

ارائه مدلی چند هدفه برای مکان‌یابی - تخصیص سیستم‌های مراقبت سلامت پیشگیرانه با تقاضای احتمالی

فاطمه حاجی‌سلطانی^۱، مهدی سیف‌برقی^{۲*}

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

۲. دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

خلاصه

هدف سیستم‌های مراقبت سلامت پیشگیرانه کاهش احتمال ابتلا و شدت بیماری‌های بالقوه در زندگی افراد است که با مراقبت و تشخیص زود هنگام صورت می‌گیرد. میزان مشارکت در برنامه‌های مراقبت بهداشتی پیشگیرانه یک عامل حیاتی در اثرگذاری و کارایی این برنامه‌ها است. در این مقاله، روشی برای مکان‌یابی تسهیلات مراقبت بهداشتی پیشگیرانه به منظور افزایش میزان دسترسی به مشتریان بالقوه و در نتیجه حداکثر کردن میزان مشارکت ارائه شده است. به دلیل محدودیت ظرفیت در تسهیلات خدمات درمانی پیشگیرانه و اهمیت زمانی که افراد برای دریافت خدمت در صف‌های انتظار سپری می‌کنند، فرض کرده‌ایم که هر کدام از تسهیلات به عنوان یک سیستم صف $M/M/Q_i/K_i$ عمل می‌کند. یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح برای حداکثر کردن میزان مشارکت و حداقل نمودن هزینه‌ی ایجاد تسهیلات و تخصیص تجهیزات پزشکی به تسهیلات ایجاد شده، ارائه شده است. به دلیل اهمیت توابع هدف دیگر، متمم‌هایی به منظور برقراری عدالت در نحوه‌ی برخورداری افراد از خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه و ایجاد تعادل در ساعات بیکاری خدمت‌دهنده‌ها آورده شده است. این‌گونه مسائل از جمله مسائل NP-Hard هستند، بنابراین از الگوریتم‌های فراابتکاری چند هدفه شامل الگوریتم‌های ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب استفاده شده است. با استفاده از کدگذاری جدیدی در این دو الگوریتم و تغییر ساختار نمایش جواب‌ها، بر سرعت عمل و کارایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی ترکیباتی افزوده‌ایم. در آخر از روش تاگوچی برای تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها استفاده کرده‌ایم و مسائل آزمایشی با ابعاد مختلف تولید و با هم مقایسه شده‌اند. با توجه به مجموع نتایج به دست آمده، روش ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب عملکرد بهتری دارد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۸/۴/۲۹

پذیرش ۱۳۹۹/۲/۸

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

مکان‌یابی - تخصیص

مراقبت بهداشتی پیشگیرانه

مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی

عدد صحیح

سیستم صف

الگوریتم ژنتیک

۱. مقدمه

بسیاری از مشکلات و بیماری‌های حاد و پرهزینه مانند سرطان، بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت و مشکلات تنفسی حاد با چکاپ‌های منظم قابل کنترل است. برنامه‌ی مراقبت بهداشتی پیشگیرانه مجموعه فعالیت‌هایی است که از ابتلا به بیماری جلوگیری

کرده و یا در روند آن تأخیر و خللی به وجود می‌آورد [۱]. محققان در سه دهه‌ی اخیر دریافته‌اند که این خدمات باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌های تشخیص و درمان می‌گردد، بنابراین افزایش میزان مشارکت مردم برای استفاده از خدمات این مراکز بسیار حائز اهمیت است [۲].

* نویسنده مسئول: مهدی سیف برقی

تلفن: ۰۲۱-۸۵۶۹۲۱۹۳؛ پست الکترونیکی: m.seifbarghy@alzahra.ac.ir

اضافی می‌شود؛ از این رو در نظر گرفتن سیستم صف در تسهیلات و تلاش برای به حداقل رساندن زمان انتظار مشتریان به‌عنوان یکی از عوامل مهم در مکان‌یابی تسهیلات علی‌الخصوص تسهیلات مراقبت بهداشتی درمانی پیشگیرانه به‌شمار می‌رود.

به‌دلیل سودمندی و کاربردهای مهم خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه و هم‌چنین افزایش روزافزون آگاهی مردم و اهمیتی که برای سلامتی قائل هستند، میزان استفاده از این خدمات در سال‌های اخیر رشد چشم‌گیری داشته و باعث شده است که شاهد صف‌های طولانی در این مراکز باشیم. این امر نارضایتی شدید مراجعه‌کنندگان علی‌الخصوص خانم‌های باردار و افراد مسن را در پی داشته است؛ از این رو در این پژوهش به دنبال راهی برای طراحی شبکه‌ای از تسهیلات خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه به‌منظور بهبود میزان دسترسی مشتریان بالقوه و در نتیجه حداکثر کردن میزان مشارکت در برنامه‌های بهداشتی درمانی پیشگیرانه با در نظر گرفتن صف در تسهیلات هستیم. از آنجا که بودجه‌ی محدودی برای احداث مراکز خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه و تخصیص تسهیلات به آن‌ها وجود دارد، هدف، تعیین اقتصادی‌ترین ترکیب جهت احداث تسهیلات خدمات درمانی پیشگیرانه در بین n مکان بالقوه‌ی متقاضی و تخصیص تجهیزات به آن‌ها می‌باشد. مدل مطرح‌شده از نوع مسائل حداکثر پوشش بوده و از برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح برای مدل‌سازی استفاده کرده‌ایم.

با توجه به اهمیت و کاربردهای ذکر شده برای مسائل مکان‌یابی - تخصیص سیستم‌های مراقبت بهداشتی پیشگیرانه، در بخش دوم به‌مرور مقالات این حوزه پرداخته و وجه تمایز این مقاله با پژوهش‌های پیشین ذکر می‌گردد. در بخش سوم مقاله، مدل جدیدی برای این‌گونه مسائل تشریح و متمم‌هایی نیز برای آن بیان می‌گردد. در بخش چهارم روش حل، تحلیل‌های عددی و نتایج محاسباتی بیان‌شده و در بخش پنجم به جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات می‌پردازیم.

۲. ادبیات تحقیق

نظریه‌ی یافتن مکان بهینه به‌صورت مدون و امروزی توسط آلفرد وبر [۸]، برای یافتن مکان بهینه‌ی یک انبار و به‌منظور به حداقل رساندن مجموع فواصل بین انبار و مشتریان مطرح شد. بعد از آن، مکان‌یابی در موضوعات کاربردی دیگری نیز به کار گرفته شد. اون و داسکین [۹] مطرح کردند که چون سرمایه‌ی هنگفتی برای مکان‌یابی تسهیلات و احداث آن‌ها موردنیاز است، از این رو انتظار می‌رود که تسهیلات بتوانند برای مدت‌زمان بیشتری دایر بوده و توانایی خدمت‌رسانی داشته باشند؛ هم‌چنین در طول زمان بسیاری از پارامترهای ثابت مساله مانند تقاضای افراد تغییر خواهند کرد. به‌طور کلی می‌دانیم که توسعه و یا جایجایی این تسهیلات هزینه‌بر است و از نظر اقتصادی به‌صرفه نیست [۱۰].

مسائل مربوط به مکان‌یابی از چهار بخش تشکیل شده است: مشتریانی که در مناطق جمعیتی یا در مسیرها مستقر هستند،

برنامه‌های مراقبت بهداشتی پیشگیرانه با توجه به اهدافی که دارند به سه دسته تقسیم می‌شوند [۳]:

۱. پیشگیری اولیه که به ناهس احصا بس در افرادی نه علامی ار بیماری ندارند، کمک می‌کند. مانند واکسیناسیون کودکان سالم و رژیم‌های غذایی.

۲. پیشگیری ثانویه که به تشخیص و درمان افرادی که دارای ریسک ابتلا به بیماری یا در مراحل اولیه‌ی بیماری هستند، کمک می‌کند. مانند غربالگری سرطان پستان برای زنان مسن، کولونوسکوپی و خدمات مشاوره‌ای برای زنان باردار.

۳. سومین نوع پیشگیری که به کاهش عوارض و یا شدت بیماری بیمارانی که دارای علائم بیماری هستند، کمک می‌کند. مانند کنترل قند دیابتی به‌منظور بهبود بینایی و مشکلات عصبی و هم‌چنین بررسی منظم شبکیه.

مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه با تشخیص زودهنگام بیماری‌ها نقش بسزایی در بهبود سلامت افراد و نجات جان آن‌ها دارد [۴]. در مقایسه با افراد بیمار که برای بهبود یافتن نیاز فوری به خدمات درمانی دارند، اغلب مشتریان بالقوه‌ی خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه ضرورت دریافت این خدمات را احساس نمی‌کنند و ممکن است در برنامه‌های مراقبت بهداشتی پیشگیرانه‌ی منطقه‌ی خود شرکت نکنند. موسسه‌ی پزشکی واشنگتن [۵] بیان کرد از جمله عواملی که در استفاده‌ی افراد از خدمات بهداشتی مؤثرند عبارتند از: موانع ساختاری، محدودیت‌های بودجه‌ای (مانند نداشتن بیمه برای دریافت خدمات) و مسائل شخصی (مانند جنبه‌های فرهنگی و اجتماعی). بارون و همکاران [۶] مطرح کردند که کاهش این موانع ساختاری (از جمله فاصله‌ی سفر به مراکز خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه) دسترسی افراد جامعه را به مراکز خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه افزایش می‌دهد. میزان دسترسی به این تسهیلات به‌عنوان عاملی مهم در موفقیت برنامه‌های مراقبت بهداشتی پیشگیرانه شناخته می‌شود؛ چراکه با افزایش میزان دسترسی، مشارکت افراد افزایش می‌یابد. در این پژوهش، تمرکز بر موانع ساختاری است که به تعداد، نوع، تراکم و مکان تسهیلات بهداشتی و هم‌چنین میزان و نحوه‌ی دسترسی به این تسهیلات وابسته است.

بدون هیچ تردیدی مکان‌یابی هرچه دقیق‌تر تسهیلات، اثرات مثبت خود را در منابع اقتصادی و رضایت مشتریان نشان می‌دهد. در کاربردهای گسترده‌ی صنعتی و خدماتی مسائل مکان‌یابی تسهیلات، تعیین تعداد بهینه‌ی تسهیلات و تخصیص مشتریان به تسهیلات انتخاب شده همواره یکی از مهم‌ترین سؤالات می‌باشد.

کمب [۷] در تحقیقاتش اشاره کرد که تأثیر صف در رابطه با زمان انتظار بیماران برای دسترسی به خدمات بالینی باعث نگرانی بسیاری از ارائه‌دهندگان خدمات مراقبت‌های بهداشتی شده است. این امر بدین علت است که منتظر نگه‌داشتن بیماران می‌تواند هزینه‌ی گزافی (هزینه انتظار) در پی داشته باشد و نیز وجود تعداد زیاد سرویس‌دهندگان برای ارائه‌ی خدمات در یک سیستم باعث به وجود آمدن هزینه‌های

مشخصی از سهم بازار در محیطی رقابتی و حداقل کردن هزینه‌های مربوط به زمان انتظار و سفر مشتری و هزینه‌ی استقرار مراکز، ارائه دادند.

سیستم صف موجود در این تسهیلات را می‌توان به‌صورت سری یا موازی در نظر گرفت. صفاری و همکاران [۲۱] به مدل‌سازی مسئله‌ی مکان‌یابی تخصیص چند سطحی پرداخته‌اند که در آن ازدحام در سیستم در قالب سیستم‌های صف $M/M/1$ در نظر گرفته شده است. ساختار چند سطحی مسئله‌ی آن‌ها و یکسان بودن ترتیب دریافت خدمت از سطوح مختلف توسط مشتریان، مسئله را به یک شبکه صف سری تبدیل کرده است.

ورتر و لاپیر [۲۲] و ژانگ و همکارانش [۳] اولین کسانی بودند که به طراحی شبکه‌ی مراکز خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه پرداختند. داسکین و دیین [۲۳] نیز در زمینه‌ی مکان‌یابی مراکز بهداشتی درمانی تحقیقاتی انجام دادند. علی‌رغم آن‌که هیچ اشاره‌ای به خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه در مطالعات آن‌ها به چشم نمی‌خورد اما آن‌ها مطرح کردند که مفهوم مشارکت مشابه مفهوم پوشش است که در زمینه‌ی مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات به کار گرفته می‌شود. بنابراین، اساس اکثر مدل‌های ارائه شده در این زمینه $MCLP^2$ یا حداکثر پوشش می‌باشد که از آن جمله می‌توان به مدل مطرح شده توسط جوانمردی و همکاران [۲۴] اشاره کرد. سیف برقی و روشن [۲۵]، روشن و همکاران [۲۶] و ویدیرتی و کوزگنکایا [۲۷] از آنجا که به دنبال حداقل کردن زمان‌های کلی بودند از مدل مکان‌یابی p - میانه (PML^2) استفاده کردند. دوغان و همکاران [۲۸] ایجاد زیرساخت مناسب و تأمین کیفیت مطلوبی از مراقبت‌های بهداشتی را از جمله مهم‌ترین عواملی می‌دانند که موجب ارتقاء میزان مشارکت در برنامه‌های مراقبت بهداشتی پیشگیرانه می‌شود.

ورتر و لاپیر [۲۲] برای اولین بار مطرح کردند که رادیولوژیستی که در هر کدام از تسهیلات معتبر مشغول به کار است، باید تعداد معینی عکس رادیوگرافی را در سال تفسیر کند تا مهارت‌هایش را در این زمینه از دست ندهد. به‌عنوان نمونه هر رادیولوژیست در کانادا باید سالانه حداقل ۴۰۰۰ عکس ماموگرافی را تفسیر کند. این بدان معناست که افراد خدمت‌دهنده برای حفظ مهارت‌هایشان باید حداقل حجم کاری موردنیاز را برآورده کنند [۲۹]. این فرض جز در زمانی که سیاست‌گذاران مایل به ارائه‌ی خدمت به نواحی و مناطق کم‌جمعیت هستند در نظر گرفته می‌شود [۳۰]. اگرچه حداقل حجم کاری موردنیاز از نظر پزشکی و یا حتی با توجه به دغدغه‌های اقتصادی تعیین می‌شود، گاهی مدیران به دلایلی مجبور می‌شوند اهمیت آن را نادیده بگیرند که در نتیجه میزان کیفیت خدمات پزشکی به خطر می‌افتد.

ژانگ و همکاران [۳۱] به بررسی مراکز ماموگرافی در شهر مونترال و داوروی و همکاران [۳۲] به مطالعه‌ی موردی مراکز خدمات درمانی پیشگیرانه در شهر استانبول پرداختند. ابولیان و همکاران [۳۳] نیز با

تسهیلاتی که باید احداث شوند، فضایی که مشتریان و تسهیلات در آن قرار گرفته‌اند و معیاری برای محاسبه‌ی فاصله یا زمان طی شده توسط مشتریان [۱۱].

مکان‌یابی تسهیلات با تقاضای احتمالی و در نظر گرفتن تراکم در تسهیلات ($FLSDC^1$) از دیگر موضوعات مرتبط با این پژوهش است. این‌گونه مسائل کاربردهای متفاوتی مانند: مکان‌یابی کلینیک‌های بهداشتی اورژانسی، ایستگاه‌های پلیس و آتش‌نشانی دارند. فرآیند صف، از ورود مشتری آغاز می‌شود. صف را می‌توان این‌گونه در نظر گرفت: ورود مشتریان جهت استفاده از خدمات، انتظار جهت استفاده از خدمات (اگر فوراً در اختیار نباشد) و ترک سیستم پس از دریافت خدمات [۱۲]. به‌طورکلی میزان انتظار مشتری با رضایت مشتری رابطه‌ی عکس دارد و از زمان انتظار به‌عنوان منبع مهمی در نارضایتی مشتری یاد می‌شود [۱۳].

رفتار مشتری به‌منظور انتخاب تسهیلات در این مدل‌ها عاملی تعیین‌کننده است. برخی مقالات فرض می‌کنند که مشتری به دنبال انتخاب بهینه است. به‌عنوان مثال هر مشتری به دنبال انتخاب تسهیلی است که هم‌خوانی بیشتری با ترجیحات او و بیشترین میزان جذابیت را داشته باشد. این تصمیم نیاز به مجموعه‌ای از اطلاعات کامل و منطقی دارد تا مشتریان بتوانند در همه‌ی زمان‌ها به تسهیل بهینه‌ی خود مراجعه نمایند. بسیاری از پژوهشگران مانند برمن [۱۴]، وانگ و همکاران [۱۵] فرض کرده‌اند که مشتریان نزدیک‌ترین تسهیل را انتخاب می‌کنند. برمن [۱۶] مسئله‌ی مکان‌یابی مجموعه‌ای از تسهیلات با تقاضای تصادفی و ظرفیت محدود را به‌منظور حداکثر کردن تقاضای مشتریان موردبررسی قرار داد. در مدل او مشتریان برای دریافت خدمت به‌طرف نزدیک‌ترین تسهیل حرکت می‌کنند و در صورتی که ظرفیت تسهیل موردنظر تکمیل شده باشد به دیگر تسهیل نزدیک به خود تخصیص می‌یابند. در مقابل، گروه دوم انتخاب مشتریان را به‌صورت احتمالی در نظر می‌گیرند و براساس آن یک مشتری ممکن است هر کدام از تسهیلات را با احتمال مشخصی انتخاب نماید. انتخاب احتمالی معمولاً به‌عنوان نماینده‌ی نحوه‌ی رفتار مشتریان در اقتصادسنجی و بازاریابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال فرض می‌کنند که انتخاب تسهیلات توسط مشتریان بر پایه‌ی توزیعی احتمالی صورت می‌گیرد که براساس میزان جذابیت و نزدیکی هر کدام از تسهیلات ساخته می‌شود. اولین مدلی که نشان‌دهنده‌ی انتخاب احتمالی بود توسط هاف [۱۷] تبیین شد. در مدل کرون و همکاران [۱۸] احتمال استفاده از خدمات تسهیل Z با میزان مطلوبیت آن تسهیل در ارتباط است. هم‌چنین در برخی مقالات مکان-یابی، محیطی رقابتی برای جذب حداکثر تعداد مشتریان مدنظر قرار می‌گیرد. ماریانوف و همکاران [۱۹] مدل خود را بر مبنای جذب حداکثر سهم بازار و زرین پور و سیف برقی [۲۰] مدل مکان‌یابی تسهیلات با ساختار صف $M/M/c/k$ را با هدف به دست آوردن درصد

سپس مفروضات مدل، نمادهای مساله، مدل اصلی مساله و متمم‌های توسعه‌یافته بیان شده است.

۳-۱. بررسی سیستم صف در مدل پیشنهادی

حاجی سلطانی و باقری‌نژاد [۳۵] به بررسی سیستم صف در یک مرکز سونوگرافی با یک خدمت‌دهنده پرداختند. آن‌ها با بررسی نمونه‌های گرفته‌شده از مدت‌زمان بین دو ورود و مدت‌زمان خدمت‌دهی، تابع توزیع زمان فرآیندهای سیستم از جمله زمان ورود و زمان سرویس‌دهی را برآورد کردند. آن‌ها با در نظر گرفتن آزمون‌های متفاوت نشان دادند که در محدوده‌ی خاصی از α می‌توان توزیع ورود و خدمت‌دهی را به صورت نمایی در نظر گرفت. با توجه به پژوهش ایشان، در این مقاله فرایند صف در مدل پیشنهادی به صورت $M/M/Q_j/FCFS/K_j/\infty$ در نظر گرفته شده است.

این سیستم صف که حالت خاصی از مدل‌های صف نمایی است، در زمان‌های پیوسته با مشخصه‌های زیر تعریف می‌شود:

الگوی مراجعه مشتریان به سیستم: تعداد مشتریانی که در سراسر شبکه نیاز به دریافت خدمت دارند از توزیع پواسون با نرخ λ تبعیت می‌کنند، بنابراین در هر کدام از مناطق i به درصد مشتریان ساکن در آن منطقه وابسته بوده و با λh_i نشان داده می‌شود. شایان‌ذکر است به دلیل محدودیت ظرفیت در سیستم، تمامی مراجعه‌کنندگان به سیستم وارد نمی‌شوند و نرخ ورود مؤثر به هریک از مراکز مراقبت بهداشتی درمانی پیشگیرانه Z برابر $(1 - P_{k_j}) \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij}$ است.

الگوی خدمت‌دهی: همان‌طور که گونز و همکاران [۳۶] نیز مطرح کردند، نرخ خدمت‌دهی خدمت‌دهنده‌ها (تجهیزات پزشکی) از توزیع نمایی تبعیت می‌کند. با توجه به متفاوت بودن تکنولوژی و شرایط و ضوابط خدمت‌دهی در هریک از تسهیلات، این نرخ را متفاوت در نظر می‌گیریم که این امر به واقعیت نزدیک‌تر است. زمان‌های خدمت‌دهی، هم‌توزیع و مستقل (iid) با توزیع نمایی و نرخ خدمت‌دهی $\mu > 0$ هستند.

تعداد خدمت‌دهنده‌ها: به هر تسهیلی که دایر شده است، یک یا چند خدمت‌دهنده می‌تواند اختصاص یابد. به عبارت دیگر هر تسهیلی دارای Q خدمت‌دهنده (تجهیزات پزشکی) است که به‌طور موازی مشغول سرویس‌دهی به مشتریان هستند.

ظرفیت سیستم: در تسهیلات مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه، محدودیت ظرفیت برای سیستم صف وجود دارد. از آنجا که ظرفیت در هر کدام از تسهیلات به دلایل مختلف مانند محدودیت ترافیکی در منطقه، محدودیت در گنجایش پذیرش متقاضیان به‌منظور دریافت خدمت، محدودیت جای پارک خودروی مشتریان و ... متفاوت می‌باشد، از K_j برای نشان دادن محدودیت ظرفیت در هر کدام از آن‌ها استفاده می‌کنیم.

توجه به توصیه‌های دولت در خصوص برنامه‌های مراقبت بهداشتی پیشگیرانه، شبکه‌ای از کلینیک‌های درمانی را که بر پایه‌ی ۲۲ بیمارستان در شهر تورنتو بود، توسعه دادند.

با توجه به متفاوت بودن ویژگی‌ها و مشخصات هر کدام از تسهیلاتی که دایر شده‌اند و با توجه به سیاست‌های متفاوتی که در شیوه‌ی خدمت‌دهی دنبال می‌کنند، ظرفیت هر کدام از تسهیلات و نرخ خدمت‌دهی آن‌ها متفاوت در نظر گرفته شده است که به واقعیت نزدیک‌تر است. مکان تسهیلات، نحوه‌ی تخصیص تسهیلات به نقاط تقاضا و تعداد خدمت‌دهنده‌های موجود در هر تسهیل به‌عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شده است. در نظر گرفتن چندین هدف به‌طور هم‌زمان باعث نزدیک‌تر شدن مدل به دنیای واقعی می‌گردد و به تصمیم‌گیری در زمینه‌ی یافتن مکان بهینه کمک می‌کند.

در متمم ۱ مدل، مقدار حداکثری برای کل تعداد تجهیزات مجاز در نظر گرفته شده است. در متمم ۲ مدل، تابع هدف حداکثر کردن حداقل درصد مشارکت مشتریان در مناطق مختلف را به‌منظور برقراری عدالت در نحوه‌ی برخورداری افراد از خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه لحاظ کرده‌ایم. از آن‌جاکه به‌کارگیری خدمت‌دهنده‌ها و یا تجهیزات باعث افزایش هزینه‌ها و صرف مبالغ هنگفتی می‌گردد، سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران در این عرصه با توجه به هزینه‌ای که متحمل می‌شوند، تمایل دارند که خدمت‌دهنده‌ها کم‌ترین درصد زمان بیکاری را داشته باشند. آن‌ها می‌خواهند توازن میان زمان انتظار مشتریان و زمان بیکاری خدمت‌دهندگان ایجاد نمایند، متمم ۳ مدل بدین منظور ایجاد شده است.

در این مقاله، از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب^۱ (NSGA-II) و الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب^۲ (NRGA) برای حل مدل استفاده می‌کنیم.

طریقه‌ی تعریف ساختار نمایش جواب‌ها از جمله تأثیرگذارترین بخش‌ها برای افزایش کارایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی ترکیباتی می‌باشد، از این رو با ساده‌تر کردن این نحوه‌ی نمایش، بر سرعت عمل و کارایی الگوریتم افزوده‌ایم. اردستانی [۳۴] نحوه‌ی نمایش تخصیص مشتریان به تسهیلات را به‌صورت یک ماتریس دوبعدی از متغیرهای صفر و یک در نظر گرفته است، اما این نحوه‌ی نمایش باعث تولید تعداد زیادی عنصر صفر در ماتریس می‌شود که همین امر باعث بالا رفتن حجم برنامه و پایین آمدن سرعت حل می‌گردد؛ از این رو در این پژوهش، یک نحوه‌ی نمایش بسیار ساده‌تر، شامل یک آرایه به طول تعداد مناطق مشتریان طراحی شده است. در جدول (۱) به بررسی مشخصات و ویژگی‌های مقالات منتشر شده پیرامون مکان‌یابی مراکز مراقبت بهداشتی پیشگیرانه می‌پردازیم.

۳. مدل‌سازی مساله و متمم‌های توسعه‌یافته

در این قسمت به بررسی سیستم صف در مدل پیشنهادی پرداخته و

جدول (۱): مشخصات و ویژگی‌های مقالات منتشر شده پیرامون مکان‌یابی مراکز خدمات بهداشتی پیشگیرانه

نویسنده و سال نشر	بر آورده کردن حداقل حجم کاری مورد نیاز	پایه و اساس اصلی مدل	روش‌شناسی مدل	تابع هدف (تعداد)	در نظر داشتن سیستم صف
ورتر و لایبر (۲۰۰۲) [۲۲]	✓	MCLP	ILP ^۱	حداکثر کردن میزان مشارکت (۱)	_____
ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) [۳]	✓	MCLP	INLP ^۲	حداکثر کردن میزان مشارکت (۱)	سیستم صف M/M/1
ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) [۲۹]	✓	MCLP	MINLP ^۳	حداکثر کردن میزان مشارکت (۱)	سیستم صف M/M/Q
گو و همکاران (۲۰۱۰) [۳۰]	✓	MCLP	ILP	حداکثر کردن میزان پوشش و حداکثر کردن کارایی مدل (۲)	_____
ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) [۳۱]	✓	MCLP	MILP ^۴	حداکثر کردن میزان مشارکت (۱)	سیستم صف M/M/C
سیف برقی و روشن (۲۰۱۲) [۲۵]	_____	PML	INLP	حداقل کردن هزینه‌های استقرار تسهیل و تجهیزات و هزینه‌های مرتبط با کارکنان و همچنین حداقل کردن زمان کلی (۲)	سیستم صف M/M/1
ویدیارتی و کوزگنکایا (۲۰۱۴) [۲۷]	✓	PML	MINLP	حداقل کردن مجموع وزنی زمان سفر و انتظار در تسهیلات (۱)	سیستم صف M/G/1
داوری و همکاران (۲۰۱۵) [۳۲]	_____	MCLP	INLP	حداکثر کردن میزان مشارکت و حداکثر کردن میزان اعتدال در شبکه (۲)	_____
ابولیان و همکاران (۲۰۱۵) [۳۳]	در نظر گرفتن حداقل نرخ خدمت‌دهی	MCLP	MINLP	حداکثر کردن میزان دسترسی افراد به تسهیلات (۱)	سیستم صف M/M/1
داوری و همکاران (۲۰۱۶) [۱]	_____	MCLP	ILP	حداکثر کردن میزان دسترسی افراد به تسهیلات (۱)	سیستم صف M/M/C
کرون و همکاران (۲۰۱۶) [۱۸]	✓	MCLP	MINLP	حداکثر کردن میزان مشارکت (۱)	در نظر گرفتن زمان انتظار
داوری (۲۰۱۷) [۴]	در نظر گرفتن حداقل تعداد مشتریانی که در زمانی خاص باید پوشش داده شوند.	MPFL ^۵	INLP	حداقل کردن هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت ایجاد تسهیلات و هزینه‌های متغیر خدمت‌دهی (۱)	_____
روشن و همکاران (۲۰۱۷) [۲۶]	_____	PML	INLP	حداقل کردن هزینه‌های استقرار تسهیل و تجهیزات و هزینه‌های کارکنان و همچنین حداقل کردن زمان کلی (۲)	سیستم صف M/M/1
جوانمردی و همکاران (۲۰۱۷) [۲۴]	_____	MCLP	INLP	حداکثر کردن مشارکت (۱)	سیستم صف M/M/1
دوغان و همکاران (۲۰۱۹) [۲۸]	✓	PML	MILP	تابع هدف وزن‌دار متشکل از سه هدف اطمینان از مشارکت حداکثری، ارائه خدمات به موقع به مشتریان بالقوه و حداقل کردن مازاد بودجه‌ی استفاده-شده. (۱)	سیستم صف M/M/1
مدل این پژوهش	✓	MCLP	INLP	حداکثر کردن مشارکت (ورود مؤثر به سیستم)، حداقل کردن هزینه‌ی ایجاد تسهیلات و تخصیص خدمت‌دهنده‌ها، حداکثر کردن میزان اعتدال در شبکه به منظور برخورداری از تسهیلات، حداقل کردن حداکثر زمان بیکاری خدمت‌دهنده‌ها (۴)	سیستم صف M/M/Q _j /k _j

1. Integer Linear Programming
2. Integer Nonlinear Programming
3. Mixed Integer Nonlinear Programming
4. Mixed Integer linear Programming
5. Multi-Period Facility Location Models

یال‌های L در نظر می‌گیریم. گره‌ها بیانگر مناطق جمعیتی و یال‌ها نشان‌دهنده‌ی شریان‌های اصلی حمل‌ونقل هستند. هم‌چنین S را به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از گره‌ها در نظر می‌گیریم که تسهیلات در آن‌ها تأسیس شده‌اند.

۱۰- به‌دلیل محدودیت ظرفیت در سیستم صف، پس از تکمیل ظرفیت سیستم و تا زمانی که با تکمیل یک سرویس فضا مهیا نشود؛ به مشتریان جدید اجازه‌ی ورود داده نمی‌شود؛ بنابراین نرخ ورود مؤثر مشتریان به سیستم با نرخ مراجعه‌ی آن‌ها به مرکز خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه برابر نیست.

۳-۳. نمادها و متغیرهای تصمیم

در این بخش به تعریف نمادها و متغیرهای تصمیم اصلی و وابسته در مدل می‌پردازیم.

نمادها

در مدل‌سازی از نمادهای زیر استفاده می‌شود.

i	اندیس منطقه‌ی مشتریان ($i=1,2,\dots,N$).
l, j	اندیس مراکز بالقوه جهت استقرار تسهیلات خدمات درمانی پیشگیرانه ($j, l=1,2,\dots,N$).
h_i	کسر یا درصدی از مشتریان ساکن در منطقه‌ی i .
λ	تعداد مشتریانی که نیاز به دریافت خدمات دارند از توزیع پواسون با این نرخ پیروی می‌کند.
μ_j	نرخ خدمت‌دهی به مشتریان در تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j می‌باشد.
t_{ij}	زمان سفر از منطقه‌ی مشتری i به تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j .
a_{ij}	درصدی از مشتریان منطقه‌ی i که از تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j درخواست خدمت دارند.
A_{ij}	درصدی از مشتریان منطقه‌ی i که از تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j درخواست دارند، تابعی نزولی و غیرخطی از زمان خدمت دارند (حداکثر احتمال مشارکت).
C_j	هزینه‌های متفاوت ساخت، اجرا و راه‌اندازی تجهیزات پزشکی در تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j .
C	متوسط هزینه‌ی هر تجهیز پزشکی.
Q_h	حداکثر کل تعداد تجهیزات مجاز برای همه‌ی تسهیلات.
TT_{ij}	حداکثر زمانی که افراد در هر کدام از مناطق جمعیتی و برای دریافت خدمات پیشگیرانه تمایل دارند سفر کنند.
R_{min}	حداقل میزان حجم کاری موردنیاز برای فعال شدن تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه.
k_j	حداکثر ظرفیت مجاز مشتریان برای هر تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j .
M	یک عدد بسیار بزرگ

متغیرهای تصمیم اصلی

X_{ij} برابر است با یک اگر مشتری منطقه‌ی i به تسهیل خدمات

جمعیت مشتریان بالقوه: جمعیت مشتریان بالقوه در مدل نامحدود بوده و شامل تمامی افرادی است که در مناطق مختلف نیاز به استفاده از خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه دارند.

نظم سیستم صف: نظم این سیستم به‌صورت $FCFS^1$ می‌باشد. یعنی هر مشتری که زودتر وارد سیستم گردد، زودتر خدمت خواهد گرفت. به محض ورود، به هر مشتری شماره‌ای داده می‌شود و ترتیب خدمت-دهی براساس اولویت شماره‌ی مشتریان ورودی است. می‌دانیم این نظم مستقل از رفتار خدمت‌دهندگان و مدت‌زمان خدمت‌دهی می‌باشد.

