

پذیرش بیمار و مسیریابی خدمات سلامت در منزل با در نظر گرفتن ویزیت حضوری و غیر حضوری (مطالعه موردی: مرکز کنترل و درمان بیماری‌های سرطانی مکسا)

محسن توکلی^۱، مهدی ایرانپور^۲، مهدی مهنام^{۳*} و^۴

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، mohsentavakoli@in.iut.ac.ir

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، iranpoor@iut.ac.ir

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، m.mahnam@iut.ac.ir

^۴ گروه پژوهشی بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری هوشمند در سیستم‌های سلامت، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

چکیده فارسی:

در سال‌های اخیر، ارائه خدمات سلامت در منزل و ارائه خدمات غیر حضوری رشد چشم‌گیری داشته‌اند. در این پژوهش، یک رویکرد یکپارچه جهت تصمیم‌گیری برای پذیرش بیماران، نحوه ارائه خدمات به صورت حضوری و غیر حضوری، 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، بهینه‌سازی ترجیحات بیماران برای شیوه دریافت خدمت، بهره‌وری کادر درمان و کمینه‌سازی ناراضیاتی 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 نشان می‌دهد که برنامه الگوریتم پیشنهادی می‌تواند شاخص‌های ترجیحات و ناراضیاتی بیماران و بهره‌وری کادر درمان را در مجموع ۳۱٪ بهبود دهد.

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

Patient admission and routing in home healthcare services considering in-person and remote visits (case study: Maxa Cancer Control Center)

Abstract:

The aging of the societies, social changes, medical advances, and high in-person treatment costs have increased the demand for home healthcare services. Additionally, the development of communication technology has led to the advent of the remote health systems which have benefits for caregivers and patients. In this study, we propose an integrated approach to decide on patient admission, the service types (in person or remote), patient assignment to treatment staff, and routing and scheduling of caregivers. It is assumed that, if a patient is admitted, all their requested visits must be provided. During planning horizon, patients can receive multiple visits of various types of services. However, during a single day, each patient can be visited at most once during their time window. Each treatment staff starts (ends) the routes from (to) the healthcare center, and the telehealth service is carried out from the center. Each caregiver has specific work schedules and skills. The objective is to maximize the patients' preferences and efficiency of treatment staffs as well as minimizing the patients' dissatisfaction in terms of visit day and treatment staff changes. A three-phased algorithm is developed: First, a relaxed model decides on the patient admission, the service types, and assigning patients to treatment staffs. Second, an ant colony system (ACS) determines the routing and scheduling of the staffs based on the output of the first phase. Finally, a local search is used to improve the best-known plan. To evaluate the proposed method, we use the obtained upper bound of the first phase. The computational time is considered to be at most 10 minutes. Numerical results on benchmark data show that, for all instances, the average gap between the best-found solutions and their corresponding upper bounds is less than 10%. Finally, a case study on the Macsa healthcare center is presented. According to the results, the proposed plans can improve their patient satisfaction and efficiency of treatment staffs about 31%.

Keywords: Home health care, Treatment staff routing and scheduling, Telehealth, Ant colony optimization

[۱]. این به معنای 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

۱- مقدمه

در چند دهه گذشته امید به زندگی در کشورهای در حال توسعه به شدت افزایش یافته است. به گونه‌ای که از ۴۷ سال در ۱۹۵۰ به ۷۳.۲ سال در ۲۰۲۰ رسیده است. در ایران نیز امید به زندگی در همین بازه زمانی از ۴۰/۶ به ۷۷/۳ سال افزایش یافته است

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 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 تقاضای در حال رشد در مراکز ارائه‌دهنده خدمات سلامت در منزل، نیاز به بهینه‌سازی فعالیت‌ها به منظور پاسخگویی مناسب به متقاضیان، افزایش رضایت بیماران و کادر درمان و همچنین کاهش هزینه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. این در حالی است که این مراکز اغلب تخصیص بیمار به کادر درمان و زمان‌بندی و مسیربایی کادر درمان را، با وجود پیچیدگی بالا [۸]، به صورت دستی انجام می‌دهند که لازمه آن تلاش‌های زیاد سازمانی با صرف زمان فراوان می‌باشد در حالی که راه‌حل‌های مطلوبی ایجاد نمی‌شود. بدین منظور تحقیقات گسترده‌ای در دهه‌های اخیر جهت بهبود فعالیت‌های این گونه مراکز صورت گرفته است. به عنوان نمونه، کنداک‌اگلو 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 به ترتیب 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. به علاوه در تحقیقی دیگر بارد و همکاران [۱۱] کاهش ۱۸ درصدی هزینه‌ها را در مقایسه با برنامه‌ریزی دستی، و اوبورن و همکاران [۱۲] صرفه‌جویی ۷٪ در کل زمان کار و ۲۰٪ در کل زمان سفر را گزارش کرده‌اند. بهبود حاصل شده در این پژوهش‌ها نشان‌دهنده میزان تاثیر بهینه‌سازی تصمیمات موجود در این حوزه می‌باشد.

از طرف دیگر، در سالیان اخیر استفاده از فن‌آوری ارتباطات نقش اساسی در ارائه خدمات سلامت در منزل داشته که بحث

خدمات سلامت از راه دور^۳ را مطرح کرده است. به‌کارگیری این فن‌آوری‌ها نقشی اساسی در افزایش کیفیت، تنوع و سهولت ارائه خدمات مراقبتی و درمانی ایفا می‌نماید [۱۳]. این نوع خدمات به شیوه‌های 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 ویژگی‌های غیر ضروری (اورژانسی و سرپایی) و بستری طولانی مدت در بیمارستان‌ها را کاهش دهد. در نتیجه، سلامت از راه دور کارایی 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 مسیربایی و زمان‌بندی کادر درمان در حوزه خدمات سلامت در منزل در نظر گرفته می‌شود. در مسئله مورد بررسی، پذیرش بیماران برای بعضی از سرویس‌ها به شکل حضوری و برای بعضی دیگر به دو شکل حضوری و غیر حضوری امکان‌پذیر است که باعث می‌شود مسئله به دنیای 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 به صورت سخت در نظر گرفته می‌شود. از دیگر مواردی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته، بحث تداوم مراقبت بین بیماران و کادر درمان به منظور ایجاد رابطه مناسب بین بیمار و کادر درمان می‌باشد. این ویژگی نیز به مانند تغییر روز ویزیت به صورت ترکیبی بررسی شده است. بدین ترتیب در مدل مسئله برای بعضی از سرویس‌ها محدودیت مربوطه به صورت سخت مدنظر قرار گرفته 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 به عنوان نارضایتی بیماران در تابع هدف در نظر گرفته می‌شود.

ساختار مقاله در ادامه به شرح 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.

مطالعات انجام گرفته در زمینه زمان بندی و مسیریابی خدمات سلامت در منزل را می توان از منظر افق زمانی به دو دسته کلی تحقیقات با افق تک دوره ای و افق چند دوره ای تقسیم کرد. در دسته اول مطالعات، برنامه ریزی برای تنها یک روز کاری انجام می شود در حالی که در دسته دوم یک افق چند دوره ای (معمولاً یک هفته) مدنظر قرار می گیرد. پژوهش حاضر به زمان بندی و مسیریابی در افق چند دوره ای اختصاص دارد، و به همین جهت به مرور مطالعات این دسته می پردازد. خوانندگان علاقه مند به مطالعات با افق زمانی تک دوره ای را به بخش سوم مقاله مروری فیکار و هیرچ [۱۵] و همچنین مقاله مروری گریه کو و همکاران [۱۶] ارجاع می دهیم.

در میان مطالعات چند دوره ای، تعدادی فرض کرده اند که روز (های) ویزیت هر بیمار از قبل مشخص است. بارد و همکاران [۱۱] مسیر حرکت و برنامه زمانی ویزیت های هر درمانگر را با داشتن روز و زمان دقیق ویزیت هر بیمار برای یک هفته تعیین کردند. ایشان ساختار غیرخطی هزینه های حمل و نقل و اضافه کاری را در نظر گرفتند ولی به بحث تداوم مراقبت توجهی نداشتند. تراتسام ویه چر و هیرچ [۱۷] مسئله تخصیص پرستاران و زمان بندی ویزیت بیماران را مجدداً با در نظر گرفتن اطلاع قبلی از روزهای ویزیت ولی با فرض یک پنجره زمانی ثابت در طول افق برنامه ریزی برای هر بیمار مطالعه کرده اند. ایشان همچنین محدودیت ساعات کاری و استراحت های الزامی پرستاران را مورد نظر قرار داده اند. در این مطالعه، یک الگوریتم شاخه و قیمت^۴ و یک روش فرا ابتکاری جستجوی همسایگی متغیر برای حداقل سازی مجموع زمان کاری پرستاران ارائه شده است. ویزینتر و همکاران [۱۸] مسئله شیفت بندی و تخصیص پرستاران به تورهای از پیش تعیین شده ویزیت بیماران در منزل را با هدف حداکثر سازی 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 زمان بندی نیست. موسوی و همکاران [۱۹] مسئله تخصیص پرستاران و مسیریابی حرکت آن ها را با فرض اطلاع از زمان و روز دقیق ویزیت ها به صورت ترکیب دو مسئله مسیریابی وسیله نقلیه و تخصیص تعمیم یافته با هدف حداقل سازی مسافت پیموده شده مدل سازی نمودند. در این مطالعه، هر روز به تعدادی دوره تقسیم و فرض شده که فاصله زمانی بین دو بیمار برابر یک دوره است. ایشان یک روش ابتکاری مبتنی بر تجزیه مدل ریاضی برای حل مسئله ارائه دادند. یانگ و همکاران [۲۰] مسئله تخصیص ویزیت به پرستار و تعیین مسیر و زمان ویزیت هر بیمار را با در نظر گرفتن شاخص های تداوم مراقبت، تأخیر در انجام ویزیت، هزینه های جابجایی و تعادل بار کاری پرسنل بررسی کردند. ایشان فرض کرده اند که روزهای دریافت ویزیت برای هر بیمار همچنان از قبل

مشخص بوده و هر بیمار باید حتی الامکان در زمان ثابت و از پیش تعیین شده ای 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 کرده اند.

