و پس از تکمیل مسیرها، گام‌های یازده تا هفده برای تکمیل جواب‌ها و بروزرسانی فرومون سراسری طی می‌شود:

گام ۱ تا ۱۰. مشابه مرحله اول؛

گام ۱۱. برای هر یک از بیماران، ویزیت‌های درخواستی بررسی می‌شوند. اگر تمامی ویزیت‌ها مربوط به بیماری ارائه شده بود بیمار پذیرش می‌شود. در غیر این‌صورت پذیرش بیمار تکمیل نشده و برای این بیمار ویزیت‌های ارائه شده، ویزیت‌های بیهوده تلقی می‌شوند؛

گام ۱۲. تغییرات روز ویزیت و کادر درمان برای بیماران پذیرفته شده محاسبه می‌شود؛

گام ۱۳. محاسبه تابع هدف جواب، برای مورچه فعلی؛

گام ۱۴. شروع حرکت مورچه بعدی، تا زمانی که تمامی مورچه‌ها جواب خود را بسازند؛

گام ۱۵. بروزرسانی بهترین جوابی که به‌دست آمده است؛

گام ۱۶. بروزرسانی فرومون سراسری برروی ویزیت‌ها (گره‌ها) با استفاده از رابطه ۳۴ و همچنین ترتیب انتخاب اعضای کادر درمان بهترین جوابی که به‌دست آمده‌است؛

گام ۱۷. توقف؛ بعد از رسیدن به تعداد تکرار یا زمان مشخص.

- **مرحله سوم: تکمیل پذیرش برخی بیماران با حذف ویزیت‌های بیهوده**

در این مرحله، مجموعه بیمارانی که پذیرش آنها تکمیل نشده است در نظر گرفته می‌شوند. سپس گام‌های زیر برروی این مجموعه صورت می‌پذیرد:

گام ۱. یکی از بیماران به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند؛

گام ۲. ویزیت‌های ارائه نشده برای بیمار انتخابی در گام قبلی تعیین و مکان‌های کاندید، به‌منظور برنامه‌ریزی این ویزیت‌ها در مسیرهای مرحله دوم مشخص می‌شوند. درصورت پیدا شدن مکان کاندید، ویزیت مورد نظر در آن مکان درج شده و فرومون محلی مربوطه بروزرسانی می‌شود؛

گام ۳. در شرایطی‌که تمامی ویزیت‌های ارائه نشده قابل برنامه‌ریزی باشند، پذیرش بیمار تکمیل می‌شود. در غیر این‌صورت، بیمار پذیرش نشده و ویزیت‌های ارائه شده این بیمار (ویزیت‌های بیهوده) از مسیرهای اعضای کادر درمان حذف و بیمار از مجموعه بیماران پذیرش نشده کنار گذاشته می‌شود؛

گام ۴. برگشت به گام یک، تا زمانی‌که مجموعه بیماران پذیرش نشده تهی شود.

لازم به‌ذکر است این مرحله به‌دلیل بالا بردن زمان حل، بعد از تعداد تکرارهای معین به الگوریتم اضافه می‌شود. شبه کد سیستم کلونی مورچگان پیشنهادی در شکل ۱ نمایش داده شده است.

ورودی: مجموعه مورچه‌ها $k \in K$، مجموعه روزها $d \in D$، مجموعه کادر درمان مشغول به کار در روز C_q d،
مجموعه بیماران پذیرفته شده I_a، مجموعه بیماران پذیرش نشده I_r
اجرای الگوریتم تا زمانی که شرایط اتمام حاصل نشده

- قرار دادن هر مورچه در گره ابتدایی
- اجرای مراحل زیر برای هر k
  - **مرحله یک**
  - اجرای مراحل زیر برای هر d
    - اجرای مراحل زیر برای هر C_q
      - تعیین گره‌های همسایه (N_i^k) بر اساس محدودیت‌های مرحله یک
      - انتخاب گره بعدی بر اساس رابطه‌های (۳۱،۳۲)
      - به‌روز رسانی محلی فرومون بر اساس رابطه (۳۳)
  - **مرحله دو**
  - اجرای مراحل زیر برای هر d
    - اجرای مراحل زیر برای هر C_q
      - تعیین گره‌های همسایه (N_i^k) بر اساس محدودیت‌های مرحله دو
      - انتخاب گره بعدی با رابطه (۳۱)
  - تعیین I_a و I_r
  - اگر تعدادی مشخصی از تکرارها انجام شده است
  - **مرحله سه**
  - اجرای مراحل زیر برای I_r
    - تعیین ویزیت‌های برنامه‌ریزی نشده
    - اگر تمامی ویزیت‌های برنامه‌ریزی نشده قابل انجام باشند بیمار پذیرفته می‌شود
    - در غیر این صورت تمامی ویزیت‌های برنامه‌ریزی شده حذف می‌شود
  - اجرای مراحل زیر برای هر k
    - اگر $F(X_k) > F(X_{best})$
      - $X_{best} \leftarrow X_k$
      - به‌روز رسانی سراسری فرومون با رابطه (۳۴)

خروجی: X_{best}

شکل ۱. شبه کد ACS پیشنهادی.

۳.۴. فاز سوم: الگوریتم جست‌وجوی محلی

به‌منظور بهبود بهترین جواب حاصل از دو فاز قبلی، در فاز سوم از الگوریتم جست‌وجوی محلی استفاده می‌شود. در هر تکرار از الگوریتم جست‌وجوی محلی پیشنهادی، یک جواب همسایه برای بهترین جواب به‌دست آمده ساخته می‌شود. برای ساخت جواب همسایه با حذف تعدادی از ویزیت‌های بیماران پذیرش شده، پذیرش آنها لغو شده و با فضای ایجاد شده از حذف ویزیت‌ها، پذیرش بیمارانی که در بهترین جواب پذیرش نشده‌اند، تکمیل می‌گردد. اگر بهبودی در جواب حاصل شد، بهترین جواب بروزرسانی می‌شود.

همان‌طور که بیان شد، در پایان فاز دوم (سیستم کلونی مورچگان) تمامی ویزیت‌های بیمارانی که پذیرش نشده‌اند (ویزیت‌های بیهوده)، حذف می‌شوند. به‌منظور سهولت تکمیل پذیرش این بیماران در روش جست‌وجوی محلی گام‌های زیر برای اضافه کردن ویزیت‌های بیهوده صورت می‌گیرد:

گام ۱. تشکیل لیست بیماران پذیرش نشده، در بهترین جواب به‌دست آمده از فاز قبلی؛

گام ۲. انتخاب یکی از بیماران پذیرش نشده از ابتدای لیست؛

گام ۳. مسیرهای بالقوه اعضای کادر درمان (گام‌های سه و چهار مرحله دوم ACS) برای تخصیص هر یک از ویزیت‌های درخواستی بیمار انتخابی در گام قبلی بررسی می‌شوند؛

گام ۴. گام چهار: هر یک از ویزیت‌ها به اولین مسیر بالقوه (درصورت وجود) تخصیص داده می‌شوند؛

گام ۵. برگشت به گام ۲ تا زمانی که تمامی بیماران پذیرش نشده بررسی شوند.

