

زمانبندی بیماران همودیالیز با در نظر گرفتن ترجیحات بیمار

سید محسن نوابی، محمد رئیسی نافچی* و قاسم مصلحی
دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۵/۲۳ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۷/۸/۲۱)

چکیده - امروزه ارائه‌دهندگان خدمات به بیماران سرپایی با فشار برای کاهش هزینه‌های جاری و افزایش کیفیت خدمات روبه‌رو هستند. یکی از بخش‌های ارائه‌دهنده خدمات به بیماران سرپایی، بخش همودیالیز است که با منابع و تجهیزات گران‌قیمتی روبه‌رو است. لذا در مقاله حاضر، زمانبندی بیماران همودیالیز با در نظر گرفتن ترجیحات آنها مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از زمانبندی بیماران همودیالیز در این پژوهش، کمینه‌سازی مجموع وزنی نرمال شده انحراف از ترجیحات بیماران و مجموع زمان تکمیل آنها است. لازم به ذکر است که ترجیحات بیمار شامل تخت، ترکیب روزهای درمانی و نوبت آنها می‌شود. برای حل مسئله، دو مدل ریاضی ارائه شده است. کارایی مدل‌های ارائه شده با توجه به اطلاعات واقعی که از بخش همودیالیز بیمارستان امام خمینی (ره) کرمانشاه گرفته شده، بررسی شده است. نتایج گویای کارایی روش‌های ارائه شده در رعایت کردن ترجیحات عنوان شده از بیماران بوده اما رعایت ترجیحات بیماران در برنامه بیمارستان به صورت موردی و در صورت امکان لحاظ کردن ترجیحات، انجام شده است. به طوری که می‌توان گفت این ترجیحات در برنامه‌ریزی بیمارستان در اولویت قرار نداشته است. این درحالی است که علاوه بر رعایت ترجیحات، در جواب مدل‌ها، مجموع زمان تکمیل درمان بیماران نیز کاهش یافته است. همچنین یکی از مدل‌های ارائه شده در این مقاله قادر است مسائل با ابعاد حدود سه برابر بیمارستان مورد مطالعه را در مدت‌زمان کمی به‌طور بهینه حل کند.

واژه‌های کلیدی: زمانبندی، نوبت‌بندی، همودیالیز، مدل ریاضی، ترجیحات بیماران.

Scheduling Hemodialysis Patients with Patient Preferences

S. M. Navabi, M. Reisi-Nafchi* and Gh. Moslehi

Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Abstract: Nowadays, outpatient providers are struggling to reduce the current costs and improve the service quality. A part of the outpatient service provider is a hemodialysis department with expensive supplies and equipment. Therefore, in the present paper, the scheduling of hemodialysis patients with their preferences has been studied. The aim of scheduling hemodialysis patients in this study is to minimize the normalized weighted sum of deviations from the patients' preferences and the total completion time. It should be noted that the patient's preferences include beds, treatment combination of days and their turn. To

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: reisi.m@iut.ac.ir

solve the problem, two mathematical models have been presented. Performance of the models in solving the real data of the hemodialysis department of Imam Khomeini Hospital, in Kermanshah, was investigated. The results showed the efficiency of the proposed models in considering the preferences of patients; however, these preferences in the hospital schedule were considered in few cases, as far as it was possible. So, these preferences has no priority in the hospital schedule. In addition to considering the patients' preferences, the solution of models reduced the total completion time of the patients treatment. Also, one of the proposed models in this paper could optimally solve the instances three times larger than the hospital cases.

Keywords: Scheduling, Appointment, Hemodialysis, Mathematical model, Patient preferences.

فهرست علائم

a_{kd}	اگر روز d در ترکیب روزهای درمانی k وجود داشته باشد برابر یک و در غیر این صورت صفر است. ($k \in K; d = 1, 2, \dots, D$)
p^{BL3}	مجموعه بیماران دارای ترجیح نوبت سوم درمان
B	تعداد تخت‌های درمانی
p^{BL}	مجموعه کلیه بیماران دارای ترجیح نوبت ($p^{BL} = p^{BL^1} \cup p^{BL^2} \cup p^{BL^3}$)
D	تعداد روزهای افق مورد مطالعه
ESP	زودترین زمان ممکن شروع درمان بیماران در ابتدای روز در بخش همودیالیز پس از اتصال به دستگاه
f_i	مدت زمان درمان بیمار i ($i = 1, 2, \dots, I$)
I	تعداد کل بیماران
K	مجموعه کلیه ترکیبات مجاز روزهای درمان
K_i	مجموعه ترکیبات مجاز روزهای درمان برای بیمار i ($k \in K_i; i = 1, \dots, I$)
SE_q	زمان شروع نوبت درمانی q ($q = 1, 2, 3$)
M_1	عدد مثبت بزرگ
n_i	تعداد جلسه‌ی درمانی مورد نیاز بیمار i در هفته ($i = 1, 2, \dots, I$)
α_1	ضریب وزنی تابع هدف برای کمینه‌کردن انحراف از ترجیح ترکیب روزهای درمانی
α_2	ضریب وزنی تابع هدف برای کمینه‌کردن انحراف از ترجیح نوبت
α_3	ضریب وزنی تابع هدف برای کمینه‌کردن انحراف از ترجیح تخت
α_4	ضریب وزنی تابع هدف برای کمینه‌کردن مجموع زمان‌های تکمیل درمان بیماران
p^{TC}	مجموعه بیماران دارای ترجیح ترکیب روزهای درمانی
p^{BL1}	مجموعه بیماران دارای ترجیح نوبت اول درمان
p^{BL2}	مجموعه بیماران دارای ترجیح نوبت دوم درمان
s_b	مدت زمان شستشوی دستگاه دیالیز کنار تخت b ($b = 1, 2, \dots, B$)

۱- مقدمه

ارائه خدمات پزشکی، بخش مهمی از سیستم تأمین اجتماعی در هر کشوری است. با توجه به افزایش تقاضا برای استفاده از خدمات پزشکی و منابع گران‌قیمتی که در مراکز درمانی استفاده

می‌شود، زمانبندی بیماران در مراکز درمانی، روزه‌روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند [۱-۳]. یک بررسی در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که میزان شیوع بیماری پیشرفته کلیوی^۱ رقمی در حدود ۸ تا ۱۶ درصد جمعیت جهانی است [۴]. در سرتاسر جهان، کشورها

با چالش‌های جدی ناشی از افزایش شیوع بیماران کلیوی برای برآورده ساختن نیازهای درمانی این بیماران روبه‌رو هستند [۵]. با توجه به کمبود اندام پیوندی و در نتیجه احتمال کم پیوند کلیه، شمار بیماران همودیالیز رو به افزایش است [۶]. بنابراین برنامه‌ریزی برای زمانبندی مناسب این بیماران اهمیت بالایی دارد. فرایند همودیالیز به‌گونه‌ای است که با تصفیه خون بیمار از طریق دستگاه مربوطه ادامه حیات وی را ممکن می‌سازد. بیماران همودیالیز معمولاً بین ۹ تا ۱۲ ساعت در هر هفته باید به دستگاه همودیالیز متصل شده و رویه درمانی خود را انجام دهند. این ساعات به‌طور معمول در دو یا سه جلسه درمانی سه ساعته، سه ساعت و سی دقیقه‌ای و یا چهار ساعته انجام خواهد شد. مدت زمان شستشوی دستگاه‌های درمانی بر اساس دستورالعمل سازنده آنها، مشخص بوده و این کار پس از اتمام فرایند همودیالیز هر بیمار انجام می‌شود. برای بیماران همودیالیز، رعایت ترجیحات درمانی آنها، امری مهم است و می‌تواند در سلامت روحی و روانی آنها تأثیر بسزایی داشته باشد. ترجیحات بیماران می‌تواند شامل تخت درمانی، نوبت درمانی و ترکیب روزهای مراجعه مطلوب باشد. سعی در رعایت ترجیحات کلیه بیماران، زمانبندی آنها را با چالش‌های جدی روبه‌رو می‌کند. هدف در این مطالعه، زمانبندی بیماران همودیالیز با در نظر گرفتن ترجیحات بیماران است، به طوری که مجموع مدت‌زمان تکمیل درمان بیماران و انحراف از ترجیحات آنها کمینه شود.

در ادامه (بخش ۲) مطالعات مرتبط با زمانبندی بیماران سرپایی و به‌طور خاص بیماران همودیالیز مرور شده است. در بخش (۳) تعریف مسئله و معرفی نمادها و در بخش (۴) مدل‌های ریاضی ارائه شده است. در بخش (۵) مطالعه موردی انجام شده، توضیح داده شده است. در ادامه در بخش (۶) نتایج محاسباتی ارائه شده و بخش (۷) به ارائه جمع‌بندی و پیشنهادات پرداخته است.

۲- مرور ادبیات

در این بخش ابتدا اشاره‌ای به مطالعات حوزه زمانبندی بیماران روش‌های عددی در مهندسی، سال ۳۸، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۸

سرپایی با تمرکز بر ارائه مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی خواهد شد و سپس به مطالعات مربوط در بخش زمانبندی بیماران همودیالیز پرداخته می‌شود.

زمانبندی بیماران با تخصیص بهینه بیماران به منابع موجود با توجه به مدت‌زمان انتظار، مدت‌زمان تکمیل رویه درمانی و ترجیحات آنها مواجه است که زمانبندی بیماران سرپایی در این حوزه توجه بیشتری به‌خود اختصاص داده است [۷]. آخرین مطالعات مروری انجام شده در حوزه زمانبندی بیماران سرپایی، توسط احمدی جاوید و همکاران [۸] در سال ۲۰۱۷ انجام شده و رویکردهای مدل‌سازی و روش‌های حل به‌کار گرفته شده در زمانبندی بیماران سرپایی در سه سطح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی توسط آنها بررسی شده است. مطالعات مروری قدیمی‌تری که در حوزه زمانبندی بیماران سرپایی انجام شده، توسط کایرلی و ورال [۹] و گوپتا و دنتون [۱۰] صورت گرفته است.

سارمی و همکاران [۱۱] زمانبندی بیماران در مراکز جراحی بیماران سرپایی را بررسی کرده‌اند. این مراکز با تنوع محدودیت‌های زمانی برای دسترسی به جراحان و محدودیت منابع روبه‌رو هستند. آنها سه روش بر مبنای شبیه‌سازی برای حل مسئله ارائه کرده‌اند. یکی از مراکز درمانی که در ادبیات زمانبندی منابع درمانی و بیماران سرپایی کمتر به آن پرداخته شده، مراکز آزمایشگاهی هستند. در سال ۲۰۱۵ آزاده و همکاران [۱۲] زمانبندی بیماران را در یک محیط آزمایشگاهی بررسی کرده‌اند. آنها زمانبندی بیماران را در قالب یک مدل کارگاهی ترکیبی^۲ بررسی کرده و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای آن پیشنهاد داده‌اند. سپس برای حل مسئله در ابعاد بزرگ یک الگوریتم ژنتیک ارائه کرده‌اند. اوگالاتا و همکاران [۱۳] به زمانبندی بیماران در مراکز رادیوگرافی پرداخته‌اند. آنها در مطالعه خود ذکر کرده‌اند که مراکز درگیر با بیماران همودیالیز یا رادیوگرافی که با یک رویه درمانی تکراری روبه‌رو هستند، دارای منابع و تجهیزات گران‌قیمتی هستند و از این‌رو لازم است که از منابع در دسترس آنها به‌صورت بهینه

استفاده شود.