در مقابل، بسیاری از پژوهش های اخیر، به تعیین همزمان روز (های) ویزیت و تخصیص پرستار پرداخته اند. کاپانه را و همکاران [۲۱] مسئله تخصیص پرستار، تعیین روزهای ویزیت و زمان بندی ویزیت بیماران را با هدف بهینه سازی تعادل بارکاری پرستاران بررسی کردند. آن ها برای رعایت تداوم مراقبت، تعداد پرستاران مختلفی که ویزیت های یک بیمار را انجام می دهند را محدود کردند. همچنین، این مطالعه عدم قطعیت در تقاضا را در نظر گرفته و از رویکرد بهینه سازی استوار برای حل مسئله استفاده کرده است. اسپایسر [۲۲] در مسئله خود ویزیت حضوری و غیرحضوری را در نظر گرفت. در این پژوهش بیمار یا به پرستار تخصیص می یابد (ویزیت حضوری) یا توسط دستگاه های کنترل از راه دور (مانند فشارسنج یا اکسیژن سنج) ویزیت می شود (ویزیت غیرحضوری). هدف از این پژوهش بهینه کردن بار کاری پرستاران، کاهش هزینه جابجایی و افزایش تداوم مراقبت می باشد.

در سال های اخیر، تعدادی از پژوهشگران مسئله پذیرش و برنامه ریزی ویزیت ها را به صورت یکپارچه در نظر گرفته اند. نیکل و همکاران [۲۳] مسائل تعیین شیفت ویزیت، زمان بندی و مسیریابی خدمات مراقبت درمانی در منزل را با در نظر گرفتن پنجره های زمانی ثابت برای هر بیمار بررسی کرده اند. تابع هدف مسئله، کمینه کردن کل مسافت طی شده توسط پرستاران، جریمه ویزیت های انجام نشده و اضافه کاری و تعداد پرستارانی که یک بیمار را ویزیت می کنند، است. ایشان با استفاده از برنامه ریزی محدودیت ها یک جواب اولیه برای مسئله یافته و با استفاده از جستجوی محلی بزرگ تطبیقی^۵ آن را بهبود دادند. نظریور [۲۴] مسئله تخصیص پرستار، تعیین روز و زمان ویزیت هر بیمار را با هدف حداقل سازی مجموع هزینه های تأخیر در روز ویزیت، تعجیل و تأخیر نسبت به پنجره زمانی مورد نظر بیمار و همچنین تخصیص پرستار نامطلوب مطالعه کردند. ایشان همچنین نسخه پویای مسئله را که در آن تعدادی از ویزیت ها لغو و تعدادی درخواست ویزیت جدید وارد مسئله شده است را بررسی کردند. در حالت اخیر، جریمه عدم انجام ویزیت های جدید در نظر گرفته شده است. در هر دو مسئله، هر بیمار در طول افق برنامه ریزی (در صورت پذیرش) یک بار ویزیت می شود. در این مطالعه، دو الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی همسایگی متغیر و جستجوی همسایگی متغیر تطبیقی طراحی شده است. هچینگ و همکاران [۲۵] مسئله تخصیص پرستار به بیمار و تعیین روزها و زمان ویزیت

هر بیمار در هر روز 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 منطبق 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 در نظر گرفتند. علاوه بر این، تابع هدف مسئله در بر گیرنده تخصیص پرستار مطلوب بیمار، هزینه‌های اضافه‌کاری و بیکاری کادر درمان و همچنین طول تورها است. ایشان از ترکیب جستجوی همسایگی بزرگ و فرموله‌بندی افزاز 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 منطبق 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.

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 به همراه ترجیح دریافت سرویس (به صورت حضوری یا غیرحضوری) برای بیماران در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به اینکه 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 به صورت ترکیبی لحاظ شده است؛ به این معنی که

برای برخی از انواع سرویس‌ها تداوم مراقبت الزامی و برای برخی مطلوب است. به علاوه، این مطالعه به صورت یکپارچه تصمیمات مبتنی بر پذیرش بیمار، تعیین روزهای ویزیت، مسیریابی و زمان‌بندی را در نظر می‌گیرد. همچنین، در این مطالعه به ترجیحات بیماران در مورد روز ویزیت و نحوه ارائه سرویس توجه شده است. به علاوه، پنجره‌های زمانی بیمار و پرستار و همچنین بهره‌وری کادر درمان مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای حل مسئله نیز یک الگوریتم فرا ابتکاری 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 به عنوان شاخص کیفی جواب‌ها در اختیار قرار می‌دهد. در مرحله دوم از جواب مدل آزاد شده برای اجرای الگوریتم سیستم کلونی مورچگان به کار گرفته می‌شود. در نهایت از یک الگوریتم جست و جوی محلی برای بهبود جواب استفاده شده است.

جدول ۱: مقایسه ویژگی‌های پژوهش‌های پیشین با مطالعه حاضر

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

۳- مدل ریاضی

برای فرمول‌بندی مساله از یک مدل عدد صحیح مختلط با افق برنامه‌ریزی چند روزه استفاده شده است. در این فرمول‌بندی مجموعه I_1 که با اندیس‌های i, j, I_1 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 به صورت 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 زیر مجموعه S_1 ، S_2 و S_3 افزای می‌شود. S_1 شامل سرویس‌هایی است که در آن تغییر پرستار مجاز نبوده (کادر-ثابت) ولی امکان تغییر روز ویزیت وجود دارد (روز-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-متغیر، کادر-متغیر)، و تنها به صورت حضوری ارائه می‌شوند (مانند خدمات توانبخشی). همچنین S_3 مجموعه سرویس‌هایی است که تغییر پرستار مجاز بوده (کادر-متغیر) ولی امکان تغییر در روز ویزیت وجود ندارد (روز-ثابت) و به صورت 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. پارامتر باینری است، و در صورتی مقدار یک می‌گیرد که بیمار i برای k امین ویزیت مربوط به سرویس S در روز d درخواست ویزیت داده باشد. پارامتر μ_{iks} نمایانگر روز ارائه k امین 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} به ترتیب بیانگر میزان ترجیحات بیمار i برای دریافت سرویس S به صورت 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 صورتی که روز d برای کادر درمان n روزکاری 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 j هم 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 به عبارات تابع هدف و M به عنوان عدد صحیح بزرگ استفاده شده‌اند.

در ادامه متغیرهای مدل ارائه شده به صورت زیر تعریف شده‌اند:
 z_i : متغیر باینری؛ ۱ اگر بیمار i برای خدمت‌دهی پذیرش شود.

z_{is}^a : متغیر باینری؛ ۱ اگر سرویس S برای بیمار i به صورت حضوری ارائه شود.

z_{is}^t : متغیر باینری؛ ۱ اگر سرویس S برای بیمار i به صورت غیرحضوری ارائه شود.

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

y_{iks}^{cd} : متغیر باینری؛ ۱ اگر بیمار i برای k امین 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 k امین ویزیت مربوط به سرویس S

v_{iks} : متغیر صحیح نامنفی؛ اختلاف روز بین روز ویزیت درخواستی بیمار i برای k امین ویزیت سرویس S با روز ویزیت صورت گرفته از طرف مرکز

u_{iks} : متغیر باینری؛ ۱ در صورتی که تغییر پرستار برای k امین ویزیت سرویس S بیمار i اتفاق بیافتد.

