

مسیریابی دوره‌ای استوار وسایل نقلیه در مراقبت بهداشت خانگی بیماران دیالیز صفاقی

مونا عیسی‌بخش، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

سید مهدی حسینی مطلق (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

محمدرضا قطره سامانی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: motlagh@iust.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۲

دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۰

چکیده

در دنیای امروز برطرف کردن نیازهای بهداشتی و درمانی بیماران در منزل دارای فواید متعددی است. با ارائه خدمات درمانی به صورت منظم و به موقع، علاوه بر کاهش هزینه‌ها، روند بهبودی بیمار نیز سرعت می‌یابد. به عنوان مثال، با جایگزینی همودیالیز با دیالیز صفاقی- که در منزل قابل انجام است- هم اسباب آسایش بیماران تامین می‌گردد و هم در بخش زیادی از هزینه‌های بهداشت و درمان صرفه‌جویی می‌شود. در این مقاله دو مدل ریاضی برای مساله مسیریابی دوره‌ای استوار وسایل نقلیه با شرایط گذاشت و برداشت به صورت همزمان و با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی نرم برای ملاقات بیماران دیالیز صفاقی توسعه داده شده است. مدل ارائه شده بر اساس مشکلات مشاهده شده در بخش همودیالیز بیمارستان هاشمی‌نژاد تهران پایه‌ریزی شده و کاربردی است. در طراحی مدل مفروضات واقع‌بینانه‌ای همچون عدم قطعیت موجود در زمان سفر وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است. با توجه به حساسیت موجود در ارائه به موقع خدمات درمانی می‌بایست از رویکردی مناسب برای مواجهه با عدم قطعیت زمان با کمترین ریسک ممکن استفاده شود؛ از طرفی رویکرد ارائه شده نباید هزینه‌های مدل را بی‌دلیل بالا ببرد. نتایج به دست آمده از حل مدل نشانگر آن است که مدل استوار ارائه شده در بدترین شرایط ممکن هیچ نقض محدودیتی ندارد؛ به عبارت دیگر با استفاده از این مدل امکان ارائه به موقع خدمات درمانی افزایش می‌یابد. همچنین با در نظر گرفتن هزینه فرصت از دست رفته، سطح محافظه‌کاری نحوی تنظیم می‌شود تا هزینه مدل از مقدار اسمی بهینه فاصله چندانی نگیرد.

واژه های کلیدی: مسیریابی دوره‌ای وسایل نقلیه، گذاشت و برداشت همزمان، پنجره زمانی نرم، مراقبت بهداشت خانگی، دیالیز صفاقی، عدم قطعیت، بهینه‌سازی استوار

۱. مقدمه

سرویس دهی مطلوب و بهنگام، جلوگیری از اتلاف وقت همراهان بیمار، کاهش بار ترافیکی شهر و آرامش بیشتر بیمار را در اینگونه فعالیت‌ها را نباید دست کم گرفت [Cappanera, Scutellà, and Visintin, 2014; Lanzarone and Carello, 2014].

دیالیز فرآیندی است که در آن وظائف کلیه یعنی پاک سازی مواد زائد از خون، حذف مایع اضافی بدن و کنترل مواد شیمیایی بدن توسط یک صافی انجام می شود. در دیالیز خونی (همودیالیز) صافی یک فیلتر خارجی در دستگاه دیالیز است و در دیالیز صفاقی از پرده ای از درون بدن خودبیمار بنام پرده صفاق به عنوان صافی استفاده می شود.

به گزارش سالنمای دیالیز ایران تا پایان سال ۱۳۹۲، جمعیت بیماران مزمن کلیوی در کشور حدود ۵۰۰۰۰ نفر بوده است. با توجه به رشد سالیانه حدود ۷٫۵ درصدی بیماران دچار نارسائی کلیوی در ایران و رشد ۱٫۳ درصدی جمعیت کشور، می توان به این نتیجه رسید که درمان این بیماران چه از نظر مراقبت پزشکی و چه از نظر اقتصادی، می تواند دارای اهمیت قابل توجهی باشد. در سال ۱۳۹۲ در ایران حدود ۲۵۰۰۰ نفر تحت درمان همودیالیز، ۱۴۵۰ نفر تحت درمان دیالیز صفاقی بوده‌اند و نزدیک به ۲۴۰۰۰ بیمار پیوندی در کشور وجود داشته است. تا پایان سال ۹۳ نیز کشور دارای ۴۶۹ بخش همودیالیز بوده است که ۸۴٪ آنها دولتی، ۶٪ خصوصی و ۱۰٪ خیریه هستند. تقریباً اکثر این بخش‌ها نیز در مراکز خیریه بیمارستانی قرار دارند (کنسرسيوم دیالیز ایران، ۱۳۹۳). انجام فرآیند همودیالیز برای بیماران تحت پوشش بیمه هیچ هزینه‌ای ندارد، اما این فرآیند هزینه های بالایی را به بیمارستان و در نهایت سیستم بهداشت و درمان کشور تحمیل می کند. بیشترین بخش هزینه‌ها مربوط به هزینه اقامت است که شامل حقوق و دستمزد پرسنل، شستشوی لباس و ملحفه‌ها، آب و برق و غذای بیماران و فعالیتهایی از این دست است. این در حالی است که با جایگزینی همودیالیز با دیالیز صفاقی، هم اسباب آسایش بیماران تامین می گردد و هم در بخش زیادی از این هزینه‌ها صرفه جویی می شود [Klarenbach and Manns, 2009; Treharne, Liu, Arici, Crowe, and Farooqui, 2014].

یکی دیگر از مزایای دیالیز صفاقی این است که این روش درمانی در منزل قابل انجام است. بیمار می تواند دیالیز صفاقی را روزانه به صورت

گسترده‌تری استفاده از ابزارهای تحقیق در عملیات در حوزه‌های بهداشت و درمان در دنیای امروز، نشانگر کارآمدی این ابزارها است [Rastegar-Panah, Hosseini-Motlagh, Babaei and Noughani, 2013; Riahi, Hosseini-Motlagh, and Teimourpour, 2013; Jokar and Hosseini-Motlagh, 2015]. امروزه خدمت‌رسانی به بیماران در منزل فواید متعددی به همراه دارد. طبق تعریف ارائه شده توسط برتلس و فاهله به مجموعه فعالیت‌های ویزیت بیماران، ارائه خدمات درمانی و مراقبت از بیماران در منزل، مراقبت بهداشت خانگی (HHC) گفته می‌شود. با بهینه‌سازی ارائه خدمات بهداشتی و درمانی خانگی می‌توان بیماران را از مزایای اینگونه خدمات بهره‌مند ساخت [Hosseini-Motlagh, Majidi, Yaghoubi and Jokar, 2017].

این خدمات می‌تواند طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها، نظیر ویزیت بیمار توسط پزشک، تحویل دارو و تجهیزات پزشکی به بیمار، دریافت نمونه‌های آزمایشگاهی و داروها و تجهیزاتی که به هر دلیلی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند تا ارائه خدمات تعمیرات و نگهداری تجهیزات و دستگاه‌های پزشکی در منزل را در بر بگیرد [Bertels and Fahle, 2006; Liu, Xie, Augusto, and Rodriguez, 2013; Majidi, Hosseini-Motlagh, Yaghoubi and Jokar, 1394].

در کشورهایی که به علت مصرف بالای آنتی‌بیوتیک‌ها شاهد مقاومت هرچه بیشتر بیماری‌های عفونی هستیم، مراجعه بیمار به بیمارستان - باتوجه به سیستم دفاعی ضعیف‌تر بدن وی - می‌تواند موجب شود شخص به بیماری عفونی مقاوم‌تری مبتلا شود. از طرفی هزینه ارائه خدمات پزشکی در منزل نسبت به هزینه‌های زیادی که بستری شدن فرد بیمار برای بیمارستان و سیستم بهداشت و درمان کشور دارد بسیار کمتر است. هزینه رفت و آمد بیماری با محدودیت حرکتی همراه پرستار یا اعضای خانواده به علاوه خستگی بیمار و امکان آسیب بیشتر در این سفر چندساعته، نشان می‌دهد که تنها حسن ارائه خدمات درمانی در منزل، جلوگیری از ابتلا به عفونت‌های بیمارستانی نیست. مزایای دیگری چون کاهش چشمگیر هزینه‌های بهداشت و درمان، کاهش تعداد واسطه‌ها و

دستی یا در طول شب با استفاده از دستگاه دیالیز صفاقی به صورت اتوماتیک انجام دهد.

با وجود تمامی مزایای دیالیز صفاقی، بیماران کلیوی تمایل بیشتری به همودیالیز نشان می‌دهند. از جمله مهم‌ترین دلایل رد این روش درمانی، ضعف جسمانی بیماران و دشواری انجام آن در منزل بدون وجود پرستار و پزشک است [Rubin et al., 2004; Workeneh, Guffey, Minard, and Mitch, 2015]. با ارائه سرویس درمانی مناسب به بیماران دیالیز صفاقی می‌توان افراد را به پیگیری این روش دیالیز تشویق نمود. جایگزینی همودیالیز با دیالیز صفاقی به صورت بهینه موجب آسایش و رفاه بیماران و کاهش یافتن هزینه‌های بخش بهداشت و درمان می‌شود.

هم‌اکنون تعدادی از شرکتهای دارویی بسته‌های آماده‌ای را برای دیالیز صفاقی در اختیار بیماران قرار می‌دهند. با توجه به اینکه بیمار برای انجام دیالیز صفاقی در منزل در طول هفته به تعداد زیادی بسته دیالیز نیاز دارد و همچنین به منظور تعمیرات و نگهداری دستگاه‌های اتوماتیک دیالیز صفاقی، می‌توان برای ارائه خدمات دوره‌ای به بیماران دیالیزی در منزل برنامه‌ریزی کرد. این خدمات شامل رساندن محصولات دیالیز صفاقی به منزل بیماران، ویزیت بیمار در منزل، ارسال نمونه‌های آزمایشگاهی بیماران به آزمایشگاه و/یا پشتیبانی دستگاه‌های دیالیز خانگی در طی هفته است. چنین مساله‌ای را می‌توان با استفاده از مدل‌های مسیریابی وسایل نقلیه^۲ (VRP) مدل‌سازی نمود. در این مساله با توجه به تعداد زیاد مشتریان و پیچیدگی خدمت‌رسانی به آنها، برنامه‌ریزی جهت بهینه‌سازی انجام فرآیندها از اهمیت زیادی برخوردار است. مکان منزل بیماران اغلب پراکنده و دور از یکدیگر است. این امر تصمیم مسیریابی را چالش‌برانگیز می‌کند. همچنین انتخاب سناریوی زمانی خدمت‌رسانی نیز باید بر اساس هزینه‌های روزانه از قبیل طرح‌های ترافیکی و غیره انجام شود. به منظور کاهش هزینه‌های مسیریابی برنامه‌ریزی باید به گونه‌ای انجام شود که تمامی تقاضاهای گذاشت و برداشت هر بیمار به طور همزمان و توسط یک وسیله نقلیه برطرف گردد.

در ارائه خدمات بهداشتی و درمانی در نظر گرفتن ترجیحات و رضایت بیماران و ارائه خدمات به موقع بسیار حائز اهمیت است و حیاتی است [Castillo-Salazar, Landa-Silva, and Qu, 2014]. همچنین در چنین مساله‌ای با توجه به بار ترافیکی شهر در پارامترهایی همچون زمان سفر وسیله نقلیه با عدم قطعیت مواجه هستیم. بار دیگر با تاکید بر حساسیت ارائه خدمات پزشکی، باید رویه‌ای برای مواجهه با عدم قطعیت انتخاب شود که کمترین ریسک را داشته باشد.

در این مقاله دو مدل ریاضی برای ارائه خدمات مراقبت بهداشت خانگی به بیماران دیالیز صفاقی ارائه شده است و تلاش شده است نیازها و شرایط ویژه بیماران دیالیز صفاقی در نظر گرفته شود؛ همچنین مفروضاتی نظیر عدم قطعیت در زمان ارائه خدمات و برنامه‌ریزی ارائه خدمات دوره‌ای، به منظور نزدیکتر شدن هرچه بیشتر مدل به شرایط دنیای واقعی و کارایی بهتر آن در مدل گنجانده شده است.

