

## مدل ریاضی چند هدفه برای تخصیص بهینه کانتر و گیت به پروازهای ورودی (فرودگاه امام خمینی)

علیرضا رشیدی کمیجان<sup>۱</sup>، مرضیه حسنی دوغآبادی<sup>۲\*</sup> و کامران جمالی فیروزآبادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی صنایع - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد فیروزکوه

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد فیروزکوه - باشگاه پژوهشگران جوان

<sup>۳</sup> تاریخ دریافت ۹۲/۸/۴، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۹۲/۱۱/۵، تاریخ تصویب ۹۲/۱۲/۱۸

### چکیده

امروزه با توجه به بالا رفتن سطح توقع مسافران و محدودیت منابع، لازم است مدیران و مسئولان فرودگاهها، برای تدوین برنامه مناسب در راستای تخصیص هر چه بهینه تر منابع، گام بردارند. از جمله منابع یک فرودگاه، گیت و کانتر هستند. در این تحقیق با در نظر گرفتن مسئله تخصیص کانتر و گیت به طور همزمان به پروازهای ورودی، مدل ریاضی مربوطه ارائه شده است. اهداف مدل شامل حداقل کردن طول مسیر پیاده روی مسافران، حداقل کردن تعداد پروازهای تخصیص یافته به پارکینگ و تخصیص یک در میان گیتها (به عنوان محدودیت نرم) است. برای حل مدل ریاضی صفر و یک با تابع هدف چندگانه (MODM<sup>۱</sup>) پس از نرمال سازی و تبدیل آن به یک هدف، از روش دقیق (توسط نرم افزار GAMS) استفاده شده است. از جمله محدودیت های مدل که در تحقیقات دیگر کمتر به آن پرداخته شده است، می توان به تخصیص پروازهای مشابه به یک ترمینال و برقراری توازن در ترمینال های فرودگاه اشاره کرد.

**واژه های کلیدی:** کانتر، گیت، پروازهای ورودی، تخصیص، مدل ریاضی صفر و یک

### مقدمه

مدل می توان به تخصیص هر پرواز به یک گیت، نبود تخصیص دو پرواز همزمان به یک گیت، برقراری توازن در گیت های ترمینالها، محدودیت تخصیص در برخی گیتها و تخصیص پروازهای با مشخصات یکسان به گیت های یک ترمینال در طول افق برنامه ریزی، اشاره کرد.

لازم به ذکر است تخصیص همزمان گیت و کانتر به پروازهای ورودی، تخصیص پروازهای مشابه به یک ترمینال، برقراری توازن در ترمینال های فرودگاه و تخصیص یک در میان گیتها، از جمله مسائلی است که کمتر به آن پرداخته شده و یا اصلاً در مورد آن تحقیقی ارائه نشده است. در اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه گیت، حداقل فاصله پیاده روی مسافران به عنوان یک هدف مهم مد نظر بوده است. از جمله این تحقیقات می توان به موارد زیر اشاره کرد: مهارجان و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) [۱] مدل برنامه ریزی عدد صحیح صفر و یک را برای تخصیص مجدد بهینه هواپیماها به گیتها برای پاسخ به تغییرات روزانه با هدف حداقل کردن فاصله پیاده روی پروازهای ارتباطی یا اصلی ارائه دادند. برخی از تحقیقات ارائه شده

امروزه با توجه به کمبود امکانات و تجهیزات در مقابل تقاضاهای موجود و بالا رفتن سطح توقع مسافران، مسائل و مشکلات فرودگاهها اهمیتی دوچندان یافته است. بنابراین لازم است مدیران و مسئولان فرودگاهی برای بهبود عملیات خود از ابزارها و تکنیک های علمی بهره گیرند تا در جهت افزایش کارایی منابع موجود از آنها استفاده کنند. از جمله منابع یک فرودگاه، گیتها و کانترها هستند که برای سرویس دهی به پروازها از آنها استفاده می شود.

