

# زمان بندی و توالی عملیات استوار در واحدهای موازی غیرمرتبط با زمان های غیرقطعی مطالعه‌ی موردی: بیمارستان صحرائی

مجتبی نوری: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران،  
عمران محمدی\*: استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، e\_mohammadi@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

## چکیده

عدم قطعیت‌ها در جهان پیچیده‌ی امروزی جزء جدایی ناپذیر مسائل روزمره هستند. با در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها در مسائل واقعی، می‌توان به سطح قابل اعتمادتری از نتایج دست یافت. شرایط خاص حادثه خیز بودن کشورمان که سالیانه شاهد تعداد زیادی از این حوادث طبیعی و غیرطبیعی اعم از زلزله، سیل، تصادفات و تلفات انسانی هستیم، لزوم توجه خاص به ارائه‌ی خدمات درمانی اورژانسی به مصدومان و مجروحان در صحنه یا محل نزدیک به آن را در اولویت ویژه‌ای قرار می‌دهد. در این راستا ایجاد سامانه‌های بیمارستانی متحرک، نقش ارزنده‌ای در کاهش تلفات خواهند داشت. در این مقاله نگاهی نو به موضوع زمان بندی و برنامه‌ریزی توالی عملیات فعالیت‌های درمانی در بیمارستان‌های صحرائی با زمان‌های غیرقطعی شده است. مدل ارائه شده به تخصیص و تعیین توالی فعالیت‌های درمانی (کارها) در اتاق‌های عمل (ماشین‌ها) در یک بیمارستان صحرائی می‌پردازد. به منظور حل این مدل از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده استفاده شده است و عملکرد بهترین الگوریتم فراابتکاری، با یکی از روش‌های طراحی آزمایش‌ها تحت عنوان روش سطح پاسخ، تضمین شده است. نتایج، تغییرات قابل توجهی را پس از اعمال عدم قطعیت در مدل نشان می‌دهد. میزان تأثیر عدم قطعیت در مدل به نظر تصمیم‌گیرنده بستگی دارد و میزان اعمال آن، میزان تغییرات در برنامه را نسبت به حالت قطعی تعیین می‌کند.

واژه‌های کلیدی: زمان بندی، توالی عملیات، عدم قطعیت، بهینه‌سازی استوار، بیمارستان صحرائی

## Robust scheduling and sequencing in unrelated parallel units considering uncertain time Case Study of Field hospital

Mojtaba Nouri<sup>1</sup>, Emran Mohammadi<sup>2\*</sup>

### Abstract

**A**bstract: Uncertainties in today's complex world are an integral part of common issues. Given these uncertainties in real issues, we can achieve a more reliable level of results. The special circumstances of our country's emergencies, which witness many of these natural and abnormal events, such as earthquakes, floods, accidents and human casualties every year, require special attention to the provision of emergency medical services to injured people at the scene or near the site in priority. Specifically, developing mobile hospital systems will have a significant role in reducing mortality rates. In this article, a new look at the issue of therapeutic activities scheduling and sequencing in field hospitals has been uncertain. The proposed model for the assign and sequence therapeutic activities (jobs) in the operating rooms (machines) of a field hospital. In order to solve this model, Simulated Annealing algorithm has been used and the performance of this meta-heuristic algorithm is guaranteed by a methods of designing experiments, called the Response surface method. The results show significant changes after applying uncertainty in the model. The degree of uncertainty impact in the model depends on the decision maker, and its degree of application determines the degree of variation in the program relative to the certain state.

**Keywords:** *Scheduling, Sequencing, Uncertainty, Robust optimization, Field hospital.*

<sup>1</sup> -Master's degree in Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, mojtaba\_nouri@ind.iust.ac.ir

<sup>2</sup> -Assistant Professor, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology; Email: e\_mohammadi@iust.ac.ir

۹۷

شماره شانزدهم

پاییز و زمستان  
۱۳۹۸

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



زمان بندی و تعیین توالی، ابزارهای بسیار مهمی در افزایش بهره‌وری، استفاده‌ی بهینه از منابع، سودآوری خط تولید و حفظ موقعیت رقابتی در محیط‌های تولید با تغییرات سریع هستند. در واقع زمان بندی و تعیین توالی کارها دارای کاربرد گسترده‌ای هستند که از طراحی تعیین توالی فرایندها و جریان تولید بر روی ماشین‌آلات تولیدی گرفته تا مدل سازی صف در صنایع خدماتی را شامل می‌شوند. از طرفی می‌توان زمان بندی را نوعی تابع تصمیم‌گیری دانست که برنامه‌ی زمانی در آن تعیین می‌گردد، به عبارتی دیگر زمان بندی در اکثر سیستم‌های ساخت و تولید به منزله‌ی یک فرایند مهم تصمیم‌گیری عمل می‌کند. ماشین‌های موازی به منزله‌ی یکی از زیرمجموعه‌های اصلی در تکنیک زمان بندی، دارای نقش مهمی هستند و زمان بندی به‌طور پیوسته بر مبنای معیارهای عملکرد مختلف مورد نظر محققان بوده است [۱، ۲، ۳].

ماشین‌های موازی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: ماشین‌های موازی یکسان<sup>۱</sup>، با سرعت‌های متفاوت<sup>۲</sup> و غیرمرتبط<sup>۳</sup>. در مسائل مربوط به ماشین‌های موازی یکسان، ماشین‌ها دقیقاً یکسان‌اند، سرعت یکسانی در پردازش کارها دارند و هیچ تفاوتی بین آن‌ها وجود ندارد. ماشین‌های موازی با سرعت‌های متفاوت، ماشین‌های یکسانی هستند که سرعت‌های متفاوتی نسبت به هم دارند. ماشین‌های موازی غیرمرتبط، ماشین‌های یکسانی هستند که هر یک، برای پردازش هر کار، سرعت متفاوتی دارند و بین سرعت انجام کارها هیچ رابطه‌ای وجود ندارد [۱]. در این مقاله ماشین‌های موازی غیرمرتبط مورد بررسی قرار گرفته است.

در بین پژوهش‌های صورت گرفته از زمان بندی و تعیین توالی کارها بر روی ماشین‌های موازی غیرمرتبط، رودریگز و همکاران، به حداقل سازی مجموع وزنی زمان‌های خاتمه‌ی کارها در یک مدل ریاضی اقدام نمودند و از الگوریتم حریص تکرارشونده<sup>۴</sup> برای حل آن استفاده کردند [۴]. در مقاله‌ی دیگری رودریگز و همکاران از روش جستجوی انطباق تصادفی حریصانه<sup>۵</sup> به منظور کاهش مجموع وزنی زمان‌های خاتمه، استفاده نمودند [۵]. تران و همکاران مدل کمینه‌سازی زمان خاتمه را در حضور زمان‌های وابسته به توالی، با استفاده از روش شاخه و بررسی<sup>۶</sup> و جستجوی بزرگ محلی سازگار<sup>۷</sup> حل کردند [۶] روزالس و همکاران، از جستجوی متغیر محلی<sup>۸</sup> و الگوریتم چند-شروع<sup>۹</sup> به حل این مدل پرداختند [۷]. زچا و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با زمان‌های وابسته به توالی ارائه نمودند و با روش شاخه و کران و جستجوی انطباق تصادفی حریصانه به حل آن پرداختند [۸].

لین و سپهه، یک مدل ریاضی با هدف حداقل نمودن مجموع وزنی زمان‌های تأخیر با محدودیت‌های زمان آغاز کارها و زمان آماده‌سازی وابسته به توالی ارائه دادند و از ترکیب الگوریتم‌های جستجوی ممنوعه<sup>۱۰</sup> و بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها<sup>۱۱</sup> برای حل آن بهره بردند [۹]. اما لیاثو و همکاران، حداقل سازی بزرگ‌ترین زمان خاتمه در حضور محدودیت‌های زمان آغاز کارها و زمان آماده‌سازی وابسته به توالی را با استفاده از الگوریتم‌های ترکیبی بهینه‌سازی

کلونی مورچه‌ها، جستجوی ممنوعه و تبرید شبیه‌سازی شده<sup>۱۲</sup> مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. بیتار و همکاران، یک مدل ریاضی با هدف کمینه‌سازی مجموع وزنی زمان‌های خاتمه با در نظر گرفتن محدودیت منابع کمکی<sup>۱۳</sup> و محدودیت‌های واجد شرایط بودن<sup>۱۴</sup> ارائه دادند که با الگوریتم ممتیک<sup>۱۵</sup> حل شد [۱۱].

با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای مسائل زمان بندی، به دسته بندی دیگری از پژوهش‌های صورت گرفته می‌رسیم. آلکان و باسگیل، زمان پردازش کارها را عدد فازی مثلثی در نظر گرفتند و با الگوریتم ژنتیک مدل کمینه‌سازی حداکثر زمان خاتمه را حل نمودند [۱۲]، اما بالین، علاوه بر الگوریتم ژنتیک از شبیه‌سازی نیز استفاده نمود [۱۳]. لیاثو و سو، از ترکیب الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها، بهینه‌سازی ازدحام ذرات<sup>۱۶</sup> و شبیه‌سازی تبرید شده در محیط فازی استفاده نمودند [۱۴]. ترابی و همکاران، یک مدل ریاضی دو هدفه با پارامترهای فازی مثلثی ارائه دادند و از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام چندهدفه به منظور حل آن استفاده کردند [۱۵]. نادری پنی و همکاران، نیز یک مدل ریاضی دو هدفه با اعداد فازی دوزنقه‌ای ارائه دادند [۱۶].

در هیچ‌کدام از مقالات موجود در مرور ادبیات، عدم قطعیت مسائل زمان بندی به صورت بهینه‌سازی استوار در نظر گرفته نشده است. در این مقاله به علت بالا بودن سطح عدم قطعیت در بیمارستان‌های صحرایی، برای اولین بار نسبت به بهینه‌سازی استوار اقدام شده است. گفتنی است که در مورد بیمارستان‌های صحرایی کارهای محدودی انجام شده است [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲]. عمده کارهای صورت گرفته در مورد بیمارستان‌های صحرایی، به توضیحات و راهکارهای کیفی در مورد مدیریت و برنامه‌ریزی بیمارستان‌های صحرایی بسنده کرده‌اند [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲] و در مورد برنامه‌ریزی فعالیت‌های درمانی در اتاق‌های عمل این نوع از بیمارستان‌ها، پژوهشی انجام نشده است.