بعد از طی این گام‌ها الگوریتم جست‌وجوی محلی برروی بهترین جواب اعمال می‌شود. گام‌های این الگوریتم به‌صورت زیر است:

گام ۱. تعدادی از بیماران پذیرش نشده (لیست بازیابی) به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند؛

گام ۲. ویزیت‌های ارائه نشده برای یکی از بیماران انتخابی در لیست بازیابی مشخص می‌شوند؛

گام ۳. مسیرهای بالقوه اعضای کادر درمان برای هریک از ویزیت‌های پوشش داده نشده بررسی و ویزیت‌های قابل حذف (برای جایگزینی با ویزیت ارائه نشده) تعیین می‌شوند. در صورتی‌که برای یکی از ویزیت‌ها، مسیری وجود نداشت بیمار از لیست بازیابی حذف می‌شود؛

گام ۴. هر یک از ویزیت‌های پوشش داده نشده با ویزیت‌های قابل حذف مربوطه به‌صورت تصادفی جایگزین می‌گردد؛

گام ۵. برگشت به گام دو تا زمانی‌که کلیه بیماران لیست بازیابی، بررسی شوند؛

گام ۶. تابع هدف مجدداً محاسبه شده و با بهترین جواب مقایسه می‌گردد. درصورت بهبود تابع هدف، بهترین جواب بروزرسانی می‌شود؛

گام ۷. توقف؛ بعد از رسیدن به تعداد تکرار و یا زمان معین.

۵. نتایج عددی

در این بخش، به‌منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، نتایج حاصل از حل نمونه‌های ساخته شده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. بدین منظور، یک مجموعه نمونه معیار با استفاده از نمونه‌های مشابه گرونویل و همکاران[۲۵] ایجاد و مورد استفاده قرارگرفته است. ابعاد این نمونه‌ها با افق برنامه‌ریزی هفتگی به‌صورت زیر است:

- کوچک: تعداد ۴۰ بیمار با ۱۲۰ ویزیت، به‌همراه ۸ عضو کادر درمان با مجموع ۳۵ روزکاری در هفته؛
- متوسط: تعداد ۸۰ بیمار با ۲۲۵ ویزیت، به‌همراه ۱۲ عضو کادر درمان با مجموع ۵۳ روزکاری در هفته؛
- بزرگ: تعداد ۱۵۰ بیمار با ۴۳۰ ویزیت، به‌همراه ۲۰ عضو کادر درمان با مجموع ۹۰ روزکاری در هفته.

ویزیت‌های مرتبط با هر نمونه به‌صورت تصادفی به بیمار تخصیص داده شده و در بین روزهای هفته قرار می‌گیرند، به‌گونه‌ای که هر بیمار حداقل یک ویزیت و حداکثر هفت ویزیت می‌تواند دریافت کند. همچنین تعداد ۹ سرویس متفاوت برای همه ابعاد در نظرگرفته شده است. مدت زمان هر سرویس به‌صورت یکنواخت در بازه ۴۰ تا ۶۰ دقیقه انتخاب می‌شود. بازه زمانی حضور بیماران سه برابر مدت زمان سرویس درخواستی درنظر گرفته می‌شود. مهارت اعضای کادر درمان به‌صورتی درنظرگرفته می‌شود که هرکدام قادرند ۴ یا ۵ سرویس را ارائه دهند. برای سرویس‌هایی که امکان تغییر روز ویزیت را دارند حداکثر یک روز امکان تغییر (زودتر یا دیرتر) داده می‌شود. هرروز شامل دو شیفت ۷ ساعته می‌باشد و برای اعضای کادر درمان در طول هفته حداقل ۴ و حداکثر ۶ روزکاری در نظرگرفته می‌شود. میزان نارضایتی بیمار از تغییر در روز ویزیت و تغییر درکادر درمان به‌صورت تصادفی از مجموعه $\{Spicer, \#1\}$ انتخاب می‌شود. مقدار ۱ به‌معنای نارضایتی کم، ۲ متوسط و ۳ زیاد می‌باشد.

با توجه به‌وجود تفاوت بین فرضیات مسئله حاضرو تحقیق گرونویل و همکاران[۲۵] سایر پارامترها به‌صورت جداگانه تولید شد. بدین منظوربرای هربیمارو یزیت‌ها می‌توانند از سرویس‌های متفاوت باشند. همچنین برای هر یک از ابعاد فرض می‌شود که نیمی از بیماران قابلیت دریافت سرویس به‌صورت غیرحضوری را دارند. همچنین میزان ترجیح ارائه سرویس به‌صورت حضوری یا غیرحضوری برای بیمارانی که این امکان برای آنها وجود دارد، به‌صورت تصادفی از مجموعه $\{Spicer, \#1\}$ انتخاب می‌شود. مقدار ۵ میزان ترجیح کم، ۱۰ بی‌تفاوت و ۱۵ ترجیح زیاد می‌باشد. لازم به‌ذکر است میزان ترجیحات، معکوس یکدیگر هستند، بنابراین اگر برای بیماری مقدار ترجیح ارائه سرویس به‌صورت حضوری ۱۵ باشد، مقدار ترجیح این بیمار برای ارائه همان سرویس به‌صورت غیرحضوری ۵ خواهد بود. وزن عبارت‌های میزان ترجیحات بیماران برای دریافت سرویس به‌صورت حضوری یا غیرحضوری برابر ۲، وزن عبارت بهره‌وری کادر درمان برابر ۱۵ و وزن عبارت‌های نارضایتی بیماران از تغییرات روز ویزیت و کادر درمان برابر ۱ قرار گرفتند.

برای حل مدل آزاد شده از CPLEX ۱۲٫۸٫۰ و برای پیاده‌سازی الگوریتم فراابتکاری از زبان سی شارپ استفاده شده است. برای اجرای رویکرد پیشنهادی سیستم با مشخصات RAM ۸GB و CPU ۲٫۷GHz, Core i۷ و سیستم عامل Windows۱۰ ۶۴bit به‌کارگرفته شده است. برای هر نمونه پنج بار الگوریتم اجرا شده و میزان اختلاف بهترین جواب در این تکرارها با جواب حد بالا مقایسه شده و به‌عنوان درصد خطای الگوریتم گزارش می‌شود:

$$RPD\% = \frac{\text{UpperBound} - \text{HeuristicSolution}}{\text{UpperBound}} x ۱۰۰ \qquad (۳۷)$$

نتایج مربوط به اجرای الگوریتم در ابعاد کوچک در جدول ۲ آورده شده‌اند.