ساختار مقاله پیش رو بدین صورت است: در بخش بعدی این مقاله ابتدا به بررسی مرور ادبیات مراقبت بهداشت خانگی می‌پردازیم. در بخش‌های سوم و چهارم مساله مورد نظر و مدل قطعی آن شرح داده شده است. بخش پنجم نیز به رویکرد مقابله با عدم قطعیت و مدل ریاضی در حالت غیرقطعی اختصاص دارد. در بخش‌های ششم و هفتم به نتایج محاسباتی و اعتبارسنجی مدل ارائه شده می‌پردازیم. در نهایت نتیجه‌گیری و زمینه‌های تحقیقاتی آتی در بخش هفتم ارائه شده است.

۲. مرور ادبیات

با وجود اهمیتی که مساله مراقبت بهداشت خانگی دارد، تعداد کمی از مقالات به این موضوع پرداخته‌اند. راموس و همکاران [Torres-Ramos, Alfonso-Lizarazo, Reyes-Rubiano, and Quintero-Araújo, 2014] به ارائه مدل ریاضی برای مساله مسیریابی و زمانبندی مراقبت بهداشت خانگی با در نظر گرفتن شیوه‌های درمانی مختلف و پنجره زمانی پرداخته‌اند. آنها با ارائه یک مدل عدد صحیح مختلط مساله مذکور را به طور دقیق حل نمودند. یالسینداگ و همکاران [Yalçındağ, Matta, Şahin,

بهداشت خانگی را هنگام بروز بحران (سیل) در اتریش در نظر گرفته است. برای حل این مساله از الگوریتم جستجوی متغیر همسایگی استفاده شده است.

تعدادی از مقالات با تلفیق چندین رویکرد، حل و بهینه‌سازی مساله مراقبت بهداشتی خانگی را مورد بررسی قرار داده‌اند. بیگور و همکاران [Begur, Miller, and Weaver, 1997] به طراحی یک سیستم پشتیبانی از مشتری در ایالات متحده پرداختند. در این مقاله برای بهبود مسیرها از الگوریتم ذخیره‌سازی کلارک و رایت و روش ابتکاری نزدیکترین همسایگی استفاده شده است. برتلس و فاهله طی یک رویکرد دو مرحله‌ای در ابتدا با به‌کارگیری برنامه‌ریزی محدودیت به یک جواب اولیه مناسب برای مساله برنامه‌ریزی خدمه و مسیریابی در مراقبت بهداشت خانگی دست یافته و سپس در مرحله دوم حل با استفاده از رویکردهای فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید و جستجوی ممنوعه، جواب اولیه را بهبود دادند [Bertels and Fahle, 2006]. نیکل و همکاران [Nickel, Schröder, and Steeg, 2012] نیز در مقاله خود مساله تخصیص و مسیریابی پرستاران در بهداشت و درمان خانگی در کشور آلمان را مورد پژوهش قرار داده‌اند. آنها از یک رویکرد دومرحله‌ای برای برنامه‌ریزی ارائه خدمات هفتگی استفاده کردند که در آن در ابتدا با استفاده از رویه‌ای ابتکاری به ایجاد جواب اولیه پرداخته می‌شود و سپس برنامه زمانبندی بهبود داده می‌شود. بریکرز و همکاران [Braekers, Hartl, Parragh, and Tricoire, 2016] یک مساله چندهدفه مسیریابی و زمانبندی در مراقبت بهداشت خانگی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها برای حل این مساله از تلفیقی از رویه فراابتکاری جستجوی محلی چندجهته و جستجوی همسایگی بزرگ استفاده کردند.

در مقایسه با دیگر کارهای پژوهشی موجود در زمینه مراقب بهداشت خانگی، کرگوسین و همکاران [Kergosien, Ruiz, and Soriano, 2014] مساله جمع‌آوری نمونه‌های آزمایشگاهی بیماران در مراقبت بهداشت خانگی را بررسی کرده‌اند. در این مقاله از دو روش ابتکاری جستجوی ممنوعه و جستجوی همسایگی متغیر برای حل مدل عدد صحیح ارائه شده استفاده شد. لو و همکاران نیز مساله مراقبت بهداشت خانگی را از منظر دریافت

[and Shanthikumar, 2014] مساله مسیریابی و تخصیص در مراقبت بهداشت خانگی را با رویکردی دومرحله‌ای بررسی کرده‌اند. در این مقاله برای تخمین زمان سفر وسیله نقلیه از روش رگرسیونی کرنل^۳ استفاده شده است. دان و همکاران [Dohn, Rasmussen, Justesen, and Larsen, 2008] با توسعه مدل ارائه شده توسط بانهارت و همکاران [Barnhart, Johnson, Nemhauser, Savelsbergh, and Vance, 1998] و بردستروم و رانکوئیست [Bredstrom and Rönnqvist, 2007] به حل دقیق مساله زمانبندی خدمه در مراقبت بهداشت خانگی بر اساس الگوریتم شاخه و قیمت پرداخته‌اند. در این مقاله از متغیرهای پیوسته برای حل بخش زمانبندی مدل و متغیر صفر و یک برای تخصیص وظایف به کارمندان استفاده شده است. کرگوسین و همکاران [Kergosien, Lenté, and Billaut, 2009] نیز با در نظر گرفتن تنها متغیرهای عدد صحیح به ارائه یک مدل عدد صحیح خالص پرداخته و مساله مسیریابی خدمه در مراقبت بهداشت خانگی را با رویکرد شاخه کران و قیمت به صورت دقیق حل نموده‌اند. این مساله حالت خاصی از مساله فروشنده دوره‌گرد تحت محدودیت پنجره زمانی است. کاپانرا و اسکوتلا [Cappanera and Scutellà, 2013] به بررسی تاثیر سیاست‌های تولید الگو بر روی تصمیمات برنامه‌ریزی و مسیریابی در مراقبت بهداشت خانگی پرداخته‌اند. منظور از الگو در این مقاله مجموعه سناریوهای مشخصی برای تلفیق تصمیمات مختلف است.

بیشتر مقالات موجود در زمینه مراقبت بهداشت خانگی از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری برای بهینه‌سازی مساله در ابعاد بزرگ استفاده کرده‌اند. تریکی و همکاران با استفاده از یک رویکرد دومرحله‌ای مساله بهداشت و درمان خانگی دوره‌ای با پنجره زمانی را برنامه‌ریزی نموده‌اند. آنها مدل خود را با استفاده از جستجوی ممنوعه و جستجوی همسایگی بر پایه عدد صحیح مختلط بهبود دادند. چنگ و ریچ [Cheng and Rich, 1998] مساله زمانبندی پرستاران تحت محدودیت پنجره زمانی را مورد بررسی قرار داده و برای بهبود این مساله از دو روش ابتکاری استفاده کردند. تراستامویسر [Trautsamwieser, Gronalt, and Hirsch, 2011] مساله برنامه‌ریزی روزانه ارائه خدمات مراقبت

ارائه خدمات بهداشتی و درمانی به بیماران دیالیز صفافی در ادبیات به چشم نمی‌خورد.

در این مقاله دو مدل ریاضی برای مسیریابی دوره‌ای استوار وسایل نقلیه با گذاشتن و برداشت همزمان و در نظر گرفتن پنجره زمانی نرم به منظور بهینه‌سازی مساله مراقبت بهداشت خانگی (به طور ویژه برای بیماران دیالیز صفافی) ارائه شده است. مفروضات مسیریابی پایه‌ای این مدل از مساله ارائه شده توسط لو و همکاران [Liu et al., 2013] استخراج گشته است. مدل مسیریابی دوره‌ای ارائه شده در این مقاله (مدل اول) نیز بر اساس مدل تن و بیسلی [Tan and Beasley, 1984] پایه ریزی شده است. تن و بیسلی با تلفیق مدل‌های ارائه شده توسط بلترامی و بودین [Beltrami and Bodin, 1974]، راسل و ایگو [Russell and Igo, 1979] و کریستوفید و بیسلی [Christofides and Beasley, 1984] و با استفاده از مدل معروف فیشر و جایکومار [Fisher and Jaikumar, 1981] یک مدل عددصحیح دو مرحله‌ای برای حل مساله مسیریابی دوره‌ای وسایل نقلیه^۴ (PVRP) ارائه دادند. در مدل ارائه شده در این مقاله ارسال کالاهای بهداشتی و درمانی و پرستار و تکنسین به منزل بیماران به صورت یکپارچه در نظر گرفته شده است. خدمت‌رسانی به بیماران در محدوده پنجره زمانی نرم انجام شده و برای تخطی از محدوده پنجره زمانی در تابع هدف جریمه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به محدودیت شیفیت کاری شرکت‌های ارائه دهنده خدمات مراقبت بهداشت خانگی، زمان تور هر وسیله نقلیه محدود در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن حساسیتی که ارائه خدمات بهداشتی و درمانی دارد، برای برخورد با عدم قطعیت موجود در زمان سفر از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده است. همچنین در این کار پژوهشی ارائه خدمات دوره‌ای به بیماران مدنظر قرار گرفته است.

۳. شرح مساله

در این مقاله به برنامه‌ریزی هفتگی ارائه خدمات مراقبت بهداشت خانگی به شبکه‌ای از مشتریان در قالب مدل‌سازی مسیریابی دوره‌ای استوار وسایل نقلیه با گذاشتن و برداشت همزمان و پنجره زمانی پرداخته می‌شود. در این مساله فرض می‌شود که

و رساندن دوره‌ای کالا مورد بررسی قرار داده‌اند. نوآوری موجود در این مقاله تلفیق زمانبندی مراجعه به بیمارستان و آزمایشگاه به همراه ارائه خدمت به بیماران است. آنها مدل خود را با استفاده از روش جستجوی ممنوعه و جستجوی محلی شدنی و نشدنی در ابعاد بزرگ حل نمودند [Liu et al., 2013; Liu, Xie, and Garaix, 2014].

عدم قطعیت به شرایطی گفته می‌شود که داده‌ها و اطلاعات در دسترس ناقص هستند. در میان رویکردهای مختلفی که برای برخورد با عدم قطعیت در مسائل بهینه‌سازی توسعه داده شده‌اند، بهینه‌سازی استوار رویکردی ریسک‌گریز است. سویستر [Soyster, 1973] به عنوان پیشرو در این عرصه، اولین مدل بدبینانه سخت استوار را ارائه کرده است؛ مدلی که با وجود سادگی مبنای کار بسیاری از مقالات حوزه استوار قرار گرفت [Ghatreh Samani, Hosseini-Motlagh, Yaghoubi and Jokar, 1395]. پس از سویستر، مول وی [Mulvey, Vanderbei, and Zenios, 1995] رویکردی استوار برای مسائل مبتنی بر سناریو ارائه داد که نسبت به مدل سویستر خوشبینانه‌تر و دارای سطح محافظه‌کاری کمتری بود. در سال‌های بعد دسته‌ای از مدل‌های استوار مبتنی بر برنامه‌ریزی مخروطی توسط بتال و نمروفسکی و القوئی [Ben-Tal and Nemirovski, 1998; El Ghaoui, Oustry, and Lebre, 1998] در کتاب بتال و همکاران گردآوری شده است که یکی از ارزشمندترین منابع حوزه بهینه‌سازی استوار به شمار می‌آید [Ben-Tal, El Ghaoui, and Nemirovski, 2009]. برتسیماس و سیم [Bertsimas and Sim, 2004] به ارائه مدلی خوشبینانه‌تر بر مبنای مدل سویستر پرداخته‌اند که در آن تعداد پارامترهای دارای عدم قطعیت هر محدودیت مدل توسط تصمیم‌گیرنده محدود و مشخص می‌شود. فیچتی و موناکی [Fischetti and Monaci, 2009] نیز بر مبنای مدل برتسیماس و سیم مدلی استوار ارائه کرده‌اند که در آن حد بدتر شدن تابع هدف محدود و مشخص بود.

