

# تلفیق نظریه‌ی صف و منطق فازی در یک مدل کوله‌پشتی محدود دو بعدی برای تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل در شرایط عدم قطعیت

سعید خلیلی\* (دانشجوی کارشناسی ارشد)

یحیی زارع مهرجردی (استاد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه بزد

در این پژوهش سعی شده است تا با رویکردی جدید و با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی مبتنی بر نظریه‌ی صف، که در واقع یک نوع مدل کوله‌پشتی دوبعدی محدود فازی است، تعداد بهینه‌ی انواع اتاق‌های هتل به دست آید. با توجه به عدم قطعیت موجود در برخی از پارامترهای مسئله، تابع هدف مدل پیشنهادی به صورت یک تابع هدف با ضرایب فازی ارائه شده است. برای حل این مدل، ابتدا تابع تک‌هدفی فازی با استفاده از روش لای و هو آنگ به تابع سه‌هدفی قطعی تبدیل می‌شود. به کمک روش فازی ترابی و حصینی مدل سه‌هدفی قطعی به دست آمده به مدل تک‌هدفی قطعی تبدیل و در نهایت با کد کردن این مدل تک‌هدفی در برنامه‌ی متلب، ظرفیت بهینه‌ی هتل به دست می‌آید. بر خلاف روش‌های پیشین که برای شرایط خاصی قابل استفاده بودند، مدل پیشنهادی برای شرایط مختلف توسعه‌پذیر است.

واژگان کلیدی: ظرفیت بهینه‌ی هتل، مسئله‌ی کوله‌پشتی، نظریه‌ی صف، برنامه‌ریزی فازی، روش لای و هو آنگ، روش ترابی و حصینی.

## ۱. مقدمه

امروزه صنعت گردشگری فراتر از یک صنعت، به مثابه پدیده‌ی پویای جهانی و اجتماعی، دارای پیچیدگی‌های خاصی است. صنعت گردشگری در سال‌های اخیر تأثیرات زیادی بر وضعیت اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جهان گذاشته است که از آن جمله می‌توان به ایجاد اشتغال، ارزآوری، تعادل منطقه‌ی، کمک به صلح جهانی و کمک به سرمایه‌گذاری در میراث فرهنگی و بهسازی محیط اشاره کرد. در حال حاضر گردشگری، بزرگترین صنعت بخش خدمات و یکی از سه صنعت مهم و درآمدزا پس از صنایع نفت و خودروسازی است که بر اساس پیش‌بینی‌ها تا کمتر از دو دهه‌ی دیگر از لحاظ درآمدزایی مقام نخست را به خود اختصاص خواهد داد.<sup>[۱]</sup>

گردشگری از عناصر و فعالیت‌هایی تشکیل شده است که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر این صنعت تأثیر می‌گذارند. از مهم‌ترین این عناصر می‌توان به هتل‌ها و مراکز اقامتی اشاره کرد. در واقع هتل‌داری و گردشگری لازم و ملزوم یکدیگرند و تقویت هر یک از این دو لازمه‌ی توسعه و پیشرفت دیگری خواهد بود.<sup>[۱]</sup> ظرفیت بسیاری از هتل‌ها و مراکز اقامتی واقع در شهرهای دارای جاذبه‌های گردشگری، در دوره‌های زمانی نسبتاً زیادی از سال خالی از مسافر و بدون استفاده است. درحالی‌که در برخی از دوره‌های زمانی محدود، به دلیل وجود تعطیلات یا

\* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۷، اصلاحیه ۱۳۹۴/۹/۲۹، پذیرش ۱۳۹۵/۱/۱۸.

ایام مناسبتی مختلف، سفرهای گردشگری به اوج خود می‌رسد و هتل‌ها با کمبود ظرفیت برای پذیرش و اسکان مسافران روبه‌رو می‌شوند. از این رو درحالی‌که واژه‌ی گردشگری تداعی‌کننده‌ی رونق اقتصادی و توسعه‌ی اجتماعی است، مشاهدات عینی در شهرهای گردشگری پذیر ایران مثل مشهد، شیراز و... ذهن را متوجه این مسئله می‌کند که انبوه مسافران ساکن در اطراف خیابان‌ها در دوره‌های زمانی اوج مسافرت که تقاضای سفر در اوج خود قرار دارد، یا هتل‌های تعطیل یا خالی از مسافر در دوره‌هایی که تقاضای سفر به کمترین مقدار خود می‌رسد چه برون‌داد مثبتی را عاید شهرهای گردشگری خواهد کرد. این مسئله از دو منظر کلان و خرد قابل تأمل و بسط است.

در بعد کلان و در برنامه‌های راهبردی و بلندمدت، این مسئله را می‌توان این‌گونه مطرح کرد که آیا با توجه به مشخص بودن نرخ ورود مسافر و گردشگر (از مبادی مختلف زمینی، ریلی، دریایی و هوایی) به شهرهای گردشگری پذیر و همچنین با توجه به مدت زمان اقامت این مسافران در مراکز اقامتی این شهرها در دوره‌های مختلف سال، آیا ظرفیت کنونی مراکز اقامتی برای پذیرش و اسکان مسافران کافی است؟ همچنین سؤالات زیر نیز شکل دیگری از سؤال اول است:

ظرفیت‌های کنونی در دوره‌های مختلف سال چه سطحی از خدمت را به مسافران ارائه می‌دهد؟

احتمال مواجهه با کمبود ظرفیت در دوره‌های مختلف چه میزان است؟

با توجه به پیش‌بینی‌های صورت‌پذیرفته درباره‌ی نرخ ورود مسافر و مدت زمان اقامت مسافران برای سال‌های آینده، آیا به تغییر در میزان ظرفیت موجود مراکز اقامتی نیاز است؟

حال چنانچه از منظر خرد به این مسئله بنگریم این سؤال به‌وجود می‌آید که افراد متقاضی برای ساخت، خرید یا اجاره‌ی هتل، با توجه به توانایی خود در جذب مسافر از طرق مختلف (ذخیره‌ی جای تلفنی و اینترنتی، افراد واسطه و شرکت‌های مسافرتی و گردشگری)، چه ظرفیت و چه تعداد اتاق را برای ساخت یا خرید هتل خود در نظر بگیرند تا سود به‌دست آمده‌ی آنها بیشینه شود. در واقع آیا مدلی هست که بتوان توسط آن سرمایه‌گذاران این حوزه را در امر انتخاب ظرفیت بهینه برای ساخت، خرید، یا اجاره‌ی هتل مشاوره داد.

هدف از این مقاله ارائه‌ی مدلی ترکیبی از مبانی نظریه‌ی صف و مدل‌های برنامه‌ریزی است که به کمک آن بتوان ظرفیت بهینه‌ی مراکز اقامتی را به‌دست آورد. ساختار ادامه‌ی مقاله چنین است که ابتدا در بخش دوم، پیشینه‌ی موضوع تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل بررسی می‌شود. در بخش سوم، به تشریح مدل پیشنهادی و اجزای تابع هزینه‌ی ارائه‌شده در مدل پرداخته می‌شود و نحوه‌ی شبیه‌سازی سیستم پذیرش مسافران هتل با استفاده از مدل‌های صف بیان می‌شود. در بخش چهارم، به توسعه‌ی مدل پیشنهادی برای شرایط عدم قطعیت پرداخته خواهد شد و روش لای و هوآنگ و رویکرد تریابی و حصینی برای حل مسئله‌ی تعیین ظرفیت تشریح می‌شود. در بخش پنجم برای روشن‌شدن موضوع یک مثال عددی در ابعاد کوچک حل و نتایج آن بررسی می‌شود. سرانجام، بخش ششم به نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی اختصاص می‌یابد.