همان‌گونه که در جدول قابل مشاهده است، نیمی از نمونه‌ها در زمان کمتر از یک ثانیه به‌صورت بهینه حل شده‌اند. بیشترین خطا با مقدار ۹٫۲۹٪ مربوط به نمونه دهم است. همچنین میانگین خطای نمونه‌ها در این اجراها ۱٫۸۶٪ می‌باشد.

همچنین نتایج اجرای الگوریتم در ابعاد متوسط و بزرگ به‌ترتیب در جداول ۳ و ۴ گزارش شده‌اند. برای ابعاد متوسط میانگین درصد خطا و زمان اجرای ACS به‌ترتیب ۳٫۸۶٪ و ۲۹۹٫۷۷ ثانیه می‌باشد. بهترین اجرا مربوط به نمونه پنجم است، که در زمان ۲۲٫۲۳ ثانیه به‌صورت بهینه حل شده است. همچنین، بیشترین میزان خطا با مقدار ۱۰٫۲۱٪ برای نمونه سوم و بالاترین زمان اجرا مربوط به نمونه ششم با زمان ۴۰۶ ثانیه می‌باشد. در ابعاد بزرگ با توجه به‌اینکه در مدت زمان تعیین شده تعداد کل تکرارهای معین شده برای الگوریتم انجام نمی‌پذیرد، برای توقف الگوریتم از مشخصه زمانی حداکثر زمان اجرا ۱۰ دقیقه استفاده شده است. در این ابعاد نیز متوسط میانگین درصد خطاها ۸٫۹۴٪ می‌باشد.

همچنین کمترین و بیشترین مقدار خطا به‌ترتیب ۴٫۴۰٪ و ۱۷٫۳۵٪ که متعلق به نمونه‌های یکم و دوازدهم است.

همان‌طورکه مشاهده شد، در ابعاد مختلف الگوریتم فراابتکاری، در مدت زمان مناسب، نتایج مطلوبی به‌دست آمد. میانگین درصد خطاها در تمامی ابعاد، با درنظر گرفتن اینکه برای ارزیابی از حد بالای مسئله استفاده شده، کمتر از ۱۰٪ است. بنابراین، با توجه به‌نتایج حاصل شده از اجرای الگوریتم می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم پیشنهادی از عملکرد قابل قبولی برخوردار است.

جدول ۲. نتایج اجرای الگوریتم در ابعاد کوچک.

نمونه	حد بالا			کلونی مورچگان			RPD%
	تابع هدف	زمان (ثانیه)	# پذیرش بیمار	تابع هدف	زمان (ثانیه)	# پذیرش بیمار	
۰۱	۱۳۳/۳۹	<۱	۲۰	۱۳۳/۳۹	۰/۱۰	۲۰	۰/۰۰
۰۲	۱۹۷/۷۱	<۱	۲۴	۱۹۵/۷۱	۵۲/۲۰	۲۴	۱/۰۱
۰۳	۱۲۳/۸۵	<۱	۲۱	۱۲۳/۸۵	۰/۲۲	۲۱	۰/۰۰
۰۴	۱۳۶/۱۷	<۱	۲۲	۱۳۶/۱۷	۰/۱۸	۲۲	۰/۰۰
۰۵	۱۷۰/۸۹	<۱	۲۰	۱۷۰/۸۹	۰/۲۵	۲۰	۰/۰۰
۰۶	۱۲۶/۹۶	<۱	۱۷	۱۲۶/۹۶	۰/۲۰	۱۷	۰/۰۰
۰۷	۱۸۸/۲۸	<۱	۲۴	۱۸۷	۴۷/۳۶	۲۳	۰/۶۸
۰۸	۱۳۱/۲۱	<۱	۲۰	۱۲۶/۱۰	۴۴/۰۱	۱۸	۳/۸۹
۰۹	۶۸/۴۶	<۱	۱۰	۶۸/۴۶	۰/۲۵	۱۰	۰
۱۰	۱۲۷/۹۶	<۱	۲۱	۱۱۶/۰۷	۴۴/۲۷	۱۸	۹/۲۹
۱۱	۷۶/۱۰	<۱	۱۰	۷۶/۱۰	۰/۱۸	۱۰	۰/۰۰
۱۲	۱۰۵/۶۴	<۱	۱۷	۱۰۵/۶۴	۵/۸۰	۱۷	۰/۰۰
۱۳	۱۳۸/۱۰	<۱	۲۰	۱۳۸/۱۰	۵/۶۵	۲۰	۰/۰۰
۱۴	۸۸/۶۰	<۱	۱۵	۸۰/۷۸	۳۵/۲۳	۱۴	۸/۸۲
۱۵	۷۸/۵۷	<۱	۱۴	۷۸/۵۷	۰/۱۱	۱۴	۰/۰۰
۱۶	۱۰۱/۲۸	<۱	۱۵	۹۸/۱۰	۳۷/۴۶	۱۴	۳/۱۳
۱۷	۹۳/۷۸	<۱	۱۴	۹۰/۵۳	۳۵/۳۴	۱۳	۳/۴۶
۱۸	۱۷۱/۶۰	<۱	۲۰	۱۶۹/۶۰	۴۳/۱۱	۲۰	۱/۱۶
۱۹	۱۸۰/۹۰	<۱	۲۸	۱۷۳/۷۵	۵۳/۳۰	۲۶	۳/۹۴
۲۰	۱۹۰/۱۴	<۱	۲۲	۱۸۶/۴۶	۵۱/۴۳	۲۱	۱/۹۳
میانگین	-	**<۱**	-	-	**۲۲/۸۳**	-	**۱/۸۶**

جدول ۳. نتایج اجرای الگوریتم در ابعاد متوسط.

نمونه	حد بالا			کلونی مورچگان			RPD%
	تابع هدف	زمان (ثانیه)	# پذیرش بیمار	تابع هدف	زمان (ثانیه)	# پذیرش بیمار	
۰۱	۳۹۱/۷۸	<۱	۶۱	۳۷۸/۳۵	۲۷۰/۲۲	۵۷	۳/۴۲
۰۲	۳۱۲/۷۱	<۱	۴۹	۳۰۶/۹۶	۲۲۲/۵۰	۴۸	۱/۶۴
۰۳	۳۴۲/۷۱	<۱	۵۰	۳۰۷/۷۱	۲۴۰/۴۱	۴۵	۱۰/۲۱
۰۴	۳۶۰/۵۰	<۱	۵۲	۳۲۸/۰۳	۳۱۰/۳۱	۴۷	۹/۰۰
۰۵	۲۷۴/۴۶	<۱	۴۴	۲۷۴/۴۶	۲۳/۰۰	۴۴	۰/۰۰
۰۶	۳۷۲/۰۰	<۱	۵۳	۳۵۹/۴۶	۴۰۵/۴۳	۵۲	۳/۳۶
۰۷	۳۹۵/۳۵	<۱	۵۶	۳۹۳/۴۶	۴۰۱/۱۱	۵۶	۰/۵۰
۰۸	۴۳۶/۰۷	<۱	۵۸	۴۲۲/۵۰	۳۲۰/۳	۵۷	۳/۱۱
۰۹	۳۰۶/۹۶	<۱	۵۵	۳۰۲/۰۰	۳۱۳/۶۸	۵۴	۱/۶۱
۱۰	۳۷۴/۳۹	<۱	۵۵	۳۵۸/۶۷	۳۱۸/۴۷	۵۲	۴/۱۹
۱۱	۳۳۲/۸۲۴	<۱	۵۴	۳۱۷/۳۹	۳۱۳/۵۰	۵۱	۴/۶۳
۱۲	۲۸۲/۲۱	<۱	۴۸	۲۷۵/۷۸	۲۸۲/۳۹	۴۷	۲/۲۷
۱۳	۳۱۰/۸۲	<۱	۵۲	۳۰۳/۸۹	۳۰۸/۹۸	۴۹	۲/۲۲
۱۴	۳۰۷/۶۴	<۱	۴۳	۲۹۹/۰۷	۲۶۰/۲۳	۴۱	۲/۷۸
۱۵	۳۷۶/۶۷	<۱	۵۶	۳۵۵/۰۷	۳۳۸/۴۴	۵۰	۵/۷۳
۱۶	۳۹۶/۹۶	<۱	۵۹	۳۶۶/۳۹	۳۳۸/۲۵	۵۳	۷/۷۰
۱۷	۲۶۰/۹۶	<۱	۴۸	۲۴۲/۳۲	۲۷۶/۸۶	۴۴	۷/۱۴
۱۸	۲۷۶/۲۱	<۱	۵۱	۲۷۳/۲۱	۲۷۸/۰۷	۵۱	۱/۰۸
۱۹	۴۱۷/۱۴	<۱	۶۱	۴۰۳/۱۷	۳۹۵/۳۳	۵۹	۳/۳۴
۲۰	۳۳۵/۱۷	<۱	۴۶	۳۲۴/۲۸	۳۷۸/۸۶	۴۳	۳/۲۴
میانگین	-	**<۱**	-	-	**۲۹۹/۷۷**	-	**۳/۸۶**

جدول ۴. نتایج اجرای الگوریتم در ابعاد بزرگ.

نمونه	حد بالا			کلونی مورچگان			RPD%
	تابع هدف	زمان (ثانیه)	# پذیرش بیمار	تابع هدف	زمان (ثانیه)	# پذیرش بیمار	
۰۱	۷۳۲/۷۵	۱/۵۶	۱۱۴	۷۱۵/۱۴	۵۹۷	۱۱۲	۲/۴۰
۰۲	۷۳۱/۱۱	۱/۳۸	۱۰۲	۶۹۱/۰۰	۵۹۷	۹۵	۵/۴۸
۰۳	۹۰۶/۸۲	۱/۵۷	۱۳۱	۷۷۲/۰۰	۵۹۷	۱۱۰	۱۴/۸۶
۰۴	۷۸۹/۰۴	۱/۶۵	۱۱۶	۷۳۰/۹۶	۵۹۷	۱۰۶	۷/۳۵
۰۵	۸۹۷/۶۴	۱/۲۵	۱۲۴	۷۷۹/۶۴	۵۹۷	۱۰۳	۱۳/۱۴
۰۶	۸۳۲/۹۶	۱/۳۳	۱۱۴	۷۹۶/۷۹	۵۹۷	۱۱۲	۴/۳۴
۰۷	۸۷۵/۶۱	۱/۷۷	۱۱۳	۷۳۸/۸۲	۵۹۷	۱۰۳	۵/۹۵
۰۸	۸۲۵/۷۵	۲/۱۷	۱۲۷	۷۱۳/۱۴	۵۹۷	۱۱۰	۱۳/۶۳
۰۹	۸۰۶/۴۶	۱/۲۵	۱۱۱	۷۷۵/۰۷	۵۹۷	۹۹	۶/۳۷
۱۰	۷۳۴/۰۴	۱/۶۵	۱۰۴	۶۶۶/۲۸	۵۹۷	۹۳	۹/۲۲
۱۱	۸۴۶/۲۹	۱/۴۷	۱۱۷	۸۰۷/۶۱	۵۹۷	۱۱۲	۴/۵۷
۱۲	۸۶۲/۰۷	۱/۴۷	۱۲۱	۷۱۲/۵۰	۵۹۷	۱۰۱	۱۷/۳۵
۱۳	۹۲۱/۹۳	۱/۴۱	۱۲۶	۸۵۱/۶۴	۵۹۷	۱۱۸	۷/۶۴
۱۴	۸۰۳/۳۵	۱/۸۵	۱۰۹	۷۰۳/۰۷	۵۹۷	۹۶	۱۲/۴۸
۱۵	۸۰۵/۸۲	۱/۷۶	۱۲۵	۷۱۵/۵۷	۵۹۷	۱۱۲	۱۱/۱۹
۱۶	۹۸۵/۰۰	۱/۵۱	۱۲۸	۹۱۲/۰۷	۵۹۷	۱۱۶	۷/۴۰
۱۷	۸۷۳/۳۹	۱/۶۸	۱۱۹	۸۰۷/۹۶	۵۹۷	۱۰۶	۷/۴۹
۱۸	۷۵۸/۰۷	۲/۰۳	۱۱۹	۶۶۶/۹۶	۵۹۷	۱۰۲	۱۲/۰۱
۱۹	۸۸۴/۵۰	۱/۱۱	۱۲۱	۸۳۹/۳۹	۵۹۷	۱۱۸	۵/۰۹
۲۰	۸۰۴/۲۵	۱/۰۲	۱۲۰	۷۱۶/۱۸	۵۹۷	۱۰۴	۱۰/۹۵
میانگین	-	**۱/۵۵**	-	-	**۵۹۷**	-	**۸/۹۴**

۶. مطالعه موردی

در این بخش یک مطالعه موردی برروی مرکز درمان و کنترل بیماری‌های سرطانی مکسای اصفهان انجام می‌شود. در این مطالعه سعی خواهد شد با استفاده از داده‌های واقعی، برنامه‌ریزی هفتگی برای اعضای کادر درمان این مرکز که در حال‌حاضر به‌صورت دستی انجام می‌شود ارائه شود. بنابراین، برای تعیین میزان بهبود برنامه‌ریزی ارائه شده نسبت به برنامه‌ریزی دستی مقایسه تحلیلی بین این دو روش صورت خواهد گرفت.