در نهایت، مدل ریاضی مسئله به شکل زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Max } & w_1 \sum_{i \in I_2} \sum_{s \in S_2} (pa_{is} z_{is}^a) + w_2 \sum_{i \in I_2} \sum_{s \in S_2} (pt_{is} z_{is}^t) \quad (1) \\ & + w_3 \left(\sum_{c=1}^{|N|} \sum_{d=1}^{|H|} \frac{\sum_{i=1}^{|I|} \sum_{k=1}^{\kappa_{is}} \sum_{s=1}^{|S|} \tau_s y_{iks}^{cd}}{b_{cd} - a_{cd}} \right) \\ & - w_4 \left(\sum_{i=1}^{|I|} \sum_{k=1}^{\kappa_{is}} \sum_{s \in S_2 \cup S_3} \rho_{is} v_{iks} \right) \\ & - w_5 \left(\sum_{i=1}^{|I|} \sum_{k=2}^{\kappa_{is}} \sum_{s \in S_3 \cup S_4} \pi_i u_{iks} \right) \end{aligned}$$

Subject to:

$$\sum_{j \in I \setminus \{0\}} x_{0j}^{cd} \leq \alpha_{cd} \quad ; \forall c \in N, d \in H \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I \setminus \{0\}} x_{i0}^{cd} \leq \alpha_{cd} \quad ; \forall c \in N, d \in H \quad (3)$$

$$\sum_{s=1}^{|S|} \sum_{k=1}^{\kappa_{is}} \sum_{c=1}^{|N|} y_{iks}^{cd} \leq 1 \quad ; \forall i \in I_1, d \in H \quad (4)$$

$$\sum_{c=1}^{|N|} \sum_{d=1}^{|H|} y_{iks}^{cd} \leq 1 \quad ; \forall i \in I_1, k \in K_{is}, s \in S_1 \quad (5)$$

$$\sum_{c=1}^{|N|} y_{i(k+1)s}^{cd} \leq \sum_{c=1}^{|N|} \sum_{h=1}^{|d|-1} y_{iks}^{ch} \quad (6)$$

$$; \forall i \in I_1, k \in K_{is} \setminus \{\kappa_{is}\}, s \in S_1, d \in H$$

$$\sum_{d=1}^{|H|} \sum_{k=1}^{\kappa_{is}} \sum_{s=1}^{|S|} \sum_{c=1}^{|N|} y_{iks}^{cd} = \left(\sum_{d=1}^{|H|} \sum_{k=1}^{\kappa_{is}} \sum_{s=1}^{|S|} r_{iks}^d \right) z_i \quad ; \forall i \in I_1 \quad (7)$$

$$z_{is}^a + z_{is}^t = z_i \sum_{d=1}^{|H|} r_{is}^d \quad ; \forall i \in I_2, s \in S_2 \theta \quad (8)$$

$$\sum_{d=1}^{|H|} y_{iks}^{cd} = \sum_{d=1}^{|H|} y_{i(k-1)s}^{cd}; \quad (25)$$

$$\forall i \in I_1, s \in S_2, k \in K_{is} \setminus \{1\}, c \in N$$

$$u_{iks} \geq 1 - M \left(2 - y_{iks}^{cd} - y_{i(k-1)s}^{nh} \right); \forall i \in I_1, s \in S_3 \quad (26)$$

$$\cup S_4, k \in K_{is} \setminus \{1\}, c \neq n \in N, d, h \in H, d < h$$

$$y_{iks}^{cd}, x_{ij}^{cd}, z_i, z_{a_{is}}, u_{iks} \in \{0, 1\}; \quad (27)$$

$$\forall i, j \in I_1, k \in K_{is}, s \in S_1, c \in N, d \in H$$

$$z_{is} \in \{0, 1\}; \forall i \in I_2, s \in S_1 \quad (28)$$

$$v_{iks} \in Z^+, T_{iks} \geq 0; \forall i \in I_1, k \in K_{is}, s \in S_1 \quad (29)$$

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 باز گردد. بر 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 به رعایت 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 در صورت 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 به بیمار 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، رابطه بین زمان‌های شروع سرویس را برای دو بیماری که به صورت متوالی توسط یک عضو کادر درمان خدمت‌دهی می‌شوند، بیان می‌کنند. محدودیت (۱۷) بیان می‌کند که برای سرویس‌های روز-ثابت امکان تغییر روز ویزیت وجود ندارد. همچنین محدودیت (۱۸) تغییرات روز ویزیت را برای سرویس‌های روز-متغیر محاسبه می‌کند. محدودیت‌های (۱۹) تا (۲۲) بیان می‌کند هر یک از اعضای کادر

$$z_{is}^a = z_i \sum_{d=1}^{|H|} r_{i1s}^d; \quad (9)$$

$$\forall (i, s) | \{ (i \in I_1 \text{ and } s \in S_1 \setminus S_2) \text{ or } (i \in I_1 \setminus I_2) \}$$

$$\sum_{k=1}^{K_{is}} \sum_{s=1}^{|S|} y_{jks}^{cd} = \sum_{i \in I, i \neq j} x_{ij}^{cd}; \forall j \in I_1, d \in H, c \in N \quad (10)$$

$$\sum_{c=1}^{|N|} \sum_{d \geq \mu_{iks} - \delta_{is}}^{\mu_{iks} + \delta_{is}} q_{cs} \theta_{icd} y_{iks}^{cd} \leq z_i; \forall i \in I_1, k \in K_{is}, s \in S_1 \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I, i \neq j} x_{ij}^{cd} = \sum_{i \in I, i \neq j} x_{ji}^{cd}; \forall j \in I_1, c \in N, d \in H \quad (12)$$

$$T_{iks} + \tau_s + t_{ij} \leq T_{jmo} - M \left(5 - x_{ij}^{cd} - y_{iks}^{cd} - y_{jmo}^{cd} - \right) \quad (13)$$

$$z_{is}^a - z_{jo}^a) \quad \forall i, j \in I_1, d \in H, c \in N, k \in K_{is},$$

$$m \in K_{jo}, s, o \in S_1, d \geq k, d \geq m$$

$$T_{iks} + \tau_s + t_{i0} \leq T_{jmo} - M \left(5 - x_{ij}^{cd} - y_{iks}^{cd} - y_{jmo}^{cd} - z_{is}^a - z_{jo}^a \right) \quad (14)$$

$$-z_{is}^a - z_{jo}^a) \quad \forall i \in I_1, j \in I_2, d \in H, c \in N, k \in K_{is},$$

$$m \in K_{jo}, s \in S_1, o \in S_2, d \geq k, d \geq m$$

$$T_{iks} + \tau_s + t_{0j} \leq T_{jmo} - M \left(5 - x_{ij}^{cd} - y_{iks}^{cd} - y_{jmo}^{cd} \right) \quad (15)$$

$$z_{is}^a - z_{jo}^a), \quad \forall i \in I_2, j \in I_1, d \in H, c \in N, k \in K_{is},$$

$$m \in K_{jo}, s \in S_2, o \in S_1, d \geq k, d \geq m$$

$$T_{iks} + \tau_s \leq T_{jmo} - M \left(5 - x_{ij}^{cd} - y_{iks}^{cd} - y_{jmo}^{cd} - z_{is}^a \right) \quad (16)$$

$$-z_{jo}^a), \quad \forall i, j \in I_1, d \in H, c \in N, k \in K_{is},$$

$$m \in K_{jo}, s, o \in S_2, d \geq k, d \geq m$$

$$z_i r_{iks}^d = \sum_{c=1}^{|N|} y_{iks}^{cd}; \forall i \in I_1, k \in K_{is}, s \in S_4, d \in H \quad (17)$$

$$v_{isk} \geq |d - h| - M \left(2 - r_{iks}^h - \sum_{c=1}^{|N|} y_{iks}^{cd} \right); \forall i \in I_1, \quad (18)$$

$$h, h - \delta_{is} \leq d \leq h + \delta_{is} \in H, s \in S_2 \cup S_3, k \in K_{is}$$

$$a_{cd} + t_{0i} - M \left(3 - y_{iks}^{cd} - x_{0i}^{cd} - z_{is}^a \right) \leq T_{iks} \quad (19)$$

$$\forall i \in I_2, d \in H, s \in S_2, k \in K_{is}, c \in N$$

$$a_{cd} - M \left(3 - y_{iks}^{cd} - x_{0i}^{cd} - z_{is}^a \right) \leq T_{iks} \quad (20)$$

$$\forall i \in I_2, d \in H, s \in S_2, k \in K_{is}, c \in N$$

$$b_{cd} - \tau_s - t_{i0} + M \left(3 - y_{iks}^{cd} - x_{i0}^{cd} - z_{is}^a \right) \geq T_{iks} \quad (21)$$

$$\forall i \in I_1, d \in H, s \in S_1, k \in K_{is}, c \in N$$

$$b_{cd} - \tau_s + M \left(3 - y_{iks}^{cd} - x_{i0}^{cd} - z_{is}^a \right) \geq T_{iks} \quad (22)$$

$$\forall i \in I_2, d \in H, s \in S_2, k \in K_{is}, c \in N$$

$$\sum_{c=1}^{|N|} \sum_{d \geq \mu_{iks} - \delta_{is}}^{\mu_{iks} + \delta_{is}} e_{id} y_{iks}^{cd} \leq T_{iks}; \quad (23)$$

$$\forall i \in I_1, s \in S_1, k \in K_{is} \setminus \{1\}, c \in N$$

$$\sum_{c=1}^{|N|} \sum_{d \geq \mu_{iks} - \delta_{is}}^{\mu_{iks} + \delta_{is}} (l_{id} - \tau_s) y_{iks}^{cd} \leq T_{iks}; \quad (24)$$

$$\forall i \in I_1, s \in S_1, k \in K_{is} \setminus \{1\}, c \in N$$

فاز سوم: اجرا کردن الگوریتم جست‌وجوی محلی^۷ بر روی بهترین جواب به دست آمده از فاز دوم

۴-۲ فاز اول: مدل آزاد شده

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

$$b_{cd} - a_{cd} \geq \sum_{i=1}^{|I_i|} \sum_{k=1}^{\kappa_{is}} \sum_{s=1}^{|S_i|} y_{iks}^{cd}(\tau_s) \quad \forall c \in N, d \in H \quad (30)$$

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 به عنوان حد بالا استفاده خواهد شد.