## ۲. پیشینه‌ی موضوع

مدیریت ظرفیت را بعضی از محققان با عنوان مدیریت تقاضا و بعضی دیگر با عنوان مدیریت تقاضا و ظرفیت بررسی کرده‌اند. با این حال دو موضوع مدیریت تقاضا و مدیریت ظرفیت را باید دو مفهوم جدا از هم دانست. در مدیریت تقاضا تلاش می‌شود تا به‌کمک استراتژی‌های بازاریابی، زمان اعلام نیاز مشتریان و همین‌طور حجم کالای تقاضاشده از سوی مشتریان در کنترل مدیریت سازمان‌ها قرار گیرد.<sup>[۱]</sup> از طرف دیگر مدیریت ظرفیت تضمین می‌کند که ظرفیت کافی برای مواجهه و پاسخ‌گویی به تقاضای بازار وجود خواهد داشت.<sup>[۲]</sup>

تصمیم‌گیری ظرفیت از مهم‌ترین نگرانی‌های راهبردی برای مدیران صنایع مختلف است که در نحوه‌ی پاسخ‌گویی یک صنعت به نیاز بازار در حال و آینده تأثیرگذار خواهد بود.<sup>[۳]</sup>

در حوزه‌ی ظرفیت‌سنجی، بیشتر تحقیقات گذشته هرکدام بر اساس یک رویکرد خاص به‌مقوله‌ی مدیریت ظرفیت در صنایع مختلف پرداخته‌اند. مثلاً در صنعت گردشگری بیشتر محققان با رویکرد مدیریت درآمد بر مسئله‌ی مدیریت ظرفیت متمرکز شده‌اند.<sup>[۴]</sup> با این حال در پژوهش‌های پیشین کمتر به تجزیه و تحلیل‌هایی در حوزه‌ی مدیریت ظرفیت برای صنایع گوناگون پرداخته شده است.<sup>[۵]</sup> گفتنی است که رشد تحقیقات در حوزه‌ی خدمات شدت بیشتری را نشان می‌دهد. زیرا در بیشتر حوزه‌های خدماتی ظرفیت خدمات تأثیر به‌سزایی در میزان رضایت مشتریان و سطح خدمت ارائه‌شده به آن‌ها دارد. در نتیجه، در حوزه‌هایی مانند بیمارستان‌ها، پارکینگ‌ها، رستوران‌ها، هتل‌ها و مراکز اقامتی می‌بخت تعیین ظرفیت بهینه مطرح شده است. البته در بخش‌های تولیدی نیز در زمینه‌ی ظرفیت بهینه کارهایی انجام

شده است که از آن میان می‌توان به مدل‌های تعیین ظرفیت بهینه‌ی انبار اشاره کرد.

مثلاً وایت و فرانسیس<sup>[۸]</sup> به بررسی مسئله‌ی تعیین ظرفیت بهینه‌ی انبار برای هر دو حالت تقاضای قطعی و احتمالی انبار پرداختند و با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و نظریه‌ی دوگان و نیز مدل تعادل جریان در شبکه روشی برای پاسخ به این مسئله ارائه کردند. آنها هزینه‌های ساخت انبار، نگهداری محصولات در انبار و آوردن تقاضا از انبار بیرونی را در نظر گرفتند. راثو و راثو<sup>[۹]</sup> مدل ظرفیت انبار را در حالت یک محصول ارائه و هزینه‌های متغیر در طول زمان، صرفه‌جویی‌های حاصل از سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی را در شرایط احتمالی بررسی کردند. آنها ساختاری برای رسیدن به جواب بهینه ارائه کردند و نشان دادند که مسئله‌ی اندازه‌ی انبار در حالت ایستا و توسعه‌های آن را می‌توان به آسانی و بدون نیاز به رویه‌های برنامه‌ریزی خطی رایج حل کرد. آنها مسئله‌ی اندازه‌ی انبار در حالت پویا را به کمک الگوریتم‌های جریان در شبکه و بحث هزینه‌های مقعر و با استفاده از برنامه‌ریزی پویا حل کردند.

همچنین در حوزه‌ی بیمارستان، با توجه به هزینه‌های بالای آماده‌سازی و تجهیز اتاق‌های عمل مطالعات زیادی در تعیین تعداد بهینه‌ی اتاق‌های عمل انجام شده است. در این مطالعات برای تعیین ظرفیت بهینه روش‌های مختلفی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش شبیه‌سازی گسسته، شبیه‌سازی تصادفی، روش‌های مبتنی بر نظریه‌ی صف و روش‌های ترکیبی اشاره کرد.<sup>[۱۰-۱۶]</sup> مثلاً کوکانگول<sup>[۱۷]</sup> با ترکیبی از روش‌های قطعی و تصادفی، مدلی برای بهینه‌سازی ظرفیت تخت خواب‌های یک واحد بیمارستانی ارائه کرده است که در آن تعداد ورود بیماران و مدت اقامت هر بیمار به‌صورت فرایندهای تصادفی مدل شده است. در این مطالعه با توجه به پارامترهای کلیدی معرفی‌شده مانند سطح خدمت، سطح اشتغال و نرخ پذیرش بیمار و با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از طریق شبیه‌سازی، یک مدل ریاضی غیرخطی برای تعیین ظرفیت بهینه ارائه شده است.

در حوزه‌ی مدیریت ظرفیت رستوران نیز می‌توان به مطالعه‌ی هوآنگ و همکارانش<sup>[۱۸]</sup> اشاره کرد که با استفاده از مدل‌های صف مربوطه سیستم یک رستوران محلی را مدل و سپس با هدف بیشینه‌کردن سود و افزایش رضایت مشتریان اقدام به حل مدل کرده‌اند.

همچنین درباره‌ی تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل نیز مطالعاتی انجام شده است. گو<sup>[۱۹]</sup> با استفاده از یک مدل موجودی اقدام به تحلیل و بهینه‌سازی موضوع ظرفیت هتل‌های منطقه‌ی لاس وگاس کرده است. او نیز با این استدلال که هر دو ویژگی مدل موجودی تک‌دوره‌ی احتمالی یعنی ویژگی فاسدشدنی بودن و ویژگی تقاضای احتمالی در مورد صنعت هتل‌داری مصداق دارد، از این مدل برای به‌دست آوردن ظرفیت بهینه‌ی هتل استفاده کرده است. بنا به گفته‌ی او چنانچه اتاق‌های خالی و آماده‌ی پذیرش مسافر در هر شب را به‌عنوان محصول قابل ارائه‌ی هتل فرض کنیم آنگاه در صورت عدم پذیرش مسافر و خالی‌ماندن اتاق‌ها، این اتاق‌های خالی نقش محصولات فاسدشده در واحدهای تولیدی را به خود می‌گیرند. ایراد اساسی که به این مدل وارد است این است که در این مدل برنامه‌ریزی برای یک دوره انجام می‌پذیرد؛ حال اگر ما این یک دوره را یک سال در نظر بگیریم، تقاضای واردشده در مدل به‌صورت تقاضای احتمالی سالانه خواهد بود در حالی‌که این صنعت فصلی است و میزان تقاضا در ماه‌های مختلف سال بسیار متغیر است. در مطالعه دیگری چن و لین<sup>[۲۰]</sup> با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از هتل‌های تایوان در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸، اثرات تقاضای غیرقطعی بر ظرفیت هتل را بررسی کردند.

۲. سرمایه‌گذاران برای احداث هتل دارای محدودیت سرمایه‌اند و حداکثر به اندازه  $B_{max}$  واحد پولی توان سرمایه‌گذاری دارند.
۳. سرمایه‌گذاران برای احداث هتل دارای محدودیت فضا هستند و حداکثر فضای در دسترس آنها به اندازه  $S_{max}$  متر مربع است.
۴. هتل‌ها دارای سه نوع اتاق برای اسکان مسافران هستند. (اتاق‌هایی از نوع سوئیت ( $j = 1$ ))، اتاق‌هایی از نوع یک خوابه ( $j = 2$ ) و اتاق‌هایی از نوع دو خوابه ( $j = 3$ )).

### ۲.۳. نمادهای مدل

- $B_{max}$ : بیشینه سرمایه‌ی اولیه برای ساخت هتل؛
- $S_{max}$ : بیشینه فضای اولیه در دسترس برای ساخت هتل؛
- $a_j$ : فضای لازم برای ایجاد یک واحد اتاق نوع  $j$ ؛
- $b_j$ : سرمایه‌ی لازم برای ایجاد یک واحد اتاق نوع  $j$ ؛
- $k_j$ : ظرفیت و تعداد اتاق‌های نوع  $j$  زام هتل؛
- $\pi_{n,j}$ : احتمال پر بودن  $n$  اتاق از اتاق‌های نوع  $j$  زام هتل در دراز مدت (درصد زمانی که هتل دارای  $n$  اتاق دارای مسافران نوع  $j$  است)؛
- $\lambda_j$ : نرخ مراجعه‌ی مسافر به هتل برای اقامت در اتاق‌های نوع  $j$  زام؛
- $\mu_j$ : متوسط مدت زمان اقامت مسافران در اتاق‌های نوع  $j$  زام؛
- $P_j$ : سود به دست آمده از هر اتاق نوع  $j$  زام، بابت یک شب اقامت مسافران؛
- $i$ : نرخ بهره؛
- $N$ : تعداد دوره‌ها در طول افق برنامه‌ریزی.