۱.۶. معرفی مرکز سلامت مکسا

مکسا یکی از مراکز تابع بنیاد خیریه آلاء است که رسالتش براساس پیشنهاد سازمان بهداشت جهانی بر کنترل سرطان در کشورها با تمرکز بر پیشگیری اولیه، تشخیص زودهنگام، تشخیص و درمان بیماری و مراقبت‌های تسکینی تعریف شده است. این مرکز فعالیت خود را از سال ۱۳۸۸ با همکاری نظام سلامت و با بهره‌گیری از دیدگاه‌های تخصصی اعضای هیئت علمی دانشگاه‌های علوم پزشکی آغاز کرد. در حال حاضر، بیش از ۲۴ هزار بیمار تحت پوشش این مرکز قرار دارند. از برنامه‌های مرکز می‌توان به خدمات طب تسکینی در بخش‌های بیمارستانی، کلینیک‌های تخصصی بازتوانی پس از درمان و پیشگیری، مراقبت حمایتی و تسکینی در منزل و راهنمایی تلفنی ۲۴ ساعته اشاره کرد. از زمان شروع به‌کار این مرکز بیش از ۱۵۱ هزار ویزیت توسط اعضای کادر درمان این مرکز برای بیماران ارائه شده است. در حال حاضر، این مرکز بزرگترین همکار نظام سلامت در موضوع مراقبت‌های تسکینی در کشور است.

۲.۶. جمع‌آوری اطلاعات

به‌منظور انجام برنامه‌ریزی توسط رویکرد پیشنهادی، از داده‌های هفته اول دی‌ماه سال ۱۴۰۰ مرکز مکسا استفاده شده است. بر طبق این داده‌ها، کادر درمان مکسا تعداد ۹ نوع سرویس را برای ۲۰۹ بیمار در قالب ۲۹۴ ویزیت و در یک افق ۶ روز ارائه داده‌اند. با توجه به سیاست مرکز، کلیه مراجعه‌کنندگان پذیرش می‌شوند. در این مرکز اعضای کادر درمان در دو شیفت صبح و عصر به ارائه خدمات می‌پردازند. زمان سرویس‌دهی خدمات برابر زمان استانداردی که توسط مرکز مکسا تعیین شده، قرار داده شدند. برای مشخص کردن پارامترهای نارضایتی تغییر کادر درمان و ترجیحات بیماران برای دریافت سرویس به‌صورت حضوری و غیرحضوری یک نظرسنجی طراحی گردید و در اختیار مرکز مکسا قرار گرفت. به‌علاوه اینکه برای تعیین نارضایتی بیماران از تغییر روز ویزیت برای هر سرویس دو معیار زیر به‌کار گرفته شده است:

۱. برای سرویس‌های تماس پزشکی، پرستاری و پرستاری ـ پزشکی از پارامتر میزان وخامت حال بیمار که توسط مرکز تعیین می‌شود استفاده شده است. هرچه وخامت بیشتر باشد، میزان نارضایتی ناشی از تغییر روز ویزیت نیز بیشتر در نظر گرفته می‌شود. برای سرویس پرستاری ـ پزشکی با وضعیت بیمار صفر (بیمار با وخامت حال بسیار بد)، سرویس ضروری تعریف می‌شود که امکان تغییر روز ویزیت را ندارد؛

۲. برای سایر سرویس‌ها تعداد ویزیت‌های درخواستی برای سرویس مورد نظر مدنظر قرارگرفته است. هر چه تعداد ویزیت‌های درخواستی بیشتر باشد میزان نارضایتی بیشتری برای تغییر روز ویزیت بیمار درنظرگرفته می‌شود.

همچنین با توجه به مشخص بودن اهمیت هر یک از اجزای تابع هدف و دست‌یابی به ترکیب مناسبی از وزن‌ها برای متعادل ساختن اهداف، برای وزن اجزای تابع هدف از وزن‌های تعیین شده استفاده شده است.

۳.۶. تحلیل نتایج

در این بخش برنامه‌ریزی به‌دست آمده از حل رویکرد پیشنهادی برای مرکز مکسا ارائه و نتایج بخش‌های مختلف تابع هدف دو برنامه مکسا و رویکرد پیشنهادی با هم مقایسه می‌شوند. با توجه به‌اینکه ویزیت‌های درخواستی بیماران در طول هفته تغییرپذیر هستند، از روش برنامه‌ریزی مجدد[11] برای انجام برنامه‌ریزی استفاده شده‌است. بنابر تغییرات روزانه ویزیت‌ها، برای هفته مورد نظر شش برنامه‌ریزی توسط رویکرد پیشنهادی انجام شد. مدت زمان رویکرد پیشنهادی برای هر اجرا ۴ دقیقه بوده که در مجموع مدت زمان مورد نیاز برای برنامه‌ریزی مجدد برابر با ۲۴ دقیقه خواهد بود. این در حالی است که برای برنامه‌ریزی مکسا که به‌صورت روزانه انجام می‌شود، هر روز ۴ ساعت زمان صرف می‌شود.

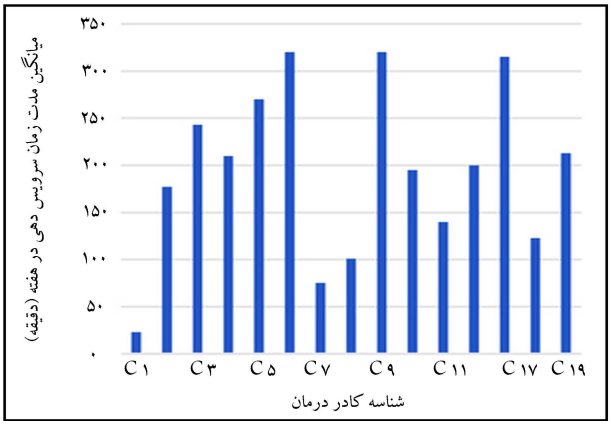
بخش‌های مختلف تابع هدف شامل ترجیحات نوع سرویس، بهره‌وری کادر درمان و نارضایتی تغییر روز ویزیت و کادر درمان در دو برنامه دستی و رویکرد پیشنهادی (به‌صورت اتوماتیک) در جدول ۵ مقایسه شده‌اند. در تمامی اجزای تابع هدف رویکرد پیشنهادی عملکرد برنامه دستی را بهبود داده است. همچنین در جدول ۶ تعداد تغییرات روز ویزیت و کادر درمان دو برنامه مد نظر نشان داده شده‌است. با توجه به این جدول، رویکرد پیشنهادی توانسته است تغییرات روز ویزیت را به‌صورت محسوسی کاهش دهد. از تعداد ۴۶ تغییر در برنامه مکسا ۳ تغییر مربوطه سرویس پرستاری ـ پزشکی بوده است که در آن بیمار در وضعیت نامطلوبی قرار داشته است. در حالی‌که در رویکرد حاضر برای این شرایط سرویس پرستاری ـ پزشکی ضروری

جدول ۵. مقایسه اجزای تابع هدف برنامه دستی و پیشنهادی.

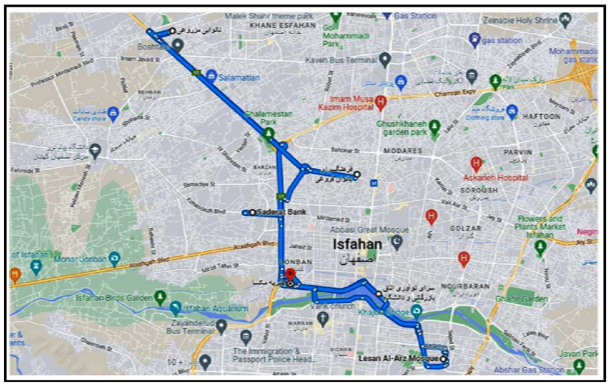
اجزای تابع هدف	برنامه دستی	رویکرد پیشنهادی (اتوماتیک)	درصد بهبود
ترجیحات نوع سرویس	۴۳۲	۸۳۰	۴۸
بهره‌وری کادر درمان	۱۵۷۸	۱۵۹۸	۰٫۰۱
نارضایتی تغییر روز ویزیت	۳۴۶	۱۲	۹۶
نارضایتی تغییر کادر درمان	۶	۰	۱۰۰
مجموع	۱۶۵۸	۲۴۱۶	

جدول ۶. تغییرات روز ویزیت و کادر درمان برنامه دستی و پیشنهادی.

نوع تغییرات	برنامه دستی	رویکرد پیشنهادی	درصد بهبود
تغییر روز ویزیت	۴۶	۳	۹۳
تغییر کادر درمان	۴	۰	۱۰۰



شکل ۲. میانگین مدت زمان سرویس‌دهی کادر درمان.



شکل ۳. مثالی از برنامه روزانه شکل گرفته برای یک عضو کادردرمان.

تعریف شده و امکان تغییر روز ویزیت وجود نخواهد داشت. همچنین در شکل ۲ مقایسه‌ای بین میانگین مدت زمان سرویس‌دهی کادر درمان در طول هفته انجام شده است. براین اساس، کادر درمان $C۳$ (پزشک)، $C۷$ (پزشک) و $C۱۰$ (ویزیت و تماس روانشناسی) دارای بالاترین میانگین سرویس‌دهی هستند. همچنین کادر درمان $C۱۹$ (فیزیوتراپ) کمترین میانگین را داراست.

برای درک بهتر زمان‌بندی‌ها و مسیریابی‌های صورت گرفته، برنامه روزانه یکی از اعضای کادر درمان برای شیفت صبح روز چهارشنبه در شکل ۳ نمایش داده شده است. این مسیر که توسط کادر درمان برای ویزیت ۵ بیمار صورت گرفته در

جدول ۷. تأثیر تغییرات اجزای تابع هدف برروی جواب نمونه واقعی.

تغییرات اجزای تابع هدف	تعداد پذیرش غیرحضوری	تعداد پذیرش حضوری	تعداد ویزیت غیرحضوری	تعداد ویزیت حضوری	تعداد تغییر روز ویزیت	تعداد تغییر کادر درمان
وزن‌های اولیه	۱۲۷	۱۳۵	۱۳۹	۱۴۸	۳	۰
افزایش وزن پذیرش غیرحضوری	۱۴۸	۱۱۴	۱۶۰	۱۲۷	۳	۰
افزایش وزن پذیرش حضوری	۱۱۱	۱۵۱	۱۰۰	۱۸۷	۱۰	۷
افزایش وزن بهره‌وری کادر درمان	۱۲۷	۱۳۵	۱۳۹	۱۴۸	۷	۵

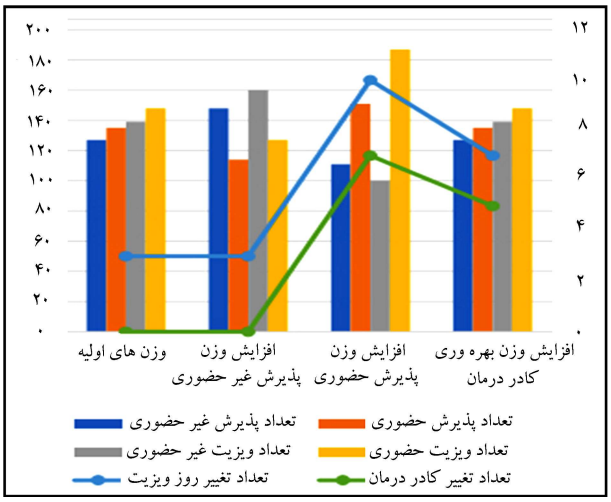
جدول ۸. تأثیر تغییرات اجزای تابع هدف برروی بهره‌وری کادر درمان.

تغییرات اجزای تابع هدف	بهره‌وری کادر درمان
وزن‌های اولیه	۱۵۹۸/۱۵
افزایش وزن پذیرش غیرحضوری	۱۶۲۴/۱۲
افزایش وزن پذیرش حضوری	۱۵۴۳/۴۹

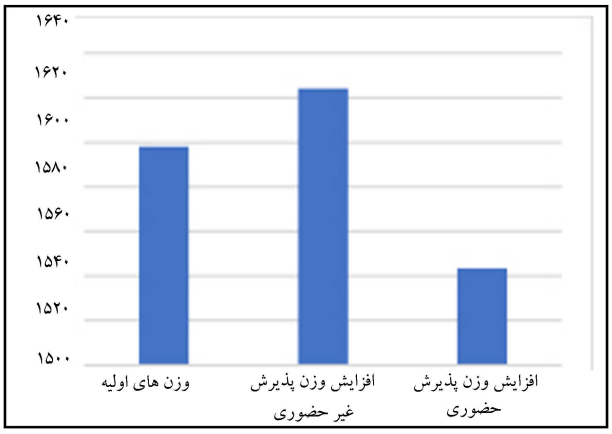
مجموع ۴۱۶ دقیقه به طول انجامیده که ۳۰۰ دقیقه آن مربوط به ویزیت بیماران و ۱۱۶ دقیقه مربوط به مسافت طی شده بین نقاط بوده است.