کاندوتا و شاخلویچ [۱۴] زمانبندی بیماران را در مراکز شیمی‌درمانی^۳ بررسی و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح با توجه به تأمین ترجیحات بیماران ارائه کرده‌اند. کاسترو و پتروویک [۱۵] مسئله زمانبندی بیمارانی که به پرتودرمانی احتیاج دارند را در قالب یک مسئله چندهدفه بررسی کرده‌اند. کانفورتی و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۰۸ مسئله زمانبندی این بیماران را با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مطالعه و سپس در سال ۲۰۱۰ یک مدل جدید بدین منظور پیشنهاد داده و مسئله مورد نظر را در قالب یک مدل زمانبندی که هدف آن کاهش مدت‌زمان انتظار برای شروع رویه درمانی است بررسی کرده‌اند [۱۷]. سوینک و همکاران [۱۸] یک رویکرد دومرحله‌ای برای برنامه‌ریزی رویه درمانی بیماران سرطانی پیشنهاد داده‌اند، که در مرحله اول حجم کار مرکز درمانی مورد کنترل قرار می‌گیرد و در مرحله دوم این رویکرد، فرایند اختصاص بیماران انجام خواهد شد. لیانگ و همکاران [۱۹] در سال ۲۰۱۶ با توجه به اهمیت برنامه‌ریزی و زمانبندی بیماران در مراکز سرطانی و با توجه به حجم کاری پرستاران شاغل در این مراکز، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای به حداقل رساندن مدت‌زمان انتظار بیماران سرطانی و کاهش حجم کاری پرستاران در این مراکز ارائه داده‌اند.

فن و وروق و همکاران [۲۰] مراکز درمانی زنان و زایمان^۴ را برای ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها در مدل ارائه شده، ترجیحات پزشکان و متخصصان زنان و زایمان را در نظر گرفته‌اند. یکی دیگر از مطالعاتی که در سال‌های اخیر از رویکرد برنامه‌ریزی عدد صحیح برای مطالعه استفاده کرده‌اند، مطالعه کیو و همکاران [۲۱] است که یک رویکرد دومرحله‌ای برای زمانبندی بیماران در یک مرکز درمانی سرپایی پیشنهاد داده‌اند.

ساولزبرگ و اسمیلوتز [۲۲] یک مدل ریاضی برای زمانبندی نوبت بیمارانی که دارای بیماری‌های مزمن هستند پیشنهاد داده‌اند. آنها پایبندی به برنامه زمانبندی را مهم‌ترین

عامل برای رسیدن به هدف برنامه زمانبندی دانسته‌اند. تخصیص منابع در مراکز درمانی که با بیماران انتخابی روبه‌رو هستند یکی دیگر از مسائلی است که توسط هولشف و همکاران [۲۳] با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مدل‌سازی شده است. هدف این مطالعه دسترسی عادلانه تمامی بیماران به منابع درمانی است. بیکر و همکاران [۲۴] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای کاهش مدت‌زمان دسترسی بیماران به رویه درمانی ارائه کرده‌اند و برای حل این مدل از روش شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند.

در سال ۱۹۹۴، هولند [۲۵] مطالعه‌ای روی زمانبندی بیماران در یک محیط همودیالیز ارائه داده است. او در مطالعه خود مراحلی که یک بیمار باید برای انجام رویه درمانی انجام دهد، تقسیم‌بندی و یک برنامه زمانبندی برای نوبت بیماران با فرض عدم بیکاری دستگاه‌های درمانی ارائه کرده است. مطالعه دیگر توسط پنا [۲۶] انجام شده که زمانبندی بهینه بیماران همودیالیز را با در نظر گرفتن کارایی و تأخیرهای درمانی به‌منظور حداقل کردن مدت‌زمان انتظار بیمار انجام داده است. وی بیان کرده که بیشتر بیماران همودیالیزی هم‌زمان با حضور در بیمارستان برای انجام رویه همودیالیز، نیاز به مراجعات دیگری مانند ویزیت پزشک یا انجام آزمایش دارند. لذا مطالعه وی با تأکید روی زمانبندی بیماران با توجه به سایر نوبت‌های درمانی وی در بیمارستان صورت گرفته است. در ادامه مطالعات این حوزه، در سال ۲۰۱۵ یک پایان‌نامه تحت عنوان "بررسی، طراحی مجدد و اجرای فرایند همودیالیز" توسط ون‌کوییک بورن [۲۷] انجام شده است. وی در این مطالعه با استفاده از مفاهیم چرخه کسب و کار به شناسایی فرایند همودیالیز اقدام کرده و سپس با توجه به مشکلات مشاهده شده در مراکز همودیالیز و بر اساس معیارهای مطرح برای مدیران سازمانی اقدام به مدل‌کردن مسئله زمانبندی بیماران همودیالیزی کرده است. مطالعه دیگری که در حوزه زمانبندی بیماران همودیالیز انجام شده، توسط شاتری [۲۸] ارائه شده است. در مطالعه وی، دو رویکرد برای کمک به مرکز درمانی همودیالیز برای زمانبندی بیماران با توجه به

کاهش هزینه‌های پرستاران و نیز اطمینان از کیفیت درمانی با توجه به تعداد پرستاران ارائه شده است. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح و یک الگوریتم ابتکاری به‌طور جداگانه برای حداقل کردن تعداد پرستاران ارائه شده است که با استفاده از رویکرد معرفی شده، زمان شروع هر بیمار در هر جلسه درمانی مشخص می‌شود.

همان‌طور که در مطالب گفته شده در قبل نیز قابل مشاهده است، مطالعات انجام شده در زمانبندی بیماران همودیالیز بسیار اندک بوده و به‌نظر می‌رسد که محدود به چهار مورد اشاره شده در مطالب گفته شده قبلی باشد. این مطالعات با توجه به شرایط محیط‌های درمانی کشورهای مورد بررسی آنها دارای فرضیات متفاوتی نیز هستند. لذا در این مقاله، زمانبندی بیماران همودیالیز با توجه به ترجیحات تخت، روزهای درمانی و نوبت درمانی بیماران انجام شده است. لازم به‌ذکر است که در نظر گرفتن ترجیحات بیماران در این مطالعات اندک نیز، لحاظ نشده است. همچنین ترجیحات بیمار یا پزشک در سایر محیط‌های درمانی در مطالعات موجود در ادبیات موضوع سیستم‌های سلامت بررسی شده است. لکن این ترجیحات وابسته به شرایط مسئله و حوزه مورد مطالعه متفاوت است. نکته مهم در تفاوت بخش همودیالیز با سایر بخش‌های درمانی در تکرار مستمر درمان بیماران تا زمان انجام پیوند کلیه یا فوت بیمار است. لذا این شرایط، ترجیحات خاص بیماران را به‌وجود می‌آورد که در سایر محیط‌ها یا بخش‌های درمانی نه تنها نوع ترجیحات متفاوت است بلکه فرضیات مسئله نیز دارای تفاوت‌هایی است. از این‌رو مطالعاتی که در آنها ترجیح بیمار در محیط‌های دیگر درمانی در نظر گرفته شده در بخش همودیالیز قابل استفاده نیست.

۳- تعریف مسئله و نمادها

هدف از زمانبندی در اکثر بیمارستان‌ها و مراکز درمانی پیشینه‌سازی رضایت ذینفعان است. از جمله ذینفعان مهم بخش همودیالیز بیماران هستند. بر اساس مطالعات میدانی صورت گرفته، رضایت بیمار در بخش همودیالیز با رعایت ترجیحات

تخت، نوبت درمانی و ترکیب روزهای درمانی وی تأمین می‌شود. همچنین، کاهش مدت‌زمان تکمیل رویه درمانی بیماران می‌تواند علاوه بر رضایت بیماران باعث رضایت‌مندی مدیران و پرسنل درمانی بخش همودیالیز به‌عنوان گروهی دیگر از ذینفعان این بخش شود. بدین ترتیب تابع هدف مسئله، عبارت از کمینه‌سازی مجموع وزنی نرمال شده انحراف از ترجیحات بیماران و مجموع زمان تکمیل درمان آنها است. در ادامه فرضیات مطرح در بخش همودیالیز با توجه به مطالعه میدانی صورت گرفته در بیمارستان امام خمینی (ره) کرمانشاه مطرح شده است. لازم به‌ذکر است که مطالعات میدانی از بیمارستان‌های دیگر نشان داد که، بسیاری از این فرضیات به‌دلیل ماهیت مسئله، در بسیاری از مراکز همودیالیز دیگر در کشور نیز، حاکم است.

- تعداد بیمارانی که برای درمان به مرکز درمانی مراجعه می‌کنند، معلوم است و برای بیماران اورژانسی مراجعه‌کننده به این بخش، یک تخت جداگانه به‌صورت آماده در نظر گرفته شده است.

- مدت‌زمان درمان هر بیمار، توسط پزشک تجویز شده و از قبل مشخص است.

- تعداد دستگاه‌های درمانی که در مرکز فعالیت می‌کنند، معلوم است.

- مدت‌زمان تمیزکاری انواع دستگاه‌های درمانی، معلوم است. این تمیزکاری شامل شستشوی دستگاه است که بعد از انجام فرایند همودیالیز بیماران انجام می‌شود.

- بخش همودیالیز در تمامی روزهای هفته به‌جز روز جمعه مشغول به فعالیت است و در هر روز کاری سه نوبت درمانی وجود دارد.

- هر پرستار می‌تواند به سه بیمار همودیالیز سرویس دهد و برای این کار، تعداد پرستار مورد نیاز وجود دارد.

- بیماران همودیالیز در طول هر هفته به دو یا سه جلسه درمانی نیاز دارند که تعداد جلسات درمانی با توجه به‌نظر پزشک متخصص نفرولوژی^۵ تعیین شده است. بنابراین ترکیبات

جدول ۱- ترکیبات مجاز روزهای درمانی

شماره ترکیب	روزهای درمانی
۱	شنبه، دوشنبه، چهارشنبه
۲	یکشنبه، سه‌شنبه، پنجشنبه
۳	شنبه، سه‌شنبه
۴	یکشنبه، چهارشنبه
۵	دوشنبه، پنجشنبه

داد که هر بیمار در روز درمانی خود به یک نوبت تخصیص یابد. به این ترتیب توالی و زمانبندی بیماران مشخص می‌شود. بر این اساس یک مدل ریاضی نوبت محور با نام TBM در این بخش ارائه می‌شود. در این مدل بیکاری عمده بین دو بیمار متوالی روی یک تخت درمانی مجاز نیست. سه متغیر تصمیم به‌کار رفته در این مدل به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

X_i^k : اگر ترکیب روزهای درمانی k به بیمار i اختصاص یابد برابر یک و در غیر این‌صورت صفر است ($i=1, \dots, I; k \in K_i$).
 Y_{iqb}^d : اگر درمان بیمار i در روز d در نوبت q ام روی تخت b آغاز شود برابر یک و در غیر این‌صورت صفر است ($i=1, \dots, I; b=1, \dots, B; d=1, \dots, D; q=1, 2, 3$).

C_{qb}^d : زمان تکمیل درمان بیمار نوبت‌بندی شده در نوبت q ام روز d و روی تخت b ($q=1, 2, 3; b=1, \dots, B; d=1, \dots, D$) فرمول‌بندی مدل TBM به‌قرار زیر است:

$$\text{Min } \alpha_x \times \frac{\sum_{i \in P^{TC}} \sum_{k \in K_i^{TC}} X_i^k}{\sum_{i \in P^{TC}} n_i} + \alpha_y \times \left(\frac{\sum_{i \in P^{BL}} \sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D \sum_{q=1}^3 Y_{iqb}^d}{\sum_{i \in P^{BL}} n_i} + \frac{\sum_{i \in P^{BL}} \sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D \sum_{q=1,2} Y_{iqb}^d}{\sum_{i \in P^{BL}} n_i} + \frac{\sum_{i \in P^{BL}} \sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D \sum_{q=1} Y_{iqb}^d}{\sum_{i \in P^{BL}} n_i} \right) + \alpha_z \times \frac{\sum_{i \in P^{BE}} \sum_{q=1}^3 \sum_{b \in P_i^{BE}} \sum_{d=1}^D Y_{iqb}^d}{\sum_{i \in P^{BE}} n_i}$$

روزهای ممکن برای نوبت‌دهی به بیماران در پنج‌گروه تقسیم‌بندی می‌شود. روزهای غیر از جمعه هر هفته از شماره یک تا شش شماره‌گذاری شده است. لذا درمان بیماران سه جلسه‌ای در روزهای زوج (روزهای شماره ۱، ۳ و ۵) یا فرد هفته (روزهای ۲، ۴ و ۶) امکان‌پذیر است. برای بیماران دو جلسه‌ای نیز با توجه به فاصله درمانی توصیه شده توسط پزشک، ترکیب روزهای ۱ و ۴، روزهای ۲ و ۵ یا روزهای ۳ و ۶ هفته امکان‌پذیر است. کلیه ترکیبات مجاز در جدول (۱) آورده شده است. بر این اساس ترکیب شماره ۱ و ۲ برای بیماران با سه جلسه درمانی در هفته و ترکیب شماره ۳، ۴ و ۵ برای بیماران دو جلسه‌ای است.