بر اساس فرضیات و نمادهای مذکور، سیستم زرو و پذیرش مسافران برای هر کدام از انواع اتاق‌های سه‌گانه‌ی هتل، یک سیستم صف  $M/M/k_j$  است [۲۹] که در آن فاصله‌ی زمانی بین ورود مسافران و نیز مدت زمان اقامت آنها در هتل از توزیع نمایی پیروی می‌کند و تعداد  $k_j$  خدمت‌دهنده (اتاق نوع  $j$ ) هم برای خدمت به مشتریان این سیستم صف (مسافران) در نظر گرفته شده است. در اینجا هدف به دست آوردن تعداد بهینه‌ی هر یک از انواع اتاق‌های هتل یعنی  $(k_j^*)$  ها است، به نحوی که محدودیت‌های مربوط به مقدار سرمایه و فضای در دسترس پوشش داده شود و هزینه‌های تحمیل شده به سرمایه‌گذاران نیز کمینه شود. مدل پیشنهادی در این تحقیق به صورت زیر فرمول‌بندی شده است:

$$\text{Min } C_T = \sum_{j=1}^3 \left[ \frac{i \cdot (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \cdot \sum_{n=0}^{K_j} (K_j - n) \cdot \pi_{n,j} \cdot b_j \right. \\ \left. + \sum_{n=K_j+1}^{\infty} (n - K_j) \cdot \pi_{n,j} \cdot P_j \right] \quad (1)$$

s.t :

$$\sum_{j=1}^3 a_j K_j \leq S_{max} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^3 b_j K_j \leq B_{max} \quad (3)$$

$$K_j \geq 0, \text{ Integer } \quad \forall j \in J \quad (4)$$

رابطه‌ی ۴ بیان می‌کند که ظرفیت اتاق‌های سه‌گانه که متغیر پاسخ مسئله نیز هست، باید عددی صحیح و مثبت باشد. روابط ۲ و ۳ به ترتیب مربوط به محدودیت‌های بیشینه‌ی فضا و بیشینه‌ی

آنها ابتدا با یک معادله‌ی اتورگرسیون می‌زان تقاضای تصادفی هر دوره را با استفاده از دوره‌ی قبل به دست آوردند و این تقاضای تصادفی را به همراه چند عامل دیگر که در ظرفیت یک هتل تأثیر دارند در یک معادله‌ی رگرسیون دیگر برای پیش‌بینی ظرفیت لازم برای دوره‌ی جدید قرار دادند.

همچنین پولمن و رودگرس [۷] مرور خوبی بر مطالعات انجام شده درباره‌ی موضوع مدیریت ظرفیت هتل انجام دادند. آنها مدیریت ظرفیت را در دو حوزه‌ی ظرفیت فیزیکی هتل و ظرفیت نیروی انسانی لازم دسته‌بندی کردند. همچنین تصمیم‌گیری در راستای مدیریت ظرفیت را در دو بخش تصمیمات استراتژیک و تصمیمات کوتاه‌مدت بررسی کردند. آنها مطالعات انجام شده از نظر روش حل را نیز دسته‌بندی کردند. در مقاله‌ی دیگر پِن [۲۱] با توجه به تغییرات شدید برای تقاضای اتاق و با در نظر گرفتن ظرفیت هتل، به ارائه‌ی مدلی برای تعیین نرخ بهینه برای اتاق‌های هتل پرداخته است. البته در زمینه‌ی تعیین نرخ بهینه‌ی اتاق‌های هتل و مدیریت درآمد هتل مدل‌های بسیاری ارائه شده است. [۲۸-۲۲] اما درباره‌ی تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل تحقیقات و مطالعات زیادی انجام نشده است.

درباره‌ی مدیریت ظرفیت نیز پژوهش‌های اندکی انجام شده است. همچنین در همین تعداد پژوهش محدود نیز مدل‌هایی ارائه شده است که فقط برای یک سری شرایط خاص فرض شده قابل استفاده‌اند و با کوچکترین تغییراتی در مفروضات مسئله، کارایی خود را از دست خواهند داد. به همین دلیل در این پژوهش با استفاده از مدل‌های صف فازی یک مدل کوله‌پشتی برای تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل ارائه شده است. استفاده از مدل‌های صف به دلیل وجود تنوع بالا و همچنین قدرت ایجاد مدل‌های جدید با استفاده از قابلیت زنجیرهای مارکوف امکان انطباق مدل پیشنهادی با شرایط واقعی مختلف را میسر می‌سازد. همچنین پوشش عدم قطعیت محیط‌های گردشگری با استفاده از منطق فازی از دیگر مزایایی است که به کاربردی‌تر شدن مدل کمک خواهد کرد.

### ۳. مدل پیشنهادی

با توجه به اینکه مدل پیشنهادی بر پایه‌ی مفاهیم مدل‌های صف بنا شده است، لازم است که هتل و سیستم پذیرش و اقامت مسافران در هتل با مؤلفه‌های یک سیستم صف انطباق داده شوند. در این منطبق‌سازی:

- مسافران هتل در حکم مشتریان این سیستم صف هستند که با نرخ  $\lambda_j$ ، برای اقامت در اتاق‌های نوع  $j$  زام به هتل مراجعه می‌کنند.
- اتاق‌های هتل در حکم خدمت‌دهندگان به این سیستم صف هستند؛ بنابراین، تعداد اتاق‌های هتل معادل همان تعداد خدمت‌دهندگان سیستم صف هستند.
- متوسط مدت زمان اقامت مسافران در اتاق‌های نوع  $j$  زام هتل، معادل نرخ خدمت خدمت‌دهندگان سیستم صف به مشتریان است که با  $\mu_j$  نمایش داده می‌شود.
- متوسط تعداد اتاق‌های پر نوع  $j$  زام هتل، معادل متوسط تعداد مشتریان در سیستم صف شبیه‌سازی شده است و با  $L_j$  نمایش داده می‌شود.

### ۱.۳. مفروضات اساسی

۱. فاصله‌ی زمانی بین ورود مسافران متقاضی اقامت در اتاق‌های نوع  $j$  زام هتل و مدت زمان اقامت آنها در هتل دارای توزیع نمایی است.

توجه شود که مقادیر احتمالات  $(\pi_{n_j})$  موجود در تابع هدف نیز با توجه به زنجیر مارکوف مربوط به مدل صف  $(M/M/k_j)$  و بر اساس روابط زیر به دست می‌آید: [۲۹]

$$\pi_{n_j} = \begin{cases} \left(\frac{\lambda_j}{\mu_j}\right)^{n_j} \frac{\pi_{j,j}}{n_j!}; & n_j < k_j \\ \left(\frac{\lambda_j}{\mu_j}\right)^{n_j} \frac{\pi_{j,j} k_j^{k_j - n_j}}{k_j!}; & n_j \geq k_j \end{cases} \quad (9)$$

$$\pi_{(j)} = \left[ 1 + \sum_{(n=1)}^{(k_j-1)} \left(\frac{\lambda_j}{\mu_j}\right)^n \frac{1}{n!} + \sum_{n=k_j}^{\infty} \left(\frac{\lambda_j}{\mu_j}\right)^n \frac{1}{k_j!} \times \frac{1}{k_j^{n-k_j}} \right]^{-1} \quad (10)$$

#### ۴. مدل کوله‌پشتی مبتنی بر نظریه‌ی صف برای تعیین

##### ظرفیت بهینه‌ی هتل در شرایط عدم قطعیت

مقدار پارامترهای مدل ارائه شده در بخش قبل باید در افق بلندمدت معتبر باشند. در حالی که مقدار پارامتر نرخ بهره  $(i)$  و پارامتر سود به دست آمده بابت اقامت مسافران در اتاق‌ها  $(P_j)$  در دراز مدت دارای ابهاماتی هستند و نمی‌توان تخمین دقیقی از مقادیر آنها به صورت قطعی ارائه کرد.

این عدم قطعیت می‌تواند ناشی از خطا در پیش‌بینی پارامترها یا در دسترس نبودن و کافی نبودن داده‌ها به منظور تخمین پارامترها باشد. به همین دلیل در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدل‌های ظرفیت‌سنجی هتل با توجه به نیاز به اطلاعات و داده‌های مربوط به آینده و از طرفی شرایط و ماهیت غیرقطعی پارامترها ضروری است. عمده‌ترین روش‌ها برای مواجهه با عدم قطعیت بهینه‌سازی استوار، برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی فازی، و برنامه‌ریزی احتمالی است.