ادبیات مورد استفاده به منظور زمان بندی و توالی عملیات در حوزه‌های تولیدی، متفاوت با ادبیات واحدهای خدماتی نظیر مراکز بیمارستانی است. استفاده از لفظ «ماشین‌های موازی» در مرور ادبیات مبحث زمان بندی و توالی عملیات بسیار پرکاربرد است. علی‌رغم مقالات بسیار زیادی که در حوزه‌های تولیدی، منتشر شده است، تاکنون از زمان بندی و توالی عملیات در حوزه‌ی پزشکی مرتبط با مدیریت بیمارستان صحرایی استفاده نشده است. از این رو، اتاق‌های عمل در بیمارستان‌های صحرایی به منزله‌ی ماشین‌های موازی در نظر گرفته شده است و همچنین فعالیت‌های درمانی به منزله‌ی کارها، لحاظ شده است.

در این مقاله برنامه‌ریزی مسائل مربوط به اتاق‌های عمل موازی، با توجه به تابع هدف کمینه‌سازی حداکثر زمان خاتمه در حضور زمان آماده‌سازی وابسته به توالی عمل‌ها ارائه می‌شود. در مدل ریاضی ارائه شده، زمان پردازش فعالیت‌های درمانی با عدم قطعیت مواجه است و دارای عدم قطعیت از نوع استوار<sup>۱۷</sup> است. با استفاده از مدل ارائه شده توسط برتسیماس، عدم قطعیت زمان

پردازش در مدل لحاظ می‌شود. با الگوریتم فرا ابتکاری تبرید شبیه‌سازی شده، مدل پیشنهادی حل می‌گردد. به منظور عملکرد بهتر الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده، یکی از روش‌های طراحی آزمایش‌ها تحت عنوان روش سطح پاسخ‌گویی به کار گرفته شده است.

## مدل‌سازی ریاضی

در این بخش، مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری می‌شوند. مدل مسئله  $C_{\max} | s_{ijk} | R_m$  ارائه می‌گردد و زمان پردازش کارها بر روی ماشین‌ها به طور غیرقطعی لحاظ می‌شود و مدل بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم بر آن اعمال می‌شود.

### مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها

در مسائل زمان‌بندی و توالی، مجموعه  $N$  تایی از کارها (فعالیت‌های درمانی) باید بر روی یک مجموعه  $M$  تایی از ماشین‌ها (اتاق‌های عمل)، با هدف حداقل‌سازی حداکثر زمان خاتمه برنامه‌ریزی شود. هر فعالیت درمانی دارای زمان پردازش  $p_{ij}$  مربوط به زمان مورد نیاز برای پردازش فعالیت درمانی  $i$  در اتاق عمل  $j$  است. اتاق‌ها در این سیستم ارتباطی ندارند، به این معنی که فعالیت درمانی  $i$  می‌تواند یک زمان پردازش بیشتر از فعالیت درمانی  $k$  در یک اتاق عمل داشته باشد، اما معکوس آن می‌تواند در یک اتاق عمل دیگر درست باشد. در این مسئله زمان آماده‌سازی وابسته به توالی با  $s_{ijk}$  تعریف می‌شود که زمان آماده‌سازی بین تکمیل فعالیت درمان  $i$  و شروع فعالیت درمانی  $k$  است به شرط آنکه فعالیت درمانی  $i$  پیش از فعالیت درمانی  $k$  در فعالیت درمانی  $i$  باشد. فعالیت درمانی که در ابتدای لیست برنامه‌ریزی هر اتاق عمل قرار بگیرد، زمان آماده‌سازی ندارد. هدف از این مسئله تعیین نحوه‌ی اختصاص دادن فعالیت درمانی به اتاق عمل است و سپس این فعالیت‌ها را در هر اتاق عمل به منظور به حداقل رساندن حداکثر زمان خاتمه‌ی عمل‌ها در هر اتاق، مرتب می‌کند [۲۴].

$C_{\max}$  حداکثر زمان خاتمه فعالیت‌های درمانی

$C_j$  زمان خاتمه یا تکمیل فعالیت درمانی  $j$

$M$  مجموعه اتاق‌های عمل

$N$  مجموعه فعالیت‌های درمانی که باید برنامه‌ریزی شوند.

$N_o$  مجموعه فعالیت‌های درمانی که باید برنامه‌ریزی شوند به علاوه یک گره ساختگی (که با صفر اندیس می‌گیرد).

$V$  یک عدد بزرگ و مثبت.

متغیر باینری است، مقدار یک می‌پذیرد اگر فعالیت

$x_{ijk}$  درمانی  $i$  پس از فعالیت درمانی  $k$  انجام شود و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

### مدل

در ادامه مدل‌سازی ریاضی مسئله‌ی زمان‌بندی ارائه شده است. دو متغیر تصمیم  $C_j$  و  $x_{ijk}$  تصمیمات مربوط به یک فعالیت درمانی را نشان می‌دهند. این متغیرهای تصمیم، اتاقی که یک

عملیات پزشکی در آن انجام می‌شود را تعیین می‌کنند، توالی انجام عملیات بر یک اتاق عمل و زمان خاتمه هر فعالیت درمانی را مشخص می‌کنند.

رابطه‌ی ۱:  $\text{minimize } C_{\max}$

$s.t.$

رابطه‌ی ۲:  $\sum_{j \in N_o, j \neq k} \sum_{i \in M} x_{ijk} = 1 \quad k \in N$

رابطه‌ی ۳:  $\sum_{k \in N_o, k \neq j} \sum_{i \in M} x_{ijk} = 1 \quad j \in N$

رابطه‌ی ۴:  $\sum_{k \in N_o, k \neq j} x_{ijk} = \sum_{h \in N_o, h \neq j} x_{ihk} \quad j \in N, i \in M$

رابطه‌ی ۵:  $C_k - C_j + V(1 - x_{ijk}) \geq s_{ijk} + p_{ik}$

$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$

رابطه‌ی ۶:  $\sum_{j \in N} x_{i0j} \leq 1 \quad i \in M$

رابطه‌ی ۷:  $C_0 = 0$

رابطه‌ی ۸:  $\sum_{j \in N_o, j \neq k} \sum_{i \in M} (s_{ijk} + p_{ik}) x_{ijk} \leq C_{\max} \quad i \in M$

رابطه‌ی ۹:  $x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$

محدودیت ۲ و همین‌طور محدودیت ۳، تضمین می‌کنند که هر فعالیت درمانی یک بار و دقیقاً در یک اتاق انجام شوند. محدودیت ۴ بیان می‌کند که یک عمل فقط در یک توالی می‌تواند حضور داشته باشد. محدودیت ۵ زمان تکمیل هر فعالیت درمانی را تعیین می‌کند به طوری که اگر فعالیت درمانی  $i$  پیش از فعالیت درمانی  $k$  در اتاق عمل  $i$  انجام شود، زودترین زمانی که فعالیت درمانی  $k$  می‌تواند پایان یابد باید بزرگ‌تر از مجموع زمان خاتمه‌ی فعالیت‌های درمانی  $i$  و زمان آماده‌سازی بین فعالیت  $i$  و فعالیت  $k$  و زمان انجام فعالیت  $k$  باشد. اگر فعالیت  $k$  به طور مستقیم بعد از فعالیت  $i$  در اتاق عمل  $i$  برنامه‌ریزی شده باشد،  $1 - x_{ijk} = 0$  و محدودیت به  $C_k - C_j \geq s_{ijk} + p_{ik}$  تبدیل می‌شود. اگر فعالیت  $k$  به طور مستقیم بعد از فعالیت  $i$  در یک اتاق عمل برنامه‌ریزی نشده باشد،  $1 - x_{ijk} = 0$  و علامت  $V$  بزرگ باعث می‌شود که محدودیت در نظر گرفته نشود. این محدودیت اطمینان حاصل خواهد کرد که یک توالی معتبر از فعالیت‌های درمانی در هر اتاق برنامه‌ریزی شود و هیچ یک از زمان‌های پردازش فعالیت‌های درمانی با یکدیگر همپوشانی نداشته باشند. محدودیت ۶ تضمین می‌کند که تنها یک فعالیت می‌تواند برای اولین بار در هر اتاق عمل برنامه‌ریزی شود. محدودیت ۷ زمان تکمیل فعالیت فرضی صفر را تعیین می‌کند، یک فعالیت کمکی که برای اجرای شروع برنامه در نظر گرفته می‌شود و مدت زمان آن صفر است. محدودیت ۸ برای هر یک از اتاق‌ها، حداکثر زمان خاتمه را محاسبه می‌کند و محدودیت

۹ متغیرهای تصمیم را به صورت باینری (صفر و یک) تعریف می‌کند.

گفتنی است که محدودیت ۸ به محاسبه  $C_{max}$  تخصیص یافته است، که هدف مقاله حداقل نمودن آن است. حداقل سازی  $C_{max}$  بیشتر برای بیمارستان‌های صحرایی کاربرد دارد که معمولاً فعالیت‌هایشان به صورت دوره‌ای و پروژه‌ای است. در خصوص بیمارستان‌های غیرصحرایی، که فعالیت‌هایشان به صورت مستمر ادامه دارد، توابع هدف خاتمه فعالیت‌ها ( $C_{max}$ ) کارایی چندانی ندارد و از توابع هدف دیگری استفاده می‌گردد.

همچنین در محدودیت‌های ۵ تا ۸، با توجه به کمبود داده‌های مربوط به بیمارستان‌های صحرایی، عدم قطعیت پارامترهایی مانند زمان انجام فعالیت‌های درمانی، به صورت استوار در نظر گرفته شده است. اگرچه ممکن است در بیمارستان‌های غیرصحرایی نیز عدم قطعیت مطرح گردد لیکن، می‌توان با توجه به داده‌های گذشته، نسبت به استخراج تابع چگالی و یا تابع درجه‌ی عضویت اقدام نمود که این امر موجب استفاده از عدم قطعیت به صورت احتمالی و یا فازی می‌گردد. از این رو، بهینه‌سازی استوار که بیشترین عدم قطعیت را در مدل‌سازی‌ها لحاظ می‌کند برای بیمارستان‌های صحرایی مورد استفاده قرار گرفت.