۴- مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح برای زمانبندی بیماران همودیالیز

در این بخش دو مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح برای حل مسئله ارائه شده است. مدل اول بر مبنای تخصیص بیماران به نوبت‌های درمانی در روزهای مجاز، ارائه شده و به آن مدل "نوبت محور" (TBM) گفته می‌شود. مدل دوم بر مبنای شروع درمان بیماران در سه زمان ثابت از پیش تعیین شده در روز توسعه داده شده و به آن مدل با "سه نقطه شروع" (MTSP) گفته می‌شود. هر یک از این مدل‌ها در ادامه شرح داده شده است.

۴-۱- مدل ریاضی نوبت محور

با توجه به اینکه، یک روز کاری به سه نوبت درمانی تقسیم شده است، می‌توان فرایند زمانبندی بیماران را به‌نحوی انجام

آورده شده است. بدین ترتیب عبارت اول در جزء نوع اول، بر مجموع تعداد جلسه‌های درمان بیمارانی که ترجیح روزهای درمانی دارند، تقسیم شده است. به همین ترتیب عبارت دوم، سوم و چهارم بر مجموع تعداد جلسه‌های درمان بیمارانی که ترجیح نوبت دارند، تقسیم شده است. عبارت پنجم نیز بر مجموع تعداد جلسه‌های درمان بیمارانی که ترجیح تخت دارند، تقسیم شده است. همچنین برای عبارت آخر در تابع هدف، فرض شده است که زمان تکمیل تمامی بیماران در تمامی جلسه‌های درمانی، آخرین زمان ممکن باشد.

در محدودیت (۲) برای هر بیمار در افق برنامه‌ریزی یک ترکیب روز درمانی مشخص می‌شود. محدودیت (۳) مشخص می‌کند که بیمار در هر یک از روزهای درمانی، به کدام یک از سه نوبت درمانی موجود تخصیص یابد. با توجه به اینکه در هر روز درمانی، تعداد سه نوبت درمانی وجود دارد و در هر نوبت باید حداکثر یک بیمار زمانبندی شود، محدودیت (۴) تضمین می‌کند که در هر روز و روی هر تخت و در هر نوبت، حداکثر یک بیمار، زمانبندی شود.

محدودیت (۵) زمان تکمیل هر بیمار را روی هر تخت و در هر روز درمانی نشان می‌دهد. بر این اساس، اگر یک بیمار در نوبت q ام زمانبندی شود، زمان تکمیل درمان او برابر با مجموع مدت‌زمان رویه درمانی و مدت‌زمان شستشوی دستگاه وی و سایر بیمارانی است که در نوبت‌های قبل نوبت‌بندی شده‌اند. همچنین نداشتن بیکاری بین دو بیمار متوالی روی یک تخت نیز توسط این محدودیت تضمین می‌شود. در رابطه (۵) کافی است مقدار M_1 از رابطه (۹) محاسبه شود:

$$M_1 = ESP + (q-1) \times \left(\max_{i=1, \dots, I} \{f_i\} + \max_{b=1, \dots, B} \{s_b\} \right) \quad (9)$$

محدودیت‌های (۶) و (۷) تضمین می‌کند که نوبت‌بندی بیمارانی در یک روز کاری و در یک تخت، به‌طور پیوسته انجام شود و از بیکار ماندن دستگاه و تخت درمانی در شروع روز کاری و یا نوبت‌بندی بیمار در نوبت اول و سوم و خالی ماندن تخت در نوبت دوم، جلوگیری می‌کند. محدودیت (۸) نشانگر دامنه

$$\alpha_q \times \frac{\sum_{q=1}^r \sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D (C_{qb}^d)}{\sum_{i=1}^I n_i \times \tau^0} \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{k \in K_i} X_i^k = 1 \quad i = 1, \dots, I, \quad (2)$$

$$\sum_{q=1}^r \sum_{b=1}^B Y_{iqb}^d = \sum_{k \in P_i^{TCK}} a_{kd} \times X_i^k, \quad i = 1, \dots, I; d = 1, \dots, D, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I Y_{iqb}^d \leq 1, \quad q = 1, 2, 3; b = 1, \dots, B; d = 1, \dots, D, \quad (4)$$

$$C_{qb}^d \geq \sum_{q'=1}^q \sum_{j=1}^I (f_j + s_b) Y_{jq'b}^d + ESP \sum_{i=1}^I Y_{iqb}^d + M_1 \left(\sum_{i=1}^I Y_{iqb}^d - 1 \right), \quad q = 1, 2, 3; b = 1, \dots, B; d = 1, \dots, D \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I Y_{iqb}^d \leq \sum_{i=1}^I Y_{iq'b}^d, \quad d = 1, \dots, D; b = 1, \dots, B \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I Y_{iq'b}^d \leq \sum_{i=1}^I Y_{iqb}^d, \quad d = 1, \dots, D; b = 1, \dots, B \quad (7)$$

$$Y_{iqb}^d, X_i^k \in \{0, 1\}, C_{qb}^d \geq 0, \quad i = 1, \dots, I; q = 1, 2, 3; b = 1, \dots, B; d = 1, \dots, D \quad (8)$$

تابع هدف ارائه شده در رابطه (۱) دو جزئی بوده و همزمان به دنبال کاهش دو معیار است. جزء اول برای کمینه‌کردن انحراف از ترجیحات بیمارانی است که از پنج عبارت اول تشکیل شده است. عبارت اول میزان انحراف از روزهای درمانی مورد علاقه بیمار را کمینه می‌کند. عبارت دوم، سوم و چهارم برای کمینه‌کردن انحراف از نوبت درمانی ترجیح داده شده توسط بیمار و عبارت پنجم برای کمینه‌کردن انحراف از تخت درمانی مورد نظر بیمار نوشته شده است. جزء دوم تابع هدف نیز، که عبارت آخر آن است، مجموع زمان‌های تکمیل درمان بیمارانی را کمینه می‌کند. در تابع هدف ارائه شده، برای هر جزء تابع هدف نرمال‌سازی صورت گرفته است. برای این منظور با توجه به هر عبارت، حداکثر مقدار صورت در مخرج آن عبارت

$$\alpha_4 \times \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D (C_i^d)}{\sum_{i=1}^I n_i \times 3^0} \quad (10)$$

Subject to:

$$\sum_{k \in K_i} X_i^k = 1, \quad i = 1, \dots, I \quad (11)$$

$$\sum_{q=1}^r \sum_{b=1}^B Y_{iqb}^d = \sum_{k \in P_i^{TC}} a_{kd} \times X_i^k \quad i = 1, \dots, I; d = 1, \dots, D \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^I Y_{iqb}^d \leq 1 \quad q = 1, 2, 3; b = 1, \dots, B; d = 1, \dots, D \quad (13)$$

$$C_i^d = \sum_{q=1}^r (SE_q + f_i + s_b) Y_{iqb}^d \quad i = 1, \dots, I; d = 1, \dots, D \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^I Y_{ivb}^d \leq \sum_{i=1}^I Y_{ivb}^d \quad d = 1, \dots, D; b = 1, \dots, B \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^I Y_{ivb}^d \leq \sum_{i=1}^I Y_{ivb}^d \quad d = 1, \dots, D; b = 1, \dots, B \quad (16)$$

$$Y_{iqb}^d, X_i^k \in \{0, 1\}, C_{ib}^d \geq 0 \quad i = 1, \dots, I; q = 1, 2, 3; b = 1, \dots, B; d = 1, \dots, D \quad (17)$$

تابع هدف و محدودیت‌های این مدل مشابه مدل TBM است با این تفاوت که در مدل MTSP محدودیت (۱۴) به جای محدودیت (۵) قرار گرفته و در آن زمان تکمیل درمان هر بیمار در هر روز درمانی محاسبه می‌شود.

همان‌طور که ذکر شد، در مدل MTSP با توجه به مدت‌زمان رویه درمانی و مدت‌زمان شست‌وشوی دستگاه، ممکن است دستگاه درمانی متحمل بیکاری شود. این موضوع بهره‌وری مرکز درمانی و افزایش ساعات کاری پرسنل بخش همودیالیز شود. می‌توان پس از حل مدل MTSP و تعیین توالی و زمانبندی بیماران، اقدام به حذف بیکاری موجود بین بیماران نوبت‌بندی شده کرد و با بروزرسانی زمان تکمیل درمان بیماران تابع هدف را مجدداً محاسبه کرد. این رویه ساده ابتکاری MTSPNI^۱ نامگذاری می‌شود.

۴-۲- مدل ریاضی با سه نقطه شروع در روز

در مدل ارائه شده در این بخش، که MTSP نام دارد، زمانبندی بیماران با توجه به این فرض انجام شده که شروع درمان بیماران فقط در سه مقطع زمانی از روز امکان‌پذیر است و این زمان‌ها ابتدای سه نوبت درمانی موجود در روز است. در بیمارستان مورد مطالعه، نوبت اول از ساعت ۷:۰۰ تا ۱۲:۰۰، نوبت دوم از ۱۲:۰۰ تا ۱۷:۰۰ و نوبت سوم از ۱۷:۰۰ تا ۲۲:۰۰ تعریف شده است. با در نظر گرفتن این فرض امکان به وجود آمدن بیکاری برای دستگاه‌ها وجود خواهد داشت. زیرا ممکن است مجموع مدت‌زمان لازم برای درمان بیمار و شست‌وشوی دستگاه از مدت‌زمان در دسترس هر نوبت کمتر شود. لازم به ذکر است که در مدل MTSP مقدار تابع هدف با توجه به امکان به وجود آمدن بیکاری بین دو بیمار متوالی نوبت‌بندی شده روی یک تخت، با مدل‌های قبلی تفاوت دارد. در این مدل، دو متغیر X_i^k و Y_{iqb}^d مانند مدل TBM تعریف شده و متغیر جدید زیر نیز خاص این مدل استفاده می‌شود: C_i^d : زمان تکمیل درمان بیمار i در روز d ($i = 1, \dots, I; d = 1, \dots, D$) فرمول‌بندی مدل MTSP به قرار زیر است:

$$\text{Min } \alpha_1 \times \frac{\sum_{i \in P^{TC}} \sum_{k \in P_i^{TC}} X_{ik}}{\sum_{i \in P^{TC}} n_i} + \alpha_2 \times \left(\frac{\sum_{i \in P^{BL}} \sum_{q=1}^r \sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D Y_{iqb}^d}{\sum_{i \in P^{BL}} n_i} + \frac{\sum_{i \in P^{BL}} \sum_{q=1,2}^r \sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D Y_{iqb}^d}{\sum_{i \in P^{BL}} n_i} + \frac{\sum_{i \in P^{BL}} \sum_{q=1}^r \sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D Y_{iqb}^d}{\sum_{i \in P^{BL}} n_i} \right) + \alpha_3 \times \frac{\sum_{i \in P^{BE}} \sum_{q=1}^r \sum_{b \notin P_i^{BE}} \sum_{d=1}^D Y_{iqb}^d}{\sum_{i \in P^{BE}} n_i} +$$

جدول ۲- مدت زمان شستشوی دستگاه همودیالیز

مدت زمان (دقیقه)	نوع دستگاه
۴۲	FRSs
۳۹	FRSb
۴۵	NIP

مورد مطالعه، که از این پس با عنوان IKHP^۹ یاد می‌شود، نکات زیر مشاهده شد:

- مواردی وجود دارد که در برخی نوبت‌ها به برخی تخت‌ها بیماری تخصیص داده نشده درحالی که در نوبت‌های قبلی یا بعدی آن تخت، بیمار نوبت‌بندی شده است. بدین ترتیب دستگاه همودیالیز مربوطه متحمل بیکاری شده است.