به جز رویکرد فازی، در سایر روش‌ها به داده‌ها و اطلاعات دوره‌های پیشین نیاز است تا به کمک تحلیل آنها بتوان مقادیر پارامترها در آینده را برآورد کرد. در حالی که در هنگام ساخت اولیه‌ی هتل هیچ‌گونه دسترسی به چنین اطلاعاتی نداریم. بنابراین، با استفاده از امکانی که روش فازی در اختیار قرار می‌دهد، که بتوان به کمک نظر نخبگان برآوردی از پارامترها در آینده را داشت، به نظر می‌رسد استفاده از رویکرد فازی بهترین انتخاب برای پوشش عدم قطعیت در این حوزه باشد. در این پژوهش با تخصیص اعداد فازی مثلثی به پارامترهای غیرقطعی، عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مدل پوشش داده شده است. به‌کارگیری اعداد فازی مثلثی، رویکرد قابل قبولی را در برخورد با عدم قطعیت‌هایی که در محیط‌های گردشگری دیده می‌شوند، ارائه می‌دهد. از تحلیل داده‌ها چنین برمی‌آید که نتایج حاصل از رویکرد فازی ارائه شده، اطلاعات بیشتری را در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد. زیرا نتایج حاصل از محاسبات کلاسیک، تنها با داده‌های قطعی به‌کارگرفته شده معتبر است و با هرگونه تغییر در این داده‌ها، اعتبار خود را از دست می‌دهند؛ اما نتایج حاصل از محاسبات فازی، با استفاده از داده‌هایی به دست می‌آید که تغییرات ناشی از عدم قطعیت در محیط‌های واقعی، از ابتدا در آنها لحاظ شده است. از این‌رو، این نتایج حتی در صورت تغییر داده‌های اولیه در بازه‌ی تعیین شده (بازه‌ی اعداد فازی) همچنان معتبر خواهد بود.

زیرنویس‌های  $L$ ،  $M$  و  $R$  به ترتیب بیان‌گر دبینانه‌ترین، ممکن‌ترین و خوشبینانه‌ترین مقادیر متناظر با پارامتر فازی مثلثی هستند.

$$\tilde{i} = (i_L, i_M, i_R) \quad \tilde{P}_j = (P_{jL}, P_{jM}, P_{jR})$$

سرمایه‌ی در دسترس است و سبب می‌شوند که مجموع فضای لازم و مجموع هزینه‌ی لازم برای ایجاد ظرفیت‌های بهینه‌ی اتاق‌های سه‌گانه، از بیشینه‌ی فضای سرمایه‌ی در دسترس تجاوز نکند.

رابطه‌ی ۱ نیز مربوط به تابع هزینه‌ی مدل پیشنهادی است که در صد دکمینه کردن آن هستیم.

این تابع هزینه از حاصل جمع دو نوع هزینه‌ی متفاوت و متضاد تشکیل می‌شود. هزینه‌ی قسمت اول ناشی از ایجاد ظرفیتی بیش از اندازه‌ی بهینه  $(k > k^*)$  است. در واقع اگر هتلی با ظرفیت خیلی زیاد ایجاد شود، در بیشتر اوقات بخشی از این ظرفیت ایجاد شده خالی خواهد ماند و به دلیل خواب سرمایه و از دست دادن موقعیت‌ها و فرصت‌های دیگر سرمایه‌گذاری، هزینه‌ی زیادی را به سرمایه‌گذاران تحمیل می‌کند و در عین حال چنین هتلی با این تعداد زیاد اتاق، کارایی زیادی هم نخواهد داشت. این هزینه به نام هزینه‌ی ایجاد ظرفیت مازاد شناخته می‌شود و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\sum_{n=0}^{K_j} (K_j - n) \cdot \pi_{n_j} \cdot b_j \quad (5)$$

هزینه‌ی دوم در اثر ساخت هتل با ظرفیتی کمتر از ظرفیت بهینه  $(k < k^*)$  ایجاد می‌شود. در واقع، اگر یک هتل با ظرفیت کم ایجاد شود، در بیشتر اوقات ظرفیت هتل تکمیل می‌شود و توانایی پذیرش و اسکان مسافران بیشتر وجود نخواهد داشت. در این حالت به ازای هر مشتری از دست‌رفته با نوعی سود از دست‌رفته مواجه خواهیم شد. این سود از دست‌رفته به عنوان هزینه‌ی کمبود ظرفیت شناخته می‌شود و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\sum_{n=K_j+1}^{\infty} (n - K_j) \cdot \pi_{n_j} \cdot P_j \quad (6)$$

مشاهده می‌شود که با تغییر ظرفیت هتل، این دو هزینه در جهت مخالف یکدیگر تغییر می‌کنند. در واقع، با افزایش ظرفیت، هزینه‌ی ایجاد ظرفیت مازاد افزایش و هزینه‌ی کمبود ظرفیت کاهش می‌یابد و برعکس.

تابع هزینه‌ی کل  $(C_T)$  ناشی از ساخت هتل با ظرفیتی غیربهینه  $(k \neq k^*)$ ، از جمع دو هزینه‌ی ظرفیت مازاد و کمبود ظرفیت به دست می‌آید. البته هزینه‌ی ایجاد ظرفیت مازاد، تنها یک بار و در ابتدای افق برنامه‌ریزی هنگام ساخت، خرید، یا اجاره‌ی هتل تحمیل می‌شود در حالی که هزینه‌ی کمبود ظرفیت در طول افق برنامه‌ریزی در هر دوره باید پرداخت شود. برای اینکه بتوان دو هزینه را در کنار هم مقایسه کرد لازم است هزینه‌ی ایجاد ظرفیت مازاد با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول بین دوره‌های افق برنامه‌ریزی توزیع شود تا هر دو هزینه به هزینه‌های یکنواخت دوره‌ی تبدیل شوند. برای این کار هزینه‌ی ایجاد ظرفیت مازاد را در عامل باز یافت سرمایه  $(CRF)$  ضرب می‌کنیم.

$$CRF = (A/P, i, N) = [(i \cdot (1+i)^N) / ((1+i)^N - 1)] \quad (7)$$

در نهایت این تابع هزینه را برای هر سه نوع اتاق هتل (به ازای  $j = 1, 2, 3$ ) جمع می‌کنیم:

$$C_T = \sum_{j=1}^3 \left[ \frac{i \cdot (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \cdot \sum_{n=0}^{K_j} (K_j - n) \cdot \pi_{n_j} \cdot b_j + \sum_{n=K_j+1}^{\infty} (n - K_j) \cdot \pi_{n_j} \cdot P_j \right] \quad (8)$$

کرد. در نتیجه، مدل ریاضی ۱۶ با تابع هدف فازی مثلثی تبدیل به مدل برنامه‌ریزی ریاضی سه‌هدفه فازی زیر خواهد شد.

$$\begin{aligned} \text{Min } (Z_1) &= (C^M - C^L)X \\ \text{Max } (Z_r) &= C^M X \\ \text{Max } (Z_r) &= (C^R - C^M)X \\ \text{s.t.} \\ AX &\leq b; \quad X \geq 0 \end{aligned} \quad (17)$$

در روش ترابی و حصینی با ایجاد تابع عضویت فازی برای درجه‌ی بهینه‌شدن هر هدف، سعی می‌شود کمترین درجه‌ی بهینه‌شدن اهداف پیشینه شود.

#### ۲.۴. روش ترابی و حصینی

در این روش برای تعیین تابع عضویت فازی تابع هدف  $Z_1$ ، ابتدا بهترین و بدترین مقدار تابع هدف  $Z_1$  در مدل مطابق روابط ۱۸ و ۱۹ به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} Z_1^l &= \text{Min } (C^M - C^L)X \\ \text{s.t.} \\ AX &\leq b; \quad X \geq 0 \end{aligned} \quad (18)$$

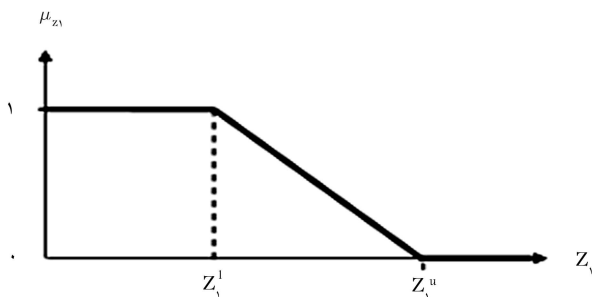
$$\begin{aligned} Z_1^u &= \text{Max } (C^M - C^L)X \\ \text{s.t.} \\ AX &\leq b; \quad X \geq 0 \end{aligned} \quad (19)$$

سپس، تابع عضویت خطی فازی برای تابع هدف  $Z_1$  که باید کمینه شود از رابطه‌ی ۲۰ محاسبه می‌شود.

$$\mu_{Z_1}(Z_1) = \begin{cases} 1 & Z_1 \leq Z_1^l \\ \frac{Z_1^u - Z_1}{Z_1^u - Z_1^l} & Z_1^l \leq Z_1 \leq Z_1^u \\ 0 & Z_1 \geq Z_1^u \end{cases} \quad (20)$$

تابع عضویت بهینه‌شدن هدف  $Z_1$  در شکل ۱ آمده است.

روش مشابهی برای توابع هدف  $Z_2$  و  $Z_3$  انجام می‌شود با این تفاوت که با توجه به پیشینه‌سازی این دو تابع، تابع عضویت خطی فازی آنها از رابطه‌ی ۲۱ به دست می‌آید. تابع عضویت فازی رابطه‌ی ۲۱، در شکل ۲ آمده است.



شکل ۱. تابع عضویت بهینه‌شدن هدف  $Z_1$ .