#### عدم قطعیت در مدل

در این مقاله به طور گسترده‌ای بر ابزارهای بهینه‌سازی قوی توسعه یافته توسط برتسیماس و سیم [۲۵] برای مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی تکیه شده است. با توجه به عدم اطمینان در داده‌ها، مسئله‌ی زیر در نظر گرفته شده است:

$$\min c'x : Ax \leq b, l \leq x \leq u,$$

فرض می‌شود که عدم قطعیت در ماتریس A وجود دارد:

$$A = \left\{ A \in R^{m \times n} \mid a_{ij} \in [\bar{a}_{ij} - \hat{a}_{ij}, \bar{a}_{ij} + \hat{a}_{ij}] \forall i, j \right\}.$$

مسئله‌ی استوار به صورت مقابل فرموله می‌شود:

$$\min c'x \quad (*)$$

s.t.

$$Ax \leq b, \quad \forall A \in A$$

$$l \leq x \leq u$$

قضیه‌ی ۱ (برتسیماس و سیم): مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی غیرقطعی دارای همتای خطی و استوار زیر است:

$$\min c'x \quad (**)$$

s.t.

$$\sum_j \bar{a}_{ij} x_j + z_i \bar{A}_i + \sum_{j \in (i,j) \in J} p_{ij} \leq b_i, \quad \forall i$$

$$z_i + p_{ij} \geq \hat{a}_{ij} y_j, \quad \forall (i, j) \in J$$

$$-y_j \leq x_j \leq y_j$$

$$l_j \leq x_j \leq u_j$$

$$p_{ij} \geq 0, z_i \geq 0, y_j \geq 0.$$

$\Gamma$ ، پارامتری است که درجه‌ی محافظه‌کاری را کنترل می‌کند. بنابراین همتای استوار از همان کلاس به‌منزله‌ی مسئله‌ی اسمی است، یعنی یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی است. این یک ویژگی بسیار جذاب از این رویکرد است، زیرا مسائل برنامه‌ریزی خطی به آسانی با بسته‌های بهینه‌سازی استاندارد حل می‌شوند. علاوه بر این، اگر در مسئله‌ی اصلی (\*)، برخی از متغیرها محدود به اعداد صحیح باشند، همتای استوار (\*\*\*) خواص مشابه را حفظ می‌کند، یعنی همتای استوار یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح است [۲۵].

همان‌طور که گفته شد زمان پردازش از نوع غیرقطعی و استوار در نظر گرفته شده است و به صورت  $\bar{p}_{ik} = [\bar{p}_{ik} - \hat{p}_{ik}, \bar{p}_{ik} + \hat{p}_{ik}]$  تعریف می‌شود. بر این اساس، متغیر تصمیم دیگری تحت عنوان  $q_{ik}$  تعریف می‌شود تا عدم قطعیت بر اساس مقدار آن در مدل لحاظ گردد. پارامتر  $p_{ik}$  در محدودیت‌های ۵ و ۸ وجود دارد، مدل برتسیماس و سیم بر روی این محدودیت‌ها تأثیر خواهد گذاشت. در محدودیت ۵ پارامتر  $p_{ik}$  در هیچ متغیری ضرب نشده است به همین دلیل، نمی‌توان از مدل برتسیماس و سیم برای رفع عدم قطعیت آن استفاده کرد، از این روی از یک متغیر کمکی موقت تحت عنوان  $y_{ik}$  استفاده می‌شود. محدودیت ۵ به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$C_k - C_j + V(1 - x_{ijk}) - \bar{p}_{ik} y_{ik} \geq s_{ijk} \quad \text{رابطه‌ی ۱۰:}$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

از طرفی، مدل برتسیماس و سیم برای مدل‌هایی با محدودیت‌های  $\leq$  معرفی شده است، ولیکن محدودیت ۱۰ از این ویژگی برخوردار نیست، به‌منظور ایجاد این ویژگی، محدودیت را در ۱- ضرب می‌کنیم:

رابطه‌ی ۱۱:

$$-C_k + C_j - V(1 - x_{ijk}) + \bar{p}_{ik} y_{ik} \leq -s_{ijk}$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

با ایجاد تغییرات فوق، می‌توان از مدل برتسیماس و سیم استفاده کرد:

رابطه‌ی ۱۲:

$$-C_k + C_j - V(1 - x_{ijk}) + \bar{p}_{ik} y_{ik} + z'_{ijk} \Gamma'_{ijk} + q_{ik} \leq -s_{ijk}$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

$$z'_{ijk} + q_{ijk} \geq \hat{p}_{ik} y_{ik} \quad \text{رابطه‌ی ۱۳:}$$

$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

بعد از تبدیل محدودیت ۵ که با استفاده از متغیر کمکی موقت  $y_{ik}$  صورت پذیرفت، حال با جاگذاری  $y_{ik} = 1$ ، این متغیر را از مدل حذف می‌کنیم و دوباره در مقدار ۱- ضرب می‌کنیم:

رابطه ی ۱۴:

$$C_k - C_j + V(1 - x_{ijk}) - \bar{p}_{ik} - z'_{ijk} \Gamma'_{ijk} - q_{ik} \geq s_{ijk}$$
$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

رابطه ی ۱۵:

$$z'_{ijk} + q_{ijk} \geq \hat{p}_{ik}$$
$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

محدودیت های ۱۴ و ۱۵ جایگزین محدودیت ۵ می گردد.

اما در مورد محدودیت ۸، به دلیل حضور متغیر تصمیم  $x_{ijk}$  بدون هیچ واسطه ای از مدل برتسیماس و سیم استفاده می شود و خواهیم داشت:

رابطه ی ۱۶:

$$\sum_{j \in N_o, j \neq k} \sum_{k \in N} s_{ijk} + \sum_{j \in N_o, j \neq k} \sum_{k \in N} \bar{p}_{ik} x_{ijk} + z''_i \Gamma''_i + \sum_{k \in N} q_{ik} \leq C_{\max}$$
$$i \in M$$

رابطه ی ۱۷:

$$z''_i + q_{ik} \geq \hat{p}_{ik} \left( \sum_{j \in N_o, j \neq k} x_{ijk} \right)$$
$$k \in N, i \in M$$

محدودیت های ۱۶ و ۱۷ نیز جایگزین محدودیت ۸ می شوند. علاوه بر این محدودیت ۱۸، متغیرهای تصمیم جدید را تعریف می کند.

رابطه ی ۱۸:

$$q_{ik} \geq 0, z'_{ijk} \geq 0, z''_{ijk} \geq 0$$
$$j \in N_o, k \in N, j \neq k, i \in M$$

## رویکرد حل مسئله

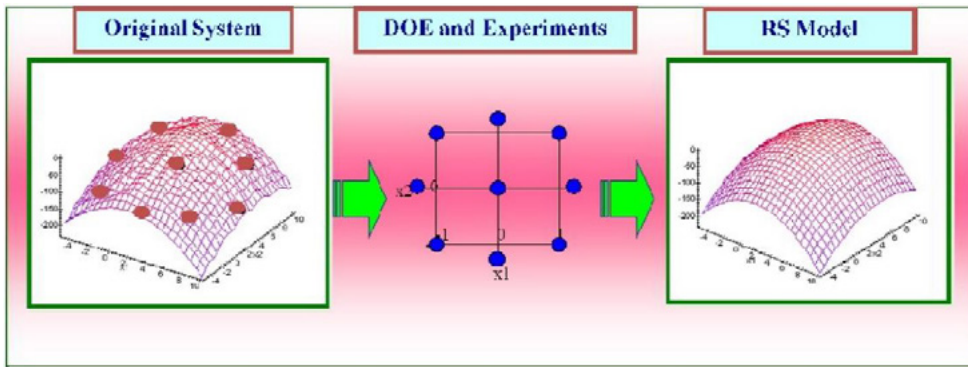
برنامه ریزی ماشین های غیرمرتبط با زمان های آماده سازی وابسته به توالی که به دنبال حداقل سازی حداکثر زمان خاتمه ی ماشین ها است (یعنی  $\min |S_{ijk}| C_{\max}$ ) برای دو ماشین، NP-hard است [۷]. بنابراین برای بیش از دو ماشین نیز NP-hard خواهد بود. همانطور که قبلاً به آن اشاره شد، در اینجا ماشین های موازی، اتاق های عمل موازی هستند. از طرفی، عدم قطعیت به این پیچیدگی افزوده است. به منظور حل این مدل، از الگوریتم فرا ابتکاری تبرید شبیه سازی شده استفاده می شود. به طور کل عملکرد یک الگوریتم فرا ابتکاری تا حدود زیادی به تعیین پارامترهای آن الگوریتم، بستگی دارد اما ارائه ی مقادیر و سطوح عمومی برای پارامترهای یک الگوریتم فرا ابتکاری امکان پذیر نیست و باید برای هر مسئله به طور جداگانه محاسبه گردد [۲۶]. از این رو از روش طراحی آزمایشات سطوح پاسخ برای تعیین پارامترهای الگوریتم تبرید شبیه سازی شده استفاده می شود. در ادامه به دلیل تأثیرگذاری مقدار پارامتر  $\Gamma$  در تعیین پاسخ بهینه ی مدل، احتمال نقض محدودیت هایی که با عدم قطعیت روبه رو هستند، مورد بررسی قرار می گیرد تا علاوه بر تعیین پارامترهای الگوریتم، مقدار مناسب  $\Gamma$  نیز مشخص شود.

## الگوریتم تبرید شبیه سازی شده

الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، یک الگوریتم بهینه سازی فرا ابتکاری ساده و اثربخش در حل مسائل بهینه سازی است. منشأ الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، کارهای کریک پاتریک و کرنی و همکارانشان در سال های ۱۹۸۳ است. آن ها برای حل مسائل پیچیده ی بهینه سازی روشی مبتنی بر تکنیک تبرید تدریجی پیشنهاد نمودند. الگوریتم تبرید شبیه سازی شده برای حل یک مسئله ی بهینه سازی، ابتدا از یک جواب اولیه شروع می کند و سپس در یک حلقه ی تکرار به جواب های همسایه حرکت می کند. اگر جواب همسایه بهتر از جواب فعلی باشد، الگوریتم آن را به عنوان جواب فعلی قرار می دهد (به آن حرکت می کند)، در غیر این صورت، الگوریتم آن جواب را با احتمال  $e^{-\Delta E/T}$  به عنوان جواب فعلی می پذیرد. در این رابطه  $\Delta E$  تفاوت بین تابع هدف جواب فعلی و جواب همسایه است و  $T$  یک پارامتر به نام دما است. در هر دما چندین تکرار اجرا می شود و سپس دما به آرامی کاهش داده می شود. در گام های اولیه دما خیلی بالا قرار داده می شود تا احتمال بیشتری برای پذیرش جواب های بدتر وجود داشته باشد. با کاهش تدریجی دما، در گام های پایانی احتمال کمتری برای پذیرش جواب های بدتر وجود خواهد داشت و بنابراین الگوریتم به سمت یک جواب خوب همگرا می شود. در این الگوریتم، جواب های مسئله معادل اتم های جسمی است که می خواهیم تبرید کنیم و تابع هدف کمینه کردن میزان بی نظمی و تنش بین مولکول ها است. از این رو برای رسیدن به این هدف، باید دما را کاهش داد تا میزان تنش کاهش یابد. دما در هر مرحله ی این الگوریتم، آستانه ی مجاز بی نظمی را نشان می دهد. یکی دیگر از نکات اساسی در SA، استراتژی جستجوی همسایگی است. این امر می تواند با توجه به ماهیت مسئله، بسیار پیچیده باشد. چگونگی حرکت از نقطه ای به نقطه ی دیگر بستگی به ساختار عملگرهای طراحی شده دارد. دستیابی به نقاط کشف نشده فضای جواب و همچنین جستجوی دقیق همسایگی نقاط، منوط به طراحی عملگرهای کارا و مؤثر است. این کار در بسیاری از مسائل پیچیده ی بهینه سازی با متغیرهای تصمیم متنوع و محدودیت های متعدد، امری دشوار است، تا آنجایی که ممکن است بسیاری از رویکردهای فرا ابتکاری در عمل کارایی خود را از دست بدهند [۲۷].