بنابراین ضروری است با در نظر گرفتن مسئله تخصیص گیت و کانتر به پروازها، تا حد امکان بتوان در جهت بهبود وضعیت فرودگاه و نیز جلب رضایت مسافران، گام برداشت. در این راستا در تحقیق حاضر، مدل سازی ریاضی تخصیص کانتر و گیت به پروازهای ورودی ارائه شده است. مدل مربوطه سه هدفه بوده و شامل حداقل کردن فاصله پیاده روی مسافران و حداقل کردن تعداد پروازهای تخصیص یافته به پارکینگ است. هدف سوم نیز مربوط به محدودیت نرم مدل است که تخصیص یک در میان گیتها را برقرار می کند. از جمله محدودیت های

و تحلیل نتایج بیان شده و در پایان نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادات بعدی مطرح شده است.

## ۲- شرح مدل

مدل‌سازی برای یک بازه دو روزه از پروازهای ورودی فرودگاه امام خمینی انجام شده است. در ادامه، اجزای مدل بیان شده است.

### ۲-۱- مفروضات مدل

- مفروضات مدل به این ترتیب است:
- ورود پروازها قطعی و معلوم است.
- در صورت نبود گیت خالی، پروازهای ورودی به پارکینگ خواهند رفت.
- کل فرودگاه یک پارکینگ دارد.
- ظرفیت پارکینگ نامحدود است.
- برنامه‌ریزی گیت و کانتر برای ۲ روز انجام می‌شود.
- تعداد گیت‌های قابل تخصیص به پروازهای ورودی مشخص است.
- در هر زمان که تخصیص گیت انجام گرفت، در همان دوره تخصیص کانتر نیز انجام می‌شود.
- مسافران ترانزیت در نظر گرفته نشده است.

### ۲-۲- اندیس‌ها و مجموعه‌ها

در این مدل، اندیس‌ها و مجموعه‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

- $F_t$ : مجموعه پروازهای ورودی در زمان  $t$
- $FF_t$ : مجموعه پروازهایی که امکان تخصیص به گیت در دوره  $t$  دارند (یا در دوره  $t$  وارد شده‌اند یا  $t-1$  به عبارت دیگر  $FF_t = F_t \cup F_{t-1}$ )
- $f, f'$ : اندیس پروازهای ورودی ( $f, f' \in F_t$  or  $FF_t$ )
- $F$ : مجموعه کل پروازها
- $G_p$ : مجموعه گیت‌های در دسترس ترمینال  $p$
- $g, g' \in G_p$ : اندیس گیت
- $C_p$ : مجموعه کانترهای در دسترس در ترمینال  $p$
- $c \in C_p$ : اندیس کانتر
- $P$ : مجموعه ترمینال‌ها
- $p, p' \in P$ : اندیس ترمینال
- $T$ : مجموعه کل بازه زمانی (۲ روز)
- $t, t'$ : اندیس زمان

برای حل، از رویکرد فراابتکاری استفاده کردند. چنگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) [۲] مسئله تخصیص گیت را با هدف حداقل کردن فاصله پیاده‌روی مسافران با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک<sup>۴</sup>، تبرید تدریجی<sup>۵</sup> و جستجوی ممنوع<sup>۶</sup> و رویکرد ترکیبی تبرید تدریجی و جستجوی ممنوع حل کردند. حسن‌آبادی (۱۳۸۱) [۳] یک مدل ریاضی برای تخصیص هواپیما به گیت را ارائه کرد. در این تحقیق، برخی از پارامترهای مدل که قطعیت نداشتند، به صورت فازی در نظر گرفته شده و مدل با استفاده از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک حل شده است. عبدی و همکاران (۱۳۹۰) [۴] برای بهینه کردن ظرفیت بخش هوایی فرودگاه، زمان‌بندی ماشین‌های سری انعطاف‌پذیر با مدل دو معیاره را ارائه کرده و مسئله را با روش فراابتکاری تبریدی تدریجی حل کردند. ژنگ و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۰) [۵] مسئله تخصیص گیت را با هدف حداقل کردن واریانس کل زمان کمبود ارائه کردند. مدل ارائه‌شده توسط الگوریتم فراابتکاری جستجوی ممنوع، حل شده است. درندرف و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۲) [۶] مسئله تخصیص گیت به پرواز را با در نظر گرفتن تابع چند هدفه ارائه و برای حل آن از یک الگوریتم ابتکاری استفاده کردند. در زمینه تخصیص کانتر به پروازها نیز می‌توان تحقیقات زیر را نام برد:

چان<sup>۹</sup> (۱۹۹۶) [۷] مسئله زمان‌بندی چند بُعدی را ارائه کرد که در آن، زمان‌بندی کانترهای ورودی در فرودگاه بین‌المللی مد نظر قرار گرفت. پارک و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۳) [۸] مدل عملیات کانتر را بر اساس رفتار مسافران (الگوی ورود) ارائه کردند. مدل با استفاده از الگوی توزیع ورود مسافران، مناسب‌ترین تعداد کانترها را محاسبه می‌کند. یان و همکاران (۲۰۰۴) [۹] مسئله تخصیص کانترهای ورودی را بررسی کردند که در آن دو مدل ارائه شد. در مدل اول، هدف، حداقل فاصله پیاده‌روی و در مدل دوم حداقل کردن مقدار ناسازگاری همه پروازها در نظر گرفته شد. این مدل با استفاده از روش سیمپلکس و شاخه و حد حل شد. استولز<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۰) [۱۰] برنامه‌ریزی نیروی کار برای کانترهای ورودی فرودگاه را مدل‌سازی کرد و مسئله توسط CPLEX حل شد.

بر اساس این موارد در ادامه مدل، متغیرها و پارامترهای آن، محدودیت‌ها و تابع هدف ارائه شده است. سپس مدل مورد بررسی حل شده و نتایج حاصل و تجزیه

۲- برخی پروازها را نمی‌توان به برخی گیت‌ها تخصیص داد (که این مورد وابسته به نوع هواپیما است).

$$\sum_{t \in T_f} x_{t,p,g,f} \leq h_{g,f} \quad \forall p \in P; g \in G_p; f \in F \quad (2)$$

۳- اگر یک پرواز به پارکینگ رفت، در زمان بعدی باید حتماً به گیت برود:

$$r_{t,f} = \sum_{p \in P} \sum_{g \in G_p} x_{(t+1),p,g,f} \quad \forall t \in T; f \in F_t \quad (3)$$

۴- دو پرواز در یک زمان نباید به یک گیت تخصیص یابند:

$$\sum_{f \in FF_t} x_{t,p,g,f} \leq 1 \quad \forall t \in T; p \in P; g \in G_p \quad (4)$$

۵- اگر یک پرواز به هر یک از گیت‌های ترمینال  $p$  وارد شد، باید به یکی از کانترهای آن ترمینال هم وارد شود. همچنین مجموعه کانترها باید کل مسافران هر پرواز را پوشش دهند:

$$\sum_{g \in G_p} x_{tpgf} \times m_f \leq \sum_{c \in C} cap_c \times y_{tpcf} \quad \forall t \in T; p \in P; f \in FF_t \quad (5)$$

۶- هر پرواز حداکثر ۳ کانتر را اشغال می‌کند و همچنین اگر یک پرواز به هر یک از کانترهای ترمینال  $p$  وارد شد، باید به یکی از گیت‌های آن نیز وارد شده باشد:

$$\sum_{c \in C_p} y_{tpcf} \leq 3 * \sum_{g \in G_p} x_{tpgf} \quad \forall t \in T; p \in P; f \in FF_t \quad (6)$$

۷- دو پرواز در یک زمان نباید به یک کانتر تخصیص یابند:

$$\sum_{f \in FF_t} y_{t,p,c,f} \leq 1 \quad \forall t \in T; p \in P; c \in C_p \quad (7)$$

۸- مجموعه پروازهایی که در کل افق برنامه‌ریزی تکرار می‌شوند، نباید به ترمینال‌های متفاوت تخصیص یابند:

$$\sum_{g \in G_p} \sum_{t \in T_f} x_{t,p,g,f} = \sum_{g \in G_p} \sum_{t' \in T_{f'}} x_{t',p,g,f'} \quad \forall p \in P; f, f' \in F_{com}, f < f' \quad (8)$$

$T_f$ : مجموعه بازه‌های زمانی که پرواز  $f$  می‌تواند به گیت اختصاص یابد (منظور همان دوره ورود و دوره بعدی است).

$FL_{com}$ : مجموعه‌ای که هر عضو آن چندتایی مرتبی است؛ شامل همه پروازهایی که مبدأ و مشخصات یکسانی دارند.

$F_{com}$ : هر یک از اعضای مجموعه  $FL_{com}$

### ۲-۳ پارامترها

در مدل ارائه‌شده، پارامترها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شