حل مساله توزیع تسهیلات بیمارستانی با الگوریتم ژنتیک

سمیه انجام [۱]، نرجس سابقی [۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها، گرایش بهینه‌سازی، گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولایت، ایرانشهر
somayeh.anjam۱@gmail.com
[۲]استادیار گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولایت، ایرانشهر
n.sabeghi@velayat.ac.ir

چکیده

هدف اصلی مساله جایابی تسهیلات بیمارستانی، چیدمان واحدهای مختلف بیمارستان از قبیل پلی‌کلینیک‌ها، آزمایشگاه‌ها و رادیولوژی به گونه‌ای است که هزینه جابه‌جایی بیماران و کادر درمان کمینه شود. به خصوص در بیمارستان‌های بزرگ که شامل واحدهای متعددی هستند، نزدیک بودن واحدهایی که تعامل زیادی با هم دارند به لحاظ کارایی بیمارستان بسیار مهم است. در این مقاله برای حل مساله جایابی تسهیلات بیمارستانی، از الگوریتم فراابتکاری ژتتیک استفاده کرده‌ایم. چگونگی پیاده‌سازی الگوریتم با یک مثال نوعی تشریح شده است.

واژه های کلیدی

جایابی تسهیلات بیمارستانی، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک.

مقدمه

چیدمان تسهیلات در یک سازمان که اغلب به عنوان مساله جایابی تسهیلات شناخته می‌شود، تاثیر قابل توجهی بر هزینه‌های تولید، زمان انجام عملیات و بهره برداری دارد. یک جایابی مناسب از تسهیلات به بازده کل عملیات کمک می‌کند و می‌تواند کل هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهد.

جایابی تسهیلات بیمارستانی به معنی قرار دادن بخش‌های مختلف یک بیمارستان در محدوده‌های از پیش تعریف شده است. به عبارت دیگر هدف اصلی مساله جایابی تسهیلات بیمارستانی، قرار دادن پلی‌کلنیک‌ها، آزمایشگاه‌ها و واحدهای رادیولوژی در محدوده‌های از پیش تعیین شده به گونه‌ای است که هزینه جابجایی بیماران و کارکنان بهداشت و درمان را به حداقل برساند. به خصوص در بیمارستان‌های بزرگ شامل چندین بخش تخصصی مختلف، از نظر کارایی بیمارستان مهم است که واحدهای تعاملی نزدیک به هم قرار گیرند. در این راستا، راه قرار داده شده در داخل پلی‌کلنیک‌ها در بیمارستان نقش مهمی در تعیین زمان حمل و نقل بیماران و کارکنان بیمارستان دارد. بنابراین قرار دادن صحیح کلینیک‌های بیماران سرپایی، بهترین استفاده از نیروی کادر پزشکی، به حداقل رساندن فاصله غیر ضروری بین بیماران، کارکنان و بازدید کنندگان، افزایش بهره وری بیمارستان را تضمین می‌کند [۱] .

امروزه از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل بسیاری از مسائل زندگی واقعی استفاده می‌شود. اخیرا در حل مسائل جایابی از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده‌های زیادی شده است . کوپمن [۱] و بکمن [۲] از اولین کسانی بودند که این دسته از مسائل را در نظر گرفتند. آنها مساله جایابی تسهیلات را به عنوان یک مساله صنعتی رایج تعریف کردند که در آن هدف این است که امکانات را به گونه‌ای پیکربندی کنیم که هزینه حمل و نقل مواد بین آن‌ها به حداقل برسد [۲].

شرح مساله

در این مقاله سعی در تعیین بهترین جایابی ممکن بخش‌های مختلف بیمارستان‌های بزرگ در مناطق از پیش تعیین شده داریم به گونه‌ای که بخش‌هایی که تعامل بیشتری با یکدیگر دارند نزدیک یکدیگر قرار گیرند. به عبارت دیگر در جایابی تسهیلات بیمارستانی باید تمام الزامات ضروری مانند، موجودی‌ها، سختی حرکت و ترتیب بخش‌ها در محدوده از پیش تعیین شده به گونه‌ای که فاصله بین بخش‌های دارای تعامل بالا را کاهش دهد و افزایش تقاضا را برآورده کند، در نظر گرفته شود. در رسیدن به مکان کارآمد بخش‌ها، بایستی تعداد مشاوره-های (تعاملات) بین بخش‌ها مورد توجه قرار گیرد و این به فراوانی جابجایی بین بخش‌ها بستگی دارد. فراوانی جابجایی فاکتور ارتباط را تعیین می‌کند و بخش‌هایی که ترافیک بالایی بین آنها وجود دارد باید نسبت به آنهایی که ترافیک کمتری دارند، نزدیک‌تر قرار گیرند. بنابراین هدف به حداقل رساندن هزینه جابجایی کل با در نظر گرفتن محدودیت‌های زیر است:

[۱] Koopmans
[۲] Backman

۱-تاثیر متقابل بین بخش‌ها، که به شدت به ترافیک بین دو بخش بستگی دارد بررسی خواهد شد تا اطمینان حاصل شود بخش‌هایی که اثر متقابل بیشتری دارند نسبت به آنهایی که اثر متقابل کمتری دارند نزدیک‌تر قرار گیرند.

۲- تعداد دفعات ویزیت بیماران سرپایی هر بخش محاسبه می‌شود تا قادر باشیم مکان بخش‌هایی که در آنها عمل ویزیت بیماران بیشتر انجام می‌شود نزدیک‌تر به ورودی اصلی بیمارستان قرار دهیم.

۳- هزینه جابجایی به طور مستقیم متناسب با مسافت، فرکانس حرکت، درجه سختی حرکت و هزینه حرکت پایه محاسبه می شود و بنابراین تغییر هر یک از ویژگی‌ها، هزینه جابجایی را تغییر خواهد داد.

جواب بهینه با توجه به فاکتورهای ذکر شده برای حل این مساله بدست خواهد آمد. تابع هدف را با توجه به ساختار فیزیکی بیمارستان، تعداد پلی‌کلینیک‌ها ، تعداد مناطق، و فواصل مناطق از یکدیگر، فواصل مناطق تا ورودی بیمارستان، تعداد بیمارانی که به هر پلی‌کلنیک می‌آیند به صورت زیر فرموله می‌کنیم:

$$\min(\sum_{i=.}^{m} x_i y_i + \sum_{j=.}^{n}\sum_{k=.}^{m} z_{jk} t_{jk}) \quad (۱)$$

که در آن n تعداد پلی‌کلینیک‌ها، m تعداد مناطقی که پلی‌کلنیک‌ها در آنها قرار می‌گیرند، x_i فاصله مناطق تا ورودی بیمارستان، y_i تعداد ماهانه بیماران در پلی‌کلنیک واقع در منطقه i ام، z_{jk} تعداد بیمارانی که از پلی‌کلنیک در منطقه j ام به پلی‌کلنیک در منطقه k ام فرستاده می شوند و t_{jk} مسافت بین مناطق j ام و k ام است. در این مقاله قصد داریم از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک[۳] برای حل این مساله استفاده کنیم.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک که در اواسط دهه ۷۰ توسط جان هالند[۴] معرفی شد [۳] ، تئوری های زیستی تکامل، انتخاب طبیعی و جهش را در یک الگوریتم رایانشی ادغام می‌کند که به طور اکتشافی راه حل بهینه را برای یک مساله، جستجو می‌کند. راه حل ممکن برای یک مساله توسط یک ژنوم نشان داده می‌شود که اصولا شامل یک کروموزوم است. این کروموزوم شامل مقادیری به نام ژن است. جهش و تقاطع نیز برای برای تغییر کروموزوم‌ها استفاده می‌شود. جهش شامل تغییرات کوچک تصادفی در کروموزوم‌ها است. تقاطع شامل تبادل میزانی از ویژگی‌های ژنتیکی می‌باشد. در یک الگوریتم ژنتیک، جمعیتی از کروموزوم‌ها به صورت زیر تکامل می‌یابند. جمعیت اولیه به طور تصادفی ایجاد می‌شود. نسل‌های جدید از طریق انتخاب مکرر برازنده‌ترین افراد و جهش و تقاطع آن‌ها تولید می‌شوند. این فرآیند تا زمانی که یکی از کروموزوم‌ها به برازندگی مطلوب رسیده یا تا تولید تعداد محدودی از نسل‌ها ادامه می‌یابد. جزئیات و تغییرات این الگوریتم در تحقیقات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است[٤] .

در ادامه مراحل مختلف الگوریتم ژنتیک به اختصار شرح داده شده است.

۱- کدگذاری[۵]

این مرحله شاید مشکلترین مرحله حل مساله با الگوریتم ژنتیک باشد. الگوریتم ژنتیک به جای اینکه بر روی پارامترها یا متغیرهای مساله کار کند، با شکل کد شده آنها سروکار دارد. روش‌های کد کردن عبارتند از: کدینگ باینری[۶]، کدینگ جایگشتی[۷]، کدینگ مقدار[۸]، کدینگ درختی[۹].

۲- ارزیابی[۱۰]

این تابع هر رشته را با یک مقدار عددی ارزیابی می‌کند که کیفیت آن را مشخص می‌نماید. هر چه کیفیت رشته جواب بالاتر باشد مقدار برازندگی جواب بیشتر است و احتمال مشارکت برای نسل بعدی نیز افزایش خواهد یافت.

۳- ترکیب[۱۱]

مهمترین عملگر در الگوریتم ژنتیک، عملگر ترکیب است. ترکیب، فرآیندی است که در آن نسل قدیمی کروموزوم ها با یکدیگر مخلوط و ترکیب می‌شوند تا نسل تازه‌ای از کروموزوم‌ها بوجود بیاید. جفت‌هایی که در قسمت انتخاب، به عنوان والد در نظر گرفته می‌شوند، در این قسمت ژن‌هایشان را با هم مبادله می‌کنند و اعضای جدید را بوجود می‌آورند. ترکیب در الگوریتم ژنتیک باعث از بین رفتن پراکندگی یا تنوع ژنتیکی جمعیت می‌شود زیرا اجازه می‌دهد ژن‌های خوب یکدیگر را بیابند. انواع روش‌های ترکیب عبارتند از: جابجایی دودویی[۱۲]، جابجایی حقیقی[۱۳] ترکیب تک نقطه‌ای، ترکیب n نقطه‌ای، ترکیب یکنواخت.

٤- جهش[۱۴]

در الگوریتم ژنتیک بعد از اینکه یک عضو در جمعیت جدید بوجود آمد، هر ژن آن با احتمال جهش[۱۵]، جهش می‌یابد. در جهش ممکن

---

[۳] Genetic Algorithms
[٤] John Holland
[۵] Encoding
[۶] Binary Coding
[۷] Permutation Coding
[۸] Value Coding
[۹] Tree Coding
[۱۰] Evaluation
[۱۱] Crossover
[۱۲] Binary Crossover
[۱۳] Real Crossover
[۱٤] Mutation
[۱۵] Mutation probability

است ژنی از مجموعه ژن‌های جمعیت حذف شود یا ژنی که تا کنون در جمعیت وجود نداشته است به آن اضافه شود. جهش یک ژن به معنای تغییر آن ژن است و وابسته به نوع کدگذاری، روش‌های متفاوت جهش استفاده می شود.

چند روش پیاده‌سازی جهش عبارتند از: جهش باینری[۱۶]، جهش حقیقی[۱۷]، وارونه سازی بیت، تغییر ترتیب قرارگیری، وارون سازی، تغییر مقدار، تغییر ترتیب قرارگیری.

۵- انواع روش های انتخاب والدین

برای انتخاب یک جفت کروموزوم و ترکیب آنان و ایجاد جمعیت فرزندان از روش‌های زیر استفاده می شود:

انتخاب چرخ رولت، انتخاب تصادفی، انتخاب ترتیبی، انتخاب بولتزمن، انتخاب حالت پایدار، انتخاب رقابتی، نخبه گرایی، انتخاب قطع سر، جایگزینی نسل اصلاح شده.

۶- شرایط خاتمه الگوریتم ژنتیک

در صورت محقق شدن یکی از شرایط زیر الگوریتم خاتمه می‌یابد:

الف) بدست آوردن جواب نهایی مورد نظر بعد از چند تکرار و قابل قبول بودن جواب به ازای خطای خاص.

ب) اگر با پیشروی الگوریتم هیچ نوع بهبودی مشاهده نشد خواه الگوریتم جواب دلخواه را پیدا کرده باشد و یا اینکه در کمینه محلی گیر کرده باشد.

پ) اگر مقدار میانگین تابع هدف به ازای تعدادی تکرار به مقدار خاصی نرسیده باشد.

ت) الگوریتم به تعداد ثابتی از نسل‌ها رسیده باشد.

ث) بیشترین درجه برازش فرزندان ایجاد شود یا دیگر نتایج بهتری حاصل نشود.

ج) ترکیب‌های موارد بالا

۷- تابع هدف

هدف و خواسته ما از طرح مساله است. یعنی تابع هدف، شاخصی از نحوه‌ی عملکرد افراد در فضای مساله می باشد [۵].

در ادامه به تشریح چگونگی به کارگیری الگوریتم ژنتیک برای حل مساله جایابی تسهیلات بیمارستانی، با ارائه یک مثال، می‌پردازیم.

تشریح روش با مثال عددی

فرض کنید چهار پلی کلنیک A,B,C,D بایستی در پنج منطقه برابر قرار گیرند. در جداول ۱ تا ۴ تعداد بیمارانی که به هر یک از پلی کلنیک‌ها مراجعه می‌کنند، مشاوره بین پلی‌کلنیک‌ها، فاصله بین مناطقی که پلی‌کلنیک‌ها در آنها قرار می‌گیرند و فاصله مناطق تا ورودی بیمارستان داده شده است.

در جدول۱، پلی کلنیک B به این دلیل که به دو برابر مساحت یک منطقه برای استقرار نیاز دارد، به عنوان دو پلی‌کلنیک مجزا نشان داده شده است. تعداد بیماران در جدول یک نشان دهنده متغیر y در معادله (۱) است. در جدول۲، ستون‌های ۲ و ۳ همان پلی کلنیک (B) را نشان می دهد که چون تعداد مشاوره‌هایشان زیاد است باید مجاور هم قرار گیرند. جدول ۲ نیز ماتریس z را در تابع هدف نشان می دهد. جدول ۳ نشان دهنده ی متغیر x در معادله است و جدول ۴ ماتریس t در تابع هدف می باشد.

جدول ۱: میانگین تعداد بیمارانی که به هر پلی‌کلینیک مراجعه می‌کنند.

Polyclinic No (Name)	Number of Patients (y)
۱ (A)	۱۴۶۰۹
۲ (B)	۵۵۴۰۶
۳ (B)	
۴ (C)	۲۷۴۲۱
۵ (D)	۱۰۶۸۴

جدول ۲: تعداد مشاوره‌های بین پلی‌کلینیک‌ها

	Polyclinics sending consultations					
	No	۱	۲	۳	۴	۵
polyclinics accepting consultation	۱	۰	۷۵	۷۵	۱۶	۸۵
	۲	۱۴	۰	۵۰۰	۵۰	۴۱
	۳	۱۴	۵۰۰	۰	۵۰	۴۱
	۴	۴۰	۹	۹	۰	۶۳
	۵	۳۲	۳	۳	۴	۰

جدول ۳: فاصله مناطق تا ورودی بیمارستان

Area No	Distance to the entrance (x)
۱	۱۰
۲	۱۰
۳	۲۰
۴	۲۰
۵	۳۰

[۱۶] Binary Mutation

[۱۷] Real Mutation

جدول ۴: فاصله بین مناطق

	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۰	۵	۱۰	۱۰	۲۰
۲	۵	۰	۱۰	۱۰	۲۰
۳	۱۰	۱۰	۰	۵	۱۰
۴	۱۰	۱۰	۵	۰	۱۰
۵	۲۰	۲۰	۱۰	۱۰	۰

اولین مرحله از الگوریتم ایجاد جمعیت اولیه می باشد که به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. هر جواب با روش کدینگ جایگشتی به کروموزوم تبدیل می شود که اندازه هر کروموزوم برابر با تعداد مناطق و اعداد درون کروموزوم‌ها شماره‌ی پلی‌کلنیکی است که در منطقه نظیر مستقر می‌شود. به این ترتیب جمعیت اولیه‌ای از کروموزوم ها تولید می شود. یک جواب نمونه به صورت زیر است.

۱	۵	۳	۲	۴

با توجه به این جواب پلی‌کلنیک‌های ۴، ۲، ۳، ۵ و ۱ به ترتیب در مناطق ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ قرار می‌گیرند. در مرحله‌ی بعد جواب‌ها با استفاده از تابع هدف ارزیابی شده و با استفاده از یکی از روش‌های انتخاب والدین، ترکیب صورت گرفته و فرزندان ایجاد و ارزیابی می‌شوند. در ترکیب از روش قطع یک نقطه‌ای استفاده کرده‌ایم. سپس جهش صورت می‌گیرد و بلافاصله ارزیابی می‌شوند. در مرحله بعد با ادغام جمعیت اولیه، فرزندان و جهش یافتگان جمعیت اصلی ترکیب شده را ایجاد می‌کنیم. با ارزیابی این جمعیت و ارزیابی و مرتب کردن آن و با توجه به اینکه اندازه جمعیت اولیه را ۶۱ در نظر گرفتیم، با برش جمعیت ایجاد شده، جمعیت جدید تولید می‌شود. با تکرار این فرآیند (تعداد تکرار را ۱۰۰ در نظر گرفتیم) بهترین جواب تولید شده به عنوان جواب بهینه مساله بدست می‌آید. مراحل الگوریتم در نرم‌افزار متلب ۲۰۲۰ پیاده‌سازی شد و برای داده‌های فوق جواب

۵	۴	۱	۲	۳

به عنوان جواب بهینه مساله به دست آمد.

داده‌های مثال فوق برگرفته از مرجع [۱] است.

نتیجه‌گیری

مسائل بهینه‌سازی، مسائلی واقعی هستند که بارها و بارها در زندگی روزانه با آنها برخورد می‌کنیم. استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری در حل این مسائل، به دلیل پیچیدگی بعضی از آنها، بسیار مرسوم شده است. در این مقاله ضمن معرفی یکی از این مسائل واقعی و مهم، یعنی مساله چیدمان تسهیلات بیمارستانی در نواحی از پیش تعیین شده، استفاده از الگوریتم ژنتیک را برای حل آن پیشنهاد دادیم.

در تحقیقات آتی سعی در مقایسه جواب به دست آمده از الگوریتم ژنتیک برای این مساله، با جواب حاصل از سایر الگوریتم‌های فراابتکاری داریم.

منابع

[۱] V. Tongur, H. Mehmet and U. Erkan, "Solving a big-scaled hospital facility layout problem with meta-heuristics algorithms," *Engineering Science Technology*, pp. ۹۵۱-۹۵۹, ۲۰۲۰.

[۲] K. T.C and . B. M, " Assignment problems and the location of economic activities," *Econometrica*, pp. ۵۳-۷۶, ۱۹۵۷.

[۳] J. Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan press, ۱۹۷۵.

[٤] م. چاوشیان، الگوریتم ژنتیک گروهی مبتنی بر الگوریتم پرندگان، دومین کنفرانس بین‌المللی علوم و مهندسی، استانبول- ترکیه، ۱۳۹۴.

[۵] م. اسدبک, ا. اسدزاده و م. اسدزاده, الگوریتم ژنتیک, تهران: مؤسسه انتشاراتی اسدزاده, ۱۳۹۸.