با بررسی ادبیات مراقبت بهداشت خانگی درمی‌یابیم که مساله ارسال کالاهای درمانی و پزشک و تکنسین به منزل بیماران به صورت همزمان تا به حال بررسی نشده است. همچنین مدلی برای

(دسته بیماران D_1)

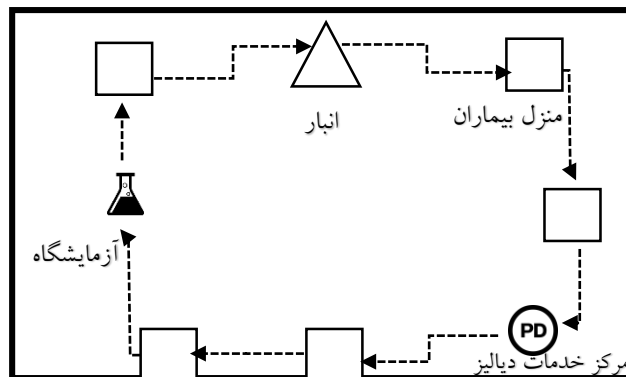
۲- تقاضای ویزیت پزشک و تکنسین دستگاه دیالیز صفافی اتوماتیک از مرکز خدمات دیالیز (دسته بیماران D_2)
 ۳- تقاضای دریافت دورریزهای پزشکی، داروهای فاسد و تجهیزات استفاده نشده یا معیوب از منزل بیماران (دسته بیماران P_1)
 ۴- تقاضای دریافت نمونه‌های بیولوژیکی مانند نمونه‌های خونی و ادرار از منزل بیمار و انتقال آن به آزمایشگاه (دسته بیماران P_2)
 انتقال محصولات و ارسال پزشک و تکنسین به منزل بیمار و دریافت مواد بازگشتی به طور همزمان انجام می‌شود. فرض می‌شود که k وسایل نقلیه همگن هستند و ظرفیتی برابر با Q دارند. ارائه خدمات می‌بایست در هر روز در محدوده پنجره زمانی مشخصی انجام شود. به عنوان مثال، تور یکی از وسایل نقلیه می‌تواند به صورت زیر باشد:

وسيله نقلیه با بارگیری تقاضای مربوط به بیماران D_1 انبار را ترک می‌کند. پس از ترک انبار، می‌توان به برطرف کردن تقاضای بیماران D_1 ، P_1 و P_2 پرداخت، اما خدمت‌رسانی به تقاضای بیماران D_2 تنها پس از رفتن به مرکز خدمات دیالیز ممکن است. پس از رفتن به مرکز خدمات دیالیز و پیش از رفتن به آزمایشگاه، خدمت‌رسانی به تمامی بیماران ممکن است. پس از دریافت نمونه‌های بیماران P_2 ، وسيله نقلیه به آزمایشگاه رفته و نمونه‌های آزمایشگاهی بیماران را تحویل می‌دهد. پس از رفتن به آزمایشگاه در ادامه تور وسيله نقلیه، دیگر خدمت‌رسانی به بیماران P_2 ممکن نیست. در نهایت، وسيله نقلیه پس ملاقات باقی بیماران به انبار بازمی‌گردد. شکل (۱) نمونه‌ای از تور وسيله نقلیه را نشان می‌دهد:

همه مشتریان سیستم طبق سناریوهایی از پیش تعیین شده در هر هفته با فرکانسی ثابت، خدمت دریافت می‌کنند. هزینه خدمت‌رسانی در روزهای مختلف متفاوت بوده و بر همین اساس مدل به هر مشتری سناریویی با کمترین هزینه را تخصیص می‌دهد. ویژگی خاص این مدل در نظر گرفتن پارامتر θ_{id} است که هزینه خدمت‌رسانی به هر مشتری در هر روز را نشان می‌دهد. با معرفی این پارامتر می‌توان تصمیمات تخصیص سناریو به مشتریان و مسیریابی را از یکدیگر جدا نمود. تفاوت مدل این مقاله با مدل تن و بیسلی نیز در این است که با توجه به در نظر گرفتن تقاضاهای گذاشت و برداشت همزمان برای مشتریان، پارامتری تحت عنوان h_i تعریف شده است. به منظور محاسبه h_i برای هر مشتری مجموع کل تقاضای گذاشت برداشت کالاهای بهداشتی و درمانی در طول یک روز محاسبه شده و از آن برای بررسی محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه استفاده می‌شود.

همچنین در این مدل علاوه بر منزل بیماران و انبار شرکت دو پایگاه دیگر به نام‌های «مرکز خدمات دیالیز» و «آزمایشگاه» جزو گره‌های موجود برای مسیریابی وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است که هر کدام خدمات ویژه‌ای را در اختیار بیماران قرار می‌دهند. در این مدل گره صفر و $n + 1$ گره مربوط به انبار هستند. هر مسیر از گره شماره صفر شروع شده و به گره $n + 1$ ختم می‌شود. گره‌های میانی شامل منزل بیماران، مرکز خدمات دیالیز و آزمایشگاه هستند. هر بیمار تنها توسط یک وسيله نقلیه سرویس داده می‌شود و هر وسيله نیز هر گره را تنها یکبار ملاقات می‌کند. چهار نوع تقاضا برای بیماران مفروض است:

۱- تقاضای دارو و بسته دیالیز صفافی از داروخانه شرکت (انبار)



شکل ۱. شمائی از تور وسيله نقلیه

$N(S)$: مجموعه بیماران تخصیص یافته به سناریوی S

$D(S)$: روزهای موجود در سناریوی S

D_1 : مجموعه بیمارانی که به سرویس گذاشت نوع (۱) نیاز دارند.

D_2 : مجموعه بیمارانی که به سرویس گذاشت نوع (۲) نیاز دارند.

P_1 : مجموعه بیمارانی که به سرویس برداشت نوع (۱) نیاز دارند.

P_2 : مجموعه بیمارانی که به سرویس برداشت نوع (۲) نیاز دارند.

K : مجموعه وسایل نقلیه.

۲-۳ پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری

Q : ظرفیت هر وسیله نقلیه

C_{ija} : هزینه سفر از گره i به گره j در روز d - از جنس زمان

tc : هزینه هر ساعت حضور پرستار/تکنسین در تور

θ_{ida} : هزینه خدمت‌رسانی به بیمار i در روز d

t_{ijda} : زمان سفر از گره i به گره j در روز d

st_i : زمان ارائه سرویس به بیمار i

aa_i : زودترین زمان سرویس به بیمار

bb_i : دیرترین زمان سرویس به بیمار

a_{sd} : پارامتری صفر و یک، یک در صورتی که روز d در سناریوی

S قرار گیرد و در غیر این صورت مقدار صفر را می‌پذیرد.

d_{1i} : میزان تقاضای بیمار i از سرویس گذاشت نوع (۱).

p_{1i} : میزان تقاضای بیمار i از سرویس برداشت نوع (۱).

p_{2i} : میزان تقاضای بیمار i از سرویس برداشت نوع (۲).

h_i : مجموع تقاضاهای گذاشت و برداشت مشتری i در هر روز

N_S : تعداد بیمار در هر سناریوی زمانی.

T : حداکثر طول زمانی هر تور.

M : نشان‌دهنده یک عدد بزرگ است.

Δ : جریمه نقض محدودیت در مدل‌های واقع‌نمایی.

π : جریمه فرصت از دست رفته در مدل‌های واقع‌نمایی.

Ψ : سطح محافظه‌کاری در مدل استوار.

متغیرهای تصمیم مساله به شرح زیر می‌باشند:

x_{ijkd} : متغیری صفر و یک، یک که در صورتی که وسیله نقلیه k

در روز d به طور مستقیم از گره i به گره j برود مقدار یک و در

غیر این صورت مقدار صفر را می‌پذیرد.

لازم به ذکر است که هر بیمار می‌تواند جزء هر چهار گروه باشد و در صورتیکه فرض کنیم تمامی بیماران هر چهار نوع تقاضا را دارند، تور به صورت زیر درمی‌آید:

انبار - مرکز خدمات دیالیز - منزل بیماران - آزمایشگاه - انبار
مفروضات اصلی مساله به شرح زیر می‌باشند:

۱- هر تور در هر روز از انبار شروع شده و در انبار پایان می‌یابد و هر گره حداکثر یک‌بار ملاقات می‌شود.

۲- در صورت وجود حداقل یک تقاضای D_2 در تور وسیله نقلیه، یک پرستار/تکنسین در طول تور وسیله نقلیه راننده را همراهی می‌کند. این فرد با دریافت دستمزد محاسبه شده در واحد زمان، تا پایان ارائه خدمت به تمامی بیماران D_2 در تور وسیله نقلیه باقی می‌ماند.

۳- هر وسیله در هر روز پیش از ارائه خدمت به بیماران D_2 و P_2 به مرکز خدمات دیالیز می‌رود.

۴- هر وسیله در هر روز پس از ارائه خدمت به بیماران P_2 به آزمایشگاه می‌رود.

۵- زمان سرویس در دریافت و ارسال کالا برابر با صفر بوده و تنها برای ارائه خدمت به بیماران D_2 و P_2 در نظر گرفته می‌شود.

۶- حداکثر طول زمانی هر تور هشت ساعت در نظر گرفته شده است.

۱-۳ مجموعه‌ها

مدلسازی مساله به شرح زیر است:

V : مجموعه تمامی گره‌ها $V = \{0, 1, \dots, n, n+1\} \cup \{P, L\}$ (گره‌های 0 و $n+1$ به ترتیب نشان‌دهنده انبار مبدا و انبار مقصد هستند و P و L نیز به ترتیب مکان مرکز خدمات دیالیز صفاتی و آزمایشگاه را نشان می‌دهد).

N : منزل بیماران $N = \{1, \dots, n\}$

D : مجموعه روزهای هفته $D = \{1, 2, \dots, 6\}$

S : مجموعه سناریوها $S = \{1, 2\}$

$i, j \in N$: مجموعه بیماران

$V(S)$: مجموعه مرکز خدمات دیالیز، آزمایشگاه و بیماران

تخصیص یافته به سناریوی S

دوم می‌شود و بر اساس آن مشتری‌ها دسته‌بندی می‌شوند:

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{s \in S} \sum_{d \in D(s)} \theta_{id} a_{sd} u_{is} \quad (1)$$

$$\sum_{s \in S} u_{is} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{s \in S} a_{sd} h_i u_{is} \leq |k| * Q \quad \forall d \in D \quad (3)$$

$$u_{is} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, s \in S \quad (4)$$

عبارت شماره (۱) تخصیص مشتریان به روزها را با کمترین هزینه تضمین می‌کند. بر اساس محدودیت (۲) به هر مشتری دقیقاً یک سناریو تخصیص داده می‌شود. در محدودیت (۳) تضمین می‌شود که بار وسیله نقلیه از ظرفیت آن تجاوز پیدا نکند. محدودیت (۴) نیز محدودیت تعریف متغیر است. پس از حل این مدل بر اساس مقادیر متغیر u_{is} مشخص می‌شود که هر بیمار در چه روزهایی باید ملاقات شود. به عنوان مثال $u_{11} = 1$ به این معنی است که سناریوی اول به مشتری اول تخصیص یافته است. در فاز دوم حل مساله و پس از تعیین روزهای ملاقات بیماران، بیماران تخصیص یافته به هر سناریو را به صورت جداگانه در نظر گرفته و به حل مدل مسیریابی در روزهای سناریوی مورد نظر می‌پردازیم.

u_{is} : متغیری صفر و یک که در صورتی که سناریوی S برای مشتری i نام انتخاب شود مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر را می‌پذیرد.

B_{ikd} : زمان شروع سرویس‌دهی به مشتری i نام توسط وسیله k در روز d .

y_{ijkd} : حجم پرشده وسیله نقلیه k از برداشت‌های P_1 و P_2 در کمان (i, j) در روز d .

w_{ijkd} : حجم پرشده وسیله نقلیه k از تحویل‌های D_1 در کمان (i, j) در روز d .

E_{ikd} : متغیر مقدار زود رسیدن وسیله نقلیه در پنجره زمانی نرم.

L_{ikd} : متغیر مقدار دیر رسیدن وسیله نقلیه در پنجره زمانی نرم.

pt_{kd} : مقدار زمانی حضور پرستار/تکنسین در تور وسیله k در روز d .