- بخش همودیالیز مورد مطالعه، ترجیحات تخت، ترکیب روزهای درمانی و نوبت بیماران را در اولویت قرار نداده است.

- شروع رویه درمانی بیماران در سه مقطع زمان از روز انجام شده است. این سه زمان، زمان شروع نوبت‌های درمانی و ساعات ۷:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۷:۰۰ هر روز است. لذا طول هر نوبت درمانی برابر پنج ساعت لحاظ شده که با توجه به مدت‌زمان درمان تجویز شده برای بیماران و مدت‌زمان شستشوی دستگاه‌ها، که در جدول (۲) آمده است، در برخی دستگاه‌ها بیکاری ایجاد شده است.

بر اساس موارد فوق، می‌توان گفت که مدل MTSP مشابه شیوه بیمارستان، زمانبندی بیماران را در ابتدای نوبت‌های درمانی انجام می‌دهد و لذا جواب آن می‌تواند بیکاری عمده داشته باشد. اما جواب مدل TBM و رویه ابتکاری MTSPNI بیکاری ندارد. همچنین مدل MTSP انعطاف لازم را برای اینکه امکان وجود نوبت خالی در بین نوبت‌های تخصیص داده شده وجود داشته باشد را دارا است. این فرض با درنظر نگرفتن محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) قابل پیاده‌سازی است. لذا در آزمایش‌های اولیه، مدل MTSP با درنظر گرفتن این دو محدودیت و بدون آنها حل شد و نتایجی که از این دو اجرا به‌دست آمد، بسیار مشابه بود. لذا در ادامه مدل MTSP با

۵- آزمایش‌های عددی

در این بخش عملکرد مدل‌های ارائه شده بررسی و نتایج با زمانبندی بیمارستان امام خمینی (ره) کرمانشاه به‌عنوان بیمارستان مورد مطالعه مقایسه می‌شود. همچنین به‌منظور بررسی کارایی در مسائل با ابعاد بزرگ‌تر از بیمارستان مورد نظر تعدادی مسئله نمونه بر مبنای داده‌های بیمارستان تولید و حل شده است که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

کلیه مدل‌های ارائه شده توسط قابلیت Concert Technology نرم‌افزار CPLEX 12.6 در محیط برنامه‌نویسی Visual Studio C# 2012 پیاده‌سازی و روی یک دستگاه رایانه با پردازنده Intel Core i7 4GHZ و حافظه RAM هشت گیگابایت اجرا شده است. برای حل مدل‌ها محدودیت زمانی ۳۶۰۰ ثانیه درنظر گرفته شده است.

۵-۱- بررسی مطالعه موردی

همان‌طور که پیش از این ذکر شد، بخش همودیالیز بیمارستان امام خمینی (ره) کرمانشاه با ۱۴ تخت درمانی، به‌عنوان مطالعه موردی برای ارزیابی مدل‌های ارائه شده درنظر گرفته شده است. اطلاعات مورد نیاز بیماران برای سه ماه مرداد، شهریور و مهر سال ۱۳۹۶ با هماهنگی مسئولین بیمارستان از پرونده پزشکی آنها جمع‌آوری شده و در کل اطلاعات ۱۲ هفته کامل متوالی در این سه ماه تحت بررسی قرار گرفته است. برای به‌دست آوردن ترجیحات بیماران نیز پرسشنامه‌ای تهیه شده و از هر بیمار در ابتدای هر ماه، ترکیب روزهای مورد علاقه برای انجام رویه‌درمانی، نوبت مورد علاقه و ترجیح تخت وی پرسش شده است. قابل ذکر است که در زمانبندی بیمارستان

روش‌های عددی در مهندسی، سال ۳۸، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۸

جدول ۳- سناریوهای مختلف برای ضرایب اجزای تابع هدف

سناریو	ضرایب وزنی اجزای تابع هدف			
	α_1	α_2	α_3	α_4
۱	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰
۲	۰/۷۵۰	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳
۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۷۵۰	۰/۰۸۳
۴	۰/۰۸۳	۰/۷۵۰	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳
۵	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۷۵۰

در نظر گرفتن محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) مدنظر است و در آن نوبت خالی در بین نوبت‌های تخصیصی مجاز شمرده نشده است.

در مورد ترجیحات بیماران، بخش همودیالیز بیمارستان مورد مطالعه ترجیحات بیماران را در اولویت قرار نداده است. اما در زمانبندی ارائه شده در این مقاله، ترجیحات بیماران با توجه به پرسش‌های به‌عمل آمده در ابتدای هفته اول برنامه‌ریزی در دسترس است. بنابراین در اجرای دو مدل TBM و MTSP، در ابتدای هفته اول، ترجیحات سه‌گانه بیماران با توجه به پرسشنامه جمع‌آوری شده به مدل‌ها داده شده است. پس از انجام نوبت‌بندی بیماران در هفته اول و برای هفته دوم تا دوازدهم، ترجیحات تخت بیماران به همان گونه‌ای اعمال شده که در پرسشنامه اعلام داشته‌اند. زیرا با توجه به مشاهدات به‌عمل آمده، ترجیح تخت بیمار به‌دلیل عادت به‌وجود آمده از مواردی است که نظر وی درباره آن تغییر نکرده است. اما باید توجه داشت بعد از هفته اول برنامه‌ریزی با توجه به اینکه بیماران طبق نوبت تخصیص داده شده به آنها، برای هفته‌های بعدی برنامه‌ریزی کرده و امور روزمره زندگی‌شان را تنظیم می‌کنند، در طول هفته‌های بعد با توجه به ورود بیماران جدید و خروج برخی بیماران از لیست، زمانبندی آنها باید کمتر دستخوش تغییر شود. بنابراین برای رعایت کردن این موضوع در هفته‌های دوم تا دوازدهم، ترجیحات بیماران در ترکیب روزهای درمانی و نوبت، مطابق نتیجه حاصل از اجرای مدل در هفته قبل از آن در نظر گرفته

شده است. البته در هفته‌های دوم تا دوازدهم بیمارانی که به بخش درمانی مراجعه نکرده‌اند از نوبت‌بندی حذف شده و ترجیحات بیماران جدید در هفته ورودشان در نظر گرفته شده است. قابل ذکر است که مدل‌های ارائه شده در این مقاله قابلیت انعطاف مناسبی داشته و امکان اجرای آنها در مقاطع زمانی ماهانه و یا چند هفته‌ای نیز وجود دارد.

به‌منظور بررسی حساسیت مدل‌ها نسبت به ضرایب اجزای تابع هدف نیز پنج سناریو در نظر گرفته شده که در جدول (۳) مقادیر مربوط به هر سناریو نشان داده شده است. لازم به‌ذکر است که مجموع ضرایب اجزا در هر سناریو برابر یک است.

نتایج حل مدل‌های ارائه شده برای ۱۲ هفته مورد مطالعه، در جدول (۴) آورده شده است. در این جدول، نتایج دو مدل TBM، MTSP، و رویه MTSPNI برای مقایسه با نتایج برنامه‌ریزی بیمارستان (IKHP) ارائه شده است. یادآوری می‌شود که تابع هدف تعریف شده برای مسئله از دو جزء تشکیل شده که جزء اول مربوط به ترجیحات و جزء دوم عامل زمانبندی (مجموع زمان تکمیل درمان بیماران) است.

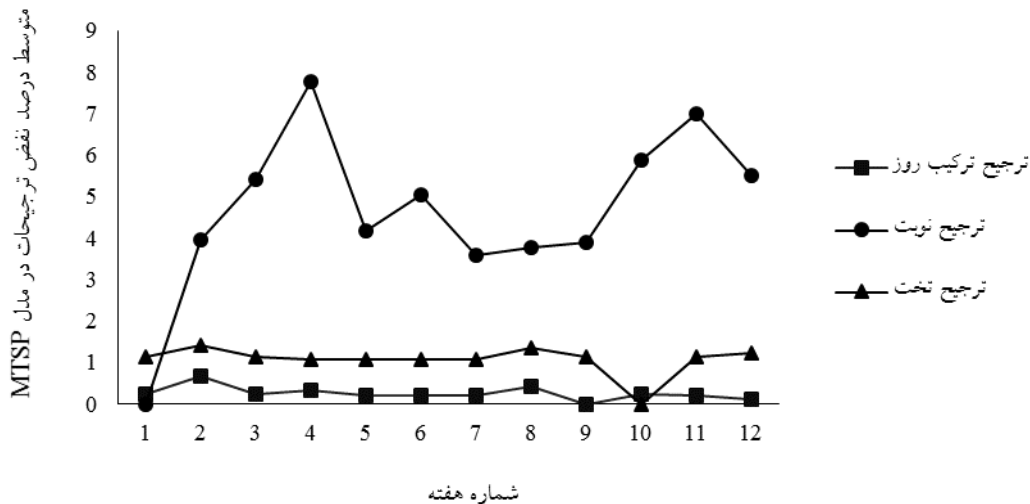
همان‌طور که انتظار می‌رفت، مقدار تابع هدف مدل TBM به‌دلیل نداشتن بیکاری از تابع هدف مدل MTSP و حتی رویه ابتکاری MTSPNI بهتر است. نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که رویه ابتکاری MTSPNI بسته به سناریوی مورد بررسی، بین ۱/۵ تا ۵/۵ درصد نسبت به مدل MTSP در تابع هدف بهبود ایجاد می‌کند. همچنین مدت‌زمان حل مدل MTSP بسیار کم است.