بنابراین، در شرایط عدم قطعیت، مدل ریاضی ارائه‌شده برای تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل به صورت زیر توسعه داده می‌شود:

$$\text{Min } \tilde{C}_T = \sum_{j=1}^r \left[ \frac{\tilde{i}_j(1+\tilde{i})^N}{(1+\tilde{i})^{N-1}} \cdot \sum_{n=0}^{K_j} (K_j - n) \cdot \pi_{nj} \cdot b_j + \sum_{n=K_j+1}^{\infty} (n - K_j) \cdot \pi_{nj} \cdot \tilde{P}_j \right] \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^r a_j k_j \leq S \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^r b_j k_j \leq B \quad (13)$$

$$K_j \geq 0, \text{ Integer } \quad \forall j \in J \quad (14)$$

این مدل، در واقع یک مدل برنامه‌ریزی فازی است که در آن ضرایب متغیرها در تابع هدف به صورت فازی مثلثی تعریف شده است.

راهکارهای متنوعی برای برخورد با این نوع از مسائل برنامه‌ریزی فازی وجود دارد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از روش لای و هوآنگ<sup>[۳۰]</sup> تابع هدف فازی مدل به سه تابع هدف قطعی تبدیل می‌شود. سپس مجدداً با رویکرد فازی و با استفاده از روش ترابی و حصینی<sup>[۳۱]</sup> تابع سه‌هدفه‌ی به دست آمده در مرحله‌ی قبل را به یک تابع تک‌هدفه‌ی قطعی تبدیل و اقدام به حل آن می‌کنیم.

در مقاله‌ی ترابی و حصینی<sup>[۳۱]</sup> کارایی بیشتر رویکرد پیشنهادی آنها نسبت به روش‌های معروف و پرکاربرد پیشین مانند روش زیرمن<sup>[۳۲]</sup> برای مدل‌های خطی و حتی غیرخطی فازی به اثبات رسیده است. بنابراین، در این مقاله به جای استفاده از رویکردهای قبلی از رویکرد جدید ترابی و حصینی استفاده شده است.

#### ۱.۴. روش لای و هوآنگ

در روش لای و هوآنگ، ضرایب متغیرها در تابع هدف می‌توانند مطابق رابطه‌ی ۱۵ اعداد فازی باشند.

$$\begin{aligned} \text{Max } \tilde{Z} &= \tilde{C}X \\ \text{s.t.} \\ AX &\leq b; \quad X \geq 0 \end{aligned} \quad (15)$$

اگر ضرایب تابع هدف به صورت اعداد فازی مثلثی  $\tilde{C} = (C^L, C^M, C^R)$  باشند:

$$\text{Max } \tilde{Z} = \sum_{j=1}^n (c_j^L, c_j^M, c_j^R) \cdot x_j$$

$$\begin{aligned} \text{s.t.} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j &\leq b \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad x_j \geq 0 \end{aligned} \quad (16)$$

بنابراین،  $\tilde{Z}$  نیز یک متغیر فازی مثلثی به صورت  $\tilde{Z} = (C^M X)$  خواهد بود. بر اساس روش لای و هوآنگ<sup>[۳۰]</sup> برای پیشینه‌کردن تابع هدف فازی مثلثی در رابطه‌ی (۱۶) می‌توان به‌طور هم‌زمان، ممکن‌ترین مقدار  $(C^M X)$  را پیشینه، بال سمت چپ  $((C^M - C^L)X)$  را کمینه و بال سمت راست  $((C^R - C^M)X)$  را پیشینه

$$\text{Max } (-Z_r) = - \sum_{j=1}^r \left[ \begin{aligned} & \left[ \frac{(i^{R-i^M}) \cdot (\nu + (i^{R-i^M}))^N}{(\nu + (i^{R-i^M}))^{N-1}} \right] \\ & \cdot \sum_{n=0}^{K_j} (K_j - n) \cdot \pi_{nj} \cdot b_j \\ & + \sum_{n=K_j+1}^{\nu} (n - K_j) \cdot \pi_{nj} \cdot (P_j^R - P_j^M) \end{aligned} \right] \quad (26)$$

$$Z_r^l = \text{Min } (-Z_r) \quad Z_r^u = \text{Max } (-Z_r)$$

$$\sum_{j=1}^r a_j k_j \leq S \quad \sum_{j=1}^r a_j k_j \leq S$$

$$\sum_{j=1}^r b_j k_j \leq B \quad \sum_{j=1}^r b_j k_j \leq B$$

$$K_j \geq 0, \text{ Integer} \quad K_j \geq 0, \text{ Integer} \quad (27)$$

$$Z_r^l = \text{Min } (-Z_r) \quad Z_r^u = \text{Max } (-Z_r)$$

$$\sum_{j=1}^r a_j k_j \leq S \quad \sum_{j=1}^r a_j k_j \leq S$$

$$\sum_{j=1}^r b_j k_j \leq B \quad \sum_{j=1}^r b_j k_j \leq B$$

$$K_j \geq 0, \text{ Integer} \quad K_j \geq 0, \text{ Integer} \quad (28)$$

$$Z_r^l = \text{Min } (-Z_r) \quad Z_r^u = \text{Max } (-Z_r)$$

$$\sum_{j=1}^r a_j k_j \leq S \quad \sum_{j=1}^r a_j k_j \leq S$$

$$\sum_{j=1}^r b_j k_j \leq B \quad \sum_{j=1}^r b_j k_j \leq B$$

$$K_j \geq 0, \text{ Integer} \quad K_j \geq 0, \text{ Integer} \quad (29)$$

$$\text{Max } Y = \gamma w + (\nu - \gamma) \sum_h \theta_h \mu_{z_h}(z_h)$$

s.t.

$$W \leq \frac{\sum_{j=1}^r \left[ \begin{aligned} & \left[ \frac{(i^{M-i^L}) \cdot (\nu + (i^{M-i^L}))^N}{(\nu + (i^{M-i^L}))^{N-1}} \right] \\ & \cdot \sum_{n=0}^{K_j} (K_j - n) \cdot \pi_{nj} \cdot b_j \\ & + \sum_{n=K_j+1}^{\nu} (n - K_j) \cdot \pi_{nj} \cdot (P_j^M - P_j^L) \end{aligned} \right]}{Z_r^u - Z_r^l}$$

$$- \sum_{j=1}^r \left[ \begin{aligned} & \left[ \frac{i^M \cdot (\nu + i^M)^N}{(\nu + i^M)^{N-1}} \right] \\ & \cdot \sum_{n=0}^{K_j} (K_j - n) \cdot \pi_{nj} \cdot b_j \\ & + \sum_{n=K_j+1}^{\nu} (n - K_j) \cdot \pi_{nj} \cdot P_j^M \end{aligned} \right] - Z_r^l$$

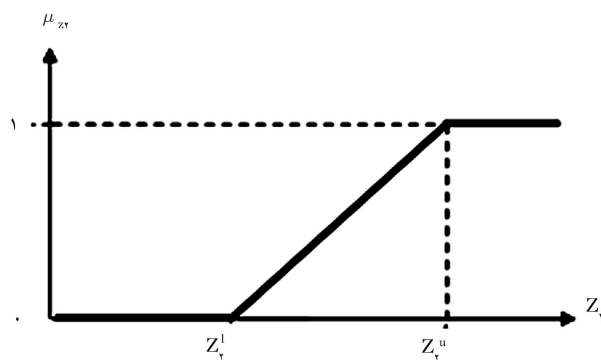
$$W \leq \frac{\quad}{Z_r^u - Z_r^l}$$

$$- \sum_{j=1}^r \left[ \begin{aligned} & \left[ \frac{(i^{R-i^M}) \cdot (\nu + (i^{R-i^M}))^N}{(\nu + (i^{R-i^M}))^{N-1}} \right] \\ & \cdot \sum_{n=0}^{K_j} (K_j - n) \cdot \pi_{nj} \cdot b_j \\ & + \sum_{n=K_j+1}^{\nu} (n - K_j) \cdot \pi_{nj} \cdot (P_j^R - P_j^M) \end{aligned} \right] - Z_r^l$$

$$W \leq \frac{\quad}{Z_r^u - Z_r^l}$$

$$\theta_h \text{ and } \gamma \in [0, \nu]$$

$$K_j \geq 0, \text{ Integer} \quad (30)$$



شکل ۲. تابع عضویت بهینه شدن هدف  $Z_r$ .

$$\mu_{Z_r}(Z_r) = \begin{cases} 0; & Z_r \leq Z_r^l \\ \frac{Z_r - Z_r^l}{Z_r^u - Z_r^l}; & Z_r^l \leq Z_r \leq Z_r^u \\ 1; & Z_r \geq Z_r^u \end{cases} \quad (21)$$