۴. مدل ریاضی در حالت قطعی

در اولین مدل ریاضی با استفاده از تعدادی محدودیت و بر اساس مساله بهینه‌سازی زیر تعیین کنیم که به هر مشتری بر اساس چه سناریویی و در کدام روزها سرویس داده شود. در واقع در این قسمت مقدار متغیر u_{is} را می‌یابیم. این متغیر ورودی مدل ریاضی

$$\text{Min} \sum_{i \in V(S)} \sum_{j \in V(S)} \sum_{k \in K} \sum_{d \in D(S)} c_{ijdk} x_{ijkd} + \sum_{i \in V(S)} \sum_{k \in K} \sum_{d \in D(S)} (E_{ikd} + L_{ikd}) + tc \sum_{k \in K} \sum_{d \in D(S)} pt_{kd} \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V(S)} \sum_{k \in K} x_{jikd} = 1 \quad \forall i \in N(S), d \in D(S) \quad (6)$$

$$\sum_{j \in V(S)} x_{ijkd} \leq \sum_{j \in V(S)} x_{jtkd} \quad \forall i \in P_2(S), k \in K, d \in D(S) \quad (7)$$

$$\sum_{j \in V(S)} x_{jikd} \leq \sum_{j \in V(S)} x_{pjkd} \quad \forall i \in D_2(S), k \in K, d \in D(S) \quad (8)$$

$$\sum_{i \in V(S)} x_{0,ikd} \leq 1 \quad \forall k \in K, d \in D(S) \quad (9)$$

$$\sum_{i \in V(S)} x_{i,n+1,kd} \leq 1 \quad \forall k \in K, d \in D(S) \quad (10)$$

$$\sum_{j \in V(S)} x_{jikd} = \sum_{j \in V(S)} x_{ijkd} \quad \forall i \in N(S) \cup \{l, p\}, k \in K, d \in D(S) \quad (11)$$

$$\sum_{j \in V(S)} x_{jikd} \leq 1 \quad \forall i \in \{l, p\}, k \in K, d \in D(S) \quad (12)$$

$$B_{jk} \geq B_{ik} + t_{ij} + st_i - M(1 - x_{ijkd}) \quad \forall i \in V, j \in V \setminus 0, k \in K, d \in D(S) \quad (13)$$

$$\sum_{i \in V(S)} \sum_{k \in K} y_{jikd} - \sum_{i \in V(S)} \sum_{k \in K} y_{ijkd} = p_{1j} + p_{2j} \quad \forall j \in N(S) \cup \{p\}, d \in D(S) \quad (14)$$

$$\sum_{i \in V(S)} \sum_{k \in K} w_{jikd} - \sum_{i \in V(S)} \sum_{k \in K} w_{ijkd} = d_{1j} \quad \forall j \in N(S) \cup \{p, l\}, d \in D(S) \quad (15)$$

$$\sum_{i \in V(S)} w_{0ikd} = \sum_{i \in V(S)} \sum_{j \in D_1(S)} x_{ijkd} d_{1j} \quad \forall k \in K, d \in D(S) \quad (16)$$

$$\sum_{i \in V(S)} y_{ilkd} - \sum_{i \in V(S)} y_{likd} = \sum_{i \in V(S)} \sum_{j \in D_2(S)} x_{ijkd} p_{2i} \quad \forall k \in K, d \in D(S) \quad (17)$$

$$B_{lkd} \geq B_{ikd} + t_{ild} + st_i - M(1 - \sum_{j \in V(S)} x_{ijkd}) \quad \forall i \in P_2(S), k \in K, d \in D(S) \quad (18)$$

$$B_{ikd} \geq B_{ackd} + t_{pid} - M(1 - \sum_{j \in V(S)} x_{ijkd}) \quad \forall i \in D_2(S), k \in K, d \in D(S) \quad (19)$$

$$E_{ikd} \geq aa_i \sum_{j \in V \setminus \{0\}c} (x_{ijkd} - B_{ikd}) \quad \forall i \in N(S), k \in K, d \in D(S) \quad (20)$$

$$L_{ikd} \geq B_{ikd} - bb_i \quad \forall i \in N(S), k \in K, d \in D(S) \quad (21)$$

$$y_{ijkd} + w_{ijkd} \leq Qx_{ijkd} \quad \forall i, j \in V(S), k \in K, d \in D(S) \quad (22)$$

$$\sum_{i \in V(S)} \sum_{j \in V(S)} x_{ijkd} (t_{ija} + st_i) \leq T \quad \forall k \in K, d \in D(S) \quad (23)$$

$$pt_{kd} \geq B_{lkd} + st_i \sum_{j \in V} x_{ijkd} \quad \forall i \in D_2(S), k \in K, d \in D(S) \quad (24)$$

$$x_{ijkd} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V(S), k \in K, d \in D(S) \quad (25)$$

$$y_{ijkd} \geq 0 \quad \forall i, j \in V(S), k \in K, d \in D(S) \quad (26)$$

$$B_{ikd} \geq 0 \quad \forall i \in V(S), k \in K, d \in D(S) \quad (27)$$

$$w_{ijkd} \geq 0 \quad \forall i, j \in V(S), k \in K, d \in D(S) \quad (28)$$

$$E_{ik} \geq 0 \quad \forall i, j \in N, k \in K, d \in D(S) \quad (29)$$

$$L_{ik} \geq 0 \quad \forall i, j \in N, k \in K, d \in D(S) \quad (30)$$

و عبارت سوم نیز به کمیته‌سازی هزینه حضور نیروی انسانی در تور می‌پردازد. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که هر مشتری در هر

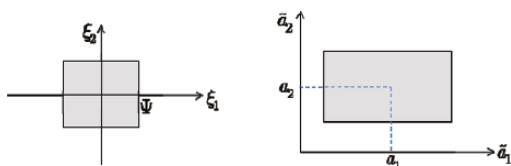
بخش اول عبارت (۵) مربوط به کمیته‌سازی هزینه (زمان) سفر است، عبارت دوم میزان تخطی از پنجره زمانی را حداقل می‌سازد

می‌کنیم. ξ_j متغیری است که با تغییر در بازه $-\Psi$ تا Ψ بخش عدم قطعیت هر پارامتر را می‌سازد. Ψ پارامتر میزان عدم قطعیت است:

$$-\Psi \leq \xi \leq \Psi \quad (31)$$

در مجموعه‌های محدب بسته با در نظر گرفتن فضای عدم قطعیت U برای پارامترهای دارای عدم قطعیت، هدف یافتن مجموعه جوابی است که به ازای هر مقداری از ξ شدنی باقی بماند. همانطور که در عبارت شماره (۳۲) مشاهده می‌شود در مجموعه‌های محدب با فضای عدم قطعیت جعبه، با در نظر گرفتن نرم بی‌نهایت (U_∞) مدل‌سازی عدم قطعیت انجام می‌گیرد [Ben-Tal et al., 2009; Ben-Tal and Nemirovski, 1998]. شکل شماره (۲) توجیه هندسی فضای عدم قطعیت جعبه را نشان می‌دهد:

$$U_\infty = \{\xi \mid \|\xi\| \leq \Psi\} = \{\xi_j \mid |\xi_j| \leq \Psi \forall j \in J_i\} \quad (32)$$



شکل ۲. فضای عدم قطعیت جعبه

J_i نشان‌دهنده مجموعه پارامترهای دارای عدم قطعیت است. پارامتر زمان سفر در مدل ارائه‌شده دارای عدم قطعیت است. توزیع عدم قطعیت این پارامترها مشخص نیست و می‌توان آن را به صورت دو بخشی، متشکل از بخش اسمی و قسمت دارای عدم قطعیت نوشت:

$$\tilde{t}_{ija} = t_{ija} + \hat{t}_{ija}\xi_j \quad (33)$$

بنابراین محدودیت‌های ۱۳، ۱۸، ۱۹ و ۲۳ دارای پارامتر عدم قطعیت هستند و باید به فرم قطعی نوشته شوند. این محدودیت‌ها را با توجه به مقاله لی [Li, Ding, and Floudas, 2011] با در نظر گرفتن فضای عدم قطعیت جعبه، به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

در محدودیت‌های زیر، عبارات (۳۴) تا (۳۷) همزاد استوار محدودیت‌های دارای پارامتر عدم قطعیت هستند.

روز سناریوی مربوطه دقیقاً یک‌بار دیده شود. طبق محدودیت‌های (۷) و (۸) آزمایشگاه و مرکز دیالیز به ترتیب باید در تور وسیله نقلیه با بیماران دسته D_2 و P_2 قرار بگیرد. دسته محدودیت (۹) و (۱۰) بیان می‌دارند که هر وسیله نقلیه باید تور خود را از انبار شروع کرده و در نهایت نیز به انبار بازگردد. محدودیت (۱۱) برابر بودن جریان ورودی و خروجی را به هر گره تضمین می‌کند. طبق محدودیت (۱۲) هر وسیله نقلیه در هر تور باید حداکثر یکبار به مرکز دیالیز و آزمایشگاه برود. محدودیت (۱۳) محدودیت تداوم زمان ملاقات گره‌ها و دسته محدودیت‌های (۱۴) و (۱۵) نیز معادلات جریان تقاضاهای گذاشت و برداشت هستند. محدودیت‌های (۱۶) و (۱۷) به ترتیب تضمین می‌کنند که تقاضای گذاشت تمامی بیماران D_1 در دپو بارگیری شود و تقاضای برداشت تمامی بیماران P_2 به آزمایشگاه حمل شود. محدودیت‌های (۱۸) و (۱۹) نیز به ترتیب سرویس‌دهی به بیماران P_2 پیش از بازگشت به آزمایشگاه و رفتن وسیله نقلیه به مرکز دیالیز پیش از سرویس‌دهی به بیماران D_2 را تضمین می‌کنند. عبارات (۲۰) و (۲۱) محدودیت‌های پنجره زمانی را نشان می‌دهند. عبارت (۲۲) محدودیت بار وسیله نقلیه و عبارت (۲۳) نیز محدودیت طول زمانی تور است. عبارت (۲۴) مدت زمان حضور هر نیروی انسانی را در هر روز و در هر تور محاسبه می‌نماید. عبارات (۲۵) تا (۳۰) نیز محدودیت‌های تعریف متغیرهای مساله هستند.

۵. بهینه‌سازی استوار

در این مقاله از یک رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر برنامه‌ریزی مخروطی استفاده شده است که در آن داده‌های دارای عدم قطعیت عضوی از مجموعه محدب بسته U در نظر گرفته می‌شوند. اگر در یک مساله بهینه‌سازی، J_i مجموعه پارامترهایی از ماتریس تکنولوژیک A تعریف شود که در سطر i ام دارای عدم قطعیت هستند. هر داده دارای عدم قطعیت، $a_{ij}, j \in J_i$ به صورت متغیر تصادفی مستقل و متقارن \tilde{a}_{ij} تعریف می‌شود که به بازه $[a_{ij} - \hat{a}_{ij}, a_{ij} + \hat{a}_{ij}]$ با مرکزیت مقدار اسمی a_{ij} متعلق است. برای مدل‌سازی هر متغیر دارای عدم قطعیت، انحراف از مقدار اسمی را به صورت $\xi_i = (\tilde{a}_{ij} - a_{ij})/\hat{a}_{ij} \forall i$ تعریف

$$B_{jkd} \geq B_{ikd} + t_{ija} + st_i - M(1 - x_{ijkd}) + \Psi \hat{t}_{ija} \quad \forall i \in V, j \in V \setminus 0, k \in K, d \in D(S) \quad (34)$$

$$B_{ikd} \geq B_{ikd} + t_{ild} + st_i - M(1 - \sum_{j \in V(S)} x_{ijkd}) + \Psi \hat{t}_{ild} \quad \forall i \in P_2(S), k \in K, d \in D(S) \quad (35)$$

$$B_{ikd} \geq B_{hkd} + t_{hid} - M(1 - \sum_{j \in V} x_{ijkd}) + \Psi \hat{t}_{hid} \quad \forall i \in D_2(S), k \in K, d \in D(S) \quad (36)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} x_{ijkd} (t_{ija} + st_i) + \Psi \left(\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} x_{ijkd} \hat{t}_{ija} \right) \leq T \quad \forall k \in K, d \in D(S) \quad (37)$$

هزینه تخصیص بیماران به روزها به صورت تصادفی از بازه ۱ تا ۹ انتخاب شده است؛ به عبارت دیگر $\theta_{id} \sim Uniform\{1, \dots, 9\}$ در یک مثال واقعی می‌توان θ_{id} را بر اساس هزینه‌های ترافیکی، طرح‌های زوج و فرد و غیره محاسبه نمود.