۳-۲. مفروضات کلی مدل

در این بخش مفروضات در نظر گرفته‌شده جهت مدل‌سازی، بدین شرح ارائه می‌گردند:

- ۱- به‌منظور دریافت خدمت، مشتریان به سمت تسهیلات خدمات درمانی پیشگیرانه حرکت می‌کنند.
- ۲- هر گروه مشتری در هر کدام از مناطق فقط می‌تواند به یک تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه تخصیص داده شود.
- ۳- هزینه‌ی عملیاتی برای احداث تسهیلات خدمات درمانی پیشگیرانه در نظر گرفته می‌شود.
- ۴- هزینه‌ی تجهیزات پزشکی در هر یک از تسهیلات خدمات درمانی پیشگیرانه به‌صورت مجزا در نظر گرفته می‌شود.
- ۵- مکان تسهیلات خدمات درمانی پیشگیرانه از بین مکان‌های بالقوه (گره‌های مشتریان) انتخاب خواهد شد.
- ۶- حداکثر زمانی که افراد در هر کدام از مناطق جمعیتی و برای دریافت خدمات پیشگیرانه تمایل به سفر دارند، TT_{ij} است. هنگامی که زمان سفر برابر با TT_{ij} باشد، احتمال مشارکت برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. درصدی از مشتریان منطقه‌ی i که از تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j درخواست خدمت دارند، تابعی نزولی و غیرخطی از زمان سفر است.
- ۷- فرض بر این است که مشتریان اطلاعات دقیقی از زمان انتظار در هر کدام از تسهیلات ندارند تا بتوانند تصمیمی بهینه اتخاذ نمایند و میزان مشارکت آن‌ها تنها تحت تأثیر زمان سفر به تسهیل مربوطه است، به‌طوری‌که با نسبتی از این زمان به حداکثر زمانی که حاضر به طی طریق برای دریافت خدمات هستند در ارتباط است. در نتیجه نحوه‌ی انتخاب آن‌ها معمولاً بهینه نیست و باعث ایجاد تراکم در تسهیل و زمان‌های انتظار طولانی می‌گردد. با توجه به اهمیت و هزینه-بر بودن مدت‌زمانی که افراد در تسهیلات سپری می‌کنند، سیاست-گذاران این امر را به مراکز بهداشتی درمانی پیشگیرانه با کم‌ترین زمان کلی تخصیص می‌دهند.
- ۸- برای اطمینان از کیفیت خدمات ارائه شده در هر تسهیل، حداقل حجم کاری را برای هر کدام از تسهیلاتی که قرار است احداث شوند، در نظر می‌گیریم.

۹- $G=(N,L)$ را به‌عنوان شبکه‌ای شامل $N(|N|=n)$ گره و مجموعه

$$W_j = \begin{cases} \left[1 - r_j^{k_j - Q_j + 1} - (1 - r_j)(k_j - Q_j + 1)r_j^{k_j - Q_j} \right. \\ \left. * \frac{P_{0j}(Q_j r_j)^{Q_j} r_j}{Q_j! (1 - r_j)^2} + Q_j \right. \\ \left. - \frac{P_{0j} \sum_{m=0}^{Q_j-1} (Q_j - m)(r_j Q_j)^m}{m!} \right] \frac{(\lambda \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij}) (1 - P_{k_j})}{(1 - P_{k_j})} & r_j \neq 1 \quad (2) \\ \left[\frac{P_{0j}(Q_j)^{Q_j}}{Q_j!} \left[\frac{(k_j - Q_j)(k_j - Q_j + 1)}{2} \right] + Q_j \right. \\ \left. - \frac{P_{0j} \sum_{m=0}^{Q_j-1} (Q_j - m)(r_j Q_j)^m}{m!} \right] \frac{(\lambda \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij}) (1 - P_{k_j})}{(1 - P_{k_j})} & r_j = 1 \end{cases}$$

$$P_{0j} = \begin{cases} \left(\frac{(\lambda \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij})^{Q_j}}{\mu_j^{Q_j}} \left(\frac{1 - r_j^{k_j - Q_j + 1}}{1 - r_j} \right) \right. \\ \left. + \sum_{m=0}^{Q_j-1} \left(\frac{(\lambda \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij})^m}{\mu_j^m} * \frac{1}{m!} \right)^{-1} \right) & r_j \neq 1 \quad (3) \\ \left(\frac{(\lambda \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij})^{Q_j}}{\mu_j^{Q_j}} (k_j - Q_j + 1) \right. \\ \left. + \sum_{m=0}^{Q_j-1} \left(\frac{(\lambda \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij})^m}{\mu_j^m} * \frac{1}{m!} \right)^{-1} \right) & r_j = 1 \end{cases}$$

$$P_{k_j} = \frac{\mu_j}{Q_j! Q_j^{k_j - Q_j}} P_{0j} \quad (4)$$

$$\rho_j = \frac{\lambda \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij} (1 - P_{k_j})}{Q_j \mu_j} \quad (5)$$

مدل پیشنهادی اصلی

لازم به ذکر است در این مدل، فرضیات پایه‌ای مقاله‌ی ژانگ و همکاران [۳۱] در نظر گرفته شده است. مقدار t'_{ij} با توجه به رابطه‌ی (۶) تعیین می‌شود و بیانگر این است که اگر زمان سفر از منطقه i به تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j ، از حداکثر زمانی که افراد تمایل به سفر دارند بیشتر شود، به جای زمان واقعی سفر از حداکثر زمان در محاسبات استفاده می‌کنیم که در این صورت، درصد مشتریان منطقه‌ی i که از تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j درخواست خدمت دارند برابر صفر می‌شود. مقدار a_{ij} با توجه به رابطه‌ی (۷)، به‌عنوان درصدی از مشتریان که درخواست خدمت دارند و به‌صورت یک تابع نزولی محاسبه می‌شود؛ این بدان معناست که احتمال مشارکت با افزایش زمان سفر کاهش می‌یابد.

$$t'_{ij} = \begin{cases} t_{ij} & \text{if } t_{ij} \leq TT_{ij} \\ TT_{ij} & \text{if } t_{ij} > TT_{ij} \end{cases} \quad (6)$$

$$a_{ij} = A_{ij} \left(1 - \left(\frac{t'_{ij}}{TT_{ij}} \right)^2 \right) \quad (7)$$

مدل پیشنهادی اصلی به‌صورت زیر است:

درمانی پیشگیرانه‌ی j تخصیص داده شود و در غیر این صورت برابر است با صفر.

Y_j برابر است با یک اگر تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j

انتخاب شود و در غیر این صورت برابر است با صفر.

Q_j تعداد تجهیزات پزشکی در تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j .

متغیرهای تصمیم وابسته

\bar{W}_j زمان انتظار در تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j .

P_{0j} درصد زمان بیکاری خدمت‌دهنده‌ها در تسهیل j .

r_j نسبت میانگین کل مراجعه‌کنندگان برای دریافت خدمت

در واحد زمان بر کل ظرفیت سیستم برای ارائه‌ی خدمت

در واحد زمان

ρ_j ضریب بهره‌وری سیستم صف در تسهیل خدمات درمانی

پیشگیرانه‌ی j . نسبت میانگین کل ورودی به سیستم برای

دریافت خدمت در واحد زمان بر کل ظرفیت سیستم برای

ارائه‌ی خدمت در واحد زمان

P_{k_j} احتمال آن که k_j نفر در تسهیل j باشد.

۴-۳. مدل‌سازی مساله

از آنجایی که سیستم موردبررسی، سیستمی تصادفی است و مقادیر عددی معیارها نیز رفتاری تصادفی دارند؛ بنابراین از ارزش انتظاری با میانگین این معیارها به‌عنوان معیار ارزیابی استفاده می‌شود.

رابطه‌ی (۱) نرخ مراجعه به سیستم [۳۷] و روابط (۲ الی ۴)

مشخصه‌های سیستم صف [۳۸] را محاسبه می‌کند؛ البته لازم به ذکر

است که این فرمول‌ها با توجه به نمادها و متغیرهای تصمیم اصلی و

وابسته‌ی این مقاله به‌روز شده‌اند. مقدار r_j از طریق رابطه‌ی (۱) و

متوسط زمان انتظار مشتری برای دریافت خدمت در تسهیل انتخاب

شده از رابطه‌ی (۲) به‌دست می‌آید. P_{0j} که بیانگر درصد بیکاری

هر کدام از تسهیلات است، مطابق فرمول (۳) محاسبه می‌گردد. در

روابط ذیل $\lambda \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij}$ ، نشان‌دهنده میزان کل تقاضای

مشتریانی است که به تسهیل j مراجعه می‌کنند [۳]. P_{k_j} نیز احتمال

آن که k_j نفر در تسهیل j باشد را بیان می‌کند که از طریق رابطه‌ی

(۴) محاسبه می‌شود. ضریب بهره‌وری هر تسهیل انتخاب شده از

سیستم صف، بیانگر درصدی از زمان است که سیستم کار می‌کند و

برابر است با نسبت میانگین کل تقاضا برای دریافت خدمت در واحد

زمان بر کل ظرفیت سیستم برای ارائه‌ی خدمت در واحد زمان که به

دلیل محدودیت در سیستم صف، تمامی مراجعین در لحظه‌ی رسیدن

به تسهیل موردنظر امکان ورود نخواهند داشت و هنگامی که k_j نفر

در سیستم باشند از ورود آن‌ها جلوگیری می‌شود؛ بنابراین ضریب بهره‌وری از رابطه‌ی (۵) محاسبه می‌گردد [۳۷].

$$r_j = \frac{\lambda \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij}}{Q_j \mu_j} \quad (1)$$

شامل زمان انتظار در صف و زمان انتظار برای دریافت سرویس می‌باشد) تخصیص داده می‌شوند. محدودیت (۱۵) و (۱۶) دامنه‌ی متغیرهای تصمیم مساله را نشان می‌دهد.

متمم ۱ مدل (تغییر در محدودیت‌ها)

ممکن است تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران در این زمینه با توجه به محدودیت بودجه و امکانات موجود، مقدار حداکثری را برای کل خدمت‌دهنده‌ها و یا تجهیزات تعیین نمایند. در متمم ۱ مدل، علاوه بر توابع هدف و محدودیت‌های مدل اصلی، محدودیت (۱۷) نیز مشاهده می‌شود.

$$\sum_{j=1}^n Q_j \leq Q_h \quad (17)$$

متمم ۲ مدل (تغییر در توابع هدف)

$$\text{Max } Z_3 = \text{Min}_{i \in N} \left(\sum_{j \in S} a_{ij} x_{ij} \right) \quad (18)$$

در متمم ۲ مدل، علاوه بر توابع هدف و محدودیت‌های مدل اصلی، تابع هدف (۱۸) نیز مشاهده می‌شود. این تابع هدف به منظور حداکثر کردن حداقل درصد مشارکت مشتریان در مناطق مختلف ایجاد شده است. در واقع این تابع هدف توازنی را در شبکه به وجود می‌آورد و به منظور برقراری عدالت در نحوه‌ی برخورداری افراد از خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه ایجاد شده است.

متمم ۳ مدل (تغییر در توابع هدف)

از آنجا که به‌کارگیری خدمت‌دهنده‌ها و یا تجهیزات باعث افزایش هزینه‌ها و صرف مبالغ هنگفتی می‌گردد، سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران در این عرصه با توجه به هزینه‌ای که متحمل می‌شوند تمایل دارند که خدمت‌دهنده‌ها کم‌ترین درصد زمان بیکاری را داشته باشند. آن‌ها می‌خواهند توازنی میان زمان انتظار مشتری و زمان بیکاری سرویس‌دهندگان مطابق با هزینه‌های موجود ایجاد کنند.

$$\text{Min } Z_3 = \text{Max}_{j \in S} (P_{0j}) \quad (19)$$

تابع هدف (۱۹) به منظور حداقل کردن حداکثر درصد زمان بیکاری خدمت‌دهنده‌ها در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که توابع هدف و متمم‌های مدل اصلی نیز در این متمم لحاظ شده است.

غیرخطی بودن مدل‌های ارائه شده، تعداد زیاد محدودیت‌ها، تضاد بین اهداف و صفر و یک بودن متغیرها باعث افزایش پیچیدگی مدل و سخت شدن مساله به‌خصوص در ابعاد بزرگ شده است. هم‌چنین این مسائل با توجه به مقاله‌ی گو و همکاران [۳۰] از رسته مسائل NP-Hard هستند، بنابراین از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب^۱ (NSGA-II) و الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب^۲ (NRGA) برای حل مدل استفاده می‌کنیم.

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{i=1}^n h_i \sum_{j \in S} \lambda (1 - P_{kj}) a_{ij} x_{ij} \quad (8)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{j=1}^n (C_j y_j + CQ_j) \quad (9)$$

$$\sum_{j \in S} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in n \quad (10)$$

$$y_j \leq Q_j \leq k_j y_j \quad \forall j \in n \quad (11)$$

$$\lambda \sum_{i=1}^n h_i a_{ij} x_{ij} \geq R_{\min} y_j \quad \forall j \in n \quad (12)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \in n \quad (13)$$

$$x_{ij} (t_{ij} + w_j) \leq t_{il} + w_l + M(1 - y_l) \quad \forall i, j, l \in n \quad (14)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad (15)$$

$$Q_j \geq 0, \text{ integer} \quad (16)$$

درصدی از مشتریان به دلیل تکمیل ظرفیت، از ورود به سیستم باز می‌مانند و آن برابر با درصدی از زمان است که سیستم دارای k مشتری می‌باشد. از آنجا که مشتریان از روی تمایل و با صرف هزینه و زمان به این تسهیلات مراجعه می‌کنند، در صورتی که نتوانند خدمات موردنظرشان را دریافت کنند دلسرد شده و احتمال کمی دارد که مجدداً به مراکز مراقبت بهداشتی درمانی پیشگیرانه مراجعه نمایند که این امر عواقب جبران‌ناپذیری به دنبال خواهد داشت؛ از این رو حداکثر نمودن ورود مؤثر مشتریان به تسهیلات خدمات درمانی پیشگیرانه از جمله موضوعات مهم و اثرگذار در مکان‌یابی این مراکز به شمار می‌رود. تابع هدف (۸) بیانگر حداکثر کردن ورود مؤثر مشتریان به سیستم (مشارکت) است. تابع هدف (۹) کمینه نمودن مجموع هزینه‌های ایجاد تسهیلات خدمات درمانی پیشگیرانه و برپایی خدمت‌دهنده‌ها (تجهیزات پزشکی) را بیان می‌کند.

محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که هر منطقه‌ی مشتری فقط به یک تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه تخصیص داده شود. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند که اگر تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ای انتخاب نشود، خدمت‌دهنده (تجهیزات پزشکی) به آن تسهیل تخصیص نخواهد یافت و هم‌چنین اگر تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ای انتخاب شود، حداقل یک و حداکثر به میزان ظرفیت آن تسهیل، می‌تواند خدمت‌دهنده (تجهیز پزشکی) به آن تخصیص یابد. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند که تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه زمانی فعالیت می‌کند که مراجعات به آن از حداقل حجم کاری (R_{\min}) بیشتر باشد. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که اگر تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ای انتخاب نشود هیچ مشتری به آن تخصیص نخواهد یافت.

محدودیت (۱۴) نشان می‌دهد که مشتریان به تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه با حداقل زمان کل (شامل زمان سفر به تسهیل موردنظر و زمان انتظار در سیستم به‌منظور دریافت خدمت که خود

۴. روش‌های حل و تحلیل‌های عددی

در این بخش الگوریتم‌های ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب معرفی شده و سپس الگوریتم‌های مذکور مطابق با مساله طراحی می‌شوند. پس از تنظیم پارامتر الگوریتم‌ها به روش تاگوچی، مدل اصلی و متمم‌ها را با استفاده از این الگوریتم‌ها حل کرده و در آخر به مقایسه‌ی روش‌های حل می‌پردازیم.

۴-۱. بیان ویژگی‌ها و مشخصات الگوریتم‌های حل پیشنهادی و پیشینه‌ی آن‌ها

روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت کارایی ندارند و زمان حل آن‌ها در این مسائل به صورت نمایی افزایش می‌یابد.

الگوریتم‌های تقریبی^۱ رسماً در دهه‌ی ۱۹۶۰ به منظور تولید جواب‌های نزدیک به بهینه^۲ معرفی شدند. این الگوریتم‌ها قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند. الگوریتم‌های تقریبی نیز به سه دسته الگوریتم‌های ابتکاری، فراابتکاری و فوق ابتکاری بخش‌بندی می‌شوند. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، قرار گرفتن آن‌ها در بهینه‌ی محلی و ناتوانی آن‌ها برای کاربرد در مسائل گوناگون است. برای حل این مشکلات الگوریتم‌های ابتکاری، الگوریتم‌های فراابتکاری ارائه شده‌اند. هدف آن‌ها، ترکیب روش‌های ابتکاری در چارچوب کلان‌تر و به منظور کاوش کارا و اثربخش فضای جست‌وجو می‌باشد. در واقع الگوریتم‌های فراابتکاری، دارای راهکارهای برون‌رفت از بهینه‌ی محلی و قابل کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل هستند. امروزه از این روش‌ها با عنوان روش‌های فراابتکاری (متا هیوریستیک) یاد می‌کنیم. این واژه را اولین بار گلوور [۳۹] به کار برد که از ترکیب دو واژه‌ی یونانی «متا» و «هیوریستیک» ساخته شده است. پیشوند «متا» به معنای فراتر یا در سطحی بالاتر و «هیوریستیک» به معنای یافتن است. قبل از پذیرش عمومی واژه‌ی فراابتکاری، عبارت روش ابتکاری نوین^۳ برای این‌گونه روش‌ها به کار می‌رفت [۴۰].