۴-۳ فاز دوم: الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان

پس از حل مدل آزاد شده و مشخص شدن بیماران پذیرفته‌شده 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 گرفته است. 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 کلونی مورچه‌های مصنوعی^۸ به منظور حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴-۳-۱- 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 این صورت است که هر مورچه با شروع از گره مبدأ و عبور از گام‌های مشخص جواب جدیدی را می‌سازد. در هر گره مورچه‌ها اطلاعات محلی ذخیره شده در گره 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

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-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 سه‌فازی ترکیبی مبتنی بر مدل ریاضی و روش فرا ابتکاری بهینه‌سازی کلونی مورچگان^۶ (ACO) توسعه داده شده است. با توجه به اینکه مدل مسئله از نوع بهینه‌سازی می‌باشد، برای ارزیابی جواب رویکرد حل پیشنهادی از حد بالای به دست آمده از مدل آزاد شده استفاده می‌شود. حد بالا از حل یک مدل آزاد شده با تابع هدف بهینه‌سازی ارائه می‌شود که در آن برخی متغیرها و محدودیت‌ها حذف و برخی از محدودیت‌ها به صورت آزاد شده در نظر گرفته 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 در نظر گرفته نشده و در نتیجه تخصیص بیمار به کادر درمان صرف نظر 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 (حضور یا غیرحضور) و تخصیص بیمار به کادر درمان تعیین می‌گردد. با توجه به اینکه تابع هدف اصلی مستقل از متغیرهای حذفی در مدل آزاد شده است، تابع هدف بدون تغییر باقی می‌ماند. در نتیجه مقدار تابع هدف مدل آزاد شده یک حد بالا برای مسئله ارائه می‌کند.

مراحل کلی رویکرد پیشنهادی به صورت زیر است:

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

سرویس‌دهی به آنها و همچنین به دست آوردن حد بالا.

فاز دوم: اجرای الگوریتم ACO بر روی بیماران پذیرفته شده در

فاز اول و مسیره‌دهی و زمان‌بندی فعالیتها

T تشکیل شده است که پارامترهای دنباله فرومون نامیده می‌شود. پارامترهای دنباله فرومون $T_i \in T$ که معمولاً به اجزای جواب مرتبطانند دارای مقادیر τ_i هستند که مقادیر فرومونی نامیده می‌شود. در ابتدای فرایند جست‌وجو، یک مقدار فرومون ثابت (مثلاً $\tau_{ij} = 1$) به همه یال‌ها تخصیص داده می‌شود. گره بعدی برای حرکت مورچه k ام ($k \in K$) در گره 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_0 بزرگ‌تر نبود، آنگاه اندیس گره بعدی J از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$j = \arg(\max\{l \in N_i^k \mid \tau_{il} (\eta_{il})^\beta\}) \quad (31)$$

در غیر این صورت، گره بعدی J از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} (\tau_{il})^\alpha (\eta_{il})^\beta}, & j \in N_i^k \\ 0, & j \notin N_i^k \end{cases} \quad (32)$$

که در این رابطه η_{ij} اطلاعات ابتکاری میان گره‌های i و j است. همچنین α و β نیز دو شاخص تعیین کننده تاثیر 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 به‌هنگام‌سازی فرومون‌ها استفاده می‌شود:

- به‌هنگام‌رسانی فرومون محلی^۹: هر بار که مورچه‌ای از یال (i, j) عبور می‌کند، اولاً مقداری فرومون بر روی آن یال برجای می‌گذارد و ثانیاً مقداری از فرومون آن یال به بدن او می‌چسبید. در نتیجه، بر اساس رابطه زیر، میزان فرومون آن یال به‌هنگام‌رسانی می‌شود:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \xi) \tau_{ij} + \xi \tau_0 \quad (33)$$

که در رابطه بالا ξ شاخصی بین صفر و یک بوده، و τ_0 مقدار فرومون اولیه هر یال است.

- به‌هنگام‌رسانی فرومون سراسری^{۱۰}: در این روش تنها فرومون یال‌های متناظر با بهترین جوابی که تا به حال به دست آمده است از طریق رابطه زیر افزایش می‌یابد:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{ij} + \rho \Delta \tau_{ij}^{bs}; \forall (i, j) \in T^{bs} \quad (34)$$

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

۴-۳-۲- 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 به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

▪ **گراف مسئله**: گراف پیشنهادی به صورت $G = (V, A)$ در نظر گرفته می‌شود. V مجموعه گره‌های گراف می‌باشد و به صورت $V_1 \cup V_2 \cup \{0\}$ تعریف می‌شود که V_1 مجموعه گره‌های ویزیت بیماران پذیرفته شده در فاز اول، V_2 مجموعه گره‌های کادر درمان و $\{0\}$ نشان دهنده مرکز خدمات می‌باشد. همچنین A ، یال‌های جهت‌دار گراف را تشکیل می‌دهند. برای هر گره 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، چند بار در گراف 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 در نظر 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 به حافظه بسپارند.

▪ **ساخت جواب**: هر مورچه از روز اول افق برنامه‌ریزی شروع به حرکت کرده و با انتخاب یک به یک همه اعضای کادر درمان که روز اول آماده به کار هستند، مسیر روزانه هر یک را مشخص می‌کند و سپس به‌روز بعدی می‌رود. لازم به ذکر 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 بر روی جواب‌های حاصل از روابط (۳۳) و (۳۴) به دست 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 بر اساس کیفیت جواب حاصل شده بوده و به همان صورت رابطه‌های (۳۳) و (۳۴) می‌باشد.

▪ **اطلاعات ابتکاری**: به منظور 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 به صورت نرم بر روی آن‌ها اعمال شده است، با توجه به تداوم مراقبت

بیمار-کادر درمان و میزان ناراضایتی بیمار، میزان امتیاز مشخصی برای ویزیت در نظر گرفته می‌شود. رابطه (۳۵) نحوه محاسبه امتیاز تداوم مراقبت هر ویزیت را نمایش می‌دهد:

$$f(X) = \begin{cases} 0.3 + 0.1X & ; \pi_i = low \\ 0.3 + 0.15X & ; \pi_i = medium \\ 0.3 + 0.2X & ; \pi_i = high \end{cases} \quad (35)$$

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 ناراضایتی بیمار از عدم تداوم مراقبت (تغییر کادر درمان) می‌باشد. بنابراین اگر ناراضایتی بیماری از تغییر کادر درمان زیاد باشد برای حفظ تداوم مراقبت برای این بیمار امتیاز بالاتری در نظر گرفته می‌شود.

۲- روز ترجیحی ویزیت: برای سرویس‌هایی که محدودیت تغییر روز ویزیت به صورت نرم بر روی آن‌ها اعمال شده است، در صورت تغییر روز ویزیت و با توجه به میزان ناراضایتی بیمار، مقدار امتیاز مشخصی برای ویزیت در نظر گرفته می‌شود. این امتیاز براساس رابطه (۳۶) محاسبه می‌شود:

$$f(X) = \begin{cases} 0.9X & ; \rho_{is} = low \\ 0.8X & ; \rho_{is} = medium \\ 0.7X & ; \rho_{is} = high \end{cases} \quad (36)$$

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 نظر گرفته می‌شود.

۳- اولویت‌بندی ویزیت‌ها: این اولویت‌بندی‌ها بر اساس شروع بازه زمانی ویزیت‌ها تعیین می‌شود. برای تعیین اولویت‌ها تمامی ویزیت‌های مجاور دو به دو 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 به ترتیب از شروع و پایان بازه زمانی بیمار ۲ زودتر باشد، بیمار ۱ اولویت بالاتری دارد.

- اگر بیمار ۱ بازه زمانی بلندی داشته باشد، به گونه‌ای که بازه زمانی بیمار ۲ در داخل آن قرار بگیرد و همچنین اختلاف بین پایان بازه زمانی بیمار ۱ و ۲ به اندازه‌ای 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 این صورت اولویت بیمار ۱ بیشتر است.