در مرحله بعد با حل مدل ریاضی دوم، تصمیم مسیریابی نیز به صورت جداگانه برای هر دسته از مشتریان تخصیص یافته به هر سناریو اتخاذ می‌گردد. پارامترهای مربوط به حل مدل ریاضی دوم برای پنج مثال عددی ذکر شده، در جدول (۳) قابل مشاهده است.

جدول ۳. پارامترهای حل مثال عددی

پارامترها	مقدار
d_1	$\sim Uniform\{0, \dots, 40\}$
p_1	$\sim Uniform\{0, \dots, 10\}$
d_2	$\sim Uniform\{0, 1\}$
p_2	$\sim Uniform\{0, 1, 2\}$
c	فاصله اقلیدوسی (منخصات تصادفی)
t	برابر با c (دقیقه)
tc	۵
st	۲۰ دقیقه
Q	۱۰۰
Δ	۱۰
π	۲
k	۲

مساله فوق یکبار دیگر با در نظر گرفتن پارامترهای دارای عدم قطعیت و به صورت بهینه‌سازی استوار حل می‌شود. حداکثر انحراف پارامتر دارای عدم قطعیت در مدل استوار از مقدار اسمی

۶. نتایج محاسباتی

مدل ریاضی فوق به وسیله نرم‌افزار گمز^۱ و بر روی یک کامپیوتر با مشخصات Core (TM) 2 GHz CPU و RAM 4G حل شده است. فرض می‌کنیم هدف سرویس‌دهی به مشتریان با فرکانس ثابت سه روز در هفته باشد. در این راستا می‌توان دو سناریوی سرویس‌دهی در روزهای زوج و فرد مطابق جدول (۱) تعریف کرد:

جدول ۱. سناریوهای سرویس‌دهی به مشتریان

سازمان	روز	ساعت	ساعت	ساعت	ساعت	ساعت
۱	*	*	*	*	*	*
۲	*	*	*	*	*	*

مدل ریاضی اول به تخصیص مشتریان به دو سناریوی ذکر شده می‌پردازد. برای اعتبارسنجی و تحلیل نتایج از پنج دسته مثال عددی استفاده شده است. اطلاعات مربوط به حل مدل ریاضی اول در جدول (۲) نمایش داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که چه تعدادی از بیماران در هر مثال عددی به هر سناریو تخصیص داده شده‌اند:

جدول ۲. مثال‌های عددی

TP	N	N_{S1}	N_{S2}
۱	8	۴	۴
۲	9	۵	۴
۳	10	۵	۵
۴	11	۵	۶
۵	12	۶	۶

برابر با ۱۰٪ مقدار اسمی در نظر گرفته شده است؛ به عبارت دیگر

$$\hat{t}_{ija} \sim [0, 0.1 \times t_{ija}]$$

دلیل استفاده از بهینه‌سازی استوار برای برخورد با عدم قطعیت این است که در صورت به روز شدن داده‌ها و پارامترهای دارای عدم قطعیت، مدل در برابر نقض محدودیت از خود «پایداری و استواری» نشان دهد؛ به عبارت دیگر مدلی داشته باشیم که با داده‌های واقعی و با کمترین سطح هزینه، تحت شرایط مختلف کمترین تغییرات را داشته باشد. جهت بررسی این ویژگی در مدل‌های استوار می‌توان از واقع‌نمایی^۷ استفاده کرد. برای واقع‌نمایی، مقدار عددی متغیرها و خروجی یک مدل به عنوان پارامترهای ورودی مدلی شبیه به مدل قطعی در نظر گرفته می‌شود. مقدار به روز و واقعی پارامتر دارای عدم قطعیت ($\hat{t}_{ija} \sim [t_{ija}, t_{ija} + \hat{t}_{ija}]$) نیز در مدل قرار داده شده و به هر محدودیت یک متغیر لقی اضافه می‌شود که در صورت نقض محدودیت مقدار می‌گیرد و برای هر لقی در تابع هدف جریمه‌ای قرار داده می‌شود. در واقع هدف از ایجاد مدل واقع‌نمایی، بررسی و مقایسه میزان نقض محدودیت‌ها در مدل‌های قطعی و استوار است.

با قرار دادن پارامتر سطح محافظه‌کاری برابر با صفر ($\Psi = 0$)، مقدار تابع هدف مدل قطعی و استوار یکسان می‌شود. با بالا بردن سطح محافظه‌کاری هزینه مدل استوار بدتر مساوی همتای قطعی خود خواهد بود، چراکه به منظور محافظت از مدل در برابر نقض محدودیت، جل به دست آمده از نقطه بهینه دور می‌شود. مقدار تابع هدف مدل استوار و هزینه نقض محدودیت برای مثال عددی سوم در یک واقع‌نمایی ($\hat{t}_{ija} = 0.05 \times t_{ija}$) در جدول (۴) نمایش داده شده است:

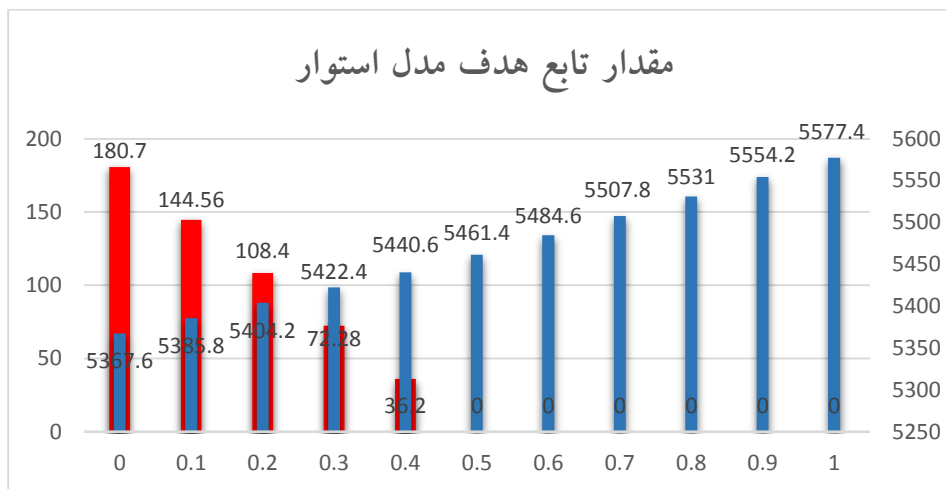
Z_R و Z_D در جدول (۴) به ترتیب مقادیر تابع هدف مدل‌های قطعی و استوار را نشان می‌دهند. درصد افزایش هزینه مدل استوار نسبت به حالت قطعی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده است:

$$\frac{Z_R - Z_D}{Z_D} \times 100 \quad (۳۷)$$

برای محاسبه درصد کاهش نقض نیز هزینه نقض مدل استوار نسبت به نقض مدل قطعی ($\Psi = 0$) مورد سنجش قرار گرفته است. شکل (۳) مقدار تابع هدف و هزینه نقض محدودیت مدل استوار را در این مثال عددی نشان می‌دهد:

جدول ۴. مقدار تابع هدف و هزینه نقض مدل استوار

Ψ	۰	۰,۱	۰,۲	۰,۳	۰,۴	۰,۵	۰,۶	۰,۷	۰,۸	۰,۹	۱
Z_D	۵۳۶۷,۶										
Z_R	۵۳۶۷,۶	۵۳۸۵,۵	۵۴۰۴,۲	۵۴۲۲,۴	۵۴۴۰,۶	۵۴۶۱,۴	۵۴۸۴,۶	۵۵۰۷,۸	۵۵۳۱	۵۵۵۴,۲	۵۵۷۷,۴
درصد افزایش هزینه	%۰	%۰,۳۴	%۰,۶۸	%۱,۰۲	%۱,۴	%۱,۷	%۲,۲	%۲,۶	%۳,۰۴	%۳,۵	%۳,۹
نسبت به حالت قطعی											
هزینه نقض محدودیت	۱۸۰,۷	۱۴۴,۵۶	۱۰۸,۴	۷۲,۲۸	۳۶,۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
درصد کاهش نقض											
محدودیت نسبت به	%۰	%۲۰	%۴۰	%۶۰	%۷۹,۹	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰	%۱۰۰
حالت قطعی											



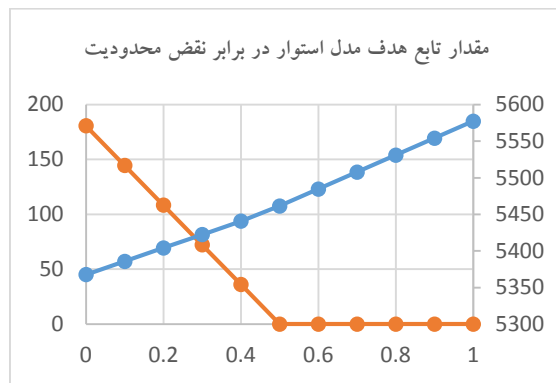
شکل ۳. مقایسه مقدار تابع هدف و هزینه نقض مدل استوار در سطوح مختلف عدم قطعیت

با بالا بردن سطح محافظه‌کاری در مدل استوار مدل سختگیرانه‌تر شده و نقض محدودیت کاهش می‌یابد. با ایجاد پانزده واقع‌نمایی این ویژگی را بر روی مثال عددی سوم با در نظر گرفتن سه سطح محافظه‌کاری کم ($\Psi = 0.1$) متوسط ($\Psi = 0.5$) و زیاد ($\Psi = 0.9$) بررسی می‌کنیم. جدول (۵) مقادیر هزینه نقض محدودیت مربوط به این سه سطح محافظه‌کاری را نشان می‌دهد:

جدول ۵. مقایسه نقض محدودیت مدل استوار در سطوح مختلف عدم قطعیت

سطح محافظه‌کاری	$\Psi = 0.1$	$\Psi = 0.5$	$\Psi = 0.9$
	۰	۰	۰
	۰	۰	۰
	۱۱,۶	۰	۰
	۳۵,۴	۰	۰
	۵۹,۳	۰	۰
	۸۳,۱	۰	۰
	۱۰۷	۰	۰
	۱۳۰,۸	۰	۰
	۱۵۴,۷	۱۰,۱	۰
	۱۷۸,۵	۳۴	۰
	۲۰۲,۴	۵۷,۹	۰
	۲۲۶,۲	۸۱,۷	۰
	۲۵۰,۱	۱۰۵,۵	۰
	۲۷۳,۹	۱۲۹,۴	۰
	۲۹۸	۱۵۳,۲	۸,۶
میانگین	۱۳۴,۱	۳۸,۱	۰,۵۷
انحراف معیار	۹۸,۲	۵۲,۲	۲,۱

نشان می‌دهد. حال این سوال پیش می‌آید که چه روشی برای محاسبه بهترین سطح محافظه کاری مناسب است؟ اگر سطح پایینی از محافظه کاری را در نظر بگیریم، ممکن است با نقض محدودیت مواجه شویم؛ از طرفی هزینه دیگری که می‌توان آن را در برابر هزینه نقض محدودیت در نظر گرفت «هزینه فرصت از دست رفته» یا همان هزینه ایست که بابت محافظه کاری بیش از حد در سطوح بالای محافظه کاری می‌پردازیم.