### روش طراحی سطح پاسخ<sup>۱۸</sup>

روش طراحی آزمایش یک ابزار قوی برای افزایش کیفیت محصول و رفع علل ایجاد زیان های کیفی به ویژه در مراحل قبل از تولید محصول یا ارائه ی خدمت است [۲۸]. روش های طراحی آزمایش مختلفی وجود دارد که هر یک دارای محاسن و معایبی است. یکی از مسائلی که می توان از روش طراحی آزمایش ها استفاده کرد، مسئله ی تنظیم پارامترهای اولیه ی الگوریتم های فرا ابتکاری است. الگوریتم های فرا ابتکاری از جمله روش های بهینه سازی هستند که اکثراً از طبیعت الهام گرفته شده اند و با توجه به نیاز مسئله می توانند بسیار پر کاربرد و مؤثر باشند [۲۹]. روش طراحی سطوح پاسخ از تکنیک های ریاضی و آماری است که برای مدل کردن و آنالیز مسائل، مفید خواهد بود. این



تصویر ۱: نحوه‌ی تخمین تابع توسط روش سطوح پاسخ [۳۱]

انجام داده و در صورتی که اختلاف معنی‌داری بین دو جواب داشت از مدل‌های مرتبه بالاتر یعنی second-order model استفاده کنیم [۳۲].  
رابطه‌ی ۲۲:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار Design Expert، آزمایشات سطوح پاسخ ایجاد می‌شود. برای ایجاد مدل مرتبه دوم توصیه می‌شود از طراحی ترکیبی مرکزی<sup>۱۹</sup> استفاده شود که می‌تواند مفید باشد [۳۰].

نیازمندی‌های این مدل عبارتند از  $2^k$  نقطه‌ی فاکتوری یا نقطه‌ی مکعبی،  $2k$  نقطه‌ی محوری، مشخص کردن مسافت بین نقطه‌ی محوری تا نقطه‌ی مرکزی یا مقدار  $\alpha$  است. برای محاسبه مقدار  $\alpha$  است. برای محاسبه‌ی مقدار  $\alpha$  از معادله  $\alpha = \sqrt{k}$  استفاده می‌کنیم که در اینجا  $k$  برابر با تعداد فاکتورها است. نکته‌ای که باید به آن دقت کنیم عدم استفاده از بلوکه‌بندی است، زیرا زمانی از بلوکه‌بندی استفاده می‌کنیم که آزمایشات تحت شرایط مختلف انجام شده باشند که در این مورد صدق نمی‌کند. پس از تنظیم پارامترها در روش سطوح پاسخ، لازم است تا پارامترها از مقیاس واقعی به مقیاس استاندارد تبدیل شوند. جدول ۱ برای تبدیل مقیاس واقعی به مقیاس استاندارد هر یک از پارامترها به کار برده می‌شود [۳۳]. در این جدول  $X_{\min}$  حد پایین بازه و  $X_{\max}$  حد بالای بازه پارامتر مورد نظر است.

جدول ۱: نحوه‌ی تبدیل مقیاس واقعی به مقیاس استاندارد

مقدار واقعی فاکتور	مقدار به مقیاس شده فاکتور
$X_{\min}$	$-\alpha$
$((\alpha - 1)X_{\max} + (\alpha + 1)X_{\min}) / 2\alpha$	$-1$
$(X_{\max} + X_{\min}) / 2$	$0$
$((\alpha - 1)X_{\min} + (\alpha + 1)X_{\max}) / 2\alpha$	$+1$
$X_{\max}$	$+\alpha$

موضوع در شرایطی است که پاسخ مورد نظر ما از چندین متغیر تأثیر می‌پذیرد و هدف ما بهینه‌سازی این پاسخ‌ها است. هدف روش سطوح پاسخ یافتن ارتباط بین متغیرها و پاسخ‌های آن‌ها است [۳۰].

در تصویر ۱ مثالی را ملاحظه می‌کنید که از دو متغیر در سطوح مختلف و یک پاسخ تشکیل شده است و معادله‌ی ۱۹ پاسخ‌های خود سیستم را نشان می‌دهد. حال، معادله‌ای را تخمین می‌زنیم که انتظار داریم پاسخ آن بدون در نظر گرفتن خطر و نویز ( $\varepsilon$ ) معادله‌ی ۲۰ را حاصل نماید.

رابطه‌ی ۱۹:  $y = f(x_1, x_2) + \varepsilon$

رابطه‌ی ۲۰:  $E(y) = f(x_1, x_2)$

برای تخمین ابتدا از چند جمله‌ای‌های کم‌مرتبه یعنی first-order model استفاده می‌کنیم. در معادله‌ی ۲۱،  $k$  برابر تعداد متغیرهای مسئله است و ما به دنبال ضریب‌های این متغیرها هستیم.

رابطه‌ی ۲۱:  $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$

ضرایب  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  به ترتیب نمایانگر مقدار ثابت، ضریب خطی پارامتر اول، ضریب خطی پارامتر دوم، ... و ضریب خطی پارامتر  $k$  ام است. این ضرایب از آنالیز رگرسیون به دست آمده‌اند و در صورتی که مثبت باشند، نشان‌دهنده‌ی اثر هم‌افزا و اگر منفی باشد، نشان‌دهنده‌ی اثر منفی آن مؤلفه است. بهتر است برای پاسخ‌های این معادله و پاسخ‌های سیستم تست واریانس

از رابطه‌ی  $RPD = \frac{|Z - Z_{opt}|}{Z_{opt}} \times 100$  به منظور محاسبه‌ی فاکتور استفاده می‌گردد که در آن  $Z$  مقدار حاصل از هر بار اجرای مدل با مقادیر پارامترهای طراحی شده در هر آزمایش است.  $Z_{opt}$  بهترین مقدار بین نتایج آزمایش‌ها است. با افزودن مقادیر فاکتور  $RSM$  به نرم‌افزار، مقادیر مناسب برای پارامترهای الگوریتم فرا ابتکاری به دست می‌آید.

## مطالعه‌ی موردی

هر ساله حوادث گوناگونی مثل زلزله، سیل، سونامی و غیره سبب بروز بحران‌های فراگیر در جهان می‌شوند. از طرفی سایه‌ی سنگین جنگ روز به روز بیشتر بر سر جوامع به‌ویژه در منطقه‌ی خاورمیانه سنگینی می‌کند. با بروز هر یک از بحران‌های فوق، آسیب‌های جسمی، روحی و روانی متعددی بر جمعیت منطقه وارد می‌شود که سبب هجوم جمعیت آسیب‌دیده به مراکز امدادی می‌گردد. شرایط خاص حادثه‌خیز بودن کشورمان که سالیانه شاهد تعداد زیادی حوادث طبیعی و غیرطبیعی اعم از زلزله، سیل، تصادفات و تلفات انسانی این حوادث هستیم، لزوم توجه خاص به ارائه‌ی خدمات درمانی اورژانسی به مصدومان و مجروحان جسمی حاد در صحنه یا محل نزدیک به آن را در اولویت ویژه‌ای قرار می‌دهد که در این راستا ایجاد سامانه‌های بیمارستانی متحرک نقش ارزنده‌ای در کاهش تلفات خواهند داشت [۳۱].

برای نمونه، زمین‌لرزه‌ی شدیدی ساعت ۲۱:۴۸ شامگاه یکشنبه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ با قدرت ۷/۳ درجه در مقیاس درونی زمین (ریشتر) در ژرفای ۳۳/۹ کیلومتری زمین استان‌های کرمانشاه، ایلام و کردستان و بخش‌های گسترده‌ای از غرب و شمال غرب کشور را لرزاند. این زمین‌لرزه که کانون آن جنوب حلبچه‌ی عراق نزدیک مرزهای استان کرمانشاه گزارش شده، زیان‌ها و آسیب‌های زیادی در استان‌های کرمانشاه و ایلام به بار آورده است. به گزارش ایرنا، طبق آخرین خبرهای منتشر شده، تعداد کشته‌های زلزله در کرمانشاه به بیش از ۴۳۲ نفر رسیده و آمار زخمی‌ها نیز به مرز ۹۳۹۷ نفر رسیده است [۳۴].

بر اساس مرور کیفی مقالات، بیمارستان‌های صحرائی در رابطه با بلایا و سوانح یا موارد اورژانس (جنگ، زلزله یا سیل) بسته به شرایط حاکم و در ارتباط با نیازها از واحدهای مراقبتی جامعی تشکیل شده است. جمعیتی که به وسیله‌ی این بیمارستان‌ها درمان می‌شود محدود به کسانی است که در مناطق آسیب‌دیده ساکن بوده‌اند. بیمارستان‌های صحرائی نمی‌توانند به تأسیسات بهداشتی دائمی تبدیل شوند زیرا هدف از استقرار آن‌ها رویارویی با شرایط اورژانس است و نه روبه‌رو شدن با خطرها و امراض روزانه که درگیر جمعیتی است. این بیمارستان‌ها با حفظ روابط داخلی و خارجی نمی‌توانند از تمام عوامل تعیین‌کننده، همچون تعداد تخت، مدت بستری و غیره در بیمارستان‌های عادی با نظام‌های مختلف پیروی کنند. بیمارستان صحرائی به‌طور معمول باید دارای واحدهای امدادی، درمانی و تشخیصی و نیروهای درمانی متخصص باشند. پشتیبانی پزشکی، آماده‌سازی مجروحان و

مصدومان برای تخلیه، انتقال و اعزام سریع مجروحان، جراحی اضطراری در منطقه‌ی عملیات و اعمال مراقبت‌های ویژه پیش و پس از عمل جراحی از نقش‌های این بیمارستان‌ها در مواقع بحران‌هاست. برای کاهش آسیب‌های ناشی از بحران‌های طبیعی یا بحران‌های انسان ساخت باید آمادگی لازم ایجاد شود. برای آمادگی در مقابل این بحران‌ها باید سه جزء اساسی نیروی انسانی آموزش دیده و کارآمد، دارو و تجهیزات و سیستم پشتیبانی، زیرساخت‌ها و محل امداد رسانی مورد توجه باشد [۳۱].