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

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

این مرحله به ترتیب از گام‌های زیر تشکیل شده است:

- **گام یک:** حرکت مورچه‌ها به صورت 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 دو:** یکی از اعضای کادر درمان مشغول به کار در روز مربوطه، برای تشکیل مسیر روزانه بر اساس مدل فرومونی (رابطه‌های ۳۱ و ۳۲) انتخاب می‌شود.

- **گام سه:** تعیین مجموعه ویزیت‌هایی که محدودیت‌های حداکثر یک ویزیت برای بیمار در هر روز، تداوم مراقبت (برای سرویس‌هایی سخت به صورت محدودیت بر روی آن‌ها اعمال شده) و مهارت کادر درمان انتخابی را نقض نمی‌کنند.

- **گام چهار:** بر روی مجموعه ویزیت‌های تعیین شده در گام 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 پنج:** یکی از گره‌های همسایه بر اساس میزان فرومون و اطلاعات ابتکاری گره‌ها (ویزیت‌ها) از رابطه‌های (۳۱) و (۳۲) انتخاب می‌شود.

- **گام شش:** فرومون محلی برای گره (ویزیت) انتخابی در گام قبلی با استفاده از رابطه (۳۳) بروزرسانی می‌شود.

- **گام هفت:** زمان شروع ویزیت انتخاب شده در گام پنج با در نظر گرفتن مدت زمان سفر بر اساس نحوه سرویس‌دهی (حضور و یا غیرحضور) مشخص می‌شود.

- **گام هشت:** برگشت به گام سه تا زمانی که مجموعه گره‌های همسایه تهی شود.

- **گام نه:** 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 ده:** رفتن به روز 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

– **گام چهارم:** برگشت به گام یک تا زمانی که مجموعه بیماران پذیرش نشده تهی شود.

لازم به ذکر است این مرحله به دلیل 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 d ، C_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_d

تعیین گره‌های همسایه (N_i^k) بر اساس

محدودیت‌های مرحله یک

انتخاب گره بعدی بر اساس رابطه‌های (31,32)

به‌روز رسانی محلی فرمون بر اساس رابطه (33)

مرحله دو

اجرای مراحل زیر برای هر d

اجرای مراحل زیر برای هر C_d

تعیین گره‌های همسایه (N_i^k) بر اساس

محدودیت‌های مرحله دو

انتخاب گره بعدی با رابطه (31)

تعیین I_r و I_a

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 فرمون با رابطه (34)

خروجی: X_{best}

شکل ۱: شبه کد ACS پیشنهادی

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 فرمون سراسری طی می‌شود:

– **گام یک تا ده:** مشابه مرحله اول

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

– **گام دوازده:** تغییرات روز ویزیت و کادر درمان برای بیماران پذیرفته شده محاسبه می‌شود.

– **گام سیزده:** محاسبه تابع هدف جواب برای مورچه فعلی

– **گام چهارده:** شروع حرکت مورچه بعدی، تا زمانی که تمامی مورچه‌ها جواب خود را بسازند.

– **گام پانزده:** بروزرسانی بهترین جوابی که به دست آمده است.

– **گام شانزده:** بروزرسانی فرمون سراسری بر روی ویزیت‌ها (گره‌ها) با استفاده از رابطه (۳۴)، و همچنین ترتیب انتخاب اعضای کادر درمان بهترین جوابی که به دست آمده است.

– **گام هفده:** 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 بر روی این مجموعه صورت می‌پذیرد:

– **گام یک:** یکی از بیماران به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند.

– **گام دو:** ویزیت‌های ارائه نشده برای بیمار انتخابی در گام قبلی تعیین و مکان‌های کاندید، به منظور برنامه‌ریزی این ویزیت‌ها در مسیرهای مرحله دوم مشخص می‌شوند. در صورت پیدا شدن مکان کاندید، ویزیت مورد نظر در آن مکان درج شده و فرمون محلی مربوطه بروزرسانی می‌شود.

– **گام سه:** در صورتی که تمامی ویزیت‌های ارائه نشده قابل برنامه‌ریزی باشند، پذیرش بیمار تکمیل می‌شود. در غیر این صورت، 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.

۴-۶ فاز سوم: الگوریتم جست و جوی محلی

به منظور بهبود بهترین جواب حاصل از دو فاز قبلی، در فاز سوم از الگوریتم جست و جوی محلی استفاده می‌شود. در هر تکرار از الگوریتم جست و جوی محلی پیشنهادی، یک جواب همسایه برای بهترین جواب به دست 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 بیماران که در بهترین جواب پذیرش نشده‌اند، تکمیل می‌گردد. اگر بهبودی در جواب حاصل شد، بهترین جواب بروزسانی می‌شود.

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

- **گام یک:** تشکیل لیست بیماران پذیرش نشده در بهترین جواب به دست آمده از فاز قبلی.
- **گام دو:** انتخاب یکی از بیماران پذیرش نشده از ابتدای لیست.
- **گام سه:** 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 چهار:** هر یک از ویزیت‌ها به اولین مسیر بالقوه (در صورت وجود) تخصیص داده می‌شوند.
- **گام پنج:** برگشت به گام ۲ تا زمانی که تمامی بیماران پذیرش نشده بررسی شوند.

بعد از طی این گام‌ها الگوریتم جست و جوی محلی بر روی بهترین جواب اعمال می‌شود. گام‌های این الگوریتم به صورت زیر است:

- **گام اول:** تعدادی از بیماران پذیرش نشده (لیست بازبایی) به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند.
- **گام دو:** ویزیت‌های ارائه نشده برای یکی از بیماران انتخابی در لیست بازبایی مشخص می‌شوند.
- **گام سه:** مسیرهای بالقوه اعضای کادر درمان برای هر یک از ویزیت‌های پوشش داده نشده بررسی و ویزیت‌های قابل حذف (برای جایگزینی با ویزیت ارائه نشده) تعیین می‌شوند. در صورتی که برای یکی از ویزیت‌ها، مسیری وجود نداشت بیمار از لیست بازبایی حذف می‌شود.
- **گام چهار:** هر یک از ویزیت‌های پوشش داده نشده با ویزیت‌های قابل حذف مربوطه به صورت تصادفی جایگزین می‌گردد.
- **گام پنج:** برگشت به گام دو تا زمانی که کلیه بیماران لیست بازبایی بررسی شوند.

- **گام شش:** تابع هدف مجدداً محاسبه شده و با بهترین جواب مقایسه می‌گردد. در صورت بهبود تابع هدف بهترین جواب بروزسانی می‌شود.

- **گام هفتم:** توقف؛ بعد از رسیدن به تعداد تکرار و یا زمان معین.

۵- نتایج عددی

در این بخش، به منظور 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 قرار گرفته است. ابعاد این نمونه‌ها با افق برنامه ریزی هفتگی به صورت زیر است:

- کوچک: تعداد ۴۰ بیمار با ۱۲۰ ویزیت، به همراه ۸ عضو کادر درمان با مجموع ۳۵ روز کاری در هفته
- متوسط: تعداد ۸۰ بیمار با ۲۲۵ ویزیت، به همراه ۱۲ عضو کادر درمان با مجموع ۵۳ روز کاری در هفته
- بزرگ: تعداد ۱۵۰ بیمار با ۴۳۰ ویزیت، به همراه ۲۰ عضو کادر درمان با مجموع ۹۰ روز کاری در هفته

ویزیت‌های مرتبط با هر نمونه به صورت تصادفی به بیمار تخصیص داده شده و در بین روزهای هفته قرار می‌گیرند، به گونه‌ای که هر بیمار حداقل یک ویزیت و حداکثر هفت ویزیت می‌تواند دریافت کند. همچنین تعداد ۹ سرویس متفاوت برای همه ابعاد در نظر گرفته شده است. مدت زمان هر سرویس به صورت یکنواخت در بازه ۴۰ تا ۶۰ دقیقه انتخاب می‌شود. بازه زمانی حضور بیماران سه برابر مدت زمان سرویس درخواستی در نظر گرفته می‌شود. مهارت اعضای کادر درمان به صورتی در نظر گرفته می‌شود که هر کدام 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. هر روز شامل دو شیفت ۷ ساعته می‌باشد، و برای اعضای کادر درمان در طول هفته حداقل ۴ و حداکثر ۶ روز کاری در نظر گرفته می‌شود. میزان نارضایتی بیمار از تغییر در روز ویزیت و تغییر در کادر درمان به صورت تصادفی از مجموعه {Spicer, #1} انتخاب می‌شود. مقدار ۱ به معنای نارضایتی کم، ۲ متوسط و ۳ زیاد می‌باشد. با توجه به وجود تفاوت بین فرضیات مسئله حاضر و تحقیق گرونویل و همکاران [۲۵] سایر پارامترها به صورت جداگانه تولید شد. بدین منظور برای هر بیمار ویزیت‌ها می‌توانند از سرویس‌های متفاوت باشند. همچنین برای هر یک از ابعاد فرض می‌شود که نیمی از بیماران قابلیت دریافت سرویس به صورت غیرحضور را دارند. همچنین میزان ترجیح ارائه سرویس به صورت حضور یا غیرحضور برای بیماران که این امکان برای آن‌ها وجود دارد، به