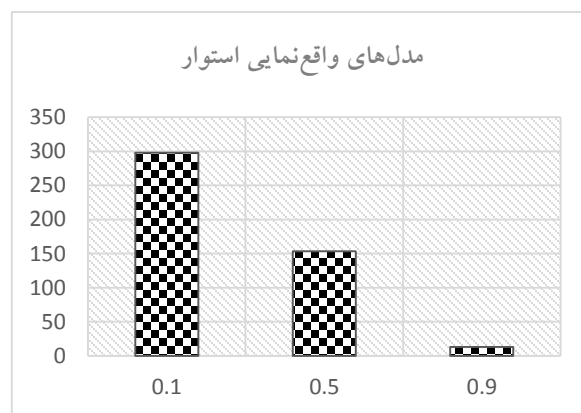


شکل ۵. تعیین بهترین مقدار Ψ

همانطور که در جدول (۴) و شکل‌های (۳) و (۵) نیز مشخص است از سطح محافظه کاری $\Psi = 0.5$ به بعد نه تنها از نقض محدودیت کاسته نمی‌شود بلکه میزان هزینه نیز افزایش می‌یابد؛ این یعنی با محافظه کاری بیش از اندازه از مقدار بهینه تابع هدف دور شده‌ایم. برای محاسبه فرصت از دست رفته باید در سطوحی از Ψ که نقض محدودیت برابر با صفر است مقدار پارامتر واقع‌نمایی را در مدل قطعی قرار دهیم و پس از اجرای مدل قطعی، میزان اختلاف تابع هدف مدل قطعی و مدل استوار را بیابیم. جدول (۶) مقادیر هزینه نقض محدودیت و هزینه فرصت از دست رفته را در ده واقع‌نمایی و به ازای سطوح مختلف محافظه کاری برای مثال عددی سوم نشان می‌دهد:

C_{cv} و C_{mo} در جدول (۶) به ترتیب هزینه نقض محدودیت و هزینه فرصت از دست رفته را نشان می‌دهند. با توجه به اهمیت ارائه خدمات درمانی به موقع، جریمه نقض محدودیت پنج برابر بزرگتر از جریمه فرصت از دست رفته در نظر گرفته شده است:

می‌بینیم که نقض محدودیت مدل استوار در سطح محافظه کاری زیاد نسبت به سطح محافظه کاری کم تقریباً با ۱۰۰٪ کاهش مواجه است. بر اساس نتایج حاصل واضح است که با افزایش محافظه کاری مدل، مدل سختگیرانه‌تر شده و میزان نقض محدودیت‌ها کاهش می‌یابد. می‌بینیم که در بالاترین سطح محافظه کاری نه تنها میزان نقض محدودیت بسیار کوچک است بلکه مدل بسیار پایدار است و جواب‌های آن دارای تغییرات بسیار کمی هستند. این ویژگی را می‌توان در شکل (۴) به وضوح دید:



شکل ۴. مقایسه نقض محدودیت مدل‌های استوار در سطوح مختلف عدم قطعیت

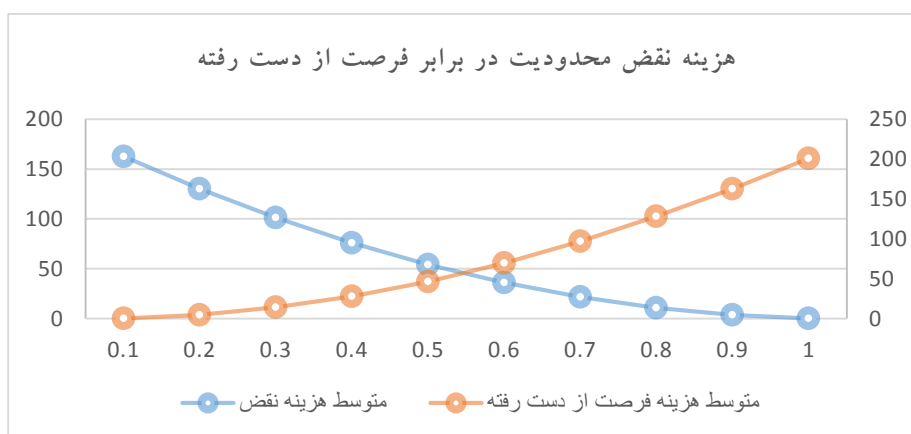
اما یکی از سوالات اساسی در برپایی یک مدل استوار این است که تا چه اندازه برای جلوگیری از نقض محدودیت‌ها، افزایش هزینه (نسبت به نقطه بهینه اسمی) قابل پذیرش است. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود با افزایش سطح محافظه کاری، هزینه مدل استوار افزایش یافته و هزینه نقض محدودیت کاهش می‌یابد. مقدار نقض محدودیت از $\Psi = 0.5$ به بعد برای این مثال برابر با صفر است؛ از طرفی با افزایش سطح محافظه کاری بیش از ۰٫۵ هزینه تابع هدف افزایش می‌یابد. این یعنی از سطح محافظه کاری ۰٫۵ به بعد محافظه کاری مدل بیش از اندازه بوده و تنها موجب بالا رفتن هزینه تابع هدف می‌شود. روشی برای تعیین بهترین سطح محافظه کاری به نمودار کشیدن مقدار هزینه تابع هدف در برابر هزینه نقض محدودیت است (شکل (۵)):

محل تلاقی این دو نمودار ($\Psi = 0.3$) بهترین سطح محافظه کاری بر اساس معیار هزینه تابع هدف و هزینه نقض را

مسیریابی دوره‌ای استوار وسایل نقلیه در مراقبت بهداشت خانگی بیماران دیالیز صفاتی

جدول ۶. مقادیر هزینه نقض محدودیت و فرصت از دست رفته در سطوح مختلف محافظه‌کاری

واقع‌نمایی	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۱	میانگین
$\Psi = 0,1$ $Z = 5385,5$	C_{cv} ۰	۳۶,۱	۷۲,۳	۱۰۸,۴	۱۴۴,۶	۱۸۰,۷	۲۱۶,۸	۲۵۳	۲۸۹	۳۲۵,۲	۱۶۲,۶
	C_{mo} ۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$\Psi = 0,2$ $Z = 5404,2$	C_{cv} ۰	۰	۳۶,۱	۷۲,۲	۱۰۸,۴	۱۴۴,۵	۱۸۰,۷	۲۱۶,۸	۲۵۳	۲۸۹	۱۳۰,۱
	C_{mo} ۴۶,۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴,۶
$\Psi = 0,3$ $Z = 5422,4$	C_{cv} ۰	۰	۰	۳۶,۱	۷۲,۳	۱۰۸,۴	۱۴۴,۵	۱۸۰,۷	۲۱۶,۸	۲۵۳	۱۰۱,۲
	C_{mo} ۹۲,۸	۴۶,۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۴
$\Psi = 0,4$ $Z = 5440,6$	C_{cv} ۰	۰	۰	۰	۳۶,۱	۷۲,۳	۱۰۸,۴	۱۴۴,۵	۱۸۰,۷	۲۱۶,۸	۷۵,۹
	C_{mo} ۱۳۹,۲	۹۲,۸	۴۶,۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷,۹
$\Psi = 0,5$ $Z = 5461,4$	C_{cv} ۰	۰	۰	۰	۰	۳۶,۱	۷۲,۳	۱۰۸,۴	۱۴۴,۵	۱۸۰,۷	۵۴,۲
	C_{mo} ۱۸۵,۶	۱۳۹,۲	۹۲,۸	۴۶,۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۶,۴
$\Psi = 0,6$ $Z = 5484,6$	C_{cv} ۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۶,۱	۷۲,۳	۱۰۸,۴	۱۴۴,۵	۳۶,۱
	C_{mo} ۲۳۲	۱۸۵,۶	۱۳۹,۲	۹۲,۸	۴۶,۲	۰	۰	۰	۰	۰	۶۹,۶
$\Psi = 0,7$ $Z = 5507,8$	C_{cv} ۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۶,۱	۷۲,۳	۱۰۸,۴	۲۱,۷
	C_{mo} ۲۷۳,۴	۲۳۲	۱۸۵,۶	۱۳۹,۲	۹۲,۸	۴۶,۲	۰	۰	۰	۰	۹۷
$\Psi = 0,8$ $Z = 5531$	C_{cv} ۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۶,۱	۷۲,۳	۱۰,۸
	C_{mo} ۳۱۰	۲۷۳,۴	۲۳۲	۱۸۵,۶	۱۳۹,۲	۹۲,۸	۴۶,۲	۰	۰	۰	۱۲۸
$\Psi = 0,9$ $Z = 5554,2$	C_{cv} ۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۶,۱	۳,۶
	C_{mo} ۳۴۶,۶	۳۱۰	۲۷۳,۴	۲۳۲	۱۸۵,۶	۱۳۹,۲	۹۲,۸	۴۶,۲	۰	۰	۱۶۲,۶
$\Psi = 1$ $Z = 5577,4$	C_{cv} ۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	C_{mo} ۳۸۳,۲	۳۴۶,۶	۳۱۰	۲۷۳,۴	۲۳۲	۱۸۵,۶	۱۳۹,۲	۹۲,۸	۴۶,۲	۰	۲۰۱



شکل ۶. تعیین بهترین مقدار Ψ بر اساس هزینه نقض محدودیت و فرصت از دست رفته برای مثال عددی سوم

متوسط هزینه از دست رفته را برای هر پنج مثال عددی نشان می دهد.

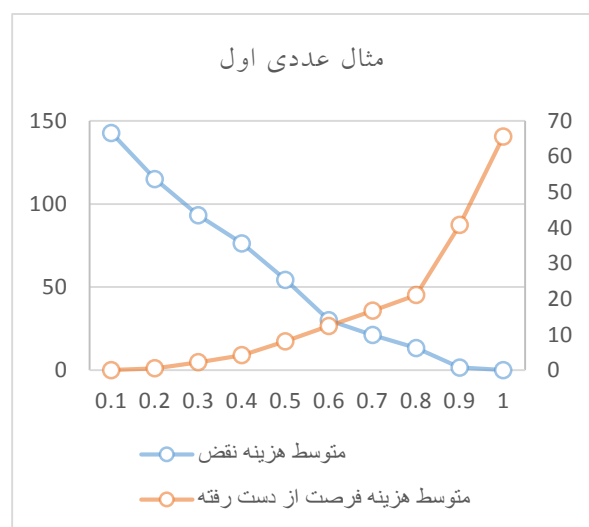
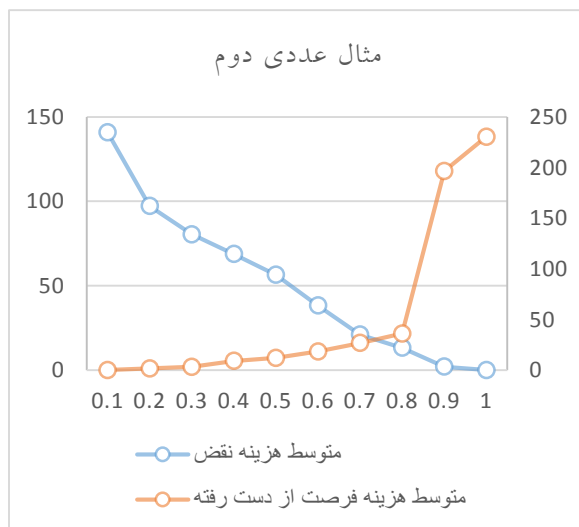
بر اساس شکل (۷) می توانیم ببینیم که بهترین سطح Ψ برای مثال های عددی اول، دوم، چهارم و پنجم به ترتیب برابر با ۰,۶، ۰,۷، ۰,۶ و ۰,۶ است. پس از تعیین بهترین مقدار Ψ برای هر مثال عددی، می توان به بررسی عملکرد مدل استوار و مقایسه آن با مدل قطعی پرداخت.

حال برای یافتن بهترین سطح محافظه کاری متوسط هزینه نقض و هزینه فرصت از دست رفته به ازای سطوح مختلف عدم قطعیت به نمودار می کشیم

بهترین سطح محافظه کاری برای مثال عددی سوم بر اساس هزینه های نقض محدودیت و فرصت از دست رفته برابر با ۰,۶ است. برای یافتن بهترین سطح Ψ در چهار مثال عددی دیگر نیز به صورت بالا عمل می شود. جدول (۷) متوسط هزینه نقض و

جدول ۷. متوسط هزینه نقض محدودیت و هزینه فرصت از دست رفته در پنج مثال عددی

مثال عددی		$\Psi = 0.1$	$\Psi = 0.2$	$\Psi = 0.3$	$\Psi = 0.4$	$\Psi = 0.5$	$\Psi = 0.6$	$\Psi = 0.7$	$\Psi = 0.8$	$\Psi = 0.9$	$\Psi = 1$
T.P (1)	\bar{C}_{cv}	۱۴۲,۸	۱۱۵	۹۳,۲	۷۶,۳	۵۴,۴	۳۰,۰۱	۲۱,۰۸	۱۳,۳	۱,۶	۰
	\bar{C}_{mo}	۰	۰,۵۲	۲,۲	۴,۲	۸,۱	۱۲,۴	۱۶,۷	۲۱,۱	۴۰,۸	۶۵,۶
T.P (۲)	\bar{C}_{cv}	۱۴۸	۹۷,۲	۸۰,۴	۶۸,۸	۵۶,۴	۳۸,۲	۲۱	۱۳,۲	۲۰,۴	۰
	\bar{C}_{mo}	۰	۱,۵۶	۳,۲	۹	۱۲	۱۸,۴	۲۶,۸	۳۶,۰۴	۱۹۶,۶	۲۳۰,۴
T.P (۳)	\bar{C}_{cv}	۱۶۲,۶	۱۳۰,۱	۱۰۱,۲	۷۵,۹	۵۴,۲	۳۶,۱	۲۱,۷	۱۰,۸	۳,۶	۰
	\bar{C}_{mo}	۰	۴,۶	۱۴	۲۷,۹	۴۶,۴	۶۹,۶	۹۷	۱۲۸	۱۶۲,۶	۲۰۱
T.P (۴)	\bar{C}_{cv}	۱۳۴,۴	۱۰۸,۶	۸۶	۶۵,۵	۴۷,۱	۲۸,۲	۱۸,۶	۱۲,۲	۱,۶	۰
	\bar{C}_{mo}	۰	۱,۰۸	۲,۶	۸,۳	۱۳,۱	۱۸,۴	۲۷,۴	۳۶,۴	۵۹,۴	۷۹,۶
T.P (۵)	\bar{C}_{cv}	۱۳۴,۴	۹۸,۲	۸۴,۳	۵۸,۴	۴۰,۰۶	۳۲,۴	۱۸,۳	۹,۱	۳,۴	۰
	\bar{C}_{mo}	۰	۱,۸	۵,۲	۱۱,۳	۱۷,۵	۲۵,۶	۳۷,۷	۵۵,۳	۷۳,۲	۹۴,۶



مسیریابی دوره‌ای استوار وسایل نقلیه در مراقبت بهداشت خانگی بیماران دیالیز صفاتی



شکل ۷. تعیین بهترین مقدار Ψ بر اساس هزینه نقض محدودیت و فرصت از دست رفته برای مثال‌های عددی اول، دوم، چهارم و پنجم

واقع‌نمایی ایجاد کردیم؛ در هر اندازه مسئله، متغیرهای خروجی حاصل از هر یک از این مدل‌ها را استخراج نمودیم؛ این متغیرها سپس به عنوان پارامتر در یک مدل واقع‌نمایی قرار داده شدند. مدل‌های تصادفی تولید شده و پارامترهای مربوط به آنها در جدول (۸) قابل مشاهده هستند (D نشان‌دهنده مدل قطعی و R نیز نشان‌دهنده مدل استوار است):

۷. اعتبارسنجی و واقع‌نمایی

بر اساس منطق استواری انتظار می‌رود که مدل استوار کمترین میزان نقض محدودیت‌ها را داشته باشد. از این رو برای سنجش اعتبار مدل استوار ارائه شده، برای هریک از مثال‌های عددی بیست

جدول ۸. مقایسه مدل‌های واقع‌نمایی استوار و قطعی در مسائلی با ابعاد و پارامترهای متفاوت

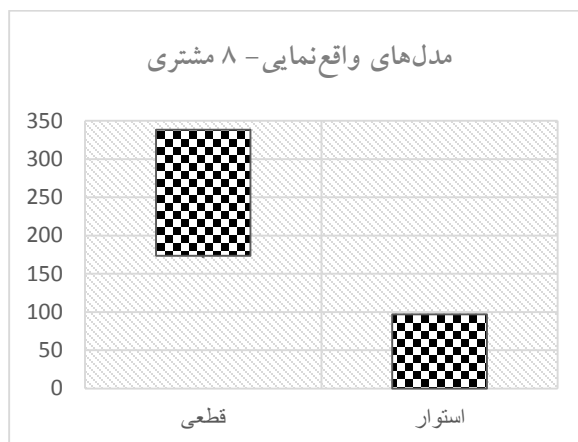
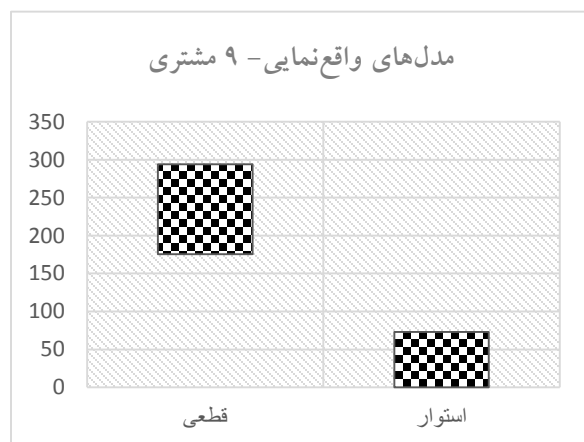
مثال عددی	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5
Ψ	۰,۶	۰,۷	۰,۶	۰,۶	۰,۶
هزینه نقض	D	D	D	D	D
محدودیت	R	R	R	R	R
	۱۷۳,۴	۱۷۵,۶	۱۷۰,۳	۱۸۳,۴	۱۷۵,۳
	۱۷۰,۶	۱۸۰,۴	۱۷۵,۵	۱۹۲,۵	۱۸۱
	۱۷۲,۲	۱۸۴,۳	۱۸۶,۲	۱۹۸	۱۸۴,۲
	۱۸۱,۶	۱۸۶,۵	۱۸۹,۹	۲۰۲,۳	۱۸۶
	۱۹۰,۱	۱۹۲,۴	۱۹۴,۳	۲۰۵	۱۹۶,۶
	۱۹۸,۵	۱۹۹,۲	۱۹۸,۸	۲۱۱,۳	۱۹۹,۱
	۲۰۴,۲	۲۰۰,۷	۲۰۴	۲۱۸,۹	۲۰۵,۸
	۲۰۷,۵	۲۱۶	۲۱۰,۶	۲۲۰,۲	۲۱۱
	۲۱۰,۳	۲۱۹,۲	۲۱۲,۴	۲۲۳,۳	۲۲۳

مونا عیسی بخش، سید مهدی حسینی مطلق، محمدرضا قطره سامانی

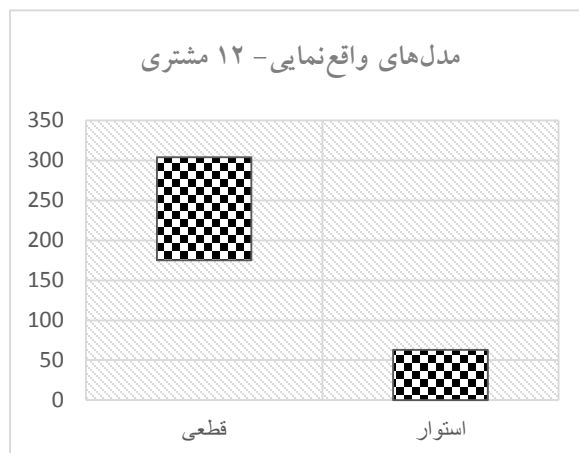
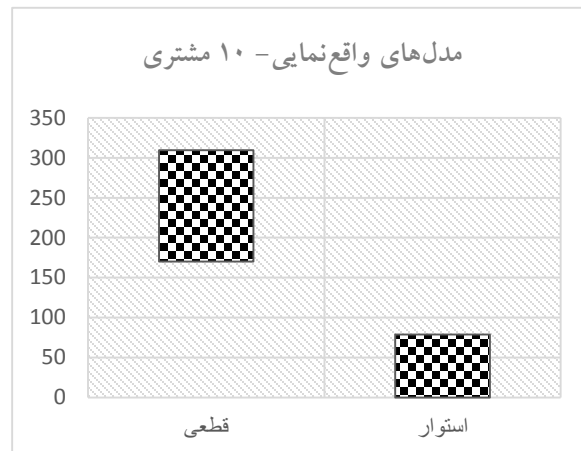
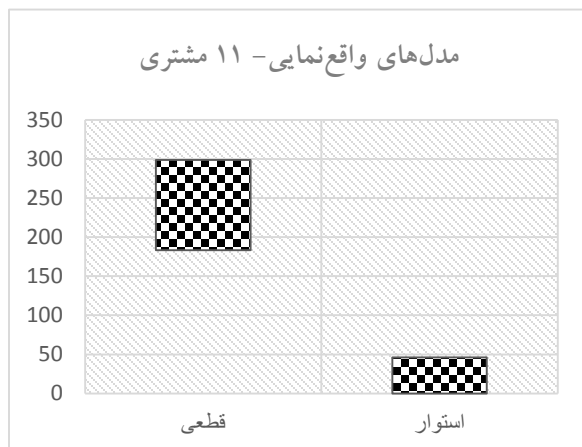
	۲۱۳,۴	۱۸,۶	۲۲۳	۱۴,۲	۲۱۸	۲۳,۸	۲۲۵,۶	۱۰,۶	۲۲۸,۸	۲۴
	۲۱۹	۲۰,۳	۲۲۸,۸	۱۵,۳	۲۲۲,۴	۳۰,۲	۲۳۰	۱۴,۸	۲۳۴,۶	۲۸,۸
	۲۲۸,۱	۲۴,۴	۲۳۵,۱	۱۸,۶	۲۲۵	۳۲,۲	۲۳۴,۸	۱۸,۶	۲۴۵	۳۲,۱
	۲۳۴	۳۱,۲	۲۳۶,۱	۲۰,۱	۲۴۰,۸	۳۴,۸	۲۴۰,۴	۲۱,۷	۲۴۷,۲	۳۴,۲
	۲۴۲,۳	۳۵,۸	۲۴۲	۲۶,۳	۲۴۵	۳۸,۹	۲۴۴,۴	۲۳,۳	۲۵۴,۵	۳۹,۱
	۲۵۰,۶	۴۲,۶	۲۴۷,۴	۳۰,۳	۲۵۸	۳۹	۲۵۳	۲۶,۲	۲۵۸,۳	۴۲,۲
	۲۷۰,۲	۵۴,۳	۲۵۱,۳	۳۴,۴	۲۶۸	۵۲	۲۶۴,۵	۲۸,۳	۲۶۴,۶	۴۵,۶
	۲۸۰,۳	۶۰,۷	۲۶۳,۳	۴۸,۸	۲۸۵,۶	۶۳,۱	۲۷۵,۳	۳۳,۲	۲۷۳	۴۷,۹
	۳۰۵,۴	۷۴,۴	۲۷۲	۵۲	۲۹۷,۲	۶۶,۸	۲۷۷,۲	۳۸	۲۷۸,۹	۵۱,۱
	۳۱۷,۵	۸۰,۳	۲۸۷,۲	۵۹,۳	۳۰۸,۳	۷۰,۷	۲۷۹	۴۲,۶	۲۹۴	۵۴
	۳۳۸,۳	۹۶,۸	۲۹۳,۸	۷۳,۱	۳۰۹,۵	۷۸,۹	۲۹۸,۷	۴۶	۳۰۴,۲	۶۳
mean	۲۳۰,۴	۲۸,۸	۲۲۶,۷	۲۱,۵	۲۳۱	۳۱,۲	۲۳۳,۹	۱۵,۸	۲۳۲,۳	۲۷,۱
SD	۴۸,۴	۲۹,۴	۳۴,۶	۲۱,۲	۴۲,۸	۲۳,۵	۳۱,۵	۱۵,۳	۳۸,۳	۱۹,۳

از لحاظ ثبات عددی جوابها (بر اساس شاخص انحراف معیار) بهتر عمل می کنند. این عملکرد بهتر در شکل (۸) نیز به تصویر کشیده شده است:

همانطور که در این جدول دیده می شود مدل های واقع نمایی استوار در هر اندازه مسئله نسبت به مدل واقع نمایی قطعی هم از لحاظ میزان نقض محدودیتها (بر اساس شاخص میانگین) و هم



مسیریابی دوره‌ای استوار وسایل نقلیه در مراقبت بهداشت خانگی بیماران دیالیز صفافی



شکل ۸. مقایسه نقض محدودیت در مدل‌های قطع‌ی و استوار در در مدل‌هایی با نه، ده، یازده و دوازده مشتری

۸. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل مسیریابی دوره‌ای استوار وسایل نقلیه با گذاشت و برداشت همزمان و پنجره زمانی، کاربردی در بهینه‌سازی مراقبت بهداشت خانگی بیماران دیالیزی ارائه شد. در این مدل وسیله نقلیه علاوه بر منزل بیماران و انبار شرکت دو پایگاه دیگر به نام‌های «مرکز خدمات دیالیز» و «آزمایشگاه» را نیز به منظور خدمت‌رسانی به بیماران در مسیر خود ملاقات می‌کند. با تاکید بر اهمیت و حساسیت ارائه خدمات بهداشتی و درمانی و عدم قطعیت موجود در زمان سفر وسیله نقلیه از رویکرد بهینه‌سازی استوار برای برخورد با عدم قطعیت استفاده شد.

تعداد زیاد مشتریان سیستم و پراکندگی آنها در چنین مسئله‌ای تصمیم مسیریابی را دشوار می‌سازد. به منظور کاهش هزینه‌های مسیریابی برنامه‌ریزی باید به گونه‌ای انجام شود که تمامی تقاضاهای گذاشت و برداشت هر بیمار به طور همزمان و توسط یک وسیله برطرف گردد. سناریوی زمانی خدمت‌رسانی نیز باید با در نظر گرفتن هزینه‌های روزانه به صورت بهینه انتخاب شود. بر اساس نتایج بخش اعتبارسنجی مشاهده شد که مدل استوار ارائه شده از عملکرد نسبتاً مطلوبی در زمینه ارائه خدمات مراقبت بهداشت خانگی به بیماران دیالیزی برخوردار است. این مدل بالاترین سطح محافظه‌کاری هزینه را تنها به میزان ۳٫۹٪ افزایش می‌دهد و در مقابل با کاهش نقض محدودیت ۱۰۰٪ درصدی

مشتریان و هدف دوم مدل در نظر گرفت. مدل مذکور را همچنین می توان در زمینه های کاربردی مشابهی نظیر مراقبت بهداشت خانگی سالمندان نیز استفاده نمود. در چنین مدلی با توجه به نیازمندی ها و شرایط بیماران باید مفروضات به خصوصی در نظر گرفته شود، اما مدل این مقاله به عنوان مدل پایه دارای کاربرد است.

-Ben-Tal, Aharon and Nemirovski, Arkadi (1998) "Robust convex optimization", Mathematics of operations research, Vol. 23, No. 4, PP. 769-805 .

-Bertels, Stefan and Fahle, Torsten (2006) "A hybrid setup for a hybrid scenario: combining heuristics for the home health care problem", Computers and Operations Research, Vol. 33, No. 10, PP. 2866-2890 .

-Bertsimas, Dimitris and Sim, Melvyn (2004) "The price of robustness", Operations research, Vol. 52, No. 1, PP. 35-53 .

-Braekers, Kris, Hartl, Richard ., Parragh, Sophie N. and Tricoire, Fabien (2016) "A bi-objective home care scheduling problem: Analyzing the trade-off between costs and client inconvenience", European Journal of Operational Research, Vol. 248, No. 2, pp. 428-443 .

-Bredstrom, David, and Rönnqvist, Mikael. (2007) "A branch and price algorithm for the combined vehicle routing and scheduling problem with synchronization constraints", NHH Dept. of Finance and Management Science Discussion Paper

-Cappanera, Paola and Scutellà, Maria Grazia (2013) "Home care optimization: impact of pattern generation policies on scheduling and routing decisions", Paper presented at the International Network Optimization Conference.

-Cappanera, Paola, Scutellà, Maria Grazia and Visintin, Filippo (2014) "Home care Services delivery: equity versus efficiency in optimization models". Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Health Care Systems Engineering.

-Castillo-Salazar, J. Arturo, Landa-Silva, Dario and Qu, Rong (2014) "Workforce scheduling and routing problems: literature survey and computational study", Annals of Operations Research, PP. 1-29 .

-Cheng, Eddie and Rich, Jennifer Lynn (1998) "A home health care routing and scheduling problem", URL <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary>.

نسبت به مدل قطعی همراه است. به عنوان یکی از زمینه های آتی تحقیق می توان با به کار بردن دیگر روش های مقابله با عدم قطعیت، به مقایسه آن با نتایج بهینه سازی استوار پرداخت.

یکی دیگر از زمینه های تحقیقات آتی این پژوهش می تواند در نظر گرفتن اهداف دیگری نظیر سطح رضایت مشتریان در مدل ریاضی و مدلسازی آن به صورت برنامه ریزی چند هدفه باشد. می توان زمان انتظار را به عنوان پارامتر تعیین کننده سطح رضایت

۹. مراجع

-مجیدی، س، حسینی مطلق، س.م، یعقوبی، س، جوکار، ع. (۱۳۹۴) " استفاده از جستجوی همسایگی انطباقی برای حل مساله مسیریابی وسیله نقلیه سبز با گذاشتن و برداشت همزمان و پنجره زمانی سخت"، نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، جلد ۳، شماره ۶، ص. ۱۴۹-۱۶۵.

-قطره سامانی، م.ر، حسینی مطلق س.م، یعقوبی، س، جوکار، ع. (۱۳۹۵) "ارائه یک مدل احتمالی استوار چند هدفه برای مسأله مکان یابی-مسیریابی دو سطحی با گذاشتن و برداشت همزمان و پنجره های زمانی (به همراه نمونه کاربردی)", فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی حمل و نقل، دوره هشتم، شماره ۱، ص ۵۳-۵۳.

-کنسرسیوم دیالیز ایران "سالنمای دیالیز ایران"، خرداد ۱۳۹۳

-Barnhart, Cynthia, Johnson, Ellis, L, Nemhauser, George L., Savelsbergh, Martin W. P. and Vance, Pamela H. (1998) "Branch-and-price: Column generation for solving huge integer programs", Operations research, Vol. 46, No. 3, PP. 316-329 .

-Begur, Sachidanand V, Miller, David M ,and Weaver, Jerry R. (1997) "An integrated spatial DSS for scheduling and routing home-health-care nurses", Interfaces, Vol. 27, No. 4, PP. 35-48 .

-Beltrami, Edward J, and Bodin, Lawrence D. (1974) "Networks and vehicle routing for municipal waste collection" Networks, Vol. 4, No. 1, PP. 65-94.

-Ben-Tal, Aharon, El Ghaoui, Laurent, and Nemirovski, Arkadi (2009) "Robust optimization", Princeton University Press.

optimization", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 50, No. 18, pp. 10567-10603 .

-Liu, Ran, Xie, Xiaolan, Augusto, Vincent and Rodriguez, Carlos (2013) "Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care", *European Journal of Operational Research*, Vol. 230, No. 3, pp. 475-486 .

-Liu, Ran, Xie, Xiaolan and Garaix, Thierry (2014) "Hybridization of tabu search with feasible and infeasible local searches for periodic home health care logistics", *Omega*, Vol. 47, pp. 17-32 .

- Hosseini-Motlagh, S. M., Majidi, S., Yaghoubi, S., & Jokar, A. (2017) "Fuzzy green vehicle routing problem with simultaneous pickup-delivery and time windows". *RAIRO-Operations Research*.

-Mulvey, John M., Vanderbei, Robert J. and Zenios, Stavros A. (1995) "Robust optimization of large-scale systems". *Operations research*, Vol. 43, No. 2, pp. 264-281 .

-Nickel, Stefan, Schröder, Michael and Steeg, Jörg. (2012). "Mid-term and short-term planning support for home health care services". *European Journal of Operational Research*, Vol. 219, No. 3, pp. 574-587.

-Rastegar-Panah MM, Hosseini-Motlagh SM, Babaei E and Noughani F. (2013). " Use and Usefulness of Social Network Analysis in the Primary Health Context", *International Journal of Hospital Research*, Vol. 2, No. 4, pp. 177-186 .

-Riahi, N., Hosseini-Motlagh, S. M. and Teimourpour, B. (2013) "Three-phase Hybrid Times Series Modeling Framework for Improved Hospital Inventory Demand Forecast", *International Journal of Hospital Research*, Vol. 2, No. 3, pp. 130-138 .

-Rubin, Haya R., Fink, Nancy E., Plantinga, Laura C., Sadler, John H., Kliger, Alan S. and Powe, Neil R. (2004) "Patient ratings of dialysis care with peritoneal dialysis vs hemodialysis", *Jama*, Vol. 291, No. 6, pp. 697-703 .

-Russell, R. and Igo, Wayne (1979) "An assignment routing problem", *Networks*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-17

-Soyster, Allen L. (1973) "Technical note—convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming", *Operations Research*, Vol. 21, No. 5, pp. 1154-1157 .

-Tan, C. C. R. and Beasley, J. E. (1984) "A heuristic algorithm for the period vehicle routing problem", *Omega*, Vol. 12, No. 5, pp. 497-504 .

-Christofides, Nicos and Beasley, John E. (1984) "The period routing problem", *Networks*, Vol. 14, No. 2, PP. 237-256 .

-Dohn, Anders, Rasmussen, Matias Sevel, Justesen, Tor and Larsen, Jesper (2008) "The home care crew scheduling problem", Paper presented at the Proceedings of the 1st International Conference on Applied Operational Research (ICAOR'08), Yerevan, Armenia. *Lecture Notes in Management Science*.

-El Ghaoui, Laurent, Oustry, Francois and Lebre, Hervé (1998) "Robust solutions to uncertain semidefinite programs". *SIAM Journal on Optimization*, Vol. 9, No. 1, pp. 33-52.

-Fischetti, Matteo and Monaci, Michele (2009) "Light robustness", *Robust and online large-scale optimization*, Springer, pp. 61-84.

-Fisher, Marshall L. and Jaikumar, Ramchandran (1981) "A generalized assignment heuristic for vehicle routing", *Networks*, Vol. 11, No. 2, pp. 109-124 .

-Jokar A and Hosseini-Motlagh SM. (2015). "Impact of Capacity of Mobile Units on Blood Supply Chain Performance: Results from a Robust Analysis". *International Journal of Hospital Research*, Vol. 4, No. 3, pp. 109-114 .

-Kergosien, Yannick, Lenté, Christophe and Billaut, Jean-Charlesp (2009) "Home health care problem: An extended multiple traveling salesman problem", Paper presented at the 4th Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA'09), Dublin (Irlande).

-Kergosien, Yannick, Ruiz, A. and Soriano, P. (2014) "A routing problem for medical test sample collection in home health care services", Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Health Care Systems Engineering.

-Klarenbach, Scott and Manns, Braden (2009) "Economic evaluation of dialysis therapies", Paper presented at the Seminars in nephrology.

-Lanzarone, Ettore, and Carello, Giuliana. (2014) "Applying the cardinality-constrained approach in health care systems: the home care example", Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Health Care Systems Engineering.

-Li, Zukui, Ding, Ran and Floudas, Christodoulos A. (2011) "A comparative theoretical and computational study on robust counterpart optimization: I. Robust linear optimization and robust mixed integer linear

cost-utility analysis from a UK payer perspective", Applied Health Economics And Health Policy, Vol. 12, No. 4, pp. 409-420 .

-Workeneh, Biruh, Guffey, Danielle, Minard, Charles G. and Mitch, William E. (2015) "Causes for withdrawal in an urban peritoneal dialysis program", International journal of nephrology, 2015

-Yalçındağ, Semih, Matta, Andrea, Şahin, Evren, and Shanthikumar, J George. (2014). "A Two-Stage Approach for Solving Assignment and Routing Problems in Home Health Care Services". Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Health Care Systems Engineering.

-Torres-Ramos, Andrés Felipe, Alfonso-Lizarazo, Edgar Hernán, Reyes-Rubiano, Lorena Silvana and Quintero-Araújo, Carlos Leonardo (2014) "Mathematical model for the home health care routing and scheduling problem with multiple treatments and time windows", Paper presented at the Proceedings of the 1st International Conference on Mathematical Methods and Computational Techniques in Science and Engineering (MMCTSE 2014).

-Trautsamwieser, Andrea, Gronalt, Manfred and Hirsch, Patrick (2011) "Securing home health care in times of natural disasters". OR spectrum, Vol. 33, No. 3, pp. 787-813 .

-Treharne, Catrin, Liu, Frank Xiaoqing, Arici, Murat, Crowe, Lydia and Farooqui, Usman (2014) "Peritoneal dialysis and in-centre haemodialysis: a