جدول ۴- نتایج محاسباتی بیمارستان مورد مطالعه

نسبت تابع هدف IKHP به MTSP	درصد بهبود جزء زمانبندی MTSP نسبت به IKHP	متوسط درصد نقض ترجیحات						درصد بهبود تابع هدف MTSP نسبت به MTSPNI	تابع هدف MTSPNI	MTSP		TBM		تعداد بیمار	سناریو	شماره هفته
		IKHP			MTSP					تابع هدف	زمان حل (ثانیه)	تابع هدف	زمان حل (ثانیه)			
		تخت	نوبت	ترکیب روز	تخت	نوبت	ترکیب روز									
۷/۱	۸/۱				۱/۴	۰/۰	۰/۰	۵/۳	۰/۰۶۳۴۶	۰/۰۶۷۰۰	۰/۴	۰/۰۶۳۰۶	۸/۵	۶۴	۱	
۲۸/۹	۸/۵				۱/۴	۰/۰	۰/۰	۵/۴	۰/۰۲۱۰۵	۰/۰۲۲۲۴	۰/۶	۰/۰۲۰۹۳	۹/۲	۶۴	۲	
۱۲/۹	۸/۵	۶۷/۶	۲۰/۶	۶۲/۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۵/۳	۰/۰۲۱۷۰	۰/۰۲۲۹۳	۰/۹	۰/۰۲۱۶۱	۲۸/۲	۶۴	۳ ۱	
۲۷/۴	۸/۵				۱/۴	۰/۰	۰/۰	۵/۴	۰/۰۲۱۰۴	۰/۰۲۲۲۴	۰/۶	۰/۰۲۰۹۳	۱۰/۳	۶۴	۴	
۱/۸	۱۴/۹				۱/۴	۰/۰	۱/۱	۴/۵	۰/۱۸۴۹۹	۰/۱۹۳۷۶	۰/۹	۰/۰۰۰۰۰	۲۷/۲	۶۴	۵	
۵/۸	۵/۲				۱/۴	۳/۸	۰/۶	۴/۵	۰/۰۷۴۳۱	۰/۰۷۷۸۲	۰/۵	۰/۰۷۳۸۴	۵/۶	۶۵	۱	
۲۴/۳	۴/۹				۲/۸	۳/۸	۰/۰	۴/۶	۰/۰۲۴۸۰	۰/۰۲۵۹۸	۰/۴	۰/۰۲۴۶۳	۱/۷	۶۵	۲	
۵/۴	۵/۷	۶۰/۶	۱۸/۷	۳۰/۴	۰/۰	۳/۸	۰/۶	۲/۲	۰/۰۵۱۰۴	۰/۰۵۲۲۰	۰/۵	۰/۰۵۰۸۸	۳/۴	۶۵	۳ ۲	
۲۱/۴	۵/۷				۱/۴	۳/۸	۰/۶	۴/۴	۰/۰۲۴۷۰	۰/۰۲۵۸۴	۰/۵	۰/۰۲۴۵۱	۶/۶	۶۵	۴	
۱/۷	۱۰/۵				۱/۴	۴/۴	۱/۷	۴/۴	۰/۱۸۸۲۹	۰/۱۹۶۹۹	۰/۷	۰/۱۸۶۹۹	۱۲۳/۱	۶۵	۵	
۶/۰	۴/۳				۱/۴	۵/۴	۰/۰	۴/۳	۰/۰۷۶۸۴	۰/۰۸۰۳۳	۰/۶	۰/۰۷۶۳۹	۵/۰	۶۶	۱	
۲۴/۱	۳/۷				۱/۴	۵/۴	۰/۰	۴/۳	۰/۰۲۵۵۳	۰/۰۲۶۶۷	۰/۶	۰/۰۲۵۳۶	۳/۶	۶۶	۲	
۴/۶	۳/۷	۷۱/۸	۱۸/۹	۳۰/۲	۰/۰	۵/۴	۰/۰	۱/۸	۰/۰۶۲۳۱	۰/۰۶۳۴۴	۰/۷	۰/۰۶۲۱۳	۲/۳	۶۶	۳ ۳	
۲۳/۹	۳/۷				۱/۴	۵/۴	۰/۰	۴/۳	۰/۰۲۵۵۳	۰/۰۲۶۶۷	۰/۵	۰/۰۲۵۳۶	۴/۵	۶۶	۴	
۱/۷	۶/۹				۱/۴	۵/۴	۱/۱	۴/۸	۰/۱۸۹۶۱	۰/۱۹۹۲۰	۰/۸	۰/۱۹۰۶۴	۱/۵	۶۶	۵	
۵/۵	۰/۳				۱/۴	۷/۸	۰/۰	۴/۲	۰/۰۸۳۴۳	۰/۰۸۷۰۹	۰/۶	۰/۰۸۳۰۵	۴/۱	۶۹	۱	
۲۲/۸	۰/۷				۱/۴	۷/۸	۰/۰	۴/۰	۰/۰۲۷۷۶	۰/۰۲۸۹۱	۰/۴	۰/۰۲۷۵۸	۲/۲	۶۹	۲	
۴/۴	۱/۳	۷۳/۰	۱۷/۱	۲۷/۴	۰/۰	۷/۸	۰/۵	۱/۴	۰/۰۸۰۶۰	۰/۰۸۱۷۵	۰/۷	۰/۰۸۰۴۳	۵/۵	۶۹	۳ ۴	
۲۱/۹	۰/۷				۱/۴	۷/۸	۰/۰	۴/۰	۰/۰۲۷۷۴	۰/۰۲۸۹۱	۰/۶	۰/۰۲۷۵۷	۷/۹	۶۹	۴	
۱/۶	۱/۶				۱/۴	۷/۸	۱/۱	۵/۰	۰/۱۹۴۱۲	۰/۲۰۴۳۲	۰/۹	۰/۱۹۳۷۰	۲/۰	۶۹	۵	
۶/۱	۳/۱				۱/۴	۴/۲	۰/۰	۴/۷	۰/۰۷۴۱۱	۰/۰۷۷۷۵	۰/۶	۰/۰۷۳۷۷	۶/۲	۶۹	۱	
۲۶/۶	۳/۵				۱/۴	۴/۲	۰/۰	۴/۷	۰/۰۲۴۵۹	۰/۰۲۵۸۱	۰/۴	۰/۰۲۴۴۹	۴/۳	۶۹	۲	
۵/۱	۴/۱	۶۷/۶	۱۷/۲	۲۷/۹	۰/۰	۴/۲	۰/۵	۲/۲	۰/۰۵۳۴۱	۰/۰۵۴۵۹	۰/۹	۰/۰۵۳۲۹	۴/۵	۶۹	۳ ۵	
۲۳/۱	۳/۵				۱/۴	۴/۲	۰/۰	۴/۶	۰/۰۲۴۶۱	۰/۰۲۵۸۱	۰/۵	۰/۰۲۴۴۹	۴/۹	۶۹	۴	
۱/۷	۴/۴				۱/۴	۴/۲	۰/۵	۵/۳	۰/۱۹۰۱۰	۰/۲۰۰۷۱	۰/۸	۰/۳۱۴۱۱	۱/۱	۶۹	۵	
۵/۸	۰/۶				۱/۴	۵/۰	۰/۰	۴/۶	۰/۰۷۷۴۵	۰/۰۸۱۱۶	۰/۵	۰/۰۷۶۹۹	۵/۸	۷۱	۱	
۲۴/۹	۱/۰				۱/۴	۵/۰	۰/۰	۴/۷	۰/۰۲۵۶۸	۰/۰۲۶۹۵	۰/۴	۰/۰۲۵۵۶	۷/۵	۷۱	۲	
۴/۸	۱/۶	۶۶/۲	۱۹/۱	۲۷/۶	۰/۰	۵/۰	۰/۵	۲/۰	۰/۰۶۰۲۳	۰/۰۶۱۴۵	۰/۶	۰/۰۶۰۱۰	۲/۵	۷۱	۳ ۶	
۲۱/۸	۱/۰				۱/۴	۵/۰	۰/۰	۴/۵	۰/۰۲۵۷۳	۰/۰۲۶۹۵	۰/۵	۰/۰۲۵۵۶	۵/۷	۷۱	۴	
۱/۶	۱/۹				۱/۴	۵/۰	۰/۵	۵/۳	۰/۱۹۴۴۲	۰/۲۰۵۳۷	۱/۰	۰/۳۲۴۳۱	۱/۱	۷۱	۵	

جدول ۴- ادامه

نسبت تابع هدف IKHP به MTSP	درصد بهبود جزء زمانبندی MTSP نسبت به IKHP	متوسط درصد نقض ترجیحات						درصد بهبود تابع هدف MTSP نسبت به MTSPNI	مقدار تابع هدف MTSPNI	MTSP		TBM		تعداد بیمار	سناریو	شماره‌ی هفته
		IKHP			MTSP					مقدار تابع هدف	زمان حل (ثانیه)	مقدار تابع هدف	زمان حل (ثانیه)			
		تخت	نوبت	ترکیب روز	تخت	نوبت	ترکیب روز									
۶/۱	۰/۷				۱/۴	۳/۶	۰/۰	۵/۰	۰/۰۷۳۶۴	۰/۰۷۷۴۸	۰/۵	۰/۰۷۳۳۰	۵/۱	۷۱	۱	
۲۶/۲	۱/۱				۱/۴	۳/۶	۰/۰	۴/۹	۰/۰۲۴۴۵	۰/۰۲۵۷۲	۰/۴	۰/۰۲۴۳۴	۱/۷	۷۱	۲	
۵/۶	۱/۷	۶۸/۹	۱۷/۹	۲۷/۰	۰/۰	۳/۶	۰/۵	۲/۵	۰/۰۴۹۲۷	۰/۰۵۰۵۳	۰/۷	۰/۰۴۹۱۷	۲/۴	۷۱	۳	
۲۳/۶	۱/۱				۱/۴	۳/۶	۰/۰	۵/۰	۰/۰۲۴۴۵	۰/۰۲۵۷۳	۰/۵	۰/۰۲۴۳۴	۵/۵	۷۱	۴	
۱/۷	۱/۹				۱/۴	۳/۶	۰/۵	۵/۵	۰/۱۹۲۸۰	۰/۲۰۴۰۰	۰/۹	۰/۱۹۳۴۹	۱/۳	۷۱	۵	
۶/۲	۵/۹				۱/۴	۳/۸	۰/۵	۴/۲	۰/۰۷۲۷۰	۰/۰۷۵۹۲	۰/۵	۰/۰۷۲۳۳	۶/۰	۶۷	۱	
۲۶/۴	۵/۶				۲/۷	۳/۸	۰/۰	۴/۴	۰/۰۲۴۲۳	۰/۰۲۵۳۵	۰/۴	۰/۰۲۴۱۳	۴/۰	۶۷	۲	
۵/۴	۶/۳	۶۷/۶	۱۶/۱	۲۶/۳	۰/۰	۳/۸	۰/۵	۲/۲	۰/۰۴۹۸۷	۰/۰۵۰۹۸	۰/۶	۰/۰۴۹۸۶	۲/۱	۶۷	۳	
۲۳/۶	۶/۳				۱/۴	۳/۸	۰/۵	۴/۴	۰/۰۲۴۰۹	۰/۰۲۵۲۱	۰/۵	۰/۰۲۴۰۱	۴/۵	۶۷	۴	
۱/۷	۵/۹				۱/۴	۳/۸	۰/۵	۵/۲	۰/۱۸۵۳۷	۰/۱۹۵۴۹	۰/۷	۰/۱۸۶۱۴	۱/۵	۶۷	۵	
۵/۷	۸/۳				۱/۴	۳/۹	۰/۰	۴/۴	۰/۰۷۰۷۲	۰/۰۷۳۹۷	۰/۴	۰/۰۷۰۴۲	۵/۰	۶۳	۱	
۲۶/۳	۸/۸				۱/۴	۳/۹	۰/۰	۴/۴	۰/۰۲۳۴۷	۰/۰۲۴۵۶	۰/۴	۰/۰۲۳۳۸	۳/۴	۶۳	۲	
۴/۶	۸/۸	۵۲/۱	۱۳/۹	۲۸/۲	۰/۰	۳/۹	۰/۰	۲/۱	۰/۰۵۰۱۴	۰/۰۵۱۲۰	۰/۵	۰/۰۵۰۰۳	۴/۶	۶۳	۳	
۱۹/۵	۸/۸				۱/۴	۳/۹	۰/۰	۴/۳	۰/۰۲۳۴۹	۰/۰۲۴۵۶	۰/۵	۰/۰۲۳۳۸	۴/۶	۶۳	۴	
۱/۷	۱۱/۶				۱/۴	۳/۹	۰/۰	۴/۶	۰/۱۸۱۷۳	۰/۱۹۰۴۷	۰/۶	۰/۱۸۲۱۱	۲/۰	۶۳	۵	
۵/۲	۵/۲				۰/۰	۵/۹	۰/۰	۴/۳	۰/۰۷۶۳۲	۰/۰۷۹۷۹	۰/۴	۰/۰۷۵۹۱	۲/۶	۶۶	۱	
۲۴/۷	۵/۶				۰/۰	۵/۹	۰/۰	۴/۳	۰/۰۲۵۳۴	۰/۰۲۶۴۹	۰/۴	۰/۰۲۵۲۰	۳/۶	۶۶	۲	
۳/۴	۵/۶	۴۶/۴	۱۲/۸	۲۶/۱	۰/۰	۵/۹	۰/۰	۱/۸	۰/۰۶۴۵۴	۰/۰۶۵۷۲	۰/۴	۰/۰۶۴۴۴	۴/۹	۶۶	۳	
۱۶/۹	۵/۶				۰/۰	۵/۹	۰/۰	۴/۴	۰/۰۲۵۳۲	۰/۰۲۶۴۹	۰/۴	۰/۰۲۵۲۰	۶/۱	۶۶	۴	
۱/۶	۷/۴				۰/۰	۵/۹	۱/۱	۴/۹	۰/۱۸۸۲۷	۰/۱۹۸۰۰	۰/۵	۰/۱۹۰۰۱	۱/۵	۶۶	۵	
۵/۲	۱/۶				۱/۴	۷/۰	۰/۰	۴/۰	۰/۰۷۹۶۹	۰/۰۸۳۰۴	۰/۵	۰/۰۷۹۳۲	۹/۶	۶۵	۱	
۲۳/۷	۲/۱				۱/۴	۷/۰	۰/۰	۴/۰	۰/۰۲۶۴۷	۰/۰۲۷۵۷	۰/۴	۰/۰۲۶۳۴	۱/۸	۶۵	۲	
۳/۴	۲/۱	۵۳/۵	۱۵/۶	۲۵/۵	۰/۰	۷/۰	۰/۰	۱/۵	۰/۰۷۳۷۷	۰/۰۷۴۹۱	۰/۶	۰/۰۷۳۶۷	۲/۳	۶۵	۳	
۱۸/۲	۲/۱				۱/۴	۷/۰	۰/۰	۴/۰	۰/۰۲۶۴۸	۰/۰۲۷۵۷	۰/۵	۰/۰۲۶۳۳	۶/۴	۶۵	۴	
۱/۶	۳/۸				۱/۴	۷/۰	۱/۱	۴/۶	۰/۱۸۸۵۳	۰/۱۹۷۶۰	۰/۸	۰/۱۹۲۲۵	۱/۲	۶۵	۵	
۵/۵	۶/۴				۱/۵	۵/۵	۰/۰	۴/۳	۰/۰۷۵۷۸	۰/۰۷۹۱۴	۰/۵	۰/۰۷۵۳۵	۵/۲	۶۵	۱	
۲۵/۱	۶/۸				۱/۵	۵/۵	۰/۰	۴/۳	۰/۰۲۵۱۶	۰/۰۲۶۲۷	۰/۳	۰/۰۲۵۰۲	۱/۷	۶۵	۲	
۴/۰	۶/۸	۵۲/۳	۱۵/۹	۲۶/۳	۰/۰	۵/۵	۰/۰	۱/۷	۰/۰۶۲۶۶	۰/۰۶۳۷۴	۰/۸	۰/۰۶۲۴۹	۲/۰	۶۵	۳	
۱۸/۸	۶/۸				۱/۵	۵/۵	۰/۰	۴/۳	۰/۰۲۵۱۵	۰/۰۲۶۲۸	۰/۵	۰/۰۲۵۰۲	۷/۳	۶۵	۴	
۱/۷	۹/۴				۱/۵	۵/۵	۰/۶	۴/۸	۰/۱۸۵۵۳	۰/۱۹۴۹۴	۰/۷	۰/۱۸۹۳۵	۱/۴	۶۵	۵	



شکل ۱- متوسط درصد نقض ترجیحات در تمامی سناریوها با مدل MTSP

تکمیل درمان آنها نیز بهتر از رویکرد بیمارستان عمل کرد. در شکل (۱) متوسط درصد نقض ترجیحات سه‌گانه بیماران در نتایج مدل MTSP نشان داده است. با به‌کارگیری مدل MTSP در حل مسئله در تمامی ۱۲ هفته مورد مطالعه، متوسط درصد نقض ترجیح ترکیب روزهای درمانی بسیار پایین است. به‌عنوان مثال در هفته نهم برنامه‌ریزی برای نوبت‌بندی بیماران همودیالیز، ترجیح ترکیب روز تمامی بیماران رعایت شده است.

۵-۲- بررسی عملکرد مدل‌ها در ابعاد بزرگ‌تر

به‌منظور بررسی عملکرد مدل‌های TBM و MTSP و رویه MTSPNI، در حل مسائل با ابعاد بزرگ‌تر از مطالعه موردی (بیش از ۱۴ تخت)، تعدادی مسئله نمونه بر اساس داده‌های واقعی بیمارستان به‌صورت تصادفی تولید و حل شده است. در تولید این مسائل نمونه از مفهوم نسبت چگالی بیماران (PD)^{۱۰} استفاده شده که در ادامه معرفی خواهد شد.

مثال‌هایی که در ارزیابی مدل‌های ارائه شده برای نوبت‌بندی بیماران دیالیز با توجه به ترجیحات آنها، تولید می‌شوند باید امکان‌پذیر باشند بدین معنی که تعداد بیمارانی که برای زمانبندی در نظر گرفته می‌شوند از ظرفیت بخش بیشتر نباشند.

از آنجا که مدل MTSP مشابه عملکرد بیمارستان در زمینه شروع درمان بیماران در سه مقطع زمانی در روز است این مدل با برنامه بیمارستان، یعنی IKHP در جدول (۴) مقایسه شده است. مهم‌ترین نکته‌ای که می‌توان از جدول (۴) دریافت کرد عملکرد مناسب مدل MTSP در رعایت ترجیحات بیماران و اختلاف زیاد آن در این زمینه با عملکرد بیمارستان است. بر اساس ستون آخر این جدول، تابع هدف IKHP نسبت به MTSP، در سناریوهایی که ضرایب مربوط به ترجیحات بیشتر از جزء زمانبندی است (سناریوهای ۱ تا ۴) بسیار بیشتر است. این اختلاف قابل توجه تابع هدف مدل MTSP با IKHP به‌دلیل در اولویت قرار نداشتن رعایت ترجیحات بیماران در بیمارستان است. این درحالی است که علاوه بر اینکه مدل MTSP توانسته است ترجیحات بیماران را بسیار بهتر رعایت کند، در جزء زمانبندی تابع هدف نیز بهبود ایجاد کرده است. با نگاه به ستون آخر جدول (۴) و به‌ازای سناریوی ۵ که در آن اهمیت جزء زمانبندی تابع هدف بیشتر است می‌توان مشاهده کرد که در این حالت نیز تابع هدف مدل MTSP بهتر از تابع هدف IKHP است. اما نتایج مدل MTSP، با وجود در نظر نگرفتن نوبت خالی بین یا قبل از نوبت‌های تخصیص یافته، حاکی از آن است که می‌توان علاوه بر رعایت ترجیحات بیماران، در کاهش زمان

از طرفی تعداد کم بیمار مسئله را ساده می‌کند. از این رو در این مقاله نسبت PD برای تولید مسائل نمونه مناسب معرفی می‌شود. این نسبت مطابق رابطه (۱۸) محاسبه می‌شود.

$$(18) \text{ مجموع تعداد جلسات درمانی بیماران} = \frac{\text{تخصیص یافته}}{\text{تعداد روزها} \times \text{تعداد نوبت‌ها} \times \text{تعداد تخت موجود}} \text{ (PD) چگالی بیماران}$$

با توجه به مقدار PD حالت‌های زیر رخ خواهد داد:

۱- اگر مقدار این نسبت بزرگ‌تر از یک باشد، مثال تولید شده به‌طور قطعی امکان ناپذیر است.

۲- اگر مقدار این نسبت برابر با یک باشد، مثال تولید شده ممکن است امکان‌پذیر نباشد و یا همه نوبت‌های درمانی موجود توسط بیماران اشغال خواهد شد (هر روز به سه نوبت درمانی تقسیم می‌شود).

۳- اگر مقدار این نسبت بین صفر و یک عدد مثبت کوچک‌تر از یک فرض شود، مثال تولید شده احتمال امکان‌پذیر بودن را دارد. واضح است که با کوچک‌تر شدن این نسبت احتمال امکان‌پذیری نیز افزایش می‌یابد.

لذا در ادامه، نسبت چگالی بیماران، عددی تصادفی در دو بازه $[\frac{5}{6}, \frac{5}{6}]$ و $[\frac{5}{6}, 1]$ در نظر گرفته شده است. بدیهی است که مسائل گروه اول دارای تعداد بیماران کمتری نسبت به مسائل گروه دوم خواهد بود و از این رو ساده‌تر به نظر می‌رسند.

برای تولید مسائل نمونه، تعداد تخت‌های درمانی مقادیر ۱۴، ۱۷، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ در نظر گرفته شده است. تعداد روزهای هفته و سایر فرضیات نیز مشابه بیمارستان مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب با تولید تصادفی نسبت چگالی بیماران در یکی از دو بازه گفته شده، به تعدادی بیمار از لیست بیماران موجود در بیمارستان مورد بررسی به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود که این نسبت رعایت شود. بدیهی است که هر بیمار ترجیحات خود را دارد.

در کل با توجه به نسبت چگالی بیماران، مسائل نمونه به دو گروه تقسیم شده، در هر گروه ابعاد تخت در هفت اندازه مورد

بررسی قرار گرفته و در هر کدام از این ۱۴ (7×2) ترکیب نیز ۲۰ مسئله نمونه تولید شده است. این مسائل با توجه به پنج سناریو برای ضرایب وزنی تابع هدف حل شده‌اند. در جدول (۵) و جدول (۶)، سناریوهای مختلف برای ضرایب اجزاء تابع هدف آورده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود و قبل از این هم گفته شد، مسائل با نسبت چگالی بیشتر سخت‌تر حل شده‌اند و این سختی برای مدل TBM بسیار بیشتر از مدل MTSP است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در مسائل بزرگ‌تر مدل MTSP بسیار کاراتر عمل کرده به‌طوری که کلیه مسائل تا ابعاد ۴۰ تخت را به‌طور بهینه حل کرده است.

بر اساس ستون آخر جدول (۵) و جدول (۶) می‌توان مشاهده کرد که رویه ساده MTSPNI که در حقیقت بیکاری بین بیماران متوالی را در جواب مدل MTSP حذف می‌کند، اختلاف کمی با جواب مدل TBM دارد. لذا می‌توان در صورت اعمال فرض مجاز نبودن بیکاری از رویه MTSPNI در حل مسئله در ابعاد بزرگ استفاده کرد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مسئله زمانبندی بیماران همودیالیز مورد بررسی قرار گرفت و بخش همودیالیز بیمارستان امام خمینی (ره) کرمانشاه به‌عنوان مطالعه موردی در این پژوهش انتخاب شد. برای حل مسئله نیز دو مدل ریاضی ارائه شد. مدل اول که نوبت‌محور نام دارد مسائل تا ابعاد نه تخت را به‌طور بهینه حل می‌کند. در ادامه یک مدل بر اساس تخصیص بیماران به نوبت‌های دارای زمان شروع مشخص ارائه شد. این مدل در حل بهینه مسائل کارایی بالایی داشت، به‌طوری که موفق به ارائه جواب بهینه تا ابعاد ۴۰ تخت بود. نتایج به‌دست آمده از حل مدل‌ها روی داده‌های ۱۲ هفته بیمارستان مورد مطالعه، نشان می‌دهد که بهبود قابل توجهی در مقدار تابع هدف نسبت به مقدار تابع هدف رویه فعلی بیمارستان ایجاد می‌شود. همچنین در شاخص‌هایی همچون رعایت کردن ترجیحات

روش‌های عددی در مهندسی، سال ۳۸، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۸

جدول ۵- نتایج حل مدل TBM، MTSP و رویه MTSPNI در ابعاد بزرگ برای سناریو ۱ و ۲ ضرایب اجزای تابع هدف

سناریو	چگالی بیمار	تعداد تخت	مشخصات مسئله			تعداد مسائل بهینه	متوسط زمان حل (ثانیه)	متوسط تابع هدف	تعداد مسائل بهینه	متوسط زمان حل (ثانیه)	متوسط تعداد ترجیحات						
			متوسط تعداد بیمار	ترکیب روز	نوبت						تخت	متوسط تابع هدف	متوسط زمان حل (ثانیه)	تعداد مسائل بهینه	متوسط تابع هدف	متوسط زمان حل (ثانیه)	متوسط درصد اختلاف
۱	[$\frac{4}{6}, \frac{5}{6}$]	۱۴	۵۸/۴	۲۷/۲	۱۴۶/۱	۴۹/۱	۱۳	۱۶/۱	۰/۰۷۴۱۳	۲۰	۰/۰۷۸۳۱	۰/۰۷۴۶۹	۰/۸				
		۱۷	۷۸/۲	۳۷/۶	۲۰۱/۲	۶۷/۲	۱۶	۶۱/۰	۰/۰۸۸۰۷	۲۰	۰/۰۹۲۴۷	۰/۰۸۸۶۳	۰/۶				
		۲۰	۹۶/۶	۴۶/۵	۲۴۶/۸	۸۲/۶	۱۳	۸۷/۴	۰/۰۹۲۲۹	۲۰	۰/۰۹۶۷۱	۰/۰۹۲۷۵	۰/۵				
		۲۵	۱۱۷/۱	۵۵/۹	۲۹۸/۸	۹۷/۶	۰	-	-	-	۴/۱	۰/۱۰۵۹۲	-				
		۳۰	۱۴۸/۶	۶۸/۴	۳۷۸/۸	۱۲۸/۰	۰	-	-	-	۵/۸	۰/۱۲۰۷۸	-				
		۴۰	۱۸۹/۳	۹۰/۹	۴۸۳/۹	۱۶۷/۵	۰	-	-	-	۱۳/۸	۰/۱۵۱۷۲	-				
		۵۰	۲۳۹/۴	۱۱۵/۱	۶۰۹/۱	۲۰۱/۳	-	-	-	-	۱۴/۰	۰/۱۶۲۷۳	-				
		۱	[$\frac{5}{6}, 1$]	۱۴	۸۲/۱	۳۸/۲	۲۱۰/۱	۷۰/۷	۳	۸۷/	۰/۱۰۱۶۴	۲۰	۰/۱۰۶۵۵	۰/۱۰۱۹۸	۰/۳		
				۱۷	۹۸/۲	۴۵/۸	۲۴۹/۴	۸۱/۶	۱	۱۵/۶	۰/۱۰۹۹۱	۲۰	۰/۱۱۴۸۷	۰/۱۱۰۴۲	۰/۵		
				۲۰	۱۱۷/۳	۵۶/۲	۲۹۶/۵	۹۶/۰	۱	۱۵/۷	۰/۱۱۰۹۸	۲۰	۰/۱۱۵۷۶	۰/۱۱۱۱۹	۰/۲		
				۲۵	۱۴۸/۶	۷۱/۰	۳۷۶/۵	۱۲۸/۹	۲	۱۶۴/۹	۰/۱۳۳۱۳	۲۰	۰/۱۳۷۹۳	۰/۱۳۳۶۹	۰/۴		
				۳۰	۱۷۷/۱	۸۴/۴	۴۵۲/۷	۱۵۷/۵	۲	۹۹/۶	۰/۱۴۵۷۸	۲۰	۰/۱۵۰۵۹	۰/۱۴۶۰۲	۰/۲		
۴۰	۲۳۳/۶			۱۱۳/۶	۵۹۸/۷	۲۰۱/۴	۰	-	-	-	۴۹/۱	۰/۱۶۷۷۱	-				
۲	[$\frac{4}{6}, \frac{5}{6}$]	۱۴	۵۸/۴	۲۷/۲	۱۴۶/۱	۴۹/۱	۱۹	۱۲/۶	۰/۰۲۵۷۳	۲۰	۰/۰۲۷۱۲	۰/۰۲۵۹۱	۰/۷				
		۱۷	۷۸/۲	۳۷/۶	۲۰۱/۲	۶۷/۲	۱۹	۳۲/۵	۰/۰۳۲۱۴	۲۰	۰/۰۳۳۶۰	۰/۰۳۲۳۳	۰/۶				
		۲۰	۹۶/۶	۴۶/۵	۲۴۶/۸	۸۲/۶	۱۸	۴۸/۳	۰/۰۳۲۸۷	۲۰	۰/۰۳۴۳۷	۰/۰۳۳۰۳	۰/۵				
		۲۵	۱۱۷/۱	۵۵/۹	۲۹۸/۸	۹۷/۶	۰	-	-	-	۷/۸	۰/۰۳۸۸۷	-				
		۳۰	۱۴۸/۶	۶۸/۴	۳۷۸/۸	۱۲۸/۰	۰	-	-	-	۴/۶	۰/۰۴۳۵۰	-				
		۴۰	۱۸۹/۳	۹۰/۹	۴۸۳/۹	۱۶۷/۵	۰	-	-	-	۱۹/۲	۰/۰۵۳۲۹	-				
۲	[$\frac{5}{6}, 1$]	۱۴	۸۲/۱	۳۸/۲	۲۱۰/۱	۷۰/۷	۱	۳/۷	۰/۰۳۹۸۵	۲۰	۰/۰۴۱۴۸	۰/۰۳۹۹۵	۰/۳				
		۱۷	۹۸/۲	۴۵/۸	۲۴۹/۴	۸۱/۶	۱	۱۱/۶	۰/۰۴۲۰۷	۲۰	۰/۰۴۳۷۷	۰/۰۴۲۲۸	۰/۵				
		۲۰	۱۱۷/۳	۵۶/۲	۲۹۶/۵	۹۶/۰	۲	۴۱/۱	۰/۰۴۴۷۶	۲۰	۰/۰۴۶۴۲	۰/۰۴۴۹۰	۰/۳				
		۲۵	۱۴۸/۶	۷۱/۰	۳۷۶/۵	۱۲۸/۹	۲	۱۷۷/۱	۰/۰۵۰۹۱	۲۰	۰/۰۵۲۵۴	۰/۰۵۱۰۱	۰/۲				
		۳۰	۱۷۷/۱	۸۴/۴	۴۵۲/۷	۱۵۷/۵	۲	۱۰۶/۷	۰/۰۵۶۷۶	۲۰	۰/۰۵۸۴۶	۰/۰۵۶۸۷	۰/۲				
		۴۰	۲۳۳/۶	۱۱۳/۶	۵۹۸/۷	۲۰۱/۴	۰	-	-	-	۲۹/۹	۰/۰۶۳۰۳	-				
۲	[$\frac{4}{6}, \frac{5}{6}$]	۵۰	۲۳۹/۴	۱۱۵/۱	۶۰۹/۱	۲۰۱/۳	-	-	-	۱۸	۰/۰۵۷۱۶	-					
		۵۰	۲۳۹/۴	۱۱۵/۱	۶۰۹/۱	۲۴۴/۱	۷۳۸/۲	۱۳۹/۱	۲۹۰/۲	۱۸	۰/۰۶۶۶۵	۰/۰۶۵۱۶					

تکمیل درمان بیماران را نیز کاهش داده‌اند. همچنین همان‌طور که گفته شد، نتایج حل مدل‌های ارائه شده در مسائل تولید شده در ابعاد بزرگ حکایت از توانایی یکی از مدل‌ها در حل مسائل تا ابعاد ۴۰ تخت در زمان کم دارد. این توانمندی امکان استفاده از مدل در مراکز درمانی بزرگ‌تر از بیمارستان مورد

تخت، روزهای درمانی و نوبت بیمار مدل‌های ارائه شده موفق بوده و ترجیحات بیماران را به‌خوبی رعایت کرده‌اند. این درحالی است که ترجیحات بیماران در برنامه بیمارستان در اولویت قرار نداشته است. با این وجود رعایت کردن ترجیحات جواب‌های حاصل از حل مدل‌ها مجموع زمان

روش‌های عددی در مهندسی، سال ۳۸، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۸

جدول ۶- نتایج حل مدل TBM، MTSP و رویه MTSPNI در ابعاد بزرگ برای سناریو ۳ تا ۵ ضرایب اجزای تابع هدف

سناریو	چگالی بیمار	تعداد تخت	مشخصات مسئله			TBM		MTSP		MTSPNI		
			متوسط تعداد بیمار	متوسط تعداد ترجیحات		متوسط تابع هدف	تعداد مسائل بهینه	متوسط زمان حل (ثانیه)	متوسط تابع هدف	تعداد مسائل بهینه	متوسط زمان حل (ثانیه)	
				نوبت	تخت							ترکیب روز
۳	[$\frac{4}{6}, \frac{5}{6}$]	۱۴	۵۸/۴	۲۷/۲	۱۴۶/۱	۴۹/۱	-	۰/۰۳۱۹۱	-	۰/۰۳۳۰۹	۰/۸	۲۰
		۱۷	۷۸/۲	۳۷/۶	۲۰۱/۲	۶۷/۲	-	۰/۰۳۹۱۱	-	۰/۰۴۰۳۳	۱/۴	۲۰
		۲۰	۹۶/۶	۴۶/۵	۲۴۶/۸	۸۲/۶	۰/۰۴۵۲۳	۳۲/۴	۰/۰۴۵۳۷	۰/۰۴۶۵۷	۲/۳	۲۰
		۲۵	۱۱۷/۱	۵۵/۹	۲۹۸/۸	۹۷/۶	-	۰/۰۴۷۹۶	۰/۰۴۹۲۲	۰/۰۴۹۲۲	۲/۵	۲۰
		۳۰	۱۴۸/۶	۶۸/۴	۳۷۸/۸	۱۲۸/۰	۰/۰۵۶۵۰	۱۱۶/۳	۰/۰۵۶۷۲	۰/۰۵۷۹۹	۵/۲	۲۰
		۴۰	۱۸۹/۳	۹۰/۹	۴۸۳/۹	۱۶۷/۵	-	-	۰/۰۶۴۷۲	۰/۰۶۵۹۲	۱۵/۲	۲۰
		۵۰	۲۳۹/۴	۱۱۵/۱	۶۰۹/۱	۲۰۱/۳	-	-	۰/۰۶۷۸۶	۰/۰۶۹۱۴	۱۱/۷	۱۹
		۱۴	۸۲/۱	۳۸/۲	۲۱۰/۱	۷۰/۷	۰/۰۸۳۹۳	۲۳/۸	۰/۰۸۴۰۲	۰/۰۸۵۵۵	۱/۹	۲۰
		۱۷	۹۸/۲	۴۵/۸	۲۴۹/۴	۸۱/۶	۰/۰۸۰۵۹	۶۵/۸	۰/۰۸۰۷۲	۰/۰۸۲۱۹	۳/۲	۲۰
		۲۰	۱۱۷/۳	۵۶/۲	۲۹۶/۵	۹۶/۰	-	-	۰/۰۸۲۱۱	۰/۰۸۳۶۲	۷/۹	۲۰
۴	[$\frac{5}{6}, 1$]	۲۵	۱۴۸/۶	۷۱/۰	۳۷۶/۵	۱۲۸/۹	۴۵/۶	۰/۰۷۶۳۳	۰/۰۷۷۸۳	۱۱/۰	۲۰	
		۳۰	۱۷۷/۱	۸۴/۴	۴۵۲/۷	۱۵۷/۵	۲۱۳/۸	۰/۰۸۱۹۰	۰/۰۹۰۵۷	۶۱/۷	۲۰	
		۴۰	۲۳۳/۶	۱۱۳/۶	۵۹۸/۷	۲۰۱/۴	۳۳/۹	۰/۰۹۱۱۱	۰/۰۹۱۱۵	۰/۰۹۲۶۱	۳۶/۳	۲۰
		۵۰	۲۹۰/۲	۱۳۹/۱	۷۳۸/۲	۲۴۴/۱	-	-	۰/۰۹۲۷۷	۰/۰۹۴۲۶	۳۲/۱	۶
		۱۴	۵۸/۴	۲۷/۲	۱۴۶/۱	۴۹/۱	۱۷/۵	۰/۰۲۴۶۲	۰/۰۲۴۸۰	۰/۰۲۶۰۰	۰/۷	۲۰
		۱۷	۷۸/۲	۳۷/۶	۲۰۱/۲	۶۷/۲	۵۲/۵	۰/۰۴۷۴۰	۰/۰۴۷۶۷	۰/۰۴۸۹۴	۱/۱	۲۰
		۲۰	۹۶/۶	۴۶/۵	۲۴۶/۸	۸۲/۶	۴۹/۱	۰/۰۴۷۸۳	۰/۰۴۸۰۶	۰/۰۴۹۲۹	۲/۸	۲۰
		۲۵	۱۱۷/۱	۵۵/۹	۲۹۸/۸	۹۷/۶	-	-	۰/۰۸۴۱۵	۰/۰۸۵۵۰	۱۰/۳	۲۰
		۳۰	۱۴۸/۶	۶۸/۴	۳۷۸/۸	۱۲۸/۰	-	-	۰/۱۱۸۶۶	۰/۱۱۹۹۸	۶/۲	۲۰
		۴۰	۱۸۹/۳	۹۰/۹	۴۸۳/۹	۱۶۷/۵	-	-	۰/۲۰۰۲۷	۰/۲۰۳۴۰	۲۴/۶	۲۰
۵	[$\frac{4}{6}, \frac{5}{6}$]	۵۰	۲۳۹/۴	۱۱۵/۱	۶۰۹/۱	۲۰۱/۳	-	۰/۲۳۶۸۵	۰/۲۳۸۲۰	۱۲/۸	۱۸	
		۱۴	۸۲/۱	۳۸/۲	۲۱۰/۱	۷۰/۷	۲۴/۱	۰/۰۴۲۶۵	۰/۰۴۲۷۹	۱/۵	۲۰	
		۱۷	۹۸/۲	۴۵/۸	۲۴۹/۴	۸۱/۶	۱۶/۳	۰/۰۶۸۱۳	۰/۰۶۹۱۳	۰/۰۷۰۶۱	۲/۴	۲۰
		۲۰	۱۱۷/۳	۵۶/۲	۲۹۶/۵	۹۶/۰	۲۷/۳	۰/۰۶۹۷۸	۰/۰۶۹۸۴	۰/۰۷۱۳۵	۷/۲	۲۰
		۲۵	۱۴۸/۶	۷۱/۰	۳۷۶/۵	۱۲۸/۹	۸۹/۹	۰/۱۳۹۶۷	۰/۱۳۹۷۳	۰/۱۴۱۲۶	۱۹/۴	۲۰
		۳۰	۱۷۷/۱	۸۴/۴	۴۵۲/۷	۱۵۷/۵	۱۲۸/۳	۰/۱۶۶۷۰	۰/۱۶۸۰۹	۰/۱۷۰۱۳	۲۸/۷	۲۰
		۴۰	۲۳۳/۶	۱۱۳/۶	۵۹۸/۷	۲۰۱/۴	-	-	۰/۲۴۲۸۵	۰/۲۴۶۴۳	۵۴/۲	۲۰
		۵۰	۲۹۰/۲	۱۳۹/۱	۷۳۸/۲	۲۴۴/۱	-	-	۰/۳۰۴۳۴	۰/۳۰۵۸۴	۳۸/۷	۱۴
		۱۴	۵۸/۴	۲۷/۲	۱۴۶/۱	۴۹/۱	-	-	۰/۱۸۴۲۹	۰/۱۹۱۴۸	۰/۷	۲۰
		۱۷	۷۸/۲	۳۷/۶	۲۰۱/۲	۶۷/۲	-	-	۰/۱۹۶۰۷	۰/۲۰۵۰۹	۱/۳	۲۰
۵	[$\frac{4}{6}, \frac{5}{6}$]	۲۰	۹۶/۶	۴۶/۵	۲۴۶/۸	۸۲/۶	-	۰/۲۰۱۱۳	۰/۲۱۰۹۰	۲/۳	۲۰	
		۲۵	۱۱۷/۱	۵۵/۹	۲۹۸/۸	۹۷/۶	-	-	۰/۲۰۳۷۷	۰/۲۱۳۲۰	۳/۵	۲۰
		۳۰	۱۴۸/۶	۶۸/۴	۳۷۸/۸	۱۲۸/۰	-	-	۰/۲۱۲۴۵	۰/۲۲۲۸۰	۸/۳	۲۰
		۴۰	۱۸۹/۳	۹۰/۹	۴۸۳/۹	۱۶۷/۵	-	-	۰/۲۱۹۰۶	۰/۲۲۷۹۲	۱۳/۴	۲۰
		۵۰	۲۳۹/۴	۱۱۵/۱	۶۰۹/۱	۲۰۱/۳	-	-	۰/۲۲۳۲۱	۰/۲۳۲۹۲	۱۸/۹	۱۷
		۱۴	۸۲/۱	۳۸/۲	۲۱۰/۱	۷۰/۷	-	-	۰/۲۱۸۴۰	۰/۲۳۲۰۳	۱/۵	۲۰
		۱۷	۹۸/۲	۴۵/۸	۲۴۹/۴	۸۱/۶	-	-	۰/۲۱۹۹۵	۰/۲۳۳۲۴	۲/۲	۲۰
		۲۰	۱۱۷/۳	۵۶/۲	۲۹۶/۵	۹۶/۰	-	-	۰/۲۲۱۴۷	۰/۲۳۵۰۴	۵/۵	۲۰
۵	[$\frac{5}{6}, 1$]	۲۵	۱۴۸/۶	۷۱/۰	۳۷۶/۵	۱۲۸/۹	-	۰/۲۳۰۶۲	۰/۲۴۳۱۶	۳۲/۲	۲۰	
		۳۰	۱۷۷/۱	۸۴/۴	۴۵۲/۷	۱۵۷/۵	-	-	۰/۲۳۳۶۲	۰/۲۴۷۳۶	۱۷/۱	۲۰
		۴۰	۲۳۳/۶	۱۱۳/۶	۵۹۸/۷	۲۰۱/۴	-	-	۰/۲۴۳۷۴	۰/۲۵۴۰۸	۳۸/۶	۲۰
		۵۰	۲۹۰/۲	۱۳۹/۱	۷۳۸/۲	۲۴۴/۱	-	-	۰/۲۴۵۵۶	۰/۲۵۸۸۵	۴۰/۴	۱۵