مسائل بهینه‌سازی چند هدفه^۴ کاربردهای مختلفی در مسائل مهندسی دارند. روش‌های حل مناسبی برای مسائل چند هدفه در گذشته وجود نداشت. در روش‌های دقیق تصمیم‌گیری‌های چند هدفه با تبدیل مدل چند هدفه به یک هدفه، جواب حاصل قدرت انتخاب را از تصمیم‌گیرنده می‌گیرد و نیز روش‌هایی نسبتاً زمان‌بر هستند. در یک مسئله‌ی تک هدفه، تلاش ما برای به دست آوردن بهترین جواب از بین جواب‌های موجود است اما در مسائل چند هدفه، به دلیل وجود تضاد بین اهداف ضرورتی برای وجود جوابی که از لحاظ تمام اهداف برتر از جواب‌های دیگر باشد وجود ندارد. یک جواب ممکن است از لحاظ یک تابع هدف بهترین باشد اما از لحاظ تابع هدف دیگر بدترین

باشد. بنابراین معمولاً مجموعه‌ای از جواب‌ها برای مسائل چند هدفه وجود دارد که به راحتی با یکدیگر قابل مقایسه نیستند. گلدبرگ [۴۱] اولین فردی بود که مفهوم برآزندگی را برای مسائل چند هدفه در نظر گرفت. او از مفهوم رتبه‌بندی نامغلوب پاسخ‌ها استفاده کرده و الگوریتم را در تکرارهای متوالی به سمت مجموعه جواب‌های پارتو نزدیک کرد. به طور کلی لازم است که با دو مفهوم واگرایی و همگرایی در روش‌های فراابتکاری آشنا شویم. منظور از همگرایی در روش‌های فراابتکاری این است که اطمینان حاصل کنیم بعد از چند تکرار پاسخ‌ها به یک جواب بهینه‌ی خوب (و نه لزوماً بهینه‌ی کلی) همگرا می‌شوند. این شاخصه باعث می‌شود که از رسیدن به جواب قابل قبول اطمینان بیابیم و بدانیم که در تکرارهای پایانی پاسخ‌های پراکنده و غیرقابل قبول تولید نمی‌شود. مفهوم واگرایی نیز بدین معناست که بدانیم الگوریتم حل در تکرارهای اولیه و میانی در پاسخ‌های بهینه‌ی موضعی گرفتار نمی‌شود و توانایی فرار از پاسخ‌های بهینه‌ی موضعی را دارد. این دو مفهوم باید در ساختار روش‌های فراابتکاری پیاده‌سازی شوند تا مطمئن باشیم که روش دارای عملکرد مناسبی می‌باشد.

بیان ویژگی‌ها و مشخصات الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب سرینیواس و دب [۴۲] از جمله الگوریتم‌های فراابتکاری است که به سرعت در مسائل مختلف دنیای واقعی مورد آزمایش قرار گرفت. این الگوریتم ثابت کرد که الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه‌ی مبتنی بر غلبه می‌توانند به طور واقعی، جهت یافتن جواب‌های چندگانه مورد استفاده قرار گیرند. دب و همکاران [۴۳] برای رفع نواقص نسخه اولیه، نسخه‌ی دوم الگوریتم ژنتیک دو هدفه را که در آن، علاوه بر کیفیت جواب‌ها، تنوع و گوناگونی جواب‌های بهینه‌ی پارتویی را نیز مدنظر قرار داده بودند، ارائه کردند. ویژگی‌ها و مشخصات این الگوریتم در ادامه شرح داده شده است. شکل (۱) فلوچارت الگوریتم NSGA-II را نشان می‌دهد.

نحوه‌ی نمایش یا محیط ژنوتایپ

هر الگوریتم فراابتکاری تکراری عموماً به جای کار با متغیرهای اصلی مساله، نیاز به ساختاری برای نمایش (کدگذاری) راه‌حل‌ها دارد. کدگذاری تأثیر بسیار مهمی بر کارایی و اثربخشی هر الگوریتم متاهیوریستیک دارد و به عنوان مرحله‌ای مهم در طراحی الگوریتم‌های متاهیوریستیک به شمار می‌رود.

در این مقاله با توجه به ماهیت مساله، متغیرهای اصلی عبارتند از متغیرهای مربوط به y_j ، x_{ij} و Q_j و سایر متغیرهای مساله، متغیرهای وابسته هستند که با توجه به متغیرهای اصلی تعیین می‌شوند (مانند متغیر W). لازم به ذکر است که ساده‌تر بودن نحوه‌ی نمایش جواب، می‌تواند سرعت و عملکرد روش را بهبود دهد چراکه فضای کمتری از حافظه اشغال می‌کند.

3. Modern Heuristics

4. Multiobjective Optimization Problem (MOP)

1. Approximation Algorithms

2. Near-Optimal Solutions

متصور شده است) و هم‌چنین محدودیت اصلی (۱۱) تعیین می‌شود. یعنی ممکن است نقطه‌ای امکان پذیرش مشتری را داشته باشد اما با توجه به محدودیت‌ها، این نقطه انتخاب نشده و هیچ تجهیز و یا مشتری به آن نقطه اختصاص داده نشود. در این صورت با توجه به توابع هدف و عدم تخصیص تجهیز به آن تسهیل، برپایی تسهیل از نظر اقتصادی به‌صرفه نبوده و تأسیس نمی‌شود. شکل (۳) نمونه‌ای از این نحوه نمایش را نشان می‌دهد. در این مثال، ۶ نقطه‌ی کاندید وجود دارد که به نقاط اول، چهارم و ششم به ترتیب ۱، ۷ و ۲ تجهیز اختصاص داده شده است و به نقاط دیگر هیچ تجهیززی اختصاص داده نشده است.

۲	۰	۰	۱	۰	۷
---	---	---	---	---	---

شکل (۳): نحوه نمایش متغیر Q

ج) نحوه نمایش متغیر X

در این قسمت، یک نحوه نمایش، شامل یک آرایه به طول i طراحی شده است. عدد موجود در هر ستون، نشان‌دهنده منطقه‌ای است که مشتری i به آن نقطه تخصیص داده شده است. این نحوه نمایش باعث می‌شود که محدودیت‌های تخصیصی مدل ارضا شود، چراکه هر نقطه دارای یک مقدار غیر صفر است (نمی‌تواند دارای دو مقدار مختلف باشد) و هر مشتری به یک و فقط یک نقطه اختصاص می‌یابد. نحوه اختصاص هر مشتری نیز با توجه به محدودیت‌های حداقل حجم کاری، محدودیت کم‌ترین زمان کلی و محدودیت تخصیص به تسهیلاتی که دایر شده‌اند، است. شکل (۴) نمونه‌ای از این نحوه نمایش را نشان می‌دهد. در این مثال ۶ مشتری داریم که به ترتیب به نقاط ۱، ۱، ۴، ۱، ۱ و ۶ تخصیص داده شده‌اند.

۶	۱	۱	۴	۱	۱
---	---	---	---	---	---

شکل (۴): نحوه نمایش متغیر X

نحوه ساخت جمعیت اولیه

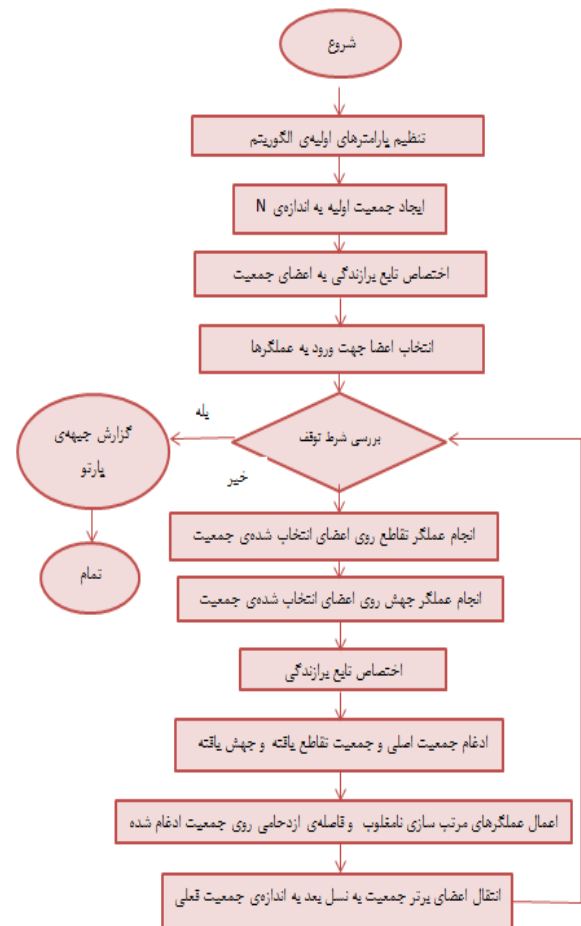
در این پژوهش، نحوه ساخت جمعیت اولیه به‌صورت کاملاً تصادفی می‌باشد، نحوه ساخت جمعیت تصادفی تضمین می‌کند که پاسخ‌ها در همه‌ی فضای شدنی تولیدشده و قسمت بزرگی از فضای شدنی جست-وجو شود؛ این امر واگرایی روش را تضمین می‌کند.

عملگر جهش و ترکیب

در هر تکرار پس از اینکه تعدادی از اعضا به روش تصادفی انتخاب شدند، لازم است که روی آن‌ها عملگر جهش و ترکیب اعمال شود تا پاسخ‌های جدیدی برای ورود به تکرار بعد تولید شوند.

الف) عملگر ترکیب

عملگر ترکیب به‌منظور ترکیب دو پاسخ قدیمی و ساخت دو پاسخ جدید استفاده می‌شود. هدف از انجام این عملگر ترکیب ویژگی‌های والدین به‌منظور ساخت فرزندان جدید می‌باشد. این عملگر بر همگرایی روش تمرکز دارد و هدف آن ساخت پاسخی در حدود پاسخ‌های قبلی است. با انجام این عملگر انتظار می‌رود که پاسخی با توابع هدف بهتر تولید شوند. در این قسمت دو پاسخ از جمعیت قدیمی به‌عنوان



شکل (۱): فلوچارت الگوریتم NSGA-II

الف) نحوه نمایش متغیر Y

با توجه به اینکه مساله دارای متغیر اصلی صفر و یک y است، یک آرایه‌ی Z ستونی به‌عنوان نحوه نمایش متغیر y در نظر گرفته‌ایم که با توجه به ماهیت باینری این متغیر، حالتی ساده‌تر از این نحوه نمایش وجود نداشت. در این حالت هر ستونی که مقدار یک را اتخاذ کند، به این معنی است که آن نقطه می‌تواند به‌عنوان نقطه‌ی پذیرنده مشتری انتخاب شود و تسهیلات خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه در آن منطقه تأسیس گردد. شکل (۲) نمونه‌ای از این نحوه نمایش را نشان می‌دهد. در این مثال که دارای ۶ نقطه‌ی کاندید می‌باشد، نقاط ۱، ۴ و ۶ می‌توانند به‌عنوان پذیرنده مشتری برای ارائه‌ی خدمات انتخاب شوند.

۱	۰	۰	۱	۰	۱
---	---	---	---	---	---

شکل (۲): نحوه نمایش متغیر Y

ب) نحوه نمایش متغیر Q

برای نحوه نمایش این متغیر نیز یک آرایه‌ی Z ستونی در نظر گرفته شده است که عدد درون هر ستون، نشان‌دهنده تعداد تجهیزات لازم در آن نقطه می‌باشد. در این قسمت تعداد تجهیز موردنیاز در نقاطی که امکان پذیرش وجود دارد ($y=1$) با توجه به محدودیت مقادیر مجاز Q برای متمم ۱ مدل (که حداکثر مقداری برای تعداد کل تسهیلات

نحوه‌ی ورود اعضا به تکرار بعد

پس از پایان هر تکرار لازم است که تعدادی از پاسخ‌ها به‌عنوان جمعیت اولیه‌ی تکرار بعد انتخاب شوند. روش استفاده شده به‌صورت روش نخه‌گرا است. به این صورت که در پایان هر تکرار تمامی پاسخ‌های قدیمی و تولیدشده در این تکرار، در یک مجموعه جمع شده و در درجه‌ی اول براساس مرز نامغلوب و در درجه‌ی دوم براساس فاصله‌ی ازدحامی رتبه‌بندی شده و به تعداد جمعیت موردنیاز، اعضای با رتبه‌های برتر انتخاب می‌شوند. این روش دارای ماهیت احتمالی نبوده و اعضای برتر به ترتیب رتبه انتخاب می‌شوند.

درواقع الگوریتم با مرتب‌سازی نامغلوب جواب‌ها، جواب‌های باکیفیت بالا را تولید می‌کند و با استفاده از عملگر فاصله‌ی ازدحامی، جواب‌ها را به‌طور منظم در فضای جواب توزیع می‌کند. بنابراین بین کیفیت و نظم توازنی ایجاد می‌گردد. البته باید خاطر نشان کرد که اولویت الگوریتم با مرتب‌سازی نامغلوب جواب‌ها است.

الف) مرتب‌سازی نامغلوب جواب‌ها

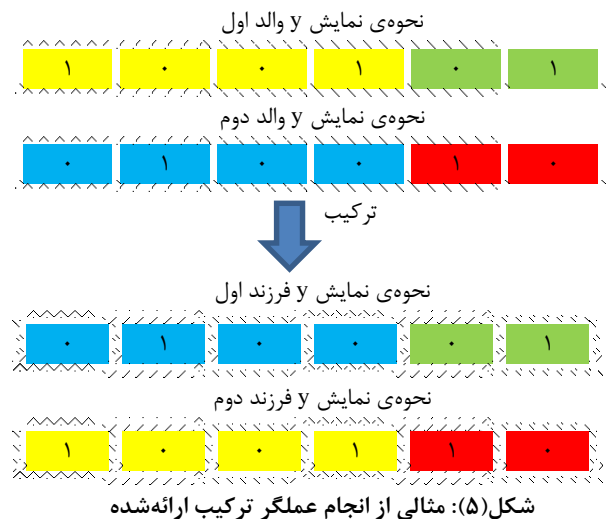
در این قسمت، مرتب‌سازی جواب‌ها با استفاده از دو مقدار تعداد دفعاتی که یک جواب مغلوب می‌گردد و مجموعه جواب‌هایی که جواب فعلی بر آن‌ها غالب است، تعیین می‌گردد. به‌طور کلی برای مرتب‌کردن جمعیتی با اندازه‌ی n براساس سطوح نامغلوب، هر جواب با دیگر جواب‌های موجود در جمعیت مقایسه می‌شود تا مغلوب بودن یا نبودن جواب مشخص گردد. اگر جواب‌هایی وجود داشته باشد که تعداد دفعات مغلوب شدنشان صفر باشد، این جواب‌ها نامغلوب و در نتیجه تقریبی از جبهه‌ی پارتو هستند. در این روش نهایتاً جواب‌هایی که مغلوب جواب‌های دیگر نمی‌شوند، در فرانت اول قرار می‌گیرند و به‌عنوان مجموعه جواب بهینه‌ی پارتو انتخاب شده و برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد. برای تعیین جواب‌های موجود در مرزهای بعدی، جواب‌های موجود در مرز اول به‌طور موقت نادیده گرفته شده و فرایند فوق دوباره تکرار می‌شود. این فرایند تا زمانی که تمام جواب‌ها درون مرزهای نامغلوب قرار گیرند، ادامه می‌یابد [۴۴]. این روند به‌طور کامل در شکل (۷) نشان داده شده است. تمام جواب‌های موجود در فرانت اول، بهترین جواب‌های نامغلوب در جمعیت می‌باشد و بدترین جواب جمعیت در آخرین جبهه است.

همان‌طور که گفته شد، برای مقایسه‌ی دو جواب در الگوریتم NSGA-II، دو حالت زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱- بین دو راه‌حل با رتبه‌های مختلف که در جبهه‌های متفاوتی قرار دارند، راه‌حل با رتبه پایین‌تر که در جبهه‌ی بهتر واقع شده است، ترجیح داده می‌شود.

۲- اگر دو راه‌حل متعلق به یک جبهه باشند، راه‌حل با مقدار فاصله ازدحامی بیشتر برگزیده می‌شود.

والد و یک نقطه‌ی تصادفی در نحوه‌ی نمایش متغیر y به‌عنوان نقطه‌ی شکست انتخاب می‌شوند، سپس عناصر بعد و قبل این نقطه با یکدیگر ترکیب شده و فرزندان را ایجاد می‌کنند و بعد از آن نحوه‌ی نمایش مربوط به متغیرهای x و Q با توجه به محدودیت‌ها برای فرزندان بازنشانی شده و دوباره وارد چرخه‌ی تخصیص می‌شوند. نحوه‌ی انجام این عملگر با یک مثال در شکل (۵) نشان داده شده است. به این نوع ترکیب، ترکیب تک-نقطه‌ای^۱ گفته می‌شود. در این مثال همان‌گونه که مشاهده می‌کنیم، نحوه‌ی نمایش متغیر y در والدین از نقطه‌ی شکست ۴ با یکدیگر ترکیب شده‌اند.