در این مقاله به برنامه‌ریزی عمل‌های جراحی، پانسمان‌ها و موارد ضروری مراقبت‌های پزشکی در بیمارستان‌های صحرائی پرداخته می‌شود. واضح است که از یک طرف، به دلیل بحرانی بودن شرایط، که خود به صورت غیرقطعی و از پیش تعیین نشده به وقوع می‌پیوندد، برخی از پارامترها به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شوند مانند این که بحران اتفاق افتاده چه نوع حوادث جانی را رقم زده است و از طرف دیگر، مدت زمان درمانی هر یک از حوادث به شدت تحت تأثیر امکانات، تجهیزات و تیم پزشکی متخصص است. علاوه بر این، با توجه به اینکه هر یک از اتفاقات نیازمند به درمان پزشکی می‌تواند در بدترین و یا بهترین حالت خود قرار داشته باشد، زمان انجام فعالیت درمانی دارای زمان خاصی خواهد بود.

در این مورد مطالعاتی، سه اتاق عمل با تجهیزات مختلف با قابلیت درمانی در سه حوزه‌ی: ۱. جراحی‌ها و خونریزی‌ها، ۲. شکستگی‌ها و ۳. سوختگی‌ها، در رفتگی‌ها و سایر، در نظر گرفته شده است. فعالیت‌های درمانی اتفاق افتاده در هر حادثه‌ای ممکن است انواع مختلفی داشته باشد. برخی از این فعالیت‌ها ممکن است به تعداد بیشتری اتفاق بیفتند و تعدادی نیز ممکن است به ندرت اتفاق بیفتند ولیکن هدف این تحقیق، پوشش دادن به تمام اتفاق‌هایی است که وقوعشان دور از انتظار نیست. برای نمونه، به گزارش خبرنگار اعزامی ایرنا [۳۴]، «امداد روز دوم زلزله‌ی کرمانشاه، مادر بارداری با وضع جسمانی نامناسب به بیمارستان صحرائی ارتش در سرپل ذهاب منتقل شد که در شرایط بحرانی این شهر، آماده‌ی به دنیا آمدن نوزاد خود بود» علاوه بر این به گزارش خبرنگار دفاعی خیرگزاری تسنیم [۳۵]، «در روز دوم حادثه دلخراش زلزله کرمانشاه اولین جراحی مغز توسط امیر شهنام بابلی رئیس اداره بهداشت و درمان نیروی زمینی ارتش در بیمارستان صحرائی سرپل ذهاب نذاجا انجام شد».

تعداد فعالیت‌هایی که در این تحقیق به منظور برنامه‌ریزی در سه اتاق عمل، در نظر گرفته شده است ۲۰ مورد است که در جدول ۲ آورده شده است. در واقع در این مورد مطالعاتی، ۲۰ کار باید بر روی ۳ ماشین موازی انجام بشوند که هر کار بر روی هر ماشین دارای زمان انجام خاص خود خواهد بود، بنابراین ماشین‌ها از نوع ماشین‌های موازی غیرمرتبط خواهند بود. مدت زمان تخصیص داده شده به هر مورد به صورت بازه‌ای است چرا که در هر مورد، تنوع عوارض به‌گونه‌ای است که زمان خاص خودش را می‌طلبد، بنابراین هر بازه شامل یک عدد در ابتدا و یک عدد در انتهای بازه است که کمترین زمان و بیشترین زمان ممکن برای درمان کامل

جدول ۲: فعالیت‌های درمانی و مدت زمان آن

ردیف	فعالیت درمانی	مدت زمان (دقیقه)
۱	جراحی قلب	۱۸۰-۳۶۰
۲	پانسمان سوختگی نوع دو	۴۵-۶۰
۳	پانسمان سوختگی نوع سه	۶۰-۹۰
۴	عمل سزارین	۴۵-۶۰
۵	خون‌ریزی شدید خارجی (ناشی از قطع عضو و یا هر نوع آسیب دیدگی دیگر)	۴۵-۶۵
۶	شکستگی مجسمه	۹۰-۱۲۰
۷	شکستگی دست / پا	۲۰-۳۰
۸	آسیب دیدگی چشم	۶۰-۱۲۰
۹	شکستگی دندان و خون‌ریزی	۶۰-۱۲۰
۱۰	جابه‌جایی مهره‌ها / شکستگی دنده‌ها	۶۰-۱۲۰
۱۱	شکستگی لگن	۹۰-۱۲۰
۱۲	شکستگی بینی	۱۵-۳۰
۱۳	پارگی تاندوم	۳۰-۹۰
۱۴	خون‌ریزی معده	۱۵۰-۲۴۰
۱۵	خون‌ریزی شش‌ها / ریه	۱۲۰-۲۴۰
۱۶	درمان عفونت (پانسمان، قطع عضو و غیره)	۱۵-۶۰
۱۷	خون‌ریزی گوش / حلق / بینی	۲۰-۶۰
۱۸	درفتنگی اعضا	۱۵-۱۲۰
۱۹	شکستگی فک و صورت	۹۰-۱۲۰
۲۰	جراحی مغز و اعصاب	۶۰-۲۴۰

جدول ۳: سطوح مختلف درمان

سطح	توضیح
«الف»	در این سطح، تجهیزات مربوط به درمان شخص حادثه دیده به‌طور کامل وجود دارد و درمان به‌صورت <u>خوب</u> انجام می‌شود.
«ب»	در این سطح، بخشی از تجهیزات مربوط به درمان شخص حادثه دیده به‌طور کامل وجود دارد و درمان به‌صورت <u>متوسط</u> انجام می‌شود و برای انجام درمان به‌صورت خوب، به <u>زمان بیشتری</u> نیاز است که <u>۳۰ درصد</u> بیشتر از مدت زمان درمان در اتاق با تجهیزات کامل است.
«ج»	در این سطح، تعداد کمی از تجهیزات مربوط به درمان شخص حادثه‌دیده به‌طور کامل وجود دارد و درمان به‌صورت <u>ضعیف</u> انجام می‌شود و برای انجام درمان به‌صورت خوب، به <u>زمان بسیار بیشتری</u> نیاز است که <u>۷۰ درصد</u> بیشتر از مدت زمان درمان در اتاق با تجهیزات کامل است.

که هر حادثه دیده، می‌تواند در هر یک از اتاق‌های عمل، درمان شود ولیکن مدت زمان آن در هر یک، دارای بازه‌ی خاصی خواهد بود که به دلیل در دسترس بودن تجهیزات مربوطه است. در واقع چنین فرض شده است که هر عمل در سه سطح انجام خواهد شد که تفاوت این سطوح به دسترسی به تجهیزات آن بستگی دارد.

و یا موقت عارضه (به‌منظور انتقال به بیمارستان مجهزتر) را نشان می‌دهد. زمان‌های جدول ۲ در مواقعی که فعالیت درمانی دقیقاً در اتاق با تجهیزات مخصوص به خود درمان شود، صدق می‌کند. به‌منظور تأثیر صحیح تجهیزات در برنامه‌ریزی، فرض شده است



جدول ۴: سطوح مختلف هر فعالیت درمانی و مدت زمان انجام آن بر حسب دقیقه

ردیف	فعالیت درمانی	اتاق عمل شماره ۱		اتاق عمل شماره ۲		اتاق عمل شماره ۳	
		سطح	سختی ها و جراحی ها و خونریزی ها	سطح	سختی ها	سختی ها، در رفتگی ها و سایر موارد	سطح
۱	جراحی قلب	الف	۱۸۰-۳۶۰	ب	۲۳۴-۴۶۸	ج	۳۰۶-۶۱۲
۲	پانسمان سوختگی نوع دو	ب	۵۹-۷۸	ج	۷۷-۱۰۲	د	۴۵-۶۰
۳	پانسمان سوختگی نوع سه	ب	۷۸-۱۱۷	ج	۱۰۲-۱۵۳	د	۶۰-۹۰
۴	عمل سزارین	الف	۴۵-۶۰	ب	۵۲-۷۸	ج	۸۰-۱۰۲
۵	خون ریزی شدید خارجی (ناشی از قطع عضو و یا هر نوع آسیب دیدگی دیگر)	الف	۴۵-۶۵	ب	۵۹-۸۵	ج	۷۷-۱۱۰
۶	شکستگی جمجمه	ب	۱۱۷-۱۵۶	ج	۹۰-۱۲۰	د	۱۵۳-۲۰۴
۷	شکستگی دست / پا	ب	۳۰-۴۰	ج	۲۰-۳۰	د	۵۰-۶۵
۸	آسیب دیدگی چشم	الف	۶۰-۱۲۰	ب	۷۸-۱۵۶	ج	۱۰۲-۲۰۴
۹	شکستگی دندان و خونریزی	ب	۷۸-۱۵۶	ج	۶۰-۱۲۰	د	۱۰۲-۲۰۴
۱۰	جابه جایی مهره ها / شکستگی دنده ها	ب	۷۸-۱۵۶	ج	۶۰-۱۲۰	د	۱۰۲-۲۰۴
۱۱	شکستگی لگن	ب	۱۱۷-۱۵۶	ج	۹۰-۱۲۰	د	۱۵۳-۲۰۴
۱۲	شکستگی بینی	ب	۲۰-۴۰	ج	۱۵-۳۰	د	۲۶-۵۱
۱۳	پارگی تاندوم	الف	۳۰-۹۰	ب	۶۵-۱۵۳	ج	۴۰-۱۱۷
۱۴	خون ریزی معده	الف	۱۵۰-۲۴۰	ب	۲۵۵-۴۰۸	ج	۱۹۵-۳۱۲
۱۵	خون ریزی شش ها / ریه	الف	۱۲۰-۲۴۰	ب	۲۰۴-۴۰۸	ج	۱۵۶-۳۱۲
۱۶	درمان عفونت (پانسمان، قطع عضو و غیره)	ب	۲۰-۷۸	ج	۲۶-۱۰۲	د	۱۵-۶۰
۱۷	خونریزی گوش / حلق / بینی	الف	۲۰-۶۰	ب	۳۴-۱۰۲	ج	۲۶-۷۸
۱۸	در رفتگی اعضا	ب	۲۰-۱۵۶	ج	۳۴-۲۰۴	د	۱۵-۱۲۰
۱۹	شکستگی فک و صورت	ب	۱۱۷-۱۵۶	ج	۹۰-۱۲۰	د	۱۵۳-۲۰۴
۲۰	جراحی مغزو اعصاب	الف	۶۰-۲۴۰	ب	۷۸-۳۱۲	ج	۱۰۲-۴۰۸

برنامه ریزی توالی عملیات در ماشین های موازی غیر مرتبط است، از مدل ارائه شده در بخش ۲ به منظور حل آن استفاده می شود.