۷. تحلیل حساسیت

برای تعیین تأثیر ویژگی ویزیت غیرحضوری برروی بهره‌وری کادر درمان و نارضایتی بیماران در حل نمونه واقعی (نمونه مرکز مکسا)، در این بخش تحلیل حساسیتی برروی وزن‌های ترجیحات پذیرش حضوری و غیرحضوری و همچنین بهره‌وری کادر درمان صورت گرفته است. بدین‌منظور نمونه واقعی چندین مرتبه توسط رویکرد پیشنهادی حل می‌شود. در هر مرتبه وزن یکی از اجزای تابع هدف مد نظر تغییر می‌کند تا اثر آن برروی جواب مشخص شود. جدول‌های ۷ و ۸ نتایج مربوط به حل نمونه واقعی با تغییر وزن‌ها را نشان می‌دهند. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، افزایش وزن ترجیح پذیرش غیرحضوری همراه با افزایش تعداد پذیرش غیرحضوری و ویزیت غیرحضوری بوده که باعث شده تا بهره‌وری کادر درمان نیز افزایش پیدا کند. در حالی‌که افزایش وزن ترجیح پذیرش حضوری باعث شده تا تعداد پذیرش حضوری و ویزیت حضوری افزایش یابند، که این تغییرات همراه با افزایش تعداد تغییرات روز ویزیت و کادر درمان و به‌طبع افزایش نارضایتی بیماران بوده است. همچنین افزایش وزن ترجیحات حضوری سبب کاهش بهره‌وری کادر درمان شده است. به‌علاوه اینکه افزایش وزن بهره‌وری کادر درمان نیز همراه با افزایش تعداد تغییرات روز ویزیت و کادر درمان می‌باشد. شکل ۴ نمودار مربوط به جدول



شکل ۴. تأثیر تغییرات اجزای تابع هدف برروی جواب نمونه واقعی.



شکل ۵. تأثیر تغییرات اجزای تابع هدف برروی بهره‌وری کادردرمان.

۷ است که روند تغییرات جواب را نمایش می‌دهند. در شکل ۴ تعداد پذیرش غیرحضوری، تعداد پذیرش حضوری، تعداد ویزیت غیرحضوری و تعداد ویزیت حضوری به‌صورت نمودار میله‌ای، و تعداد تغییرات روز ویزیت و کادر درمان به‌صورت نمودار خطی نمایش داده شده‌اند. همچنین شکل ۵ مربوط به جدول ۸ می‌باشد که روند تغییر بهره‌وری کادر درمان را در برابر تغییر وزن ترجیحات پذیرش بیماران نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج به دست آمده در نظر گرفتن قابلیت پذیرش و ویزیت غیرحضوری تأثیر مثبتی برروی جواب داشته و باعث شده تا بهره‌وری کادر درمان افزایش یابد. این بهبود حاصل صرفه‌جویی زمان سفر کادر درمان با توجه به حذف مسیرها در خدمت‌دهی غیرحضوری می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد امکان ارائه ویزیت غیرحضوری مرکز مکسا تأثیر مثبتی بر خدمت‌دهی این مرکز داشته است.

بنابراین، بالا بردن توانایی‌ها به‌منظور افزایش تعداد سرویس با قابلیت ارائه به‌صورت غیرحضوری در کنار تلاش مستمر برای بهبود کیفیت ارائه ویزیت‌های غیرحضوری، به‌منظور بالا بردن ترجیح بیماران برای دریافت خدمات به‌صورت غیرحضوری می‌تواند ایده مناسبی برای مدیریت مکسا باشد. با توجه به‌اینکه مجموعه مکسا متشکل از چندین مرکز در شهرهای مختلف می‌باشد، ارتقاء توانایی در ارائه خدمات غیرحضوری می‌تواند زمینه به اشتراک‌گذاری کادر درمان بین مراکز مختلف را فراهم کند.

۸. نتیجه‌گیری

در این مقاله مساله بهینه‌سازی یکپارچه پذیرش، تخصیص، مسیریابی و زمان‌بندی خدمات سلامت در منزل با در نظرگرفتن خدمات سلامت از راه دور مورد مطالعه قرار گرفت. با هدف نزدیک‌تر شدن مساله به شرایط واقعی، امکان ارائه خدمات در قالب دو روش حضوری و غیرحضوری (سلامت از راه دور) در نظرگرفته شد. برای فرمول‌بندی مسئله از یک مدل عدد صحیح مختلط استفاده و با توجه به پیچیدگی بالای مسئله، یک الگوریتم ابتکاری سه‌فازی ارائه شد. در فاز اول با حذف محدودیت‌های مربوط به مسیریابی و زمان‌بندی، یک مدل آزاد شده حل شد که در آن، در مورد پذیرش بیماران، نحوه ارائه سرویس‌ها و تخصیص کادر درمان به بیماران تصمیم‌گیری گردید. در فاز دوم، با توجه به بیماران پذیرفته شده و نحوه سرویس‌دهی آنها و با استفاده از الگوریتم سیستم کلونی مورچگان، مسیر و زمان‌بندی اعضای کادر درمان تعیین شد. در پایان، برای بهبود بهترین جواب به‌دست آمده در فاز پیشین از روش جست‌وجوی محلی استفاده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد میانگین درصد خطای این روش از حد بالای مسئله در تمامی ابعاد کمتر از ۱۰٪ است که در مدت زمان مناسب، نتایج مطلوبی حاصل شده است. همچنین مطالعه موردی خدمات سلامت مکسا مورد بررسی قرار گرفت. برنامه‌ریزی با به‌کارگیری الگوریتم پیشنهادی باعث شد تا میزان ترجیحات و نارضایتی بیماران و همچنین بهره‌وری کادر درمان نسبت به برنامه دستی مرکز ۳۱٪ بهبود یابد. در پایان، برای تعیین تأثیر قابلیت ارائه غیرحضوری خدمات، تحلیل حساسیتی برروی نمونه مرکز مکسا صورت گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که قابلیت ارائه ویزیت غیرحضوری موجب افزایش بهره‌وری کادر درمان می‌شود. باید توجه داشت که در این پژوهش، بهره‌وری کادر درمان به‌معنای نسبت مجموع زمان‌های سرویس‌دهی بر کل زمان کاری می‌باشد و با توجه به‌اینکه ارائه غیرحضوری زمان سفر کادر درمان را کاهش می‌دهد، اعضای کادر درمان می‌توانند زمان بیشتری را برای سرویس‌دهی بیماران صرف کنند. این درحالی است که ارائه غیرحضوری می‌تواند مزیت‌های بیشتری مانند کاهش ویزیت‌های اورژانسی و سرپایی، بستری طولانی مدت در بیمارستان‌ها و افزایش دسترسی بیمار به خدمات داشته باشد. در نتیجه، امکان ارائه ویزیت غیرحضوری می‌تواند در کنار بهبود بهره‌وری کادردرمان، رضایت بیماران را افزایش دهد. همچنین برای مجموعه‌های درمانی که شامل چند مرکز هستند (مانند مجموعه مکسا) این قابلیت می‌تواند امکان بهره‌گیری کادر درمان یک مرکز توسط سایر مراکز را فراهم کند. بنابراین می‌توان بهینه‌سازی یکپارچه‌ای را برای کلیه مراکز انجام داد.