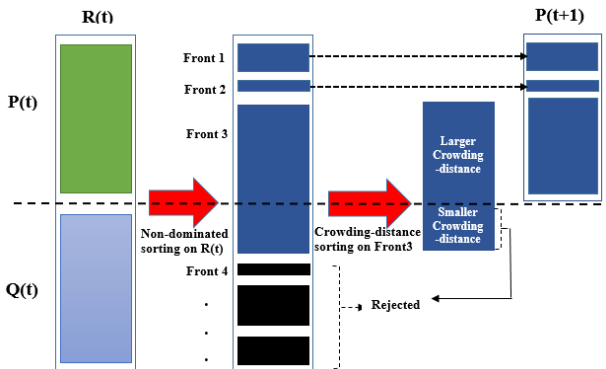
ب) عملگر جهش

عملگر جهش، یکی از اجزای اساسی روش فراابتکاری NSGA-II است و هدف آن ایجاد تغییر ناگهانی در پاسخ، به‌منظور تضمین واگرایی و فرار از پاسخ بهینه‌ی موضعی می‌باشد. در این قسمت، تعدادی از اعضای قدیمی (پارامترهای روش این تعداد را مشخص می‌کند) انتخاب شده و وارد عملگر جهش می‌شوند. یکی از نقاط نحوه‌ی نمایش مربوط به متغیر y به‌صورت تصادفی انتخاب شده و در صورتی که این نقطه غیرفعال باشد، آن را فعال کرده و در صورتی که فعال باشد، این نقطه را غیرفعال می‌کنیم (۰ به ۱ و ۱ به ۰ تبدیل می‌شود).



نحوه‌ی انجام این عملگر با یک مثال در شکل (۶) نشان داده شده است. پس از انجام این عملگر متغیرهای دیگر بازنشانی شده و دوباره اختصاص می‌یابند تا مطمئن شویم که در این مرحله نیز جواب نشدنی تولید نشده است.

((npop)) از جواب‌های مرتب‌شده‌ی صفوف به ترتیب اولویت، به صورت مستقیم به نسل بعد منتقل می‌شوند و مابقی جواب‌ها حذف می‌گردد. شکل (۸) نمای کلی تولید نسل بعدی در الگوریتم NSGA-II را نمایش می‌دهد.



شکل (۸): ساختار عملکرد الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی بر

مرتب‌سازی نامغلوب [۴۴]

به منظور مرتب‌سازی نامغلوب جواب‌ها و تعیین فاصله‌ی ازدحامی، باید تمامی جواب‌ها با یکدیگر مقایسه شوند. با فرض این که M تعداد توابع هدف و N اندازه جمعیت باشد، پیچیدگی محاسباتی در این الگوریتم $O(MN^2)$ است.

شرط توقف روش

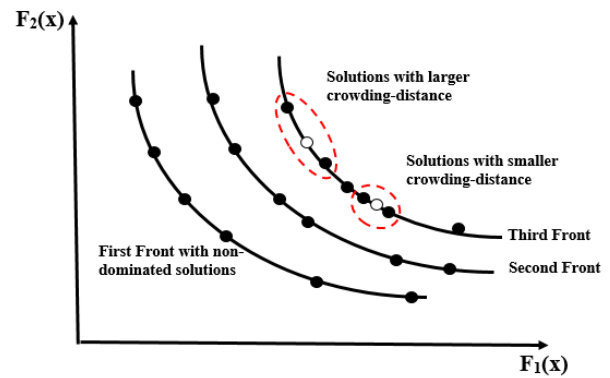
شرط توقف در روش طراحی شده، رسیدن به تعداد مشخصی تکرار می‌باشد. هدف استفاده از این روش اطمینان از عدم گرفتار شدن در دور بی‌نهایت است (برای مثال اگر از روش رسیدن به تعدادی تکرار بدون بهبود استفاده شود، ممکن است که در دور بی‌نهایت گرفتار شده و برنامه به پایان نرسد). در انتها پس از رسیدن به تعدادی تکرار مشخص تمامی پاسخ‌های موجود در مرز پارتوی نامغلوب اول به عنوان پاسخ نهایی ارائه می‌شوند.

بیان ویژگی‌ها و مشخصات الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی‌کردن

نامغلوب‌ها^۱ (NRGA)

عمرالجدان و همکارانش [۴۵] الگوریتم تکاملی چند هدفه‌ی جدید مبتنی بر جمعیت با نام الگوریتم ژنتیک مبتنی بر رتبه‌بندی نامغلوب-ها را برای بهینه‌سازی غیر محدب، غیرخطی و گسسته توسعه دادند. بر اساس رویکردهای موجود در مسائل قبلی، آن‌ها رویکرد جدیدی را با ترکیب الگوریتم انتخاب چرخه‌ی رولت مبتنی بر رتبه‌بندی و الگوریتم رتبه‌بندی جمعیت بر اساس جبهه‌ی پارتو توسعه دادند که الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب‌ها نام‌گذاری شد [۴۶].

تفاوت دو الگوریتم در استراتژی انتخاب و بخش مرتب‌کردن جمعیت و انتخاب برای نسل بعد است. در استراتژی انتخاب از عملگر چرخه‌ی رولت مبتنی بر رتبه‌بندی^۲ استفاده می‌کنیم [۴۷]. استفاده از چرخه‌ی رولت در فرایند انتخاب والد باعث شده است که این الگوریتم سرعت همگرایی بیشتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها داشته باشد. این عملگر به گونه‌ای طراحی می‌شود که اعضای بهتر (با برازش بیشتر)،



شکل (۷): نمایش جبهه‌ی پارتو و جواب‌های نامغلوب [۴۴]

(ب) فاصله‌ی ازدحامی

به منظور توزیع یکسان جواب‌ها در امتداد جبهه‌ی بهینه‌ی پارتو، عملگر فاصله‌ی ازدحامی توسط دب و همکاران معرفی شد. برای محاسبه‌ی فاصله ازدحامی، ابتدا باید افراد جمعیت بر اساس مقدار هر تابع هدف به صورت صعودی مرتب شوند، سپس جواب‌های موجود در ابتدا و انتهای هر مرز (جواب‌های با بیشترین و کمترین مقدار تابع هدف) مقدار فاصله‌ی ازدحامی بی‌نهایت به خود می‌گیرند. برای محاسبه‌ی فاصله‌ی ازدحامی یک جواب خاص موجود در یک مرز، بزرگ‌ترین مستطیلی که آن جواب خاص درون مستطیل و دو جواب مجاور در دو سمت آن جواب، رأس‌های مستطیل باشند را در نظر می‌گیریم و مجموع یک طول و یک عرض آن را به عنوان فاصله‌ی ازدحامی برای آن جواب خاص به دست می‌آوریم [۴۳]. یک جواب با فاصله‌ی ازدحامی کم‌تر بیان‌کننده‌ی تراکم بیشتر جواب در اطراف آن جواب است؛ بنابراین مطلوب است برای مرحله‌ی بعد، جواب‌هایی انتخاب شوند که در ناحیه‌ی با تراکم کم‌تر یا به عبارتی دارای فاصله‌ی ازدحامی بیشتر هستند. با این کار تنوع و پراکندگی در جواب‌های به دست آمده بیشتر می‌شود. نحوه‌ی محاسبه‌ی فاصله‌ی ازدحامی در رابطه‌ی (۲۰) بیان شده است به طوری که جواب‌های $i-1$ و $i+1$ نزدیک‌ترین جواب‌های قبل و بعد جواب i می‌باشد.

$$d_i = \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{f_{1\max} - f_{1\min}} + \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{f_{2\max} - f_{2\min}} \quad (20)$$

بعد از این که به هر جواب موجود در جمعیت، یک مقدار فاصله‌ی ازدحامی اختصاص یافت، جواب‌های هر جبهه با یکدیگر مقایسه می‌شوند و جواب‌هایی که فاصله‌ی ازدحامی بیش‌تری دارند برای مرحله‌ی بعد انتخاب می‌گردند. اگر P_t جمعیت نسل فعلی و Q_t جمعیت فرزندان باشد که با استفاده از عملگرهای تقاطع و جهش ایجاد شده‌اند، در الگوریتم NSGA-II برای ایجاد نسل بعدی یا P_{t+1} در ابتدا جواب‌های P_t و Q_t با هم ادغام می‌شوند، سپس روی این جمعیت ادغامی، مرتب‌سازی (فاز اول) صورت می‌گیرد و صف‌های متفاوت نامغلوب به ترتیب اولویت ایجاد می‌شود. در نهایت به تعداد اندازه‌ی جمعیت (که در ابتدا به عنوان پارامتر به مساله داده شده است

نشان می‌دهد و هرچقدر تعداد این نقاط بیشتر باشد به این معنی است که الگوریتم کارایی بیشتری برای نشان دادن جبهه‌ی پارتو دارد [۴۹].

(ج) **فاصله از نقطه‌ی ایده‌آل^۲ (MID)**: این معیار برای اندازه‌گیری میزان نزدیکی به سطح بهینه‌ی پارتوی واقعی به کار می‌رود که از رابطه‌ی (۲۳) به دست می‌آید [۵۰].

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (23)$$

در این رابطه، n تعداد جواب‌ها در مجموعه‌ی بهینه‌ی پارتو است و C_i فاصله‌ی اقلیدسی هر عضو از مجموعه‌ی پارتو از نقاط ایده‌آل است که از رابطه‌ی (۲۴) محاسبه می‌شود.

$$C_i = \sqrt{(f_{1i} - f_1^*)^2 + (f_{2i} - f_2^*)^2 + \dots + (f_{ni} - f_n^*)^2} \quad (24)$$

(د) **فاصله‌گذاری^۳ (S)**: این معیار نشان‌دهنده‌ی میزان قرار گرفتن جواب‌ها به‌طور یکنواخت در کنار هم است که از رابطه‌ی (۲۵) محاسبه می‌شود [۴۸].

$$S = \sqrt{\frac{1}{|Q|} \sum_{i=1}^{|Q|} (d_i - \bar{d})^2} \quad (25)$$

در رابطه‌ی فوق، $|Q|$ بیانگر اندازه‌ی آرشیو پارتو است و مقادیر d_i و \bar{d} را می‌توان به ترتیب از روابط (۲۶) و (۲۷) محاسبه کرد. الگوریتمی که میزان این معیار در آن کم‌تر باشد، مطلوب‌تر است.

$$d_i = \min_{k \in Q, k \neq i} \sum_{m=1}^M |f_m^i - f_m^k| \quad (26)$$

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{|Q|} d_i}{|Q|} \quad (27)$$

(ه) **بیشترین گسترش^۴ (D)**: این معیار که توسط زیتلر [۵۱] ارائه شده است، نشان می‌دهد چه میزان از جواب‌های یک مجموعه‌ی پارتو در فضای جواب توزیع شده است که از رابطه‌ی (۲۸) محاسبه می‌شود. بزرگ‌تر بودن مقدار این معیار، نشان‌دهنده‌ی تنوع مناسب جواب‌های پارتو است.

$$D = \sqrt{\sum_{m=1}^M (\max_{i=1:|Q|} f_m^i - \min_{i=1:|Q|} f_m^i)^2} \quad (28)$$

(و) **ضریب تغییرات چند هدفه^۵ (MOCV)**: این معیار تعمیمی از معیارهای هم‌گرایی و واگرایی را نشان می‌دهد. در واقع این معیار به‌منظور تعادل بین هم‌گرایی و واگرایی در مدل استفاده می‌شود و بیانگر میزان اهمیت هر دو معیار در بررسی صحت و کارایی مدل است. معیار ضریب تغییرات چند هدفه از طریق رابطه‌ی (۲۹) به دست می‌آید [۴۷].

احتمال انتخاب بیشتری برای تولیدمثل و تشکیل نسل بعدی دارند. این الگوریتم در اکثر موارد قادر به دستیابی به گستردگی بهتری از جواب‌ها در مرز پارتو و همچنین همگرایی زودتر به مرز بهینه‌ی پارتو (در مقایسه با سایر الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه) است. در اینجا هر عضو جمعیت دارای دو مشخصه‌ی رتبه‌ی مرز غیرمغلوبی که در آن قرار دارد و رتبه‌ی خودش درون مرز، براساس فاصله‌ی ازدحامی می‌باشد. بنابراین برای انتخاب یک جواب، ابتدا باید یک مرز غیرمغلوب انتخاب شود سپس درون آن مرز یک جواب انتخاب گردد.

نجفی و ارجمند [۴۸] توضیحاتی پیرامون مراحل این الگوریتم ارائه دادند. مراحل این الگوریتم مشابه الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب است با این تفاوت که ابتدا برای هر مجموعه پارتو، یک مقدار احتمال براساس رابطه‌ی (۲۱) تخصیص داده می‌شود. با در نظر گرفتن احتمالات تخصیص داده‌شده، مجموعه‌ی بهتر انتخاب می‌شود. مجموعه‌ای که رتبه‌ی کم‌تری دارد، با احتمال بیشتری انتخاب می‌شود؛ سپس از مجموعه‌ی انتخاب شده، والدین انتخاب می‌شوند.

$$P_k = \frac{\frac{1}{\text{Rank}_k}}{\sum_k \frac{1}{\text{Rank}_k}} \quad (21)$$

در رابطه‌ی (۲۱)، P_k و Rank_k به ترتیب بیانگر احتمال انتخاب و رتبه‌ی مجموعه‌ی k است. فرض کنید مجموعه‌ی F انتخاب شده است، حال باید یک والد از این مجموعه انتخاب کرد. به هر جواب مجموعه‌ی F ، یک مقدار احتمال براساس رابطه‌ی (۲۲) تخصیص داده می‌شود. بر این اساس، جوابی که فاصله‌ی ازدحامی بیشتری دارد، احتمال انتخاب شدن آن نیز بیشتر است.

$$P_i = \frac{CD_i}{\sum_i CD_i} \quad (22)$$

در رابطه‌ی (۲۲)، P_i بیانگر احتمال انتخاب جواب نامغلوب i است. شایان‌ذکر است نحوه‌ی نمایش جواب در این الگوریتم مانند نحوه‌ی نمایش جواب در الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب است.

۲-۴. معیارهای ارزیابی الگوریتم‌ها

در مسائل چند هدفه، مجموعه‌ای از جواب‌های پارتو ایجاد می‌شود که باید با توجه به این مجموعه در خصوص عملکرد الگوریتم اظهارنظر کرد. معیارهای ارزیابی برای مقایسه‌ی دو الگوریتم و همچنین تنظیم پارامتر الگوریتم‌های چندهدفه به کار گرفته می‌شود. در این بخش به بررسی این معیارهای ارزیابی می‌پردازیم.

معیارهای استفاده شده در این پژوهش به شرح زیر است:

(الف) **زمان محاسبات (CPU Time)**: الگوریتمی که زمان محاسبات کم‌تری داشته باشد مطلوب‌تر است.

(ب) **تعداد جواب‌ها در جبهه‌ی پارتو^۱ (NPS)**: NPS تعداد جواب‌های نامغلوب در مجموعه‌ی پارتوی به‌دست‌آمده برای هر مساله را

4. Diversity

5. Multi-Objective Coefficient of Variation

1. Number of Pareto Solution

2. Mean Ideal Distance

3. Spacing

به مشارکت در برنامه‌های مراقبت بهداشتی پیشگیرانه را نداشته باشند و براساس مقاله‌ی ورتو و لاپیر [۲۲] میزان حداکثر مشارکت را برابر با ۰٫۹۵ در نظر می‌گیریم.

- هزینه‌ی ساخت، اجرا و راه‌اندازی تسهیلات از توزیع یکنواخت به‌صورت $C_j \sim \text{Uniform}[100,900]$ تبعیت می‌کند.
- هزینه‌ی تجهیزات پزشکی (C) را به‌طور متوسط برابر با ۱۵۰ در نظر گرفته‌ایم.
- حداکثر کل تعداد تجهیزات مجاز برای همه‌ی تسهیلات (Q_H) برابر با ۲۴ در نظر گرفته شده است.
- حداکثر زمانی که افراد در هرکدام از مناطق جمعیتی و برای دریافت خدمات پیشگیرانه تمایل دارند سفر کنند نیز از توزیع یکنواخت $TT_{ij} \sim \text{Uniform}[0.8,1]$ تبعیت کرده و در صورتی که $i=j$ باشد برابر با ۰٫۵ در نظر گرفته شده است.
- حداقل حجم کاری موردنیاز برای ایجاد تسهیلات (R_{min}) براساس مقاله‌ی ژانگ و همکاران [۲۹] برابر با ۱٫۲ نفر در نظر گرفته شده است.
- همان‌طور که قبلاً نیز ذکر گردید حداکثر ظرفیت مجاز مشتریان برای هر تسهیل خدمات درمانی پیشگیرانه‌ی j (k_j) با توجه به متفاوت بودن شرایط در هرکدام از مراکز خدمت‌دهی از توزیع یکنواخت $k_j \sim \text{Uniform}[25,30]$ تبعیت می‌کند.