اما در ابتدا از الگوریتم تبرید شبیه سازی شده برای حل این مسئله، از مدل بخش ۲ قبل از اعمال عدم قطعیت استفاده می شود. در اینجا لازم است تا با روش آزمایش سطح پاسخ، مقدار مناسب پارامترهای این الگوریتم فرا ابتکاری مشخص شود. دمای اولیه در [۳۰۰-۵۰۰]، ضریب کاهش دما در [۰/۹۹-۰/۸۵]، تعداد اجرای خارجی در [۴۰۰-۵۰۰] در نظر گرفته شده اند [۲۷]. علاوه بر این، تعداد اجرای داخلی در [۱۰۰-۱۰۰] در نظر گرفته شد. با توجه به اطلاعات جدول ۵ که شامل چهار پارامتر<sup>۱</sup>: دمای اولیه،<sup>۲</sup>: ضریب کاهش دما،<sup>۳</sup>: تعداد اجرای خارجی و<sup>۴</sup>: تعداد اجرای داخلی که بر اساس جدول ۱ طراحی شده است، می باشد و با استفاده از نرم افزار Expert Design 7.0.0، ۳۰ آزمایش به طور تصادفی ایجاد شد.

پس از محاسبه ی فاکتور RPD و قرار دادن آن در نرم افزار Expert Design 7.0.0، مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم تبرید شبیه سازی شده به دست می آید:

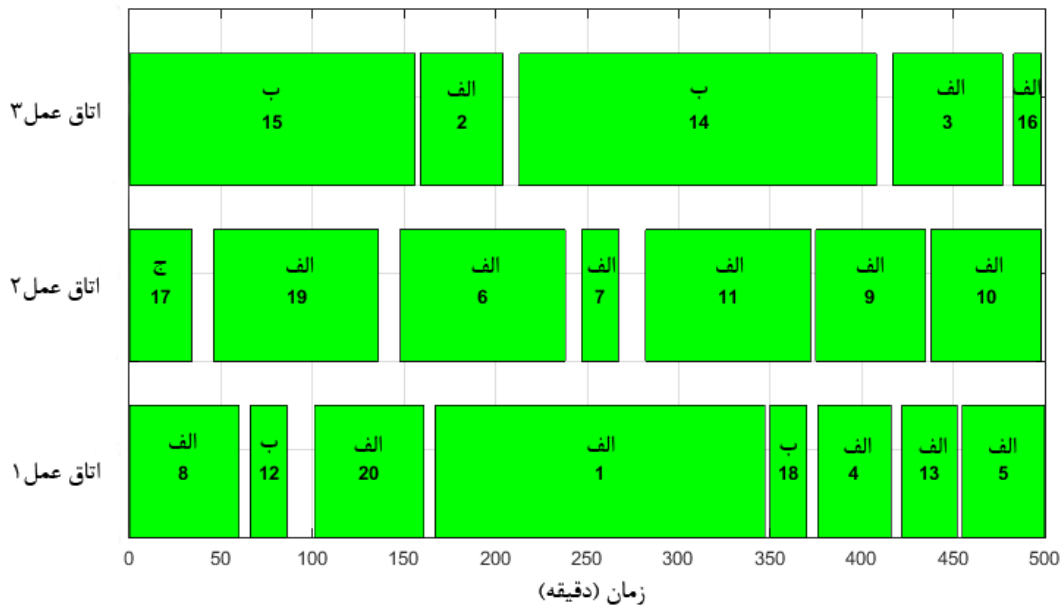
سطح «الف»، سطح «ب» و سطح «ج» که در جدول ۳ نشان داده شده است.

برای نمونه، شکستگی جمجمه در اتاق عمل شماره ۲ در مدت زمان ۹۰ تا ۱۲۰ دقیقه ای در سطح «الف» انجام می شود ولیکن در اتاق عمل شماره ۱ به دلیل در دسترس بودن بخشی از تجهیزات مرتبط به این نوع از عارضه، در مدت زمان ۱۱۷ تا ۱۵۶ دقیقه ای در سطح «ب» (۳۰ درصد بیشتر از حالت با تجهیزات کامل) و در اتاق عمل شماره ۳ در مدت زمان ۱۵۳ تا ۲۰۴ دقیقه ای در سطح «ج» (۷۰ درصد بیشتر از حالت با تجهیزات کامل) انجام می شود. این تفاوت برای هر فعالیت درمانی در جدول ۴ آورده شده است.

واضح است که در جدول ۴، سه اتاق عمل دارای زمان های بازه ای برای انجام هر یک از فعالیت های درمانی هستند. در واقع زمان انجام هر فعالیت دارای عدم قطعیت از نوع روبااست (استوار) است. در این مسئله زمان آماده سازی هر یک از تجهیزات به منظور انجام هر فعالیت درمانی، وابسته به اینکه فعالیت قبلی آن چه بوده است یک عدد صحیح و قطعی با توزیع یکنواخت در بازه ۳ تا ۲۴ دقیقه است. از آنجایی که این مسئله دارای تشابهات بسیاری به

جدول ۵: پارامترهای ورودی الگوریتم به عنوان فاکتورهای آزمایش، به مقیاس استاندارد تبدیل شدند

$y_1$		$y_2$		$y_3$		$y_4$	
-۲	۵۰	-۲	۰/۸۵	-۲	۵۰	-۲	۱۰
-۱	۱۱۲/۵	-۱	۰/۸۸۵	-۱	۱۳۸	-۱	۳۳
۰	۱۷۵	۰	۰/۹۲	۰	۲۲۵	۰	۵۵
۱	۲۳۷/۵	۱	۰/۹۵۵	۱	۳۱۳	۱	۷۸
۲	۳۰۰	۲	۰/۹۹	۲	۴۰۰	۲	۱۰۰



تصویر ۲: برنامه ریزی فعالیت‌های درمانی در اتاق‌های عمل، صرف نظر از عدم قطعیت

گاماها بسیار دشوار است. در این تحقیق، به تعیین یک گاما به نمایندگی از همه‌ی گاماها پرداخته می‌شود. به‌عنوان نمونه، مقدار گاما برابر با ۱۴ در نظر گرفته شده است. در این صورت مدت زمان اتمام درمان ۲۰ فعالیت به ۹۳۵ دقیقه و به عبارت دیگر ۱۵/۶ ساعت رسیده است. حال آن‌که در حالت قطعی این میزان، ۵۰۰ دقیقه و به عبارتی ۸/۳ ساعت بوده است. افزایش زمان که ناشی از عدم قطعیت است اگرچه مطابق میل تصمیم‌گیرنده نخواهد بود، ولیکن به برنامه جنبه‌ی عملی‌تری می‌بخشد چرا که تا حدودی عدم قطعیت در مدل لحاظ شده است و این موضوع کمک می‌کند تا عوامل تصادفی، تأثیر کمتری بر برنامه بگذارند. تصویر ۳، تصویری شماتیک (کلی) از تغییرات برنامه در اثر این عدم قطعیت را نسبت به قبل نشان می‌دهد. در تصویر ۳، آن دسته از فعالیت‌های درمانی که با رنگ سبز نشان داده شده‌اند، اتاق عملشان تغییری نکرده، اما دسته‌ی دیگر که با رنگ قهوه‌ای مشخص شده‌اند، فعالیت‌های جابه‌جا شده هستند. علاوه بر جابه‌جایی برخی از فعالیت‌ها از یک اتاق عمل به اتاقی دیگر، ترتیب همه‌ی فعالیت‌ها تغییر یافته است. علاوه بر افزایش زمان نهایی خاتمه، سطح انجام فعالیت‌ها نیز دستخوش تغییرات ناخوشایندی خواهد بود. تعداد فعالیت‌هایی که در سطح «الف» انجام خواهند شد در حالت قطعی ۱۵ مورد بوده که

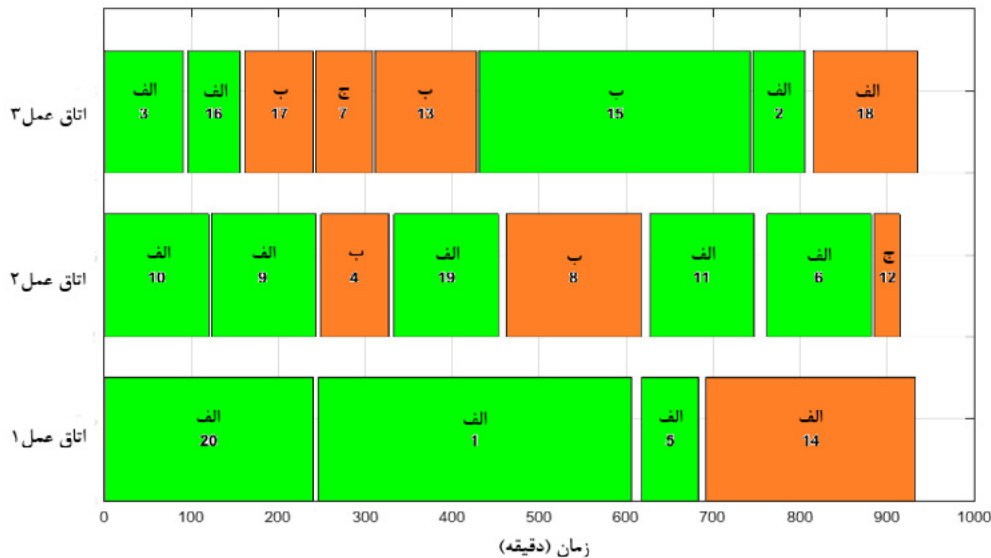
$$y_1 = 51/25$$

$$y_2 = 0/8507$$

$$y_3 = 54$$

$$y_4 = 85$$

با به کارگیری پارامترهای بالا در الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و صرف نظر از عدم قطعیت مدل،  $C_{max} = 500$  می‌شود و ترتیب انجام فعالیت‌های درمانی در هر اتاق عمل به صورتی که در تصویر ۲ آمده است، برنامه ریزی می‌گردد. در برنامه ریزی صورت گرفته، ۱۵ فعالیت ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۱۹ و ۲۰ در سطح «الف» برنامه ریزی شده‌اند؛ ۴ فعالیت ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۸ در سطح «ب» برنامه ریزی شده‌اند و فقط فعالیت ۱۷ در سطح «ج» برنامه ریزی شده است. تا به اینجا، برنامه ریزی فعالیت‌ها بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت و تنها در یک مدت زمان عمل (پردازش) مشخص، انجام شده است. حال آنکه بحث اصلی این تحقیق، بررسی حالت عدم قطعیت در مدت زمان عمل (پردازش) هر فعالیت درمانی است. به‌طور کل ۱۷۳ گاما در مدل غیرقطعی ارائه شده، وجود دارد که ۱۷۰ عدد از آن‌ها متعلق به محدودیت ۱۴ و ۳ عدد باقی‌مانده به محدودیت ۱۶ تعلق دارد. علاوه بر این، هر گاما می‌تواند مقادیر صرفاً تا ۶۰ را اختیار کند. حال آنکه تعیین مقادیر تک‌تک این



تصویر ۳: برنامه‌ریزی فعالیت‌های درمانی در اتاق‌های عمل در حالت عدم قطعیت

سؤالات مربوط به تضمین احتمالی در مورد رضایت محدودیت، یا حد بالای احتمال نقض محدودیت است.