به این ترتیب، مسئله‌ی سه هدفه‌ی ۱۷ تبدیل به مسئله تک هدفه‌ی ۲۲ می‌شود که در آن کمترین درجه‌ی بهینه شدن توابع هدف بیشینه می‌شود.

$$\text{Max } Y = \gamma w + (\nu - \gamma) \sum_h \theta_h \mu_{z_h}(z_h)$$

s.t.

$$w \leq \mu_{z_h}(z_h), \quad h = 1, 2, 3 \quad (28)$$

$$\theta_h \text{ and } \gamma \in [0, \nu] \quad (22)$$

تابع هزینه‌ی پیشنهادی در این مقاله یک تابع هدف با ضرایب هزینه‌ی فازی است.

$$\text{Max } (-\tilde{Z}) = - \sum_{j=1}^r \left[ \begin{aligned} & \left[ \frac{i \cdot (\nu + i)^N}{(\nu + i)^{N-1}} \right] \cdot \sum_{n=0}^{K_j} (K_j - n) \cdot \pi_{nj} \cdot b_j \\ & + \sum_{n=K_j+1}^{\nu} (n - K_j) \cdot \pi_{nj} \cdot \tilde{P}_j \end{aligned} \right] \quad (23)$$

بنابراین، از مجموعه روابط ۱۵-۲۲ استفاده می‌شود تا مدل بهینه‌ی معادل قطعی آن به صورت روابط ۲۴-۳۰ به دست آید.

$$\text{Min } (-Z_r) = - \sum_{j=1}^r \left[ \begin{aligned} & \left[ \frac{(i^{M-i^L}) \cdot (\nu + (i^{M-i^L}))^N}{(\nu + (i^{M-i^L}))^{N-1}} \right] \\ & \cdot \sum_{n=0}^{K_j} (K_j - n) \cdot \pi_{nj} \cdot b_j \\ & + \sum_{n=K_j+1}^{\nu} (n - K_j) \cdot \pi_{nj} \cdot (P_j^M - P_j^L) \end{aligned} \right] \quad (24)$$

$$\text{Max } (-Z_r) = - \sum_{j=1}^r \left[ \begin{aligned} & \left[ \frac{i^M \cdot (\nu + i^M)^N}{(\nu + i^M)^{N-1}} \right] \cdot \sum_{n=0}^{K_j} (K_j n) \cdot \pi_{nj} \cdot b_j \\ & + \sum_{n=K_j+1}^{\nu} (n - K_j) \cdot \pi_{nj} \cdot P_j^M \end{aligned} \right] \quad (25)$$

جدول ۱. داده‌های مربوط به مثال.

پارامترهای مسئله	مقادیر پارامترها
$N$	$365 \times 10 = 3650$ روز
$i$	$0.03, 0.05, 0.08$ و $0.08$ (روزانه)
$B_{max}$	$500000$ (\$)
$S_{max}$	$3000$ ( $m^2$ )
$a_1, a_2, a_3$	$30, 40, 60$ ( $m^2$ )
$b_1, b_2, b_3$	$4500, 5500, 7000$ (\$)
$\bar{P}_1$	$70, 90$ و $98$ (بابت هر شب)
$\bar{P}_2$	$135, 150$ و $168$ (بابت هر شب)
$\bar{P}_3$	$155, 200$ و $215$ (بابت هر شب)
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	$10, 15, 25$ (روزانه)
$\frac{1}{\mu_1}, \frac{1}{\mu_2}, \frac{1}{\mu_3}$	$0.375, 2.5, 4$ (روز)

سوئیت را برابر با ۱۲ واحد و تعداد بهینه‌ی اتاق‌ها از نوع تک‌خوابه و دوخوابه را به ترتیب برابر با ۴ و ۸ واحد بیان می‌کند.

در برنامه‌ی متلب مقدار کران بالای سیگما دوم در تابع هزینه را به جای  $(\infty)$  بی‌نهایت باید یک عدد بزرگ قرار داد. این عدد بزرگ باید به گونه‌ی انتخاب شود که مجموع احتمالات تا حد زیادی به یک نزدیک شود. در این مثال این عدد را برابر با ۱۰۰۰ قرار داده‌ایم.

$$\sum_{n=0}^{1000} \pi_{n1} = 0.9999 \cong 1$$

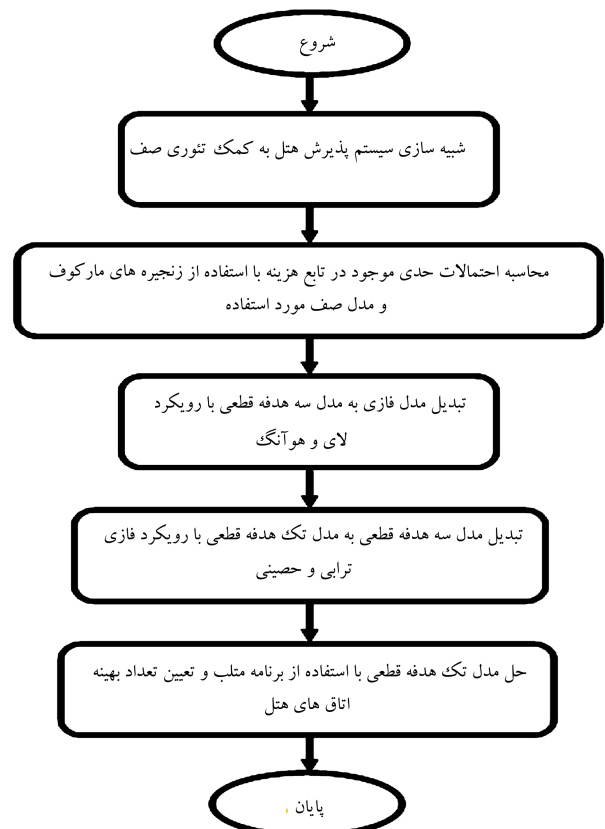
$$\sum_{n=0}^{1000} \pi_{n2} = 0.9998 \cong 1$$

$$\sum_{n=0}^{1000} \pi_{n3} = 0.9999 \cong 1$$

در این مثال با توجه به مقادیر مربوط به نرخ ورود و نرخ ماندگاری مسافران، بهینه‌ی تعداد اتاق‌های قابل ساخت برای هر کدام از انواع اتاق‌های سه‌گانه ۱۰۰ عدد در نظر گرفته شده است ( $K_j < 100$ ). چنانچه به علت وجود نرخ ورود مسافر بیشتر، بخواهیم این مسئله را با در نظر گرفتن تعداد اتاق بیشتری برای هر کدام از انواع اتاق‌های سه‌گانه حل کنیم، آنگاه دیگر برنامه‌ی نوشته شده در مرحله‌ی قبل در زمان معقول به جواب نمی‌رسد. پس در شرایطی که با ابعاد بزرگتری از مسئله مواجه هستیم باید از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری استفاده کنیم.

## ۲.۵. مطالعه‌ی موردی: هتل فانوس دریا مشهد

هتل فانوس دریا در سال ۱۳۶۵ پس از تغییرات اساسی در شرایط ساختمانی و فیزیکی تبدیل به هتلی با ۴۲ اتاق در ۵ طبقه شد و توانست در آن زمان مجوز هتل سه ستاره را نیز بگیرد. با افزایش چشم‌گیر حجم مسافران داخلی و خارجی در اواخر دهه‌ی هشتاد، مدیران و مالکان این هتل تصمیم گرفتند این هتل را به صورت کمی و کیفی ارتقا دهند و سرانجام در سال ۱۳۹۱ ساختمان قدیمی این هتل تخریب شد تا



شکل ۳. فلوچارت حل مسئله‌ی ظرفیت بهینه‌ی هتل در شرایط عدم قطعیت.

مدل ریاضی رابطه‌ی ۳ در متلب پیاده‌سازی می‌شود و جواب بهینه آن به دست می‌آید تا با بهینه‌کردن کمترین درجه‌ی بهینه‌سازی سه تابع هدف ( $W$ ), تابع فازی کل هزینه‌ها بهینه و مقدار بهینه‌ی ظرفیت هتل تعیین شود. شکل ۳ فرایند حل مسئله‌ی تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل در شرایط عدم قطعیت را با استفاده از مدل صف پیشنهادی و رویکرد حل فازی نشان می‌دهد.

## ۵. نتایج عددی

### ۱.۵. مثال عددی مسئله‌ی تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل

فرض کنید تعدادی از سرمایه‌گذاران صنعت گردشگری تصمیم گرفته‌اند یک هتل ۵ ستاره بسازند. اکنون پس از مرحله‌ی مکان‌یابی هتل، باید درباره‌ی ظرفیت هتل تصمیم‌گیری کنند. آنها تصمیم دارند با در نظر گرفتن افق زمانی ۱۰ ساله، ظرفیت بهینه برای ساخت هتل را به دست آورند. پس از جمع‌آوری اطلاعاتی از چندین هتل در نواحی اطراف و تحلیل و بررسی داده‌ها، اطلاعات مورد نیاز برای تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل مطابق جدول ۱ به دست آمده است.