بررسی در این مقاله را نیز فراهم می‌کند.

توجه قرار داد. همچنین تعیین تعداد تخت و پرستار مورد نیاز برای مراکز درمانی همودیالیز با توجه به داده‌های بلندمدت می‌تواند یکی دیگر از زمینه‌های تحقیقاتی باشد.

برای مطالعات آتی در حوزه زمانبندی بیماران همودیالیز می‌توان برنامه زمانبندی این بیماران را به صورت متمرکز با سایر رویه‌های درمانی غیرهمودیالیزی بیمار در یک زمان را مورد

واژه‌نامه

1. end-stage renal disease (ESRD)
2. hybrid shop
3. chemotherapy
4. gynecology department
5. nephrologist
6. turn based model (TBM)
7. model with three start points (MTSP)
8. model with three start point and non-Idle (MTSPNI)
9. Imam Khomeini Hospital Plan (IKHP)
10. patients density (PD)

مراجع

1. Meskens, N., Duvivier, D., and Hanset, A., "Multi-Objective Operating Room Scheduling Considering Desiderata of the Surgical Team", *Decision Support Systems*, Vol. 55, pp. 650-659, 2013.
2. Petrovic, S., Leung, W., Song, X., and Sundar, S., "Algorithms for Radiotherapy Treatment Booking", Proceedings of the 25th Workshop of the UK Planning and Scheduling Special Interest Group (PlanSIG'2006), Nottingham, UK, pp. 105-112, 2006.
3. Zhong, L., Luo, S., Wu, L., Xu, L., Yang, J., and Tang, G., "A Two-Stage Approach for Surgery Scheduling", *Journal of Combinatorial Optimization*, Vol. 27, pp. 545-556, 2014.
4. Jha, V., Garcia-Garcia, G., Iseki, K., Li, Z., Naicker, S., Plattner, B., Saran, R., Wang, A. Y. -M., and Yang, C. -W., "Chronic Kidney Disease: Global Dimension and Perspectives", *The Lancet*, Vol. 382, pp. 260-272, 2013.
5. Wetmore, J. B., and Collins, A. J., "Global Challenges Posed by the Growth of End-Stage Renal Disease", *Renal Replacement Therapy*, Vol. 2, p. 15, 2016.
6. Power, A., Duncan, N., and Goodlad, C., "Management of the Dialysis Patient for the Hospital Physician", *Postgraduate Medical Journal*, Vol. 85, pp. 376-381, 2009.
7. Klassen, K. J., and Rohleder, T. R., "Scheduling Outpatient Appointments in a Dynamic Environment", *Journal of Operations Management*, Vol. 14, pp. 83-101, 1996.
8. Ahmadi-Javid, A., Jalali, Z., and Klassen, K. J., "Outpatient Appointment Systems in Healthcare: A Review of Optimization Studies", *European Journal of Operational Research*, Vol. 258, pp. 3-34, 2017.
9. Cayirli, T., and Veral, E., "Outpatient Scheduling in Health Care: A Review of Literature", *Production and Operations Management*, Vol. 12, pp. 519-549, 2003.
10. Gupta, D., and Denton, B., "Appointment Scheduling in Health Care: Challenges and Opportunities", *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, Vol. 40, pp. 800-819, 2008.
11. Saremi, A., Jula, P., ElMekkawy, T., and Wang, G. G., "Appointment Scheduling of Outpatient Surgical Services in a Multistage Operating Room Department", *International Journal of Production Economics*, Vol. 141, pp. 646-658, 2013.
12. Azadeh, A., Baghersad, M., Farahani, M. H., and Zarrin, M., "Semi-Online Patient Scheduling in Pathology Laboratories", *Artificial Intelligence in Medicine*, Vol. 64, pp. 217-226, 2015.
13. Ogulata, S. N., Cetik, M. O., Koyuncu, E., and Koyuncu, M., "A Simulation Approach for Scheduling Patients in the Department of Radiation Oncology", *Journal of Medical Systems*, Vol. 33, pp. 233, 2009.
14. Condotta, A., and Shakhlevich, N., "Scheduling Patient Appointments via Multilevel Template: A Case Study in Chemotherapy", *Operations Research for Health Care*, Vol. 3, pp. 129-144, 2014.
15. Castro, E., and Petrovic, S., "Combined Mathematical Programming and Heuristics for a Radiotherapy Pre-Treatment Scheduling Problem", *Journal of Scheduling*, Vol. 15, pp. 333-346, 2012.
16. Conforti, D., Guerriero, F., and Guido, R., "Optimization Models for Radiotherapy Patient Scheduling", *4OR*, Vol. 6, pp. 263-278, 2008.
17. Conforti, D., Guerriero, F., and Guido, R., "Non-Block Scheduling with Priority for Radiotherapy Treatments", *European Journal of Operational Research*, Vol. 201, pp. 289-296, 2010.
18. Sevinc, S., Sanli, U. A., and Goker, E., "Algorithms for Scheduling of Chemotherapy Plans", *Computers in Biology and Medicine*, Vol. 43, pp. 2103-2109, 2013.

19. Liang, B., and Turkcan, A., "Acuity-Based Nurse Assignment and Patient Scheduling in Oncology Clinics", *Health Care Management Science*, Vol. 19, pp. 207-226, 2016.
20. Van de Vrugt, N., Luen-English, S., Bastiaansen, W., Kleinluchtenbeld, S., Lardinois, W., Pots, M., Schoonbergen, D., Hans, E. W., Hurink, J. L., and Boucherie, R. J., "Integrated Scheduling of Tasks and Gynecologists to Improve Patient Appointment Scheduling; a Case Study", *Operations Research for Health Care*, Vol. 16, pp. 10-19, 2018.
21. Qu, X., Peng, Y., Kong, N., and Shi, J., "A Two-Phase Approach to Scheduling Multi-Category Outpatient Appointments-A Case Study of a Women's Clinic", *Health Care Management Science*, Vol. 16, pp. 197-216, 2013.
22. Savelsbergh, M., and Smilowitz, K., "Stratified Patient Appointment Scheduling for Mobile Community-Based Chronic Disease Management Programs", *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, Vol. 6, pp. 65-78, 2016.
23. Hulshof, P. J., Boucherie, R. J., Hans, E. W., and Hurink, J. L., "Tactical Resource Allocation and Elective Patient Admission Planning in Care Processes", *Health Care Management Science*, Vol. 16, pp. 152-166, 2013.
24. Bikker, I. A., Kortbeek, N., van Os, R. M., and Boucherie, R. J., "Reducing Access Times for Radiation Treatment by Aligning the Doctor's Schemes", *Operations Research for Health Care*, Vol. 7, pp. 111-121, 2015.
25. Holland, J., "Scheduling Patients in Hemodialysis Centers", *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 35, p. 76, 1994.
26. Tolentino Peña, M., "Optimization of Inpatient Hemodialysis Scheduling Considering Efficiency and Treatment Delays to Minimize Length of Stay", MSc Thesis, Department of Industrial & Systems Engineering, Kate Gleason College of Engineering, 2013.
27. Vanquickenborne, N., "Analysis, Redesign and Implementation of a Dialysis Process", MSc Thesis Department of Industrial & Economic Engineering, Ghent University, 2015
28. Shateri, M., "Resource Allocation and Risk Analysis of Dialysis Centres", PhD Thesis Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, 2015.