به‌طورکلی، در اعتبارسنجی، می‌توان از دو نوع متدولوژی متفاوت استفاده کرد. متدولوژی نوع اول، احتمال استفاده از اطلاعات مجموعه عدم اطمینان را قبل از حل مسئله می‌یابد و مرز حاصل از آن، یک مرز تئوری احتمالی محسوب می‌شود. روش دوم، این احتمال را به‌طور مستقیم، از حل مدل بهینه‌سازی هم‌تای استوار، به دست می‌آورد که همچنین می‌تواند به‌عنوان بررسی احتمال نقض محدودیت در نظر گرفته شود که محدوده نتیجه نامیده می‌شود. برای هر دو روش، مرزهای احتمالی مختلف را می‌توان با اطلاعاتی با سطوح مختلف عدم اطمینان استخراج کرد [۳۷]. در متدولوژی اول، از ارزیابی اعتبار احتمالی برتسیماس و سیم در سال ۲۰۰۴، یک حد احتمالی برای "فاصله مثبت چندضلعی" ارائه دادند [۲۵]:  
رابطه‌ی ۲۳:

$$Pr \left( \sum_{j \in J_i} \gamma_{ij} \eta_{ij} \geq \tilde{A}_i \right) \leq \exp \left( -\frac{\tilde{A}_i^2}{2|J_i|} \right) \quad i \in M$$

که در آن  $\Gamma_i$ ، تعداد پارامترهایی است که در محدودیت  $i$ ام با عدم قطعیت روبه‌رو می‌شوند که می‌تواند مقادیر صفر تا  $J_i$  را اختیار کند.

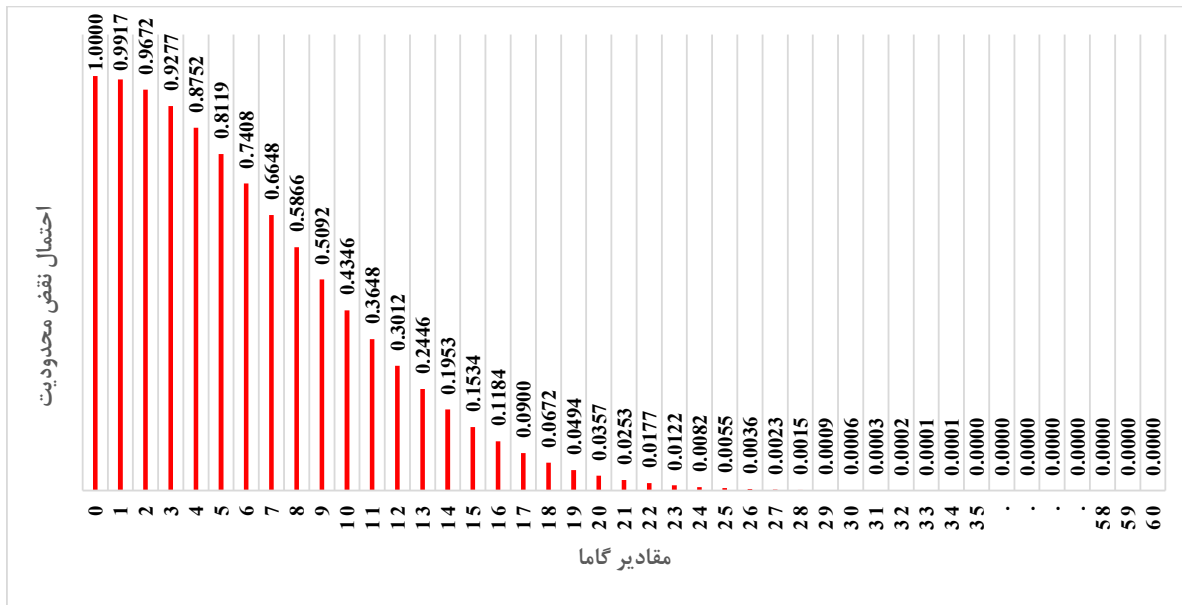
همان‌طور که در تصویر ۴ نشان داده شده است، با افزایش مقدار گاما، میزان احتمال نقض محدودیت کاهش می‌یابد که کاملاً منطقی است، زیرا با افزایش مقدار گاما، تعداد پارامترهایی که با عدم قطعیت روبه‌رو می‌شوند، افزایش می‌یابد و در واقع تعداد بیشتری از پارامترهای غیرقطعی در مدل حضور می‌یابند که این موضوع، موجب می‌شود تا میزان نقض محدودیتی که عدم قطعیت پارامترهای آن منظور شده است، کاهش یابد. اما در کنار این کاهش احتمال نقض محدودیت که افزایش اطمینان از نتایج

به ۱۳ مورد کاهش یافته است. ۵ مورد از فعالیت‌ها در سطح «ب» برنامه‌ریزی شده‌اند و ۲ مورد باقی‌مانده در سطح «ج» در برنامه قرار گرفته‌اند. این کاهش در سطح ارائه‌ی خدمات ریشه در تغییراتی است که عدم قطعیت بر مدل تحمیل کرده است.

### اعتبارسنجی مدل

عدم قطعیت استوار در این مدل با استفاده از مفهوم «اعتبارسنجی احتمالی راه‌حل‌های بهینه‌سازی مدل‌های استوار» قابل بررسی است. مجموعه عدم قطعیت که تشکیل‌دهنده‌ی چهارچوب بهینه‌سازی استوار است، توسط تصمیم‌گیرنده تعریف می‌گردد. اگر مجموعه عدم اطمینان تمام فضای نامشخص را که حاوی تمام موارد ممکن از پارامترهای نامشخص است، پوشش دهد، پس مطمئن است که راه‌حل استوار (اگر وجود داشته باشد) برای هر نوع عدم قطعیت شدنی است (برای مثال، اعتبارسنجی احتمالاتی در مورد برقراری محدودیت، ۱ است). با این حال، در حقیقت، مجموعه عدم قطعیت لزوماً تعریف نمی‌شود تا کل فضای نامشخص را پوشش دهد، زیرا ممکن است تصمیم‌گیرنده به میزان معینی، اجازه‌ی نقض محدودیت را بدهد. برای مثال، غیرممکن است مجموعه‌ای محدود برای پوشش فضای غیرقطعی و نامحدود تعریف شود.

برای یک محدودیت داده شده، اگر یک راه‌حل عملی داشته باشیم و توزیع احتمالی پارامترهای نامشخص را بدانیم، درجه نقض محدودیت دقیقاً همان احتمالی است که محدودیت نقض می‌شود. در مواردی که عدم قطعیت مجموعه تمام فضای نامشخص را پوشش نمی‌دهد، سؤال زیر به‌طور طبیعی به وجود می‌آید: قبل از حل یک مسئله بهینه‌سازی استوار، چه اندازه‌ای از عدم قطعیت لازم است تا اطمینان حاصل شود که میزان نقض محدودیت از یک سطح معینی عبور نکند؟ پس از حل مسئله‌ی بهینه‌سازی استوار، میزان نقض محدودیت چیست؟ پاسخ به این



تصویر ۴: احتمال نقض محدودیت به ازای مقادیر گاما

جدول ۶: مقادیر گاما به ازای احتمال نقض محدودیت

احتمال نقض محدودیت (به طور تقریبی)	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰
گاما	۰	۳	۵	۷	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	≥ ۳۵

شده است. در مدل ریاضی ارائه شده، زمان پردازش فعالیت‌های درمانی با عدم قطعیت مواجه است و از نوع استوار است. با استفاده از مدل ارائه شده توسط برتسیماس و سیم، عدم قطعیت زمان انجام فعالیت‌های درمانی در مدل لحاظ می‌شود. اما پارامترهای قطعی نیز در مدل حضور دارند که زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی در این دسته از پارامترها قرار می‌گیرند. مورد مطالعاتی به کار گرفته شده مربوط به برنامه‌ریزی فعالیت‌های درمانی در اتاق‌های عمل یکی از بیمارستان‌های صحرایی است. به‌کارگیری مدل ارائه شده در یک مورد واقعی هم به جذابیت و هم به پیچیدگی آن افزوده است. به منظور حل مدل از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده استفاده شده است و عملکرد بهترین الگوریتم فرا ابتکاری، با یکی از روش‌های طراحی آزمایش‌ها تحت عنوان روش سطح پاسخ، تضمین شده است. نتایج، تغییرات قابل توجهی را پس از اعمال عدم قطعیت در مدل نشان می‌دهد. میزان تأثیر عدم قطعیت در مدل به نظر تصمیم‌گیرنده بستگی دارد و میزان اعمال آن، میزان تغییرات در برنامه را نسبت به حالت قطعی تعیین می‌کند. علاوه بر این، با افزایش پارامترهای غیرقطعی، سطح کیفیت انجام فعالیت‌های درمانی تغییر می‌کند و به‌طور کل بهتر از حالت قطعی نخواهد بود و از حالت ایدئال فاصله گرفته است ولیکن به واقعیت نزدیک‌تر است.

گفتنی است که اهمیت فعالیت‌های درمانی یکسان در نظر گرفته شده است، حال آنکه می‌توانست اولویت و یا اهمیتی در قالب وزن‌هایی به آن‌ها تخصیص داده شود و در مدل نیز لحاظ گردد. همچنین، استفاده از سایر عدم قطعیت‌ها در مدل مطالعاتی این مقاله، می‌تواند از جمله تحقیقات آتی در این زمینه باشد.

مدل را به همراه دارد و در تصویر ۵ نشان داده شده، مقدار تابع هدف و به تبع آن ترتیب انجام فعالیت‌های درمانی بدتر می‌شود. اگرچه با یکسان در نظر گرفتن مقدار هم‌ی گاماها، از این نوع از پیچیدگی مدل صرف نظر شده است ولیکن بررسی مقادیر صفر تا ۶۰ در گاما، هم در عمل بسیار زیاد بوده و هم نیازی به این همه محاسبات نیست. اما به دلیل پوشش تمام مقادیر گاما از تعدادی از مقادیر شاخص آن برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده، استفاده می‌شود. براین اساس، مقدار گامای متناظر با ۱۱ نقطه را در جدول ۶ در نظر گرفته و به حل مدل می‌پردازیم.