۴-۵. تنظیم پارامترهای الگوریتم

روش‌های فراابتکاری دارای پارامترهایی هستند که این پارامترها از پارامترهای اصلی مساله مجزا بوده و مقدار آن‌ها بر کیفیت پاسخ تأثیر چشم‌گیری دارد. به همین منظور لازم است که پارامترهای روش با استفاده از روش علمی طراحی آزمایش‌ها^۱ یا روش آزمون‌وخطا تنظیم گردند تا بهترین مقدار این پارامترها برای اجراهای بعدی مورد استفاده قرار گیرد. برای هر پارامتر، سه سطح به شرح زیر در نظر گرفته شده است که در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲): سطوح در نظر گرفته‌شده برای پارامترها

پارامتر سطح	N	It	Cp	Mp
سطح ۱	۵۰	۱۰۰	٪۷۵	٪۴۰
سطح ۲	۷۵	۱۲۵	٪۸۰	٪۵۰
سطح ۳	۱۰۰	۱۵۰	٪۸۵	٪۶۰

راه‌های مختلفی برای طراحی آزمایش‌ها وجود دارد. بهترین روش و درعین حال زمان‌برترین روش، روش طرح عاملی کامل است. در این بخش با توجه به این‌که تعداد کل حالات 3^4 است، می‌توان از طرح عاملی کامل با ۸۱ آزمایش استفاده کرد ولی ما به‌منظور کاهش آزمایشات روش تاگوچی را به‌کار برده‌ایم. برای تحلیل حساسیت از طراحی L9 آنالیز تاگوچی و از نرم‌افزار Minitab 18 استفاده شده است. در این طراحی لازم است با سطوحی که توسط طراح تعیین می‌شود،

$$MOCV = \frac{MID}{Diversity} \quad (۲۹)$$

۴-۳. پارامترهای اصلی الگوریتم‌های ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب

همان‌طور که گفته شد روش‌های NSGA-II و NRGA دارای تشابهات فراوانی هستند، تنها تفاوت آن‌ها در نحوه‌ی انتخاب اعضا جهت ورود به تکرار بعد است. هر دو روش دارای ۴ پارامتر اصلی به شرح زیر هستند:

اندازه‌ی جمعیت: اندازه‌ی جمعیت یا N تعداد اعضای جامعه‌ای است که روش‌ها بر روی آن پیاده‌سازی می‌شوند.

تعداد تکرار (It): این مورد نیز از پارامترهای اصلی الگوریتم‌ها است و تعیین می‌کند که فرآیند حل چند بار تکرار شود.

درصد ترکیب (Cp): این مقدار که به‌صورت درصد بیان می‌شود، تعیین می‌کند که در هر تکرار چه درصدی از جمعیت با هم ترکیب شوند، در واقع تعداد جمعیت ترکیب شده را کنترل می‌کند.

درصد جهش (Mp): این مقدار که به‌صورت درصد بیان می‌شود، تعیین می‌کند که در هر تکرار چه درصدی از جمعیت جهش یابند، در واقع تعداد جمعیت جهش‌یافته را کنترل می‌کند (این مقدار معمولاً از درصد ترکیب کمتر است چراکه معمولاً در واقعیت نیز جهش به‌اندازه‌ی ترکیب رخ نمی‌دهد).

۴-۴. مقداردهی به مساله و بررسی مسائل آزمایشی تولید شده
در این بخش به بررسی مسائل آزمایشی تولیدشده و مقداردهی به پارامترها برای حل مدل می‌پردازیم.

• ۱۵ مسئله‌ی آزمایشی با در نظر گرفتن مقادیر مختلفی برای مناطق مشتری (i) و تعداد تسهیلات بالقوه (j) تولید شده و مقادیر i و j برابر با ۴، ۶، ۸، ۱۰، ...، ۳۲ می‌باشد.

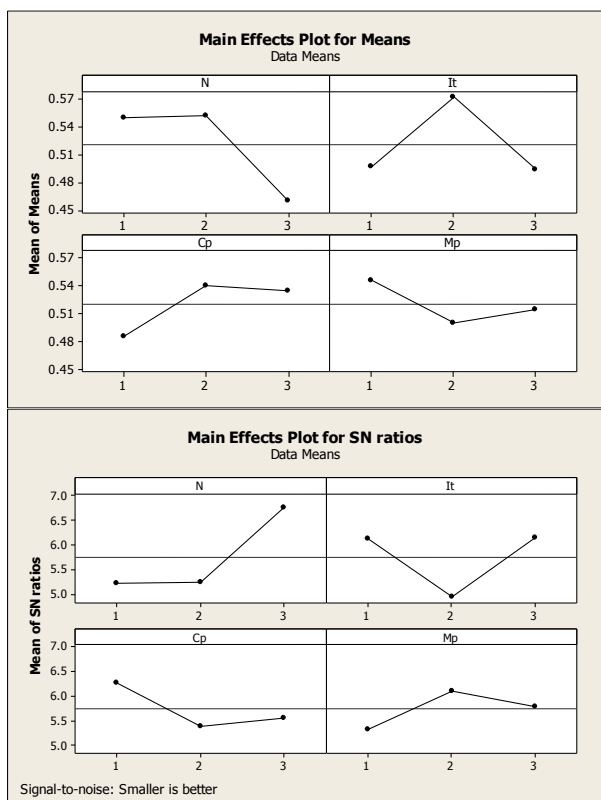
• درصدی از مشتریان ساکن در گره i از توزیع یکنواخت به‌صورت $h_i \sim \text{Uniform}[0,1]$ تبعیت می‌کند. لازم به ذکر است که باید $\sum_{i=1}^n h_i = 1$ باشد. در واقع باید مقادیر به‌دست‌آمده از توزیع یکنواخت را نرمال کرد.

• تعداد مشتریانی که نیاز به خدمات پزشکی در داخل شبکه دارند از توزیع پواسون با نرخ $\lambda = 30$ مشتری در هر واحد زمان تبعیت می‌کنند.

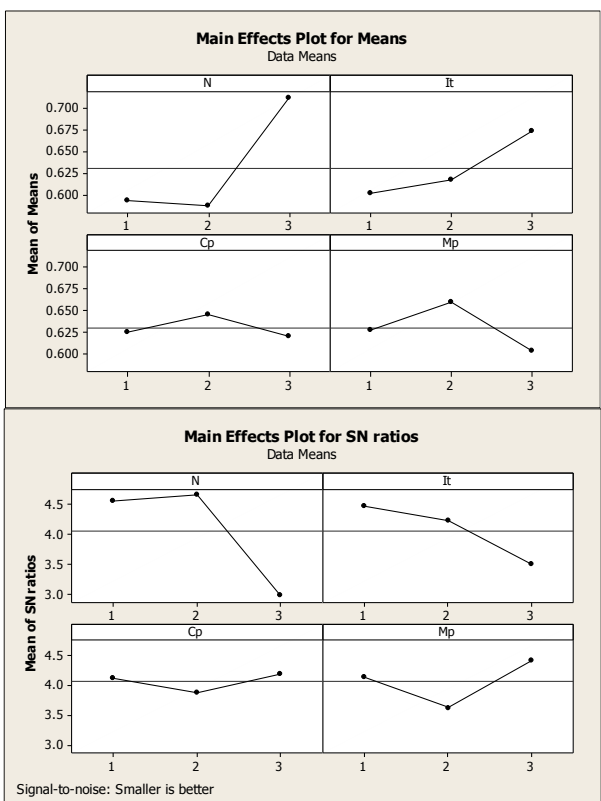
• نرخ خدمت‌دهی تسهیل j ام از توزیع یکنواخت به‌صورت $\mu_j \sim \text{Uniform}[5,10]$ تبعیت می‌کند.

• زمان سفر (t_{ij}) درصدی از معیار زمان (ساعت) بوده و از توزیع یکنواخت به‌صورت $t_{ij} \sim \text{Uniform}[0,1]$ تبعیت کرده و مقدار t_{ij} در صورتی که $i=j$ باشد برابر با ۰٫۱ در نظر گرفته‌شده است.

• بیانگر درصدی از مشتریان گره i است که از تسهیل j درخواست خدمت داشته باشند با این شرط که $t'_{ij} = 0$ باشد. از آنجا که در بهترین حالت نیز ممکن است درصدی از افراد تمایل



شکل (۹): نتایج حاصل از تحلیل تاگوچی به روش NSGA-II



شکل (۱۰): نتایج حاصل از تحلیل تاگوچی به روش NRGGA

۴-۶. مقایسه‌ی دو روش حل

در این قسمت، از ۶ معیار شامل NPS, MID, D, S, MOCV و زمان حل به منظور ارزیابی عملکرد هر یک از الگوریتم‌ها استفاده می‌کنیم. به منظور حذف عدم قطعیت در خروجی‌های الگوریتم‌های پیشنهادی

روش اجرا شده و نتایج به دست آمده ذخیره شود.

با توجه به اینکه روش تاگوچی تنها یک مقدار را به عنوان پاسخ می‌پذیرد و از آنجا که به منظور بالا رفتن دقت کار قصد داریم از چند معیار استفاده کنیم، معیارها را با استفاده از روش زیر نرمال‌سازی کرده و میانگین می‌گیریم تا برای هر اجرا، یک مقدار واحد به عنوان نتیجه به دست آید. به دلیل تصادفی بودن الگوریتم‌ها و به منظور کاهش خطا، هر اجرا چندین بار تکرار می‌شود و میانگین نتایج برای نرمال‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید دقت داشت که در این قسمت، کیفیت جواب بسیار حائز اهمیت است و معیارهایی نظیر تعداد جواب پارتو یا زمان اجرا در نظر گرفته نمی‌شود.

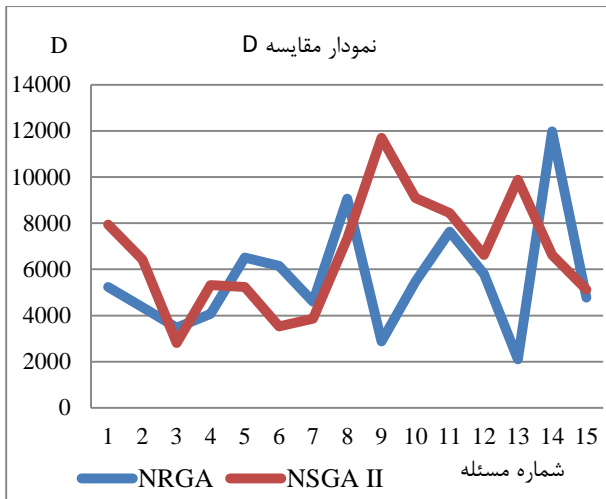
در نرمال‌سازی مقادیر به دست آمده، از نرم خطی استفاده می‌کنیم که برای شاخص‌های مثبت و شاخص‌های منفی به ترتیب از روابط (۳۰) و (۳۱) استفاده می‌شود. که در آن‌ها X_j مقدار شاخص در آزمایش j ، X_{max} حداکثر مقدار شاخص در تمامی آزمایشات و X_{min} حداقل مقدار شاخص در تمامی آزمایشات است. هم‌چنین از مثالی با ۳۲ نقطه برای تنظیم پارامتر این مساله استفاده کرده‌ایم.

$$r_j = \frac{X_j}{X_{max}} \quad (30)$$

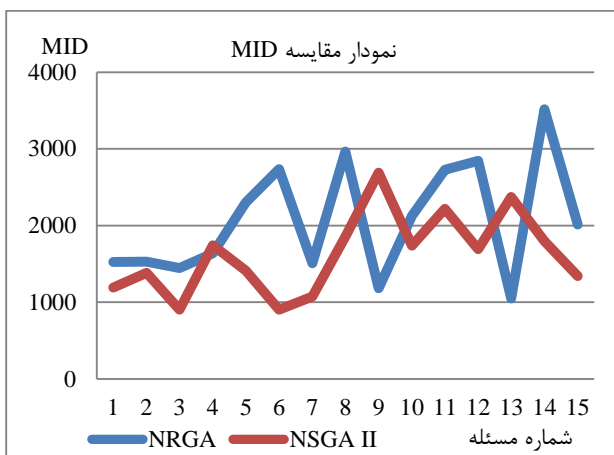
$$r_j = \frac{X_{min}}{X_j} \quad (31)$$

پس از اجرای روش تاگوچی، نتایج شکل (۹) و (۱۰) به دست می‌آید. نمودار اول مربوط به تأثیر پارامترها بر نتیجه و نمودار دوم مربوط به تأثیر پارامترها بر خطاها است. پس سطحی از پارامتر که نمودار اول را بیشینه و هم‌زمان نمودار دوم را کمینه کند بهترین سطح است. با توجه به شکل (۹) برای تعداد جمعیت سطح ۲ (۷۵) با مقدار کمی برتری نسبت به سطح ۱، برای تعداد تکرار سطح ۲ (۱۲۵)، برای درصد ترکیب سطح ۲ (۸۰ درصد) و برای درصد جهش سطح ۱ (۴۰ درصد) انتخاب می‌شود. نتایج حاصله نشان می‌دهد که روش عملکرد مناسبی داشته و با سطوح پایین تعداد جمعیت نیز قادر به یافتن پاسخ مناسبی می‌باشد، هم‌چنین سطح پایین جهش به منظور افزایش همگرایی است. در ادامه برای همه اجراهای مدل اصلی به روش NSGA-II از این پارامترها استفاده می‌کنیم.

با توجه به شکل (۱۰)، برای تعداد جمعیت سطح ۳ (۱۰۰)، تعداد تکرار سطح ۳ (۱۵۰)، درصد ترکیب سطح ۲ (۸۰ درصد) و درصد جهش سطح ۲ (۵۰ درصد) انتخاب می‌شود. این نتایج نیز به وضوح نشان می‌دهد که عملگرها دارای عملکرد مناسبی هستند اما لازم است که سطوح بالاتری برای تعداد جمعیت و تعداد تکرار انتخاب شوند. در ادامه برای همه اجراهای مدل اصلی به روش NRGGA از این پارامترها استفاده می‌کنیم. نتایج تنظیم پارامترهای مدل اصلی و متمم‌ها در انتهای مقاله و در جدول (۵) آورده شده است.



شکل (۱۳): نمودار مقایسه‌ی D دو روش

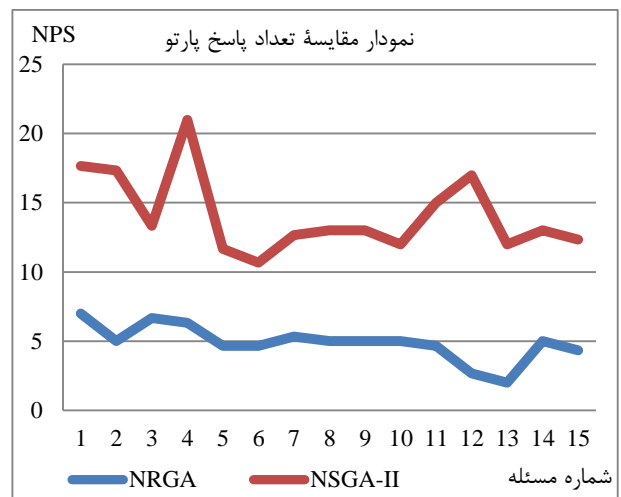


شکل (۱۴): نمودار مقایسه‌ی S و MID دو روش

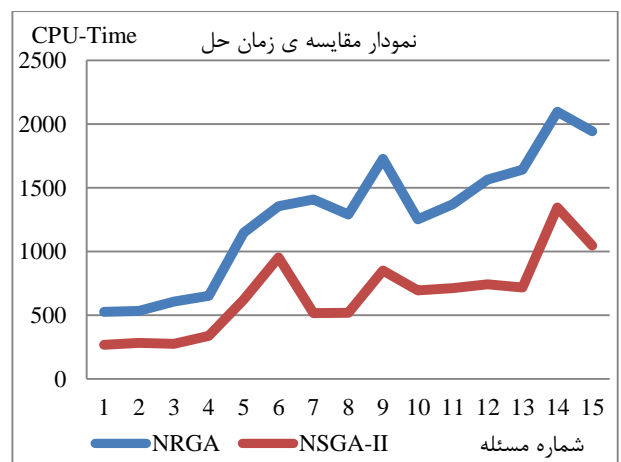
با توجه به شکل (۱۳)، نمی‌توان به‌صورت دقیق اظهار نظر کرد اما در مسائل بزرگ‌تر روش NSGA-II بهتر عمل کرده و واگرایی بهتری دارد. نمودار مربوط به S و MID در شکل (۱۴) دیده می‌شود، با توجه به برآیند این دو شکل NPGA اندکی بهتر عمل کرده است. با توجه به شکل (۱۵)، در صورتی که بخواهیم همزمان به واگرایی و همگرایی توجه کنیم روش NSGA-II عملکرد مناسب‌تری را از خود نشان می‌دهد.

و همچنین به وجود آوردن امکان مقایسه بین الگوریتم‌های حل، به‌ازای تعداد مناطق مختلف برای هر دو الگوریتم، ابتدا پارامترهایی را به‌صورت تصادفی ایجاد می‌کنیم و پس از ثابت نمودن کلیه‌ی متغیرهای ورودی، سایر متغیرها و مسائل را با همین مقادیر اجرا کرده و میانگین معیارهای ارزیابی در اجراهای مختلف را به‌عنوان خروجی در نظر می‌گیریم (اعشاری شدن مقدار تعداد جواب پارتو به همین دلیل است).

لازم به ذکر است که برای مقایسه‌ی تعداد پاسخ‌های پارتو و زمان حل، از تمامی مثال‌ها استفاده شده است، اما برای مقایسه‌ی سایر پارامترها تنها از مسئله‌هایی که در هر دو روش تعداد نقاط پارتوی بزرگ‌تر از ۲ دارند استفاده کرده‌ایم و دلیل این امر مقایسه‌ی درست و بدون خطای روش‌ها است (برای مثال اگر تعداد پاسخ پارتو ۱ عدد باشد، همه‌ی مقادیر صفر می‌شوند). با توجه به شکل (۱۱)، در این قسمت روش NSGA-II کاملاً از رقیب خود برتر است و در تمامی مثال‌ها بهتر از روش دیگر عمل کرده است. با توجه به شکل (۱۲)، در این قسمت نیز روش NSGA-II عملکرد بسیار بهتری دارد و زمان حل در هر مثال این روش، تقریباً نصف روش دیگر است.



شکل (۱۱): نمودار مقایسه‌ی تعداد پاسخ‌های پارتوی دو روش



شکل (۱۲): نمودار مقایسه‌ی زمان حل دو روش

به میزان بیشتری کاهش یافته‌است.

همانگونه که انتظار داشتیم، مقادیر تابع هدف دوم بهبود یافته‌است. با افزودن این محدودیت، از ایجاد تسهیلات جدید و برپایی تجهیزات جلوگیری شده و با توجه به تمایل به افزایش میزان مشارکت، افراد به همان تسهیلاتی که قبلاً دایر شده بود مراجعه می‌کنند. به‌طور کلی تعداد تجهیزات کاهش یافته و علی‌رغم افزایش مطلوبیت تابع هدف دوم، مطلوبیت تابع هدف اول کاهش یافته‌است. تصمیم‌گیری درباره‌ی محدودیت تعداد کل تجهیزات مجاز برعهده‌ی سیاست‌گذاران این حوزه است تا با توجه به محدودیت‌های بودجه‌ای و تمایل به افزایش میزان مشارکت مشخص کنند بهبود کدام تابع هدف از اهمیت بیشتری برخوردار است.

توابع هدف متمم ۲

این تابع هدف به‌منظور حداکثر کردن حداقل درصد مشارکت مشتریان در مناطق مختلف در نظر گرفته شده است. مقادیر توابع هدف متمم ۲ در جدول (۸) آورده شده است.

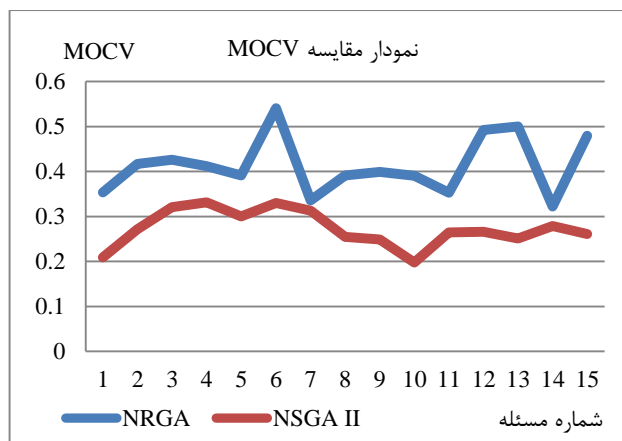
همان‌طور که مشخص است، حداکثر و حداقل مقدار تابع هدف ۳ با افزایش تعداد مناطق کاهش می‌یابد. تضاد بین توابع هدف تنها به معنای تضاد صددرصد نیست و اگر توابع هدف ارتباط مستقیمی نیز نداشته باشند می‌توان تضاد بین اهداف را در نظر گرفت (مانند دو هدف قیمت و رنگ در خرید ماشین). در این مساله نیز اهداف از یک جنس نیستند، اما به‌منظور مقایسه‌ی بهتر توابع هدف، نمونه‌ای از نتایج اهداف در جبهه‌ی پارتو روش NPGA در جدول (۳) آورده شده است. همان‌طور که مشخص است افزایش تابع هدف سوم، روند مشخصی را در افزایش یا کاهش دو تابع هدف دیگر ایجاد نمی‌کند.

شکل (۱۷) به‌عنوان نمونه‌ای از جبهه‌ی پارتو متمم ۲ به روش NSGA-II و با ۸ منطقه نشان داده شده‌است.

جدول (۳): نمونه‌ای از مقادیر توابع هدف جبهه‌ی پارتو متمم ۲ به

روش رتبه‌بندی نامغلوب

هدف سوم	هدف دوم	هدف اول
۰,۱۷۸۳	۸۹,۵۷۱۴	۱۱,۵۱۷۷
۰,۰۲۱۹	۱۳۱۲۶,۰۰۰۰	۲۷,۶۴۴۳
۰,۰۲۵۰	۳۸۹۴,۰۲۰۰	۲۶,۲۰۱۵
۰,۱۳۸۵	۹۲۹۷,۱۹۰۰	۲۶,۰۰۷۲
۰,۰۴۷۰	۵۱۵۹,۱۵۰۰	۱۱,۶۲۰۴



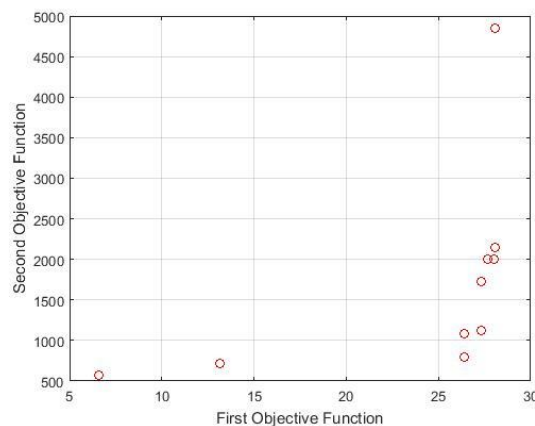
شکل (۱۵): نمودار مقایسه‌ی MOCV دو روش در مدل اول

۴-۷. نتایج حاصل از حل مدل

از آنجا که در هر بار اجرا تخصیص‌های متفاوتی ایجاد شده است، بنابراین برای مقایسه‌ی توابع هدف، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف را در هر کدام از مسائل و روش‌ها در نظر می‌گیریم. به‌منظور مقایسه‌ی هر کدام از متمم‌ها، سه مساله به‌عنوان نماینده‌ای از مسائل بزرگ، متوسط و کوچک در نظر گرفته شده است.

توابع هدف مدل اصلی

میان توابع هدف تضاد وجود دارد چراکه با حداکثر کردن میزان ورود مؤثر، مقدار تابع هدف دوم که هزینه است افزایش می‌یابد و دیگر مطلوب نیست. شکل (۱۶) نمونه‌ای از جبهه‌ی پارتو مدل اصلی به روش NSGA-II و با ۱۸ منطقه را نشان می‌دهد. مقادیر تابع هدف مدل اصلی در جدول (۶) آمده است.



شکل (۱۶): جبهه‌ی پارتو مدل اصلی به روش ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب با ۱۸ منطقه

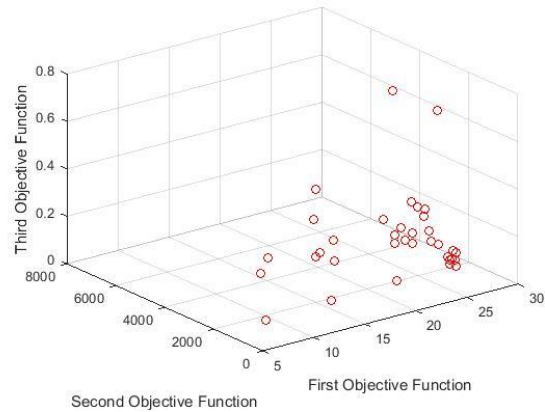
توابع هدف متمم ۱

در متمم ۱، مقدار حداکثری برای کل تعداد تجهیزات مجاز در نظر گرفته شده است. به‌منظور بررسی میزان اثرگذاری این محدودیت بر روی توابع هدف، نتایج مثال‌ها در جدول (۷) آورده شده‌است. همانگونه که انتظار داشتیم، با افزودن محدودیت حداکثری برای تعداد کل تجهیزات، میزان مشارکت (ورود مؤثر به سیستم) کاهش می‌یابد. با افزایش تعداد مناطق، اثرگذاری این محدودیت بیشتر شده و مشارکت

پارتو روش NSGAI در جدول (۴) آورده شده است. همان‌طور که مشخص است افزایش تابع هدف سوم، روند مشخصی را در افزایش یا کاهش دو تابع هدف دیگر ایجاد نمی‌کند. مقادیر توابع هدف متمم ۳ نیز در جدول (۹) آورده شده است.

جدول (۴): نمونه‌ای از مقادیر توابع هدف جبهه‌ی پارتو متمم ۳ به روش مرتب‌سازی نامغلوب

هدف سوم	هدف دوم	هدف اول
۰,۴۹۲۲	۶۸۷۹,۳۰۰۰	۲۷,۸۶۷۳
۰,۴۹۳۸	۲۲۲۹,۳۰۰۰	۲۷,۸۹۷۵
۰,۰۰۴۰	۲۳۹۸,۵۶۰۰	۲۶,۷۲۴۰
۰,۴۷۵۶	۱۳۳۰,۶۹۰۰	۲۶,۷۱۱۹
۰,۰۰۴۰	۸۹۸,۵۵۹۰	۲۰,۲۴۶۹



شکل (۱۷): جبهه‌ی پارتو متمم ۲ به روش ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب با ۸ منطقه

توابع هدف متمم ۳

به‌منظور مقایسه‌ی بهتر توابع هدف، نمونه‌ای از نتایج اهداف در جبهه‌ی

جدول (۵): نتایج تنظیم پارامتر مدل اصلی و متمم‌ها

مثال‌ها	توابع هدف	تعداد جمعیت	تعداد تکرار	درصد ترکیب	درصد جهش
NSGA-II	مدل اصلی	سطح دو (۷۵)	سطح دو (۱۲۵)	سطح دو (۸۰ درصد)	سطح یک (۴۰ درصد)
	متمم ۱	سطح دو (۷۵)	سطح یک (۱۰۰)	سطح یک (۷۵ درصد)	سطح دو (۵۰ درصد)
	متمم ۲	سطح سه (۱۰۰)	سطح یک (۱۰۰)	سطح سه (۸۵ درصد)	سطح دو (۵۰ درصد)
	متمم ۳	سطح یک (۵۰)	سطح سه (۱۵۰)	سطح دو (۸۰ درصد)	سطح دو (۵۰ درصد)
NRGA	مدل اصلی	سطح سه (۱۰۰)	سطح سه (۱۵۰)	سطح دو (۸۰ درصد)	سطح دو (۵۰ درصد)
	متمم ۱	سطح دو (۷۵)	سطح دو (۱۲۵)	سطح دو (۸۰ درصد)	سطح دو (۵۰ درصد)
	متمم ۲	سطح سه (۱۰۰)	سطح یک (۱۰۰)	سطح سه (۸۵ درصد)	سطح سه (۶۰ درصد)
	متمم ۳	سطح سه (۱۰۰)	سطح دو (۱۲۵)	سطح یک (۷۵ درصد)	سطح سه (۶۰ درصد)

جدول (۶): توابع هدف مدل اصلی

مثال‌ها	توابع هدف	تابع هدف ۱		تابع هدف ۲	
		max	min	min	Max
NSGA-II	$i=8$	۲۸,۲۳۰۵	۵,۹۸۲۹	۴۹۸,۸۸۱۸	۴۰۱۲,۸۶۹۰
	$i=18$	۲۸,۲۲۱۰	۸,۷۰۳۳	۳۴۰,۲۷۵۰	۱۰۰۱۹,۶۸۰۰
	$i=28$	۲۸,۳۶۲۸۴	۵,۱۴۸۵	۴۶۵,۶۶۷۹	۱۵۷۸۵,۳۶۰۰
NRGA	$i=8$	۲۶,۷۲۴۰	۵,۹۸۲۹	۴۹۸,۸۸۱۸	۵۲۸۱,۰۱۳۰
	$i=18$	۲۷,۰۱۵۹	۸,۷۰۳۳	۳۴۰,۲۷۵۰	۱۷۳۷۷,۴۶۰۰
	$i=28$	۲۷,۶۰۵۹۷	۲۶,۰۸۸۵	۳۳۶۵,۲۲۲۰	۱۱۰۸۴,۵۱۰۰

جدول (۷): توابع هدف متمم ۱

مثال‌ها	توابع هدف	تابع هدف ۱		تابع هدف ۲	
		max	min	min	Max
NSGA-II	$i=8$	۲۷,۴۱۹۶	۵,۷۷۶۳	۳۶۴,۴۵۷۰	۶۵۰۱,۵۲۰۰
	$i=18$	۲۶,۹۴۱۹	۳,۵۲۰۵	۲۵۸,۱۷۱۰	۳۹۷۳,۴۴۰۰
	$i=28$	۲۰,۹۸۸۰	۹,۹۵۰۷	۶۷۳,۴۹۹۰	۴۶۰۸,۲۴۰۰
NRGA	$i=8$	۲۴,۸۷۸۸	۵,۱۳۶۵	۳۹۱,۴۶۱۸	۵۶۰۱,۵۲۱۰
	$i=18$	۲۵,۴۴۴۷	۳,۵۲۰۵	۲۵۸,۱۷۱۲	۳۶۷۲,۴۲۹۰
	$i=28$	۱۹,۴۹۶۲	۹,۹۵۰۷	۷۹۳,۵۷۲۷	۵۶۵۵,۹۷۰۰

جدول (۸): توابع هدف متمم ۲

مثال‌ها	توابع هدف	تابع هدف ۱		تابع هدف ۲		تابع هدف ۳	
		max	min	min	max	max	min
NSGA-II	$i=8$	۲۸,۲۳۰۵	۵,۹۸۲۹	۴۹۸,۸۸۱۸	۸۱۲۳,۰۶۸۰	۰,۶۶۷۳	۰,۰۲۳۹
	$i=18$	۲۸,۱۶۰۹	۷,۸۵۷۳	۳۴۰,۲۷۵۰	۸۵۰۷,۷۸۷۰	۰,۵۹۲۳	۰,۰۱۸۰
	$i=28$	۲۸,۳۴۲۲	۵,۱۴۸۵	۴۶۵,۶۶۷۹	۴۴۵۱۳,۱۸۰۰	۰,۴۵۴۷	۰,۰۱۰۳
NRGA	$i=8$	۲۷,۸۹۷۵	۶,۷۴۹۹	۵۹۸,۵۵۹۰	۶۶۴۲,۳۸۰۰	۰,۳۸۰۱	۰,۰۲۷۳
	$i=18$	۲۷,۱۴۵۵	۷,۵۵۹۸	۹۴۰,۲۷۵۰	۸۰۹۸,۰۸۰۰	۰,۱۹۹۹	۰,۰۱۸۱
	$i=28$	۲۷,۶۶۵۳	۱۱,۵۱۷۷	۱۵۸۵,۳۰۰۰	۴۱۹۲۷,۸۰۰۰	۰,۱۸۵۱	۰,۰۱۵۱

جدول (۹): توابع هدف متمم ۳

مثال‌ها	توابع هدف	تابع هدف ۱		تابع هدف ۲		تابع هدف ۳	
		max	min	min	max	min	max
NSGA-II	$i=8$	۲۸,۲۳۰۶	۵,۹۸۲۹	۴۹۸,۸۸۲۰	۷۱۶۲,۸۷۰۰	۰,۰۰۴۰	۰,۴۹۳۸
	$i=18$	۲۸,۱۶۰۹	۸,۷۰۳۳	۳۴۰,۲۷۵۰	۸۲۶۹,۴۲۰۰	۰,۰۳۵۹	۰,۷۷۴۰
	$i=28$	۲۸,۳۳۷۲	۵,۱۴۸۵	۴۶۵,۶۶۸۰	۴۶۸۲۵,۹۰۰۰	۰,۰۰۴۲	۰,۸۵۳۲
NRGA	$i=8$	۲۷,۰۱۹۱	۵,۹۸۲۹	۴۹۸,۸۸۱۸	۷۴۶۳,۲۱۳۰	۰,۰۰۳۹	۰,۷۴۷۸
	$i=18$	۲۷,۶۷۸۳	۷,۸۲۱۲	۶۴۰,۲۷۵۰	۱۶۰۳۵,۰۷۰۰	۰,۰۳۵۹	۰,۸۵۰۵
	$i=28$	۲۷,۷۴۶۲	۷,۹۱۳۰	۲۱۱۷,۳۳۹۰	۶۰۸۸۲,۴۴۰۰	۰,۵۱۶۵	۰,۸۴۶۵

۵. نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

سه ویژگی مهمی که در مدل در نظر گرفته شده است شامل تقاضای غیرقطعی، تراکم در سیستم صف و تخصیص مشتریان به مراکز توسط سیاست‌گذاران است. این مسائل از رسته مسائل NP-Hard هستند، بنابراین از الگوریتم‌های فراابتکاری NSGAII و NRGA برای حل مدل بهره برده‌ایم؛ بدین‌منظور از نرم‌افزار محاسباتی MATLAB(R2016b) استفاده کردیم. با ساده‌تر کردن نحوه نمایش جواب، سرعت عمل و کارایی الگوریتم‌ها را افزایش دادیم. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، روش ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب عملکرد بهتری دارد.

افزافه کردن محدودیت حداکثر تعداد مجاز تجهیزات باعث بهبود هزینه‌ها شد. با افزودن این محدودیت، از ایجاد تسهیلات جدید و برپایی تجهیزات جلوگیری شده و با توجه به تمایل به افزایش میزان مشارکت، افراد به همان تسهیلاتی که قبلاً دایر شده بود مراجعه می‌کنند. به‌طور کلی تعداد تجهیزات کاهش یافته و علی‌رغم افزایش مطلوبیت تابع هدف دوم، مطلوبیت تابع هدف اول کاهش یافته‌است. تصمیم‌گیری درباره‌ی محدودیت تعداد کل تجهیزات مجاز برعهده‌ی سیاست‌گذاران این حوزه است تا با توجه به محدودیت‌های بودجه‌ای و تمایل به افزایش میزان مشارکت مشخص کنند بهبود کدام تابع هدف از اهمیت بیشتری برخوردار است.

از آنجا که عدم استفاده از خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه عواقب جبران‌ناپذیری برای فرد و هزینه‌های زیادی را نیز برای دولت و جامعه به همراه خواهد داشت، مراکز دولتی و غیرانتفاعی که در حوزه‌ی سلامت فعالیت می‌کنند مانند سازمان هلال احمر، وزارت بهداشت،

درمان و آموزش پزشکی و ... می‌توانند از نتایج این تحقیق جهت مکان-یابی تسهیلات خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه به‌منظور افزایش مشارکت مردم و همچنین کاهش هزینه‌ها استفاده نمایند. شایان‌ذکر است این تحقیق قابل توسعه جهت پیاده‌سازی و احداث مراکزی که به دنبال حداکثر کردن میزان مشارکت مشتریان یا ورود آن‌ها به سیستم هستند (مانند بانک‌ها، سوپر مارکت‌ها و ...) نیز خواهد بود.

۵-۱. پیشنهادات جهت تحقیقات آتی

پیشنهادات آتی به‌صورت زیر می‌باشد:

- استفاده از مدل ارائه‌شده در مقاله، در سایر محیط‌هایی که به ارائه-ی خدمات مشغول بوده و به‌دنبال حداکثر کردن میزان مشارکت هستند مانند: شبکه‌های بانک‌داری یا ادارات پست.
- می‌توان X_{ij} را به‌صورت نرخ در نظر گرفت. بدین معنا که در صورت برابری زمان کل سپری شده برای دریافت خدمت، افراد از منطقه‌ای یکسان حق سفر به مناطق مختلف را داشته باشند.
- می‌توان توزیع‌های مختلفی برای ورود یا خدمت‌دهی مشتریان در نظر گرفت که منجر به مدل‌های مختلف سیستم صف خواهد شد. به‌عنوان مثال با قطعی در نظر گرفتن زمان ورود مشتریان می‌توان مدل سیستم صف را به‌صورت D/G/C یا به‌طور خاص D/M/C لحاظ کرد.
- از آنجا که نیاز به برخی خدمات بهداشتی درمانی پیشگیرانه در فصول مختلف سال متفاوت است (مانند واکسن سرماخوردگی)، بنابراین می‌توان الگوی تقاضا در سیستم صف را به‌صورت فصلی در نظر گرفت.
- اگرچه در مدل ما میزان دسترسی (کل زمان صرف شده برای دریافت خدمت) به‌عنوان تنها عامل اثرگذار در تصمیم مشتریان

- facility location problem with congestion”, *Socio-Economic Planning Science*, 29: 39-46.
- [15] Wang, Q., Batta, R., Rump, C. M. (2002). “Algorithms for a facility location problem with stochastic customer demand and immobile servers”, *Annals of Operations Research*, 111: 17-34.
- [16] Berman, O. (2007). “Locating capacitated facilities to maximize captured demand”, *Taylor and Francis*, 15: 1015-1029.
- [17] Huff, DL. (1963). Determination of intra-urban retail trade areas, Real Estate Research Program, UCLA
- [18] Krohn, R., Müller, S., Haase, K. (2016). Preventive health care facility location planning with qualityconscious clients, Working paper.
- [19] Marianov, V., Rios, M., Icaza, M.J. (2008). “Facility location for market capture when users rank facilities by shorter travel and waiting times”, *European Journal of Operational Research*, 191: 32-44.
- [20] Zarrinpoor, N., Siefbarghy, M., (2011). A competitive location model to obtain a specific market share while ranking facilities by shorter travel time, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- [۲۱] صفاری، درین، آقایی، عبدالله، روغنیان، عماد. (۱۳۹۷). "ارائه مدل مکان‌یابی - تخصیص چند سطحی در چارچوب شبکه‌های صف"، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، سال ششم شماره ۱۲: ۴۹-۶۱.
- [22] Verter, V., Lapierre, S.D. (2002). “Location of preventive health care facilities”, *Annals of Operations Research*, 110: 123-132.
- [23] Daskin, M.S., Dean, L.K. (2004). Location of health care facilities. In: Brandeau, M.L., Sainfort, F., Pierskalla, W.P. (Eds.), *Operations Research and Health Care: A Handbook of Methods and Applications*. Kluwer’s International Series, 43-76.
- [24] Javanmardi, S., Hosseininassab, H., Mostafaeipour, A. (2017). “An exact Method for Stochastic Maximal Covering Problem of Preventive Healthcare Facilities”, *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10: 10-23
- [25] Seifbarghy, M., Roshan, K. (2012). “A Bi-Objective Preventive Healthcare Facility Network Design with Incorporating Cost and Time Saving, World Academy of Science, Engineering and Technology”, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*. 6(1): 282-285.
- [26] Roshan, K., Siefbarghy, M., Pishva, D. (2017). “Multi-objective Evolutionary Algorithms for a Preventive Healthcare Facility Network Design”, *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*, 28(4): 403-427.
- [27] Vidyarthi, N., Kuzgunkaya, O. (2014). The impact of directed choice on the design of preventive healthcare facility network under congestion, *Springer Health Care Management science*.
- [28] Dogan, K., Karatas, M., Yakici, E. (2019). “A model for locating preventive health care facilities”. *Central European Journal of Operations Research*, 28: 41-50.
- برای مراجعه به تسهیلات شناخته می‌شود، دیگر پارامترهای جذابیت همچون کیفیت، شهرت، جای پارک، سابقه‌ی ذهنی مشتریان و ... می‌تواند به‌عنوان فاکتورهای اساسی دخیل در تصمیم‌گیری مشتریان شناخته شوند.
- به‌منظور افزایش میزان مشارکت افراد می‌توان تسهیلات خدمات درمانی را به‌صورت سیار (متحرک) در نظر گرفت.
 - می‌توان تسهیلات مراقبت‌های بهداشتی پیشگیرانه را به‌صورت پویا در نظر گرفت به گونه‌ای که برای آینده‌ی آن تسهیل و زمان جابجایی آن برنامه‌هایی پیش‌بینی گردد.
- ### مراجع
- [1] Davari, S., Kilic, K., Naderi, S. (2016). “A heuristic approach to solve the preventive health care problem with budget and congestion constraints”, *Applied Mathematics and Computation*, 276:442-453.
- [2] Walker, K. (1977). “Current issues in the provision of health care services”, *Journal of Consumer Affairs*, 11: 52-62.
- [3] Zhang., Berman, oded., verter, vedat. (2009). “Incorporating congestion in preventive healthcare facility network design”, *European Journal of Operational Research*, 922-935.
- [4] Davari, S. (2017). *The Incremental Cooperative Design of Preventive Healthcare Networks*, University of Hertfordshire, Hertfordshire Business School United Kingdom.
- [5] Institute of Medicine. (1993). *Access to Health Care in America*, National Academy Press, Washington, DC.
- [6] Baron, O., Berman, O., Krass, D. (2008). “Facility location with stochastic demand and constraints on waiting time”, *Manufacturing Service Oper, Management*, 10: 484-505.
- [7] Kembe E. S., Onah S., Iorkegh. (2012). “A Study of Waiting and Service Costs of a MultiServer Queuing Model in a Specialist Hospital”, *International Journal of Scientific Technology Research*, Vol (1), Issue (8), 19-23.
- [8] Weber, A. (1909). *Über den Standort der Industrien*, 1. Teil: Reine Theorie des Standorts. Verlag J.C.B. Mohr, Tübingen.
- [9] Owen, S.H., Daskin, M.S. (1998). “Strategic facility location: A review”, *European Journal of Operational Research*, 111: 423-447.
- [10] Wesolowsky, G.O. (1973). “Dynamic facility location”, *Management Science*, 19 (11): 1241-1248.
- [11] Farahani, R.Z., Hekmatfar, M. (2009), *Facilities location: Concepts, models, algorithms and case studies*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- [12] Adan, I.J., Adam, B.F., Boxma, O.J., Resing, J.A.C. (2001). “Queueing models with multiple waiting lines”, *Queueing Systems*, 37: 65-98.
- [13] Chebat, J.C., Filiatrault, P. (1993). “The impact of waiting in line on consumers”, *International Journal of Bank Marketing*, 11: 35-40.
- [14] Berman, O. (1995). “The maximizing market size

- algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II. In: Proceedings of the parallel problem solving from nature VI 9PPSN-VI Conference, 849-858.
- [45] Al Jadaan, O., Rao, C.R., Rajamani, L. (2008). "Non-Dominated ranked genetic algorithm for solving Multi-Objective optimization problems: NPGA". *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 60-67.
- [۴۶] حسین‌نژادی، مصطفی، ایرج‌پور، علی‌رضا. (۱۳۹۶). "ارائه‌ی مدل ترکیبی چند هدفه دوسطحی برای مساله مدیریت موجودی یک فروشنده و چند خرده‌فروش با استفاده از دو الگوریتم فراابتکاری چندهدفه مبتنی بر پارتو"، *مجله مدیریت توسعه و تحول*، شماره ۲۹: ۶۳-۷۴.
- [47] Rahmati, S.H.A., Hajipour, V., Niaki, S.T.A. (2013). "A soft-computing Pareto-based meta-heuristic algorithm for a multi-objective multi-server facility location problem", *Applied Soft Computing*, 13(4): 1728-1740.
- [۴۸] نجفی، امیرعباس، ارجمند، مسعود. (۱۳۹۵). "ارائه‌ی سه الگوریتم فراابتکاری توسعه‌یافته به منظور حل مساله‌ی هزینه‌ی دسترس‌پذیری منابع با اهداف کمینه‌سازی زمان اتمام پروژه و مجموع هزینه‌های منابع به صورت هم‌زمان"، *نشریه‌ی تخصصی مهندسی صنایع*، ۵۰(۳): ۴۷۱-۴۸۲.
- [49] Schaffer, J.D. (1985). "Multiple Objective Optimization with Vector Evaluated Genetic Algorithms, in Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms", *L. Erlbaum Associates Incorporated*, 93-100.
- [50] Zitzler, E., Thiele, L. (1999). Multi objective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach, *IEEE transactions on Evolutionary Computation*.
- [51] Zitzler, E., Deb, K., Thiele, L. (2000). "Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Empirical results", *Evolutionary computation*, 8(2): 173-195.
- 1091-1121.
- [29] Zhang, Y., Berman, O., Marcotte, P., Verter, V. (2010). "Abilevel model for preventive healthcare facility network design with congestion", *IIE Trans*, 42: 865-880.
- [30] Gu, Wei., Wang, Xin., McGregor, S. E. (2010). "Optimization of preventive health care facility locations", *International journal of health geographics*, 9(17): 1-16.
- [31] Zhang, Yue., Berman, Oded., Verter, Vedat. (2012). "The impact of client choice on preventive healthcare facility network design", *Springer OR Spectrum*, 349-370.
- [32] Davari, S., Kilic, K., Ertek, G. (2015). "Fuzzy bi-objective preventive health care network design", *Health Care Management Science*, 18(3): 303-317.
- [33] Aboolian, R., Berman, O., Verter, V. (2015). "Maximal accessibility network design in the public sector", *TranspSci*, 50(1): 336-347.
- [۳۴] اردستانی سنسنی، آیدا. (۱۳۹۳). ارائه مدل دو هدفه برای مکان‌یابی-تخصیص سیستم‌های مراقبت سلامت پیشگیرانه با در نظر گرفتن هزینه و مشارکت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه الزهراء (س).
- [۳۵] حاجی‌سلطانی، فاطمه، باقری‌نژاد، جعفر. (۱۳۹۶). تجزیه و تحلیل و ارائه‌ی پیشنهاداتی برای بهبود سیستم صف در یک مرکز سونوگرافی، اولین کنفرانس ملی اندیشه‌های نوین در مدیریت کسب و کار، تهران.
- [36] Gunes, E.D., Chick, S.E., Zeynep, A.O. (2004). "Breast cancer screening services: Trade-offs in quality, capacity, outreach, and centralization", *Health Care Management Science*, 7: 291-303.
- [۳۷] مدرس یزدی، محمد. (۱۳۷۱). *نظریه صف*، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ایران.
- [۳۸] گراس، دونالد. هریس، کارل. (۱۳۸۸). *مبانی و اصول نظریه صف*، دکتر سید محمدتقی فاطمی قمی (مترجم)، انتشارات دانشگاه امام حسین.
- [39] Glover, F. (1986). "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence", *Computers & Operations Research*, 13: 533-549.
- [40] Blum, C., Roli, A. (2003). "Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison", *ACM Comput, Surv*, 35(3): 268-308.
- [41] Goldberg, D.E. (1989). *Genetic Algorithm in search, Optimization and Machine Learning*, Reading, MA; Addison Wesley.
- [42] Srinivas, N., Deb, K. (1994). "Multi-objective function optimization using non dominated sorting genetic algorithms", *Evolutionary computation Journal*, 2 (3): 221-248.
- [43] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T. (2002). "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2): 182-197.
- [44] Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., Meyarivan, T. (2000). A fast elitist non-dominated sorting genetic



A Multi-Objective Location-Allocation Model for Preventive Healthcare Systems with Probabilistic Demand

F. Hajisoltani¹, M. Seifbarghy^{2*}

^{1,2} Department of Industrial Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 July 2019

Accepted 27 April 2020

Keywords:

Location-allocation
Preventive Healthcare
Non-linear integer programming
models
queuing system
Genetic algorithm

ABSTRACT

Preventive healthcare aims at reducing the likelihood and severity of potentially life-threatening illnesses by protection and early detection. The level of participation in preventive health care programs is a critical factor in terms of their effectiveness and efficiency of these programs. This article presents a methodology for locating preventive health care facilities (PHCFL) in order to increase the accessibility to potential clients and thus maximize participation in preventive healthcare programs. Due to capacity constraints in preventive health care facilities and the importance of waiting time in queues, we assume that each facility acts as $M/M/Q_j/K_j$ queuing system. We present an Integer nonlinear programming (INLP) model in order to maximize the participation rate and minimize the cost of building facilities and allocating medical equipments to open facilities. Because of the importance of other objective functions, supplements have been introduced to bring about equitable access to preventive health care centers and to balance the hours of servant unemployment. The model is known as NP-Hard models, hence we propose two meta-heuristics algorithms to solve this problem with multi-objective functions. Meta-heuristics algorithms are consists of: non-dominated sorting genetic algorithm and non-dominated ranking genetic algorithm. In order to increase the speed and performance of the combinatorial optimization algorithms, new coding is used in these solution algorithms. Finally, we used Taguchi method to tune the parameters of two algorithms and test problems with different size were generated and analyzed. According to the results, non-dominated sorting genetic algorithm is better.

* Corresponding author. M. Seifbarghy
Tel.: 021-85692193; E-mail address: m.seifbarghy@alzahra.ac.ir