۳/۱۳	۱۴	۳۷/۴۶	۹۸/۱۰	۱۵	<۱	۱۰۱/۲۸	۱۶	
۳/۴۶	۱۳	۳۵/۳۴	۹۰/۵۳	۱۴	<۱	۹۳/۷۸	۱۷	
۱/۱۶	۲۰	۴۳/۱۱	۱۶۹/۶۰	۲۰	<۱	۱۷۱/۶۰	۱۸	
۳/۹۴	۲۶	۵۳/۳۰	۱۷۳/۷۵	۲۸	<۱	۱۸۰/۹۰	۱۹	
۱/۹۳	۲۱	۵۱/۴۳	۱۸۶/۴۶	۲۲	<۱	۱۹۰/۱۴	۲۰	
میانگین							-	<۱
		۲۲/۸۳	-	-	-	۱/۸۶	-	

همان‌گونه که در جدول قابل مشاهده است، نیمی از نمونه‌ها در زمان کمتر از یک ثانیه به صورت 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 به ترتیب در جداول (۳) و (۴) گزارش شده‌اند. برای ابعاد متوسط میانگین درصد خطا و زمان اجرای ACS به ترتیب ۳/۸۶٪ و ۲۹۹/۷۷ ثانیه می‌باشد. بهترین اجرا مربوط به نمونه پنجم است، که در زمان ۲۲/۲۳ ثانیه به صورت 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 به اینکه 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.

جدول ۳: نتایج اجرای الگوریتم در ابعاد متوسط

نمونه	حد بالا		کلونی مورچگان		RDP%
	تابع هدف	زمان (ثانیه)	تابع هدف	زمان (ثانیه)	
۱	۳۹۱/۷۸	<۱	۳۷۸/۳۵	۲۷۰/۲۲	۳/۴۲
۲	۳۱۲/۷۱	<۱	۳۰۶/۹۶	۲۲۲/۵۰	۱/۶۴
۳	۳۴۲/۷۱	<۱	۳۰۷/۷۱	۲۴۰/۴۱	۱۰/۲۱
۴	۳۶۰/۵۰	<۱	۳۲۸/۰۳	۳۱۰/۳۱	۹/۰۰
۵	۲۷۴/۴۶	<۱	۲۷۴/۴۶	۲۳/۰۰	۰/۰۰
۶	۳۷۲/۰۰	<۱	۳۵۹/۴۶	۴۰۵/۴۳	۳/۳۶
۷	۳۹۵/۳۵	<۱	۳۹۳/۴۶	۴۰۱/۱۱	۰/۵۰
۸	۴۳۶/۰۷	<۱	۴۲۲/۵۰	۳۲۰/۳	۳/۱۱
۹	۳۰۶/۹۶	<۱	۳۰۲/۰۰	۳۱۳/۶۸	۱/۶۱
۱۰	۳۷۴/۳۹	<۱	۳۵۸/۶۷	۳۱۸/۴۷	۴/۱۹
۱۱	۳۳۲/۸۲۴	<۱	۳۱۷/۳۹	۳۱۳/۵۰	۴/۶۳
۱۲	۲۸۲/۲۱	<۱	۲۷۵/۷۸	۲۸۲/۳۹	۲/۲۷
۱۳	۳۱۰/۸۲	<۱	۳۰۳/۸۹	۳۰۸/۹۸	۲/۲۲
۱۴	۳۰۷/۶۴	<۱	۲۹۹/۰۷	۲۶۰/۲۳	۲/۷۸

صورت تصادفی از مجموعه {Spicer, #1} انتخاب می‌شود. مقدار ۵ میزان ترجیح کم، ۱۰ بی تفاوت و ۱۵ ترجیح زیاد می‌باشد. لازم به ذکر است میزان ترجیحات معکوس یکدیگر هستند، بنابراین اگر برای بیماری مقدار ترجیح ارائه سرویس به صورت حضوری ۱۵ باشد، مقدار ترجیح این بیمار برای ارائه همان سرویس به صورت غیرحضوری ۵ خواهد بود. وزن عبارت‌های میزان ترجیحات بیماران برای دریافت سرویس به صورت حضوری یا غیرحضوری برابر ۲، وزن عبارت بهره‌وری کادر درمان برابر ۱۵ و وزن عبارت‌های ناراضی‌تی بیماران از تغییرات روز ویزیت و کادر درمان برابر ۱ قرار گرفتند.

برای حل مدل آزاد شده از CPLEX 12.8.0 و برای پیاده‌سازی الگوریتم فرا ابتکاری از زبان سی شارپ استفاده شده است. برای اجرای رویکرد پیشنهادی سیستم با مشخصات RAM و CPU 2.7GHz, Core i7 و 8GB Windows 10 و سیستم عامل 64bit به کار گرفته 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 به عنوان درصد خطای الگوریتم گزارش می‌شود:

$$RPD\% = \frac{\text{UpperBound} - \text{HeuristicSolution}}{\text{UpperBound}} \times 100 \quad (37)$$

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

جدول ۲: نتایج اجرای الگوریتم در ابعاد کوچک

نمونه	حد بالا		کلونی مورچگان		RDP%
	تابع هدف	زمان (ثانیه)	تابع هدف	زمان (ثانیه)	
۱	۱۳۳/۳۹	<۱	۱۳۳/۳۹	۰/۱۰	۰/۰۰
۲	۱۹۷/۷۱	<۱	۱۹۵/۷۱	۵۲/۲۰	۱/۰۱
۳	۱۲۳/۸۵	<۱	۱۲۳/۸۵	۰/۲۲	۰/۰۰
۴	۱۳۶/۱۷	<۱	۱۳۶/۱۷	۰/۱۸	۰/۰۰
۵	۱۷۰/۸۹	<۱	۱۷۰/۸۹	۰/۲۵	۰/۰۰
۶	۱۲۶/۹۶	<۱	۱۲۶/۹۶	۰/۲۰	۰/۰۰
۷	۱۸۸/۲۸	<۱	۱۸۷	۴۷/۳۶	۰/۶۸
۸	۱۳۱/۲۱	<۱	۱۲۶/۱۰	۴۴/۰۱	۳/۸۹
۹	۶۸/۴۶	<۱	۶۸/۴۶	۰/۲۵	۰
۱۰	۱۲۷/۹۶	<۱	۱۱۶/۰۷	۴۴/۲۷	۹/۲۹
۱۱	۷۶/۱۰	<۱	۷۶/۱۰	۰/۱۸	۰/۰۰
۱۲	۱۰۵/۶۴	<۱	۱۰۵/۶۴	۵/۸۰	۰/۰۰
۱۳	۱۳۸/۱۰	<۱	۱۳۸/۱۰	۵/۶۵	۰/۰۰
۱۴	۸۸/۶۰	<۱	۸۰/۷۸	۳۵/۲۳	۸/۸۲
۱۵	۷۸/۵۷	<۱	۷۸/۵۷	۰/۱۱	۰/۰۰

به نتایج حاصل شده از اجرای الگوریتم می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم پیشنهادی از عملکرد قابل قبولی برخوردار است.

۶- مطالعه موردی

در این بخش یک مطالعه موردی بر روی 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 حال حاضر به صورت 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.

۶-۱ معرفی مرکز سلامت مکسا

مکسا یکی از مراکز تابع بنیاد خیریه آلاء است که رسالتش بر اساس پیشنهاد سازمان بهداشت جهانی بر کنترل سرطان در کشورها با تمرکز بر پیشگیری اولیه، تشخیص زود هنگام، 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 به کار 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.

۶-۲ جمع‌آوری اطلاعات

به منظور انجام برنامه‌ریزی توسط رویکرد پیشنهادی، از داده‌های هفته اول دی ماه 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 استاندارد است که توسط مرکز مکسا تعیین شده، قرار داده شدند. برای مشخص کردن پارامترهای ناراضیاتی تغییر کادر درمان و ترجیحات بیماران برای دریافت سرویس به صورت حضوری و غیرحضوری یک نظرسنجی طراحی گردید و در اختیار مرکز مکسا قرار گرفت. به علاوه

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	تابع هدف	حد بالا		کلونی مورچگان		RPP%	
		زمان (ثانیه)	پذیرش بیمار	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

همچنین کمترین و بیشترین مقدار خطا به ترتیب ۰/۲/۴۰٪ و ۱/۱۷/۳۵٪ که متعلق به نمونه‌های یکم و دوازدهم است.