با جاگذاری مقادیر گاما در مدل اصلی، برنامه‌ریزی بهینه از فعالیت‌های درمانی در هر اتاق عمل به دست می‌آید. نتایج حاصل از آن که شامل مقدار  $C_{max}$  و برنامه‌ریزی ترتیب فعالیت‌های درمانی در هر اتاق عمل است، در جدول ۷ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار گاما که نشان‌دهنده‌ی سطح عدم قطعیت است، مقدار جواب بهینه بدتر شده است که این امر، نشان‌دهنده‌ی اعتبار مدل است. به عبارت دیگر مدیران بیمارستان‌های صحرایی می‌توانند با کاهش سطح محافظه‌کاری، راهکارهای بهتری را به دست آورند.

### نتیجه‌گیری

عدم قطعیت‌ها در جهان پیچیده‌ی امروزی جزء جدایی‌ناپذیر مسائل روزمره هستند. با در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها در مسائل واقعی، می‌توان به سطح قابل اعتمادتری از نتایج دست یافت. در این مقاله نیز به یکی از مسائل پیچیده‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی توالی عملیات در محیطی آکنده از عدم قطعیت پرداخته

جدول ۷: مقدار  $C_{max}$  و برنامه‌ریزی ترتیب فعالیت‌های درمانی در هر اتاق عمل به ازای گام‌های مختلف

شماره برنامه	گاما	$C_{max}$	ترتیب فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده در هر اتاق عمل
۱	.	۵۰۰	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۲	۳	۵۲۲	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۳	۵	۵۵۱	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۴	۷	۶۰۴	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۵	۸	۶۶۶	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۶	۹	۷۵۶	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۷	۱۰	۸۲۴	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۸	۱۲	۸۸۴	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۹	۱۴	۹۳۵	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۱۰	۱۶	۹۷۲	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳
۱۱	فرضاً عدد ۳۵	۹۹۰	اتاق عمل ۱
			اتاق عمل ۲
			اتاق عمل ۳

۱۰۹

شماره شانزدهم

پاییز و زمستان  
۱۳۹۸

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



زمان بندی و توالی عملیات استوار در واحدهای موازی  
غیرمرتبط با زمان‌های غیرقطعی

6. Branch and Check
7. Adaptive Large Neighborhood Search
8. Variable Neighborhood Search
9. Multi-Start Algorithm
10. Tabu Search
11. Ant Colony Optimization
12. Simulated Annealing
13. auxiliary resources
14. Eligibility constraints
15. Memetic algorithm

استفاده از سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری و ترجیحاً ابتکاری نیز پیشنهاد می‌شود.

پی‌نوشت

1. identical
2. proportional
3. unrelated
4. Iterated Greedy Algorithm
5. Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

parallel machine scheduling problem with auxiliary resources in semiconductor manufacturing. *Journal of Scheduling*, 19(4), 367-376.

12. Alcan, P., & Başlıgil, H. (2012). A genetic algorithm application using fuzzy processing times in non-identical parallel machine scheduling problem. *Advances in Engineering Software*, 45(1), 272-280.
13. Balin, S. (2012). Non-identical parallel machine scheduling with fuzzy processing times using robust genetic algorithm and simulation. *Int J Innov Comput Inf Control*, 8(1), 727-745.
14. Liao, T. W., & Su, P. (2017). Parallel machine scheduling in fuzzy environment with hybrid ant colony optimization including a comparison of fuzzy number ranking methods in consideration of spread of fuzziness. *Applied Soft Computing*, 56, 65-81.
15. Torabi, S. A., Sahebjamnia, N., Mansouri, S. A., & Bajestani, M. A. (2013). A particle swarm optimization for a fuzzy multi-objective unrelated parallel machines scheduling problem. *Applied Soft Computing*, 13(12), 4750-4762.
16. Naderi-Beni, M., Ghobadian, E., Ebrahimnejad, S., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014). Fuzzy bi-objective formulation for a parallel machine scheduling problem with machine eligibility restrictions and sequence-dependent setup times. *International Journal of Production Research*, 52(19), 5799-5822.
17. Breeze, J., Gibbons, A. J., Combes, J. G., & Monaghan, A. M. (2011). Oral and maxillofacial surgical contribution to 21 months of operating theatre activity in Kandahar Field Hospital: 1 February 2007–31 October 2008. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 49(6), 464-468.
۱۸. ۲۰. منوچهری، شهرام؛ حسین زاده، سامان؛ رسولی، حمیدرضا (۱۳۹۶). تسهیلات و ساختار بیمارستان‌های صحرایی: مروری بر الزامات. *دوماهنامه هوزان* ۲(۳).
۱۹. آتش پنجه، حجت الله؛ دست داده، فرهاد؛ پرین، زهرا (۱۳۹۵). بررسی بیمارستان‌های صحرایی از منظر پدافند غیرعامل. کنفرانس پدافند غیرعامل و توسعه‌ی پایدار، تهران، وزارت کشور.
۲۰. افتخاری، عادل؛ میرزایی، سمانه (۱۳۹۵). مروری بر نقش و اهمیت بیمارستان‌های صحرایی در بلایا، اولین کنفرانس ملی تحول و نوآوری سازمانی با رویکرد اقتصاد مقاومتی، مشهد، دانشگاه علوم پزشکی مشهد.
۲۱. اردهالی، سیدحسین (۱۳۸۴). اصول راه‌اندازی بیمارستان صحرایی، دومین همایش علمی تحقیقی مدیریت امداد و نجات، تهران، مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی هلال ایران.
۲۲. پیوندی، پروش؛ نصیری، احسان (۱۳۸۴). مطالعه و بررسی ساخت بیمارستان صحرایی (سیار) یکصد تختخوابی، دومین همایش علمی تحقیقی مدیریت امداد و نجات، تهران، مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی هلال ایران.
۲۳. ملا داودی، حسن؛ پایدار، محمد مهدی؛ صفایی، عبدالستار (۱۳۹۴). مکان‌یابی بیمارستان‌های صحرایی با رویکرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی،

16. Particle Swarm Optimization
17. Robust
18. Response surface method
19. Central Composite Design

## منابع

1. Pinedo, M. (1995). Scheduling: theory, algorithms and applications. *Scheduling: Theory, algorithms and applications*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
2. Conway, R. W., Maxwell, W. L., & Miller, L. W. (2003). *Theory of scheduling*. Courier Corporation.
3. Beker, K. R. (1974). *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Wiley & Sons Inc. West Sussex, UK.
4. Rodriguez, F. J., Lozano, M., Blum, C., & García-Martínez, C. (2013). An iterated greedy algorithm for the large-scale unrelated parallel machines scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 40(7), 1829-1841.
5. Rodriguez, F. J., Blum, C., García-Martínez, C., & Lozano, M. (2012). GRASP with path-relinking for the non-identical parallel machine scheduling problem with minimising total weighted completion times. *Annals of Operations Research*, 201(1), 383-401.
6. Tran, T. T., Araujo, A., & Beck, J. C. (2016). Decomposition methods for the parallel machine scheduling problem with setups. *INFORMS Journal on Computing*, 28(1), 83-95.
7. Avalos-Rosales, O., Angel-Bello, F., & Alvarez, A. (2015). Efficient metaheuristic algorithm and reformulations for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence and machine-dependent setup times. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(9-12), 1705-1718.
8. Rocha, P. L., Ravetti, M. G., Mateus, G. R., & Pardalos, P. M. (2008). Exact algorithms for a scheduling problem with unrelated parallel machines and sequence and machine-dependent setup times. *Computers & Operations Research*, 35(4), 1250-1264.
9. Lin, Y. K., & Hsieh, F. Y. (2014). Unrelated parallel machine scheduling with setup times and ready times. *International Journal of Production Research*, 52(4), 1200-1214.
10. Liao, T. W., Chang, P. C., Kuo, R. J., & Liao, C. J. (2014). A comparison of five hybrid metaheuristic algorithms for unrelated parallel-machine scheduling and inbound trucks sequencing in multi-door cross docking systems. *Applied Soft Computing*, 21, 180-193
11. Bitar, A., Dauzère-Pérès, S., Yugma, C., & Roussel, R. (2016). A memetic algorithm to solve an unrelated

کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین پژوهشی در مهندسی صنایع و مهندسی مکانیک، تهران، موسسه آموزش عالی نیکان.

24. Avalos-Rosales, O., Alvarez, A. M., & Angel-Bello, F. (2013, June). A Reformulation for the Problem of Scheduling Unrelated Parallel Machines with Sequence and Machine Dependent Setup Times. In *ICAPS*.
25. Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations research*, 52(1), 35-53.
۲۶. فتاحی، پرویز (۱۳۹۰). الگوریتم‌های فراابتکاری. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
27. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *science*, 220(4598), 671-680.
۲۸. افتخاری، عادل؛ میرزایی، سمانه (۱۳۹۵). مروری بر نقش و اهمیت بیمارستان‌های صحرائی در بلایا، اولین کنفرانس ملی تحول و نوآوری سازمانی با رویکرد اقتصاد مقاومتی، مشهد، دانشگاه علوم پزشکی مشهد.
29. Marković, D., & Petrović, G. (2012). Assessing the performance of improved harmony search algorithm (IHSA) for the optimization of unconstrained functions using Taguchi experimental design. *Scientific research and essays*, 7(12), 1312-1318.
30. Montgomery, D. C. (2001). Design and analysis of experiments John Wiley. *New York*.
۳۱. ولانی، محمدرضا؛ بهنامیان، جواد (۱۳۹۲). مقایسه‌ی روش‌های طراحی آزمایش تاگوچی و سطوح پاسخ در تنظیم بهینه پارامترهای الگوریتم هارمونی سرچ، دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، دانشگاه تهران.
32. Jourdan, L., Dhaenens, C., & Talbi, E. G. (2006, October). Using datamining techniques to help metaheuristics: A short survey. In *International Workshop on Hybrid Metaheuristics* (pp. 57-69). Springer, Berlin, Heidelberg.
33. <http://www.powershow.com/>. Intelligent System Design Lab, Gwagiu institute of Science and technology.
34. <http://www.irna.ir/fa/News/82732715> .
35. <https://www.tasnimnews.com/fa/news/1396/08/23/1573768/%D8%A7%D9%88%D9%84%DB%8C%D9%86-%D8%B9%D9%85%D9%84-%D8%B1%D8%A7%D8%AD%DB%8C-%D9%85%D8%BA%D8%B2-%D8%AF%D8%B1%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%8%D8%B2%D9%84%D8%B2%D9%84%D9%87-%D8%B2%D8%AF%D9%87-%D8%B9%DA%A9%D8%B3>.
36. Li, Zukui, Qihua Tang, and Christodoulos A. (2012). Floudas. A comparative theoretical and computational study on robust counterpart optimization: II. Probabilistic guarantees on constraint satisfaction.

۱۱۱

شماره شانزدهم

پاییز زمستان  
۱۳۹۸

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



زمان بندی و توالی عملیات استوار در واحدهای موازی  
غیرمرتبط با زمان‌های غیرقطعی