برای نزدیک شدن بیشتر مساله به‌دنیای واقعی و افزایش کارایی پژوهش‌های آینده، می‌توان سرویس‌هایی که در هنگام ارائه به بیش از یک عضو کادر درمان نیاز دارند را مورد بررسی قرار داد. همچنین، مسئله می‌تواند به‌صورت چندمرکزی در نظر گرفته شود. برنامه‌ریزی یکپارچه مراکز نیز می‌تواند عملکرد آنها را بهبود دهد.

تقدیروتشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر خود را از مدیریت و کارکنان مرکز سلامت مکسا که ما را در انجام این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

پانوشت‌ها

1. Homecare
2. Home Healthcare
3. Telehealth Or Telemedicine
4. Branch And Price
5. Adaptive Large Neighborhood Search
6. Ant Colony Optimization (ACO)
7. Local Search
8. Artificial Ant
9. Local Pheromone Update
10. Global Pheromone Update
11. Rescheduling

منابع (References)

1. https://www.worldometer.info/demographics/life-expectancy/ 2021.
2. Braekers, K., Hartl, R.F., Parragh, S.N., and 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*, pp.428-443. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.07.028.
3. https://behdasht.gov.ir/news-special/Activity-850-homehealth-care-centers-across -the-country. 2021. [In Persian].
4. Tarricone, R., and Tsouros, A.D., 2008. Home care in Europe: the solid facts. WHO Regional Office Europe.
5. Guericke, D., 2016. Routing and scheduling for home care services: solution approaches for static and dynamic settings. Universität Paderborn, Fakult t für Wirtschaftswissenschaften.
6. Emily Prieto, M., 2008. *Home Health Care Provider: A Guide To Essential Skills*. Springer Publishing Company.
7. Yalçindag, S., Matta, A. and Sahin, E., 2011. Human resource scheduling and routing problem in home health care context: A literature review. *ORAHS/Cardiff, United Kingdom*, *14*, pp.1-22.
8. Rasmussen, M.S., Justesen, T., Dohn, A. and Larsen, J., 2012. The home care crew scheduling problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies. *European Journal of Operational Research*, *219*, pp.598-610. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.10.048.
9. Kandakoglu, A., Sauré, A., Michalowski, W., Aquino, M., Graham, J. and McCormick, B., 2020. A decision support system for home dialysis visit scheduling and nurse routing. *Decision Support Systems*, *130*, pp.113224. https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113224.

10. Holm, S.G. and Angelsen, R.O., 2014. A descriptive retrospective study of time consumption in home care services: How do employees use their working time?. *BMC Health Services Research*, *14*, pp. 1-10. https://doi.org/10.1186/1472-6963-14-439.
11. Bard, J.F., Shao, Y. and Wang, H., 2013. Weekly scheduling models for traveling therapists. *Socio-Economic Planning Sciences*, *47*, pp.191-204. https://doi.org/10.1016/j.seps.2012.07.001.
12. Eveborn, P., Flisberg, P. and Rönnqvist, M., 2006. Laps Care-an operational system for staff planning of home care. *European Journal of Operational Research*, *171*, pp.962-976. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.01.011.
13. Srivastava, S., Pant, M., Abraham, A. and Agrawal, N., 2015. The technological growth in eHealth services. *Computational And Mathematical Methods In Medicine*, *1*, pp.1-18. https://doi.org/10.1155/2015/894171.
14. Gajarawala, S.N. and Pelkowski, J.N., 2020. Telehealth Benefits and Barriers. *The Journal for Nurse Practitioners*, *17*(2), pp. 218-221. https://doi.org/10.1016/j.nurpra.2020.09.013.
15. Fikar, C. and Hirsch, P., 2017. Home health care routing and scheduling: A review. *Computers & Operations Research*, *77*, pp.86-95. https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.07.019.
16. Grieco, L., Utley, M. and Crowe, S., 2021. Operational research applied to decisions in home health care: A systematic literature review. *Journal of the Operational Research Society*, *72*, pp. 1960-1991. https://doi.org/10.1080/01605682.2020.1750311.
17. Trautsamwieser, A. and Hirsch, P., 2014. A branch-price-and-cut approach for solving the medium-term home health care planning problem. *Networks*, *64*, pp.143-159. https://doi.org/10.1002/net.21566.
18. Wirnitzer, J., Heckmann, I., Meyer, A. and Nickel, S., 2016. Patient-based nurse rostering in home care. *Operations Research For health Care*, *8*, pp.91-102. https://doi.org/10.1016/j.orhc.2015.08.005.
19. Moussavi, S.E., Mahdjoub, M. and Grunder, O., 2019. A matheuristic approach to the integration of worker assignment and vehicle routing problems: Application to home healthcare scheduling. *Expert Systems with Applications*, *125*, pp.317-332. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.02.009.
20. Yang, M., Ni, Y. and Yang, L., 2021. A multi-objective consistent home healthcare routing and scheduling problem in an uncertain environment. *Computers & Industrial Engineering*, *160*, p.107560. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107560.
21. Cappanera, P., Scutellà, M.G., Nervi, F. and Galli, L., 2018. Demand uncertainty in robust Home Care optimization. *Omega*, *80*, pp.95-110. https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.08.012.
22. Spicer, J., 2010. Patient and nurse considerations in home health routing with remote monitoring devices. Department of Industrial and Systems Engineering, University of Arkansas.
23. Nickel, S., Schröder, M. and Steeg, J., 2012. Mid-term and short-term planning support for home health care services. *European Journal of Operational Research*, *219*, pp.574-587. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.10.042.
24. Nazarpour, Z., 2017. The home healthcare routing an assignment problem. *Department of Industrial and Systems Engineering*, Isfahan University of Technology. [In Persian].
25. Heching, A., Hooker, J.N. and Kimura, R., 2019. A logic-based benders approach to home healthcare delivery. *Transportation Science*, *53*, pp.510-522. https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0830.
26. Grenouilleau, F., Legrain, A., Lahrichi, N. and Rousseau, L.M., 2019. A set partitioning heuristic for the home health care routing and scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, *275*, pp.295-303. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.11.025.
27. Grenouilleau, F., Lahrichi, N. and Rousseau, L.-M., 2020. New decomposition methods for home care scheduling with predefined visits. *Computers & Operations Research*, *115*, pp.104855. https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.104855.
28. Cinar, A., Salman, F.S. and Bozkaya, B., 2021. Prioritized single nurse routing and scheduling for home healthcare services. *European Journal of Operational Research*, *289*, pp.867-878. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.07.009.
29. Deneubourg, J.L., Aron, S., Goss, S. and Pasteels, J.M., 1990. The self-organizing exploratory pattern of the argentine ant. *Journal of Insect Behavior*, *3*, pp.159-168. https://doi.org/10.1007/bf01417909.