### ۱.۱.۵. حل مثال عددی

با استفاده از کد نوشته شده در متلب مقادیر تابع هزینه‌ی مدل پیشنهادی به ازای ظرفیت‌های مختلف به دست می‌آید و ظرفیت‌هایی که علاوه بر ارضاکردن محدودیت‌ها، کمترین مقدار تابع هزینه را برای سرمایه‌گذاران دارند به عنوان ظرفیت‌های بهینه برای ایجاد انواع اتاق‌های سوئیت، یک‌خوابه و دوخوابه در نظر گرفته می‌شوند. نتایج خروجی برنامه‌ی متلب برای این مثال، تعداد بهینه‌ی اتاق‌های از نوع

جدول ۲. داده‌های مربوط به مطالعه موردی.

پارامترهای مسئله	مقادیر پارامترها
$N$	$365 \times 10 = 3650$ روز
$i$	$0.5\%$ , $0.6\%$ , $0.7\%$ (روزانه)
$B_{max}$	۴ میلیارد تومان
$S_{max}$	$3400$ ( $m^2$ )
$a_T, a_T, a_1$	$38.25$ و $50$ ( $m^2$ )
$b_T, b_T, b_1$	$30$ , $40$ و $45$ (میلیون)
$\bar{P}_1$	$13$ , $297$ و $350$ (هزار)
$\bar{P}_T$	$22$ , $424$ و $500$ (هزار)
$\bar{P}_T$	$30$ , $680$ و $750$ (هزار)
$\lambda_T, \lambda_T, \lambda_1$	$125$ , $97$ و $52$ (روزانه)
$\frac{1}{\mu_T}, \frac{1}{\mu_T}, \frac{1}{\mu_1}$	$3.4$ , $2.4$ و $2$ (روز)

مسافران برای اتاق‌های سه‌گانه ( $\frac{1}{\mu_j}$  ها)،  $0.7$  ادوار گذشته در نظر گرفته شد. همچنین، متوسط تعداد مسافران ورودی به هتل در دوره‌ی جدید ( $\lambda$  ها) نیز ۳ برابر تعداد مسافران ورودی به این هتل در ادوار گذشته برآورد شد.

#### ۱.۲.۵. حل مسئله‌ی مطالعه‌ی موردی

پس از ورود این اطلاعات در مدل گذشته در برنامه‌ی متلب، نتایج خروجی تعداد بهینه‌ی اتاق‌ها از نوع سوئیت را برابر با ۶۱ واحد و تعداد بهینه‌ی اتاق‌ها از نوع یک‌خوابه و دوخوابه را به ترتیب برابر با ۲۸ و ۱۶ واحد نشان می‌دهد. گفتنی است که پس از تعیین جواب‌های بهینه توسط مدل پیشنهادی، ساخت این تعداد از انواع اتاق‌های سه‌گانه با شرایط ابعادی و مکانی هتل و همچنین با طرح پیشنهادی معمار اصلی و مدیر پروژه مطابقت نداشت؛ پس با در نظر گرفتن این شرایط تغییراتی در تعداد بهینه‌ی اتاق‌ها لحاظ شد. طبق طرح نهایی ۵۸ واحد سوئیت، ۳۰ واحد اتاق تک‌خوابه و ۱۶ واحد اتاق دوخوابه برای ساخت هتل جدید برنامه‌ریزی شد.

#### ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

در این پژوهش به منظور تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل، یک مدل کوله‌پشتی مبتنی بر نظریه‌ی صف ارائه شد. در رویکرد پیشنهادی ابتدا با استفاده از مبانی نظریه‌ی صف، سیستم پذیرش مسافران هتل شبیه‌سازی شد. سپس با تعریف یک تابع هزینه و با در نظر گرفتن محدودیت‌های مالی سرمایه‌گذاران و محدودیت‌های فضایی مکان هتل، یک مدل کوله‌پشتی برای تعیین ظرفیت بهینه‌ی هتل توسعه داده شد. برخلاف مدل‌ها و رویکردهای پیشین که فقط برای شرایط فرضی خاص قابل استفاده‌اند، استفاده از نظریه‌ی صف به دلیل وجود مدل‌های متنوع و همچنین قدرت ایجاد مدل‌های جدید با استفاده از زنجیرهای مارکوف، امکان انطباق مدل پیشنهادی با شرایط واقعی مختلف را میسر می‌سازد. هم‌اکنون مدل‌های صف زیادی در مطالعات علمی ارائه شده است که به‌سادگی می‌توان با توجه به شرایط مختلف مسئله‌ی مورد بحث آنها را به کار برد. ارائه‌ی این مدل‌ها روزبه‌روز در حال افزایش است و با توجه به نیازهای مختلف برای مدل‌سازی محیط‌های واقعی بسط داده می‌شود. پیشنهاد می‌شود که مدل ارائه‌شده در این مقاله، با

بر اساس اهداف جدید عملیات نوسازی این هتل کلید بخورد. افزایش ظرفیت هتل برای پذیرش بیشتر گردشگران و همچنین افزایش سطح خدمات به مسافران، برای تبدیل درجه‌ی هتل به یک هتل چهار ستاره از مهم‌ترین اهداف مالکان در تعریف این پروژه بود تا بدین وسیله سود نهایی به‌دست‌آمده در طول اقی برنامه‌ریزی، که مدت ۱۰ سال در نظر گرفته شده بود، بیشینه شود.

بر اساس مساحت اولیه‌ی زمین و مجوز ساخت هتل جدید در ۱۰ طبقه و پس از کسر مساحت مورد نیاز برای رستوران، واحد پذیرش، سونا، جکوزی، آسانسور، لابی، صرافی، واحد لباسشویی و خشکشویی، باشگاه ورزشی، پارکینگ، صندوق امانات و...، بیشینه‌ی مساحت در دسترس برای تخصیص به انواع اتاق‌های هتل  $3400$  متر مربع است. همچنین مجموع مبلغ آورده توسط مالکان این هتل و وام دریافتی از بانک، مبلغ ۹ میلیارد تومان پیش‌بینی شده است که در سه فاز جداگانه به پروژه تزریق خواهد شد. البته بر اساس پیش‌بینی‌های تیم پروژه، ساخت و تجهیز دو طبقه‌ی اول و دو طبقه‌ی آخر این هتل که مربوط به پارکینگ، رستوران و سایر واحدهای تشریفاتی این هتل است در مجموع بالغ بر ۵ میلیارد تومان اعتبار نیاز دارد. بنابراین، برای ساخت و تجهیز انواع اتاق‌های اقامتی مسافران در ۶ طبقه‌ی میانی هتل حداکثر ۴ میلیارد هزینه پیش‌بینی شده است. هتل دارای سه نوع اتاق (سوئیت، تک‌خوابه و دوخوابه) است. با توجه به نرخ‌نامه‌ی اتحادیه‌ی هتل‌داران، قیمت هر شب اقامت مسافران در هتل‌های چهارستاره برای اتاق‌های از نوع سوئیت دو نفره، ۲۹۷ هزار تومان، برای اتاق‌های تک‌خوابه ۴۲۴ هزار تومان و برای اتاق‌های دوخوابه ۶۸۰ هزار تومان تعریف و ابلاغ شده است. البته این قیمت‌ها در طول سال و با توجه به قانون عرضه و تقاضا دچار تغییرات نسبتاً زیادی می‌شود به طوری که با تخفیف‌های در نظر گرفته‌شده در ایام خلوت و غیر اوج سال نیز گاهی این قیمت‌ها با کاهش ۵۰ درصدی مواجه می‌شوند. بنابراین، با توجه به گزارش‌هایی که از افراد خیره و مطلع مانند مدیر مالی و مدیر داخلی از روند قیمت‌ها در دوره‌های گذشته دریافت شد و با استفاده از نظریه‌ی فازی، قیمت‌های فازی مثلثی برای اقامت در اتاق‌های هتل در نظر گرفته شد.

با توجه به گزارش‌های معمار و مدیر پروژه نیز برای هر اتاق از نوع سوئیت ۲۵ متر مربع، برای اتاق تک‌خوابه ۳۸ مترمربع و برای هر اتاق دوخوابه ۵۰ متر مربع برای ساخت در نظر گرفته شد. در ادامه پس از بررسی‌ها و جمع‌آوری اطلاعات، مبلغ لازم برای ساخت و تجهیز انواع اتاق برآورد شد که این مبلغ برای هر سوئیت ۳۰ میلیون تومان و برای هر اتاق تک‌خوابه ۴۰ میلیون تومان و برای اتاق‌های دوخوابه ۴۵ میلیون تومان پیش‌بینی شد. با توجه به تغییرات نرخ بهره‌ی بانکی در طول اقی برنامه‌ریزی ۱۰ ساله، نرخ بهره‌ی روزانه نیز به‌صورت فازی برآورد شده است. خلاصه‌ی اطلاعات به‌دست آمده درباره‌ی شرایط داخلی و خارجی این هتل در جدول ۲ آمده است.