همان‌طور که مشاهده شد، در ابعاد مختلف الگوریتم فرا ابتکاری، در مدت زمان مناسب، نتایج مطلوبی به دست آمد. میانگین درصد خطاها در تمامی ابعاد، با در نظر گرفتن اینکه برای ارزیابی از حد بالای مسئله استفاده شده، کمتر از ۱۰٪ است. بنابراین با توجه

اینکه برای تعیین نارضایتی بیماران از تغییر روز ویزیت برای هر سرویس دو معیار زیر به کار گرفته شده است:

۱- برای سرویس‌های تماس پزشکی، پرستاری و پرستاری-پزشکی از پارامتر میزان وخامت حال بیمار که توسط مرکز تعیین می‌شود استفاده شده است. هر چه وخامت بیشتر باشد، میزان نارضایتی ناشی از تغییر روز ویزیت نیز بیشتر در نظر گرفته می‌شود. برای سرویس پرستاری-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 مد نظر قرار گرفته است. هر چه تعداد ویزیت‌های درخواستی بیشتر باشد میزان نارضایتی بیشتری برای تغییر روز ویزیت بیمار در نظر گرفته 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 به دست 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 به اینکه ویزیت‌های درخواستی بیماران در طول هفته تغییرپذیر هستند، از روش برنامه‌ریزی مجدد^{۱۱} برای انجام برنامه‌ریزی استفاده شده است. 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 به صورت 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 (به صورت اتوماتیک) در جدول (۴) مقایسه شده‌اند. در تمامی اجزای تابع هدف رویکرد پیشنهادی عملکرد برنامه دستی را بهبود داده است. همچنین در جدول (۵) تعداد تغییرات روز ویزیت و کادر درمان دو برنامه مد نظر نشان داده شده است. با توجه به این جدول، رویکرد پیشنهادی توانسته است تغییرات روز ویزیت را به صورت محسوسی کاهش دهد. از تعداد ۴۶ تغییر در برنامه مکسا ۳ تغییر مربوطه سرویس پرستاری-پزشکی بوده است که در آن بیمار در وضعیت نامطلوبی قرار داشته است. در حالی

که در رویکرد حاضر برای این شرایط سرویس پرستاری-پزشکی ضروری 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 C3 (پزشک)، C7 (پزشک) و C10 (ویزیت و تماس روانشناسی) دارای بالاترین میانگین سرویس‌دهی هستند. همچنین کادر درمان C19 (فیزیوتراپ) کمترین میانگین را داراست.

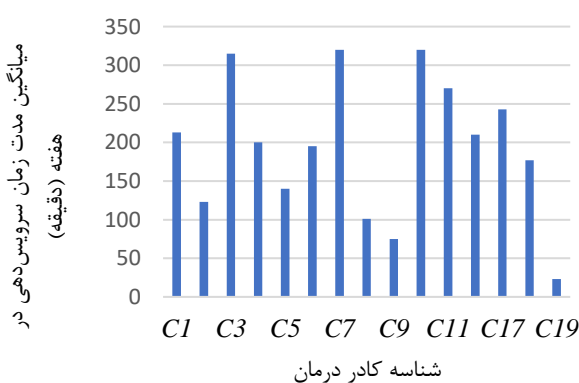
برای درک بهتر زمان‌بندی‌ها و مسیریابی‌های صورت گرفته، برنامه روزانه یکی از اعضای کادر درمان برای شیفت صبح روز چهارشنبه در شکل (۳) نمایش داده شده است. این مسیر که توسط کادر درمان برای ویزیت ۵ بیمار صورت گرفته در مجموع ۴۱۶ دقیقه به طول انجامیده که ۳۰۰ دقیقه آن مربوط به ویزیت بیماران و ۱۱۶ دقیقه مربوط به مسافت طی شده بین نقاط بوده است.

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



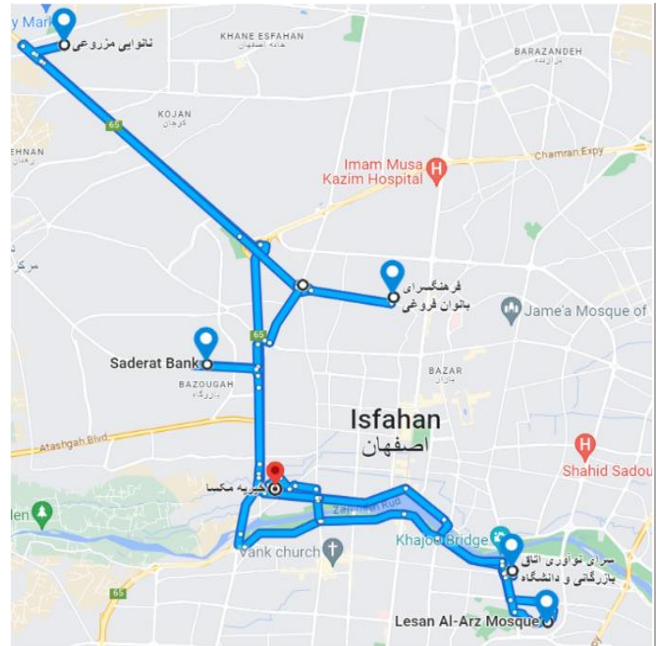
شکل ۲: میانگین مدت زمان سرویس‌دهی کادر درمان

به جدول ۸ می‌باشد که روند تغییر بهره‌وری کادر درمان را در برابر تغییر وزن ترجیحات پذیرش بیماران نشان می‌دهد. با توجه به نتایج دست آمده در نظر گرفتن قابلیت پذیرش و ویزیت غیرحضوری تاثیر مثبتی بر روی 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 تاثیر مثبتی بر خدمت‌دهی این مرکز داشته است.

بنابراین بالا بردن توانایی‌ها به منظور افزایش تعداد سرویس با قابلیت ارائه به صورت غیرحضوری در کنار تلاش مستمر برای بهبود کیفیت ارائه ویزیت‌های غیرحضوری، به منظور بالا بردن ترجیح بیماران برای دریافت خدمات به صورت غیرحضوری می‌تواند ایده مناسبی برای مدیریت مکسا باشد. با توجه اینکه 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.

جدول ۷: تاثیرات تغییرات اجزای تابع هدف بر روی جواب نمونه واقعی

تعداد تغییرات اجزای تابع هدف	تعداد پذیرش غیر حضوری	تعداد پذیرش حضوری	تعداد ویزیت غیر حضوری	تعداد ویزیت حضوری	تعداد تغییر روز ویزیت	تعداد تغییر کادر درمان
وزن‌های اولیه	۱۲۷	۱۳۵	۱۳۹	۱۴۸	۳	۰
افزایش وزن پذیرش غیر حضوری	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



شکل ۳: مثالی از برنامه روزانه شکل گرفته برای یک عضو کادر درمان

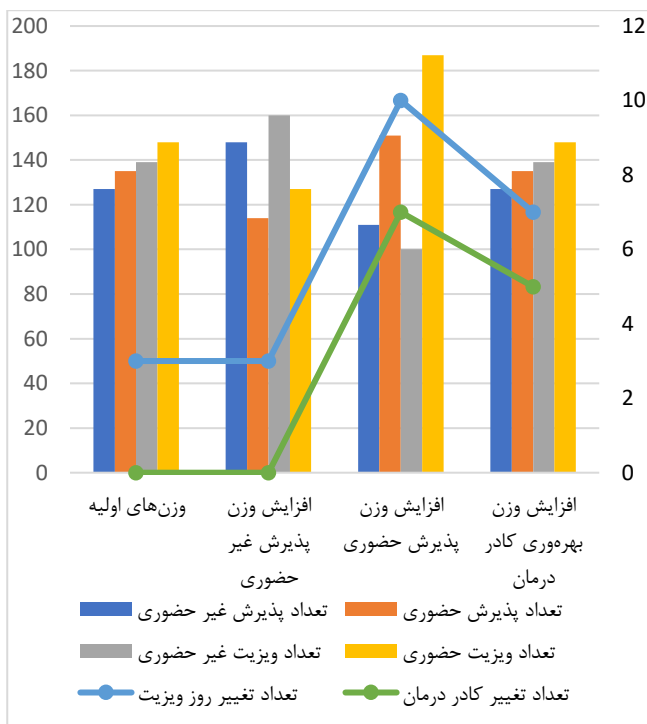
۷- تحلیل حساسیت

برای تعیین تاثیر ویژگی ویزیت غیرحضوری بر روی بهره‌وری کادر درمان و نارضایتی بیماران در حل نمونه واقعی (نمونه مرکز مکسا)، در این بخش تحلیل حساسیتی بر روی وزن‌های ترجیحات پذیرش حضوری و غیرحضوری و همچنین بهره‌وری کادر درمان صورت گرفته است. بدین منظور نمونه واقعی چندین مرتبه توسط رویکرد پیشنهادی حل می‌گردد. در هر مرتبه وزن یکی از اجزای تابع هدف مد نظر تغییر می‌کند تا اثر آن بر روی جواب مشخص شود. جدول‌های ۷ و ۸ نتایج مربوط به حل نمونه واقعی با تغییر وزن‌ها را نشان می‌دهند. همان‌طور که 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 حالی که 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 به طبع افزایش نارضایتی بیماران بوده است. همچنین افزایش وزن ترجیحات حضوری سبب کاهش بهره‌وری کادر درمان شده است. به علاوه اینکه افزایش وزن بهره‌وری کادر درمان نیز همراه با افزایش تعداد تغییرات روز ویزیت و کادر درمان می‌باشد. شکل ۴ نمودار مربوط به جدول 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 به صورت نمودار میله‌ای، و تعداد تغییرات روز ویزیت و کادر درمان به صورت نمودار خطی نمایش داده شده‌اند. همچنین شکل ۵ مربوط

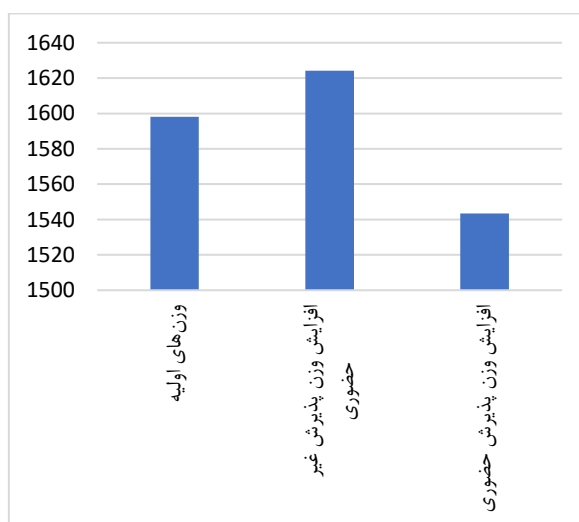
جدول ۸: تاثیر تغییرات اجزای تابع هدف بر روی بهره‌وری کادر درمان

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

خدمات سلامت از راه دور مورد مطالعه قرار گرفت. با هدف نزدیک‌تر شدن مساله به شرایط واقعی، امکان ارائه خدمات به دو صورت حضوری و غیرحضوری (سلامت از راه دور) در نظر گرفته شد. برای فرمول‌بندی مسئله از یک مدل عدد صحیح مختلط استفاده شد. با توجه به پیچیدگی بالای مسئله، یک الگوریتم ابتکاری سه-فازی ارائه شد. در فاز اول با حذف محدودیت‌های مربوط به مسیریابی و زمان‌بندی، یک مدل آزاد شده حل می‌شود که در آن در مورد پذیرش بیماران، نحوه ارائه سرویس‌ها و تخصیص کادر درمان به بیماران تصمیم‌گیری می‌شود. 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 می‌شود. در نهایت روش جست‌وجوی محلی برای بهبود بهترین جواب به دست آمده در فاز پیشین به کار گرفته شده است. میانگین درصد خطای این روش از حد بالای مسئله در تمامی ابعاد کمتر از ۱۰٪ است و در مدت زمان مناسب، نتایج مطلوبی به دست آمد. همچنین مطالعه موردی خدمات سلامت مکسا مورد بررسی قرار گرفت. برنامه‌ریزی با به کارگیری الگوریتم پیشنهادی باعث شد تا میزان ترجیحات و نارضایتی بیماران و همچنین بهره‌وری کادر درمان نسبت به برنامه دستی مرکز ۳۱٪ بهبود یابد. در نهایت برای تعیین تاثیر قابلیت ارائه غیرحضوری خدمات، تحلیل حساسیتی بر روی 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 به معنای نسبت مجموع زمان‌های سرویس‌دهی بر کل زمان کاری می‌باشد و با توجه به اینکه 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 کادر درمان، 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 به دنیای 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 به صورت چند مرکزی در نظر گرفته شود. برنامه‌ریزی یکپارچه مراکز می‌تواند باعث بهبود عملکرد آن‌ها شود.



شکل ۴: تاثیر تغییرات اجزای تابع هدف بر روی جواب نمونه واقعی



شکل ۵: تاثیر تغییرات اجزای تابع هدف بر روی بهره‌وری کادر درمان

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله مساله بهینه‌سازی یکپارچه پذیرش، تخصیص، مسیریابی و زمان‌بندی خدمات سلامت در منزل با در نظر گرفتن

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
7. local search
8. artificial ant
9. local pheromone update
10. global pheromone update
11. rescheduling

مراجع

10. Holm, S.G., and Angelsen, R.O., "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 (2014).
11. Bard, J.F., Shao, Y., and Wang, H., "Weekly scheduling models for traveling therapists," *Socio-Economic Planning Sciences*, **47**, pp. 191-204 (2013).
12. Eveborn, P., Flisberg, P., and Rönnqvist, M., "Laps Care—an operational system for staff planning of home care", *European Journal of Operational Research*, **171**, pp. 962-976 (2006).
13. Srivastava, S., Pant, M., Abraham, A., and Agrawal, N., "The technological growth in eHealth services", *Computational and mathematical methods in medicine*, **1**, pp. 1-18 (2015).
14. Gajarwala, S.N., and Pelkowski, J.N., "Telehealth Benefits and Barriers," *The Journal for Nurse Practitioners*, **1**, pp. 218-221 (2020).
15. Fikar, C., and Hirsch, P., "Home health care routing and scheduling: A review", *Computers & Operations Research*, **77**, pp. 86-95 (2017).
16. Grieco, L., Utley, M., and Crowe, S., "Operational research applied to decisions in home health care: A systematic literature review", *Journal of the Operational Research Society*, **72**, pp. 1960-1991 (2021).
17. Trautsamwieser, A., and Hirsch, P., "A Branch-Price-and-Cut approach for solving the medium-term home health care planning problem", *Networks*, **64**, pp. 143-159 (2014).
18. Wirmitzer, J., Heckmann, I., Meyer, A., and Nickel, S., "Patient-based nurse rostering in home care", *Operations research for health care*, **8**, pp. 91-102 (2016).
19. Moussavi, S.E., Mahdjoub, M., and Grunder, O., "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 (2019).
20. Yang, M., Ni, Y., and Yang, L., "A multi-objective consistent home healthcare routing and scheduling problem in an uncertain environment", *Computers & Industrial Engineering*, **160**, pp. 107560 (2021).
21. Cappanera, P., Scutellà, M.G., Nervi, F., and Galli, L., "Demand uncertainty in robust Home Care optimization", *Omega*, **80**, pp. 95-110 (2018).
22. Spicer, J., "Patient and Nurse Considerations in Home Health Routing with Remote Monitoring Devices Remote Monitoring Device", Department of Industrial and Systems Engineering, University of Arkansas, (2010).
1. "https://www.worldometer.info/demographics/life-expectancy/" (2021).
2. Braekers, K., Hartl, R.F., Parragh, S.N., and Tricoire, F., "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 (2016).
3. "https://behdasht.gov.ir/news-special/Activity-850-homehealth-care-centers-across-the-country,(In-Persian) (2021).
4. Tarricone, R., and Tsouros, A.D., *Home care in Europe: the solid facts*, WHO Regional Office Europe, (2008).
5. Guericke, D., "Routing and Scheduling for Home Care Services: Solution Approaches for Static and Dynamic Settings," Universität Paderborn, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, (2016).
6. Emily Prieto, M., *Home health care provider: A guide to essential skills*, Springer Publishing Company, (2008).
7. Yalçındag, S., Matta, A., and Sahin, E., "Human resource scheduling and routing problem in home health care context: a literature review", *ORAHs/Cardiff, United Kingdom*, **14**, p.p 1-22 (2011).
8. Rasmussen, M.S., Justesen, T., Dohn, A., and Larsen, J., "The home care crew scheduling problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies", *European Journal of Operational Research*, **219**, pp. 598-610 (2012).
9. Kandakoglu, A., Sauré, A., Michalowski, W., Aquino, M., Graham, J., and McCormick, B., "A decision support system for home dialysis visit scheduling and nurse routing", *Decision Support Systems*, **130**, pp. 113224 (2020).

23. Nickel, S., Schröder, M., and Steeg, J., “Mid-term and short-term planning support for home health care services”, *European Journal of Operational Research*, **219**, pp. 574-587 (2012).
24. Nazarpour, Z., “The home healthcare routing an assignment problem”, Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology (In Persian), 2017.
25. Heching, A., Hooker, J.N., and Kimura, R., “A logic-based benders approach to home healthcare delivery”, *Transportation Science*, **53**, pp. 510-522 (2019).
26. Grenouilleau, F., Legrain, A., Lahrichi, N., and Rousseau, L.-M., “A set partitioning heuristic for the home health care routing and scheduling problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 275, pp. 295-303, 2019.
27. Grenouilleau, F., Lahrichi, N., and Rousseau, L.-M., “New decomposition methods for home care scheduling with predefined visits”, *Computers & Operations Research*, **115**, pp. 104855 (2020).
28. Cinar, A., Salman, F.S., and Bozkaya, B., “Prioritized single nurse routing and scheduling for home healthcare services”, *European Journal of Operational Research*, **289**, pp. 867-878 (2021).
29. Deneubourg, J.-L., Aron, S., Goss, S., and Pasteels, J.M., “The self-organizing exploratory pattern of the argentine ant”, *Journal of insect behavior*, **3**, pp. 159-168 (1990).