توجه شود که بر اساس داده‌ها و اطلاعات ثبت‌شده مربوط به زمان‌های پذیرش و مدت زمان اقامت مسافران این هتل در دوره‌های گذشته و پس از مطابقت این داده‌ها با توزیع‌های آماری مختلف در نرم‌افزار Arena، این نتیجه حاصل شد که توزیع نمایی نزدیک‌ترین توزیع به توزیع آماری مربوط به فاصله‌ی زمانی بین ورود مسافران و همچنین مدت زمان اقامت آنها در این هتل است.

ضمناً با توجه به گزارش‌های سازمان میراث فرهنگی و گردشگری شهر مشهد مبنی بر کاهش ۳۰ درصدی در مدت زمان اقامت مسافران در شهر مشهد و همچنین افزایش ۲/۲ برابری تعداد مسافرت‌ها به شهر مشهد نسبت به دوره‌های گذشته و با توجه به ارتقای کمی و کیفی هتل نسبت به گذشته، میانگین مدت زمان اقامت



می‌شود در این موارد از ترکیبی از این مدل‌ها با روش‌های شبیه‌سازی استفاده شود.

همچنین غیرقطعی فرض کردن نرخ ورود مسافران و مدت زمان اقامت آنها در هتل در کنار ارائه‌ی رویکردهای حل ابتکاری و فرایبتکاری برای حل مسائلی با ابعاد بزرگتر (شرایطی که بیشینه‌ی تعداد اتاق در نظر گرفته شده برای انواع اتاق‌های سه‌گانه بیش از  $10^6$  اتاق باشد)، می‌تواند از حوزه‌های جذاب برای انجام تحقیقات آتی به شمار آید.

استفاده از مدل‌های صف غیرمارکوفی با توابع توزیع کلی (مثل مدل  $G/G/1$ )، برای حالت‌هایی که ورود مسافران به هتل، با مدت زمان اقامت مسافران، دارای توزیع‌هایی غیر از پواسون و نمایی باشند، بسط داده شود. همچنین می‌توان رویکرد پیشنهادی را با استفاده از مدل‌های صف ورود گروهی (مانند مدل  $M/M^{[r]}/1$ ) برای هتل‌هایی که مسافران را به صورت کاروانی پذیرش می‌کنند (مانند هتل‌های مکه و مدینه) پیاده‌سازی کرد. البته بعضی از حالت‌های پیچیده‌تری نیز وجود دارد که امکان انطباق کامل آنها، با مدل‌های صف مرسوم، وجود ندارد که پیشنهاد

## منابع (References)

- Khalili, S., Zare Mehrjerdi, Y., Fallahnezhad, H. and Mohammadzade, M.S. "Hotel location problem using erlang queuing model under uncertainty", *International Journal of Engineering (IJE), Transactions C: Aspects*, **27**(12), pp. 1885-1894 (December 2014).
- Egan, D.J. and Nield, K. "Towards a theory of intra urban hotel location", *Urban Studies*, **37**(3), pp. 611-621 (2000).
- Taylor, G.D. "How to match plant with demand: A matrix for marketing", *International Journal of Tourism Management*, **1**(1), pp. 56-60 (1980).
- Klassen, K.J. and Rohleder, T.R. "Demand and capacity management decisions in services: How they impact on one another", *International Journal of Operations & Production Management*, **22**(5), pp. 527-548 (2002).
- Getz, D. "Capacity to absorb tourism: Concepts and implications for strategic planning", *Annals of Tourism Research*, **10**(2), pp. 239-263 (1983).
- Crandall, R.E. and Markland, R.E. "Demand management-today's challenge for service industries", *Production and Operations Management*, **5**(2), pp. 106-120 (1996).
- Pullman, M. and Rodgers, S. "Capacity management for hospitality and tourism: A review of current approaches", *International Journal of Hospitality Management*, **29**(1), pp. 177-187 (2010).
- White, J.A. and Francis, R.L. "Normative models for some warehouse sizing problems", *AIIE Transactions*, **3**(3), pp. 185-190 (1971).
- Rao, A. and Rao, M. "Solution procedures for sizing of warehouses", *European Journal of Operational Research*, **108**(1), pp. 16-25 (1998).
- Kao, E.P. and Tung, G.G. "Bed allocation in a public health care delivery system", *Management Science*, **27**(5), pp. 507-520 (1981).
- Milne, E. and Whitty, P. "Calculation of the need for paediatric intensive care beds", *Archives of Disease in Childhood*, **73**(6), pp. 505-507 (1995).
- Bagust, A., Place, M. and Posnett, J.W. "Dynamics of bed use in accommodating emergency admissions: Stochastic simulation model", *BMJ: British Medical Journal*, **319**(7203), pp. 155-8 (1999).
- Romanin-Jacur, G. and Facchin, P. "Optimal planning of a pediatric semi-intensive care unit via simulation", *European Journal of Operational Research*, **29**(2), pp. 192-198 (1987).
- McManus, M.L., Long, M.C., Cooper, A. and Litvak, E. "Queuing theory accurately models the need for critical care resources", *Anesthesiology*, **100**(5), pp. 1271-1276 (2004).
- Hershey, J.C., Weiss, E.N. and Cohen, M.A. "A stochastic service network model with application to hospital facilities", *Operations Research*, **29**(1), pp. 1-22 (1981).
- Gorunescu, F., McClean, S.I. and Millard, P.H. "Using a queueing model to help plan bed allocation in a department of geriatric medicine", *Health Care Management Science*, **5**(4), pp. 307-312 (2002).
- Kokangul, A. "A combination of deterministic and stochastic approaches to optimize bed capacity in a hospital unit", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **90**(1), pp. 56-65 (2008).
- Hwang, J., Gao, L. and Jang, W. "Joint demand and capacity management in a restaurant system", *European Journal of Operational Research*, **207**(1), pp. 465-472 (2010).
- Gu, Z. "Analysis of Las Vegas strip casino hotel capacity: An inventory model for optimization", *Tourism Management*, **24**(3), pp. 309-314 (2003).
- Chen, C.-M. and Lin, Y.-C. "The influence of uncertain demand on hotel capacity", *International Journal of Hospitality Management*, **34**, pp. 462-465 (2012).
- Pan, C.-M. "Market demand variations, room capacity, and optimal hotel room rates", *International Journal of Hospitality Management*, **26**(3), pp. 748-753 (2007).
- Aziz, H.A., Saleh, M., Rasmy, M.H. and ElShishiny, H. "Dynamic room pricing model for hotel revenue management systems", *Egyptian Informatics Journal*, **12**(3), pp. 177-183 (2011).
- Heo, C.Y. and Lee, S. "Influences of consumer characteristics on fairness perceptions of revenue management pricing in the hotel industry", *International Journal of Hospitality Management*, **30**(2), pp. 243-251 (2011).

24. Zhang, H., Zhang, J., Lu, S., Cheng, S. and Zhang, J. "Modeling hotel room price with geographically weighted regression", *International Journal of Hospitality Management*, **30**(4), pp. 1036-1043 (2011).
25. Abrate, G., Fraquelli, G. and Viglia, G. "Dynamic pricing strategies: Evidence from European hotels", *International Journal of Hospitality Management*, **31**(1), pp. 160-168 (2012).
26. Becerra, M., Santaló, J. and Silva, R. "Being better vs. being different: Differentiation, competition, and pricing strategies in the Spanish hotel industry", *Tourism Management*, **34**(0), pp. 71-79 (2013).
27. Guo, X., Ling, L., Yang, C., Li, Z. and Liang, L. "Optimal pricing strategy based on market segmentation for service products using online reservation systems: An application to hotel rooms", *International Journal of Hospitality Management*, **35**(0), pp. 274-281 (2013).
28. Modarres, M. and Najafi, M. "Robust optimization of stochastic revenue management in hotel industry", *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, **20**(4), pp. 11-21 (2010).
29. Gelenbe, E., Pujolle, G. and Nelson, J., *Introduction to Queueing Networks*, 2th ed., Wiley Chichester (1987).
30. Lai, Y.-J. and Hwang, C.-L. "A new approach to some possibilistic linear programming problems", *Fuzzy Sets and Systems*, **49**(2), pp. 121-133 (1992).
31. Torabi, S.A. and Hassini, E. "An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning", *Fuzzy Sets and Systems*, **159**(2), pp. 193-214 (2008).
32. Zimmermann, H.-J. "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", *Fuzzy Sets and Systems*, **1**(1), pp. 45-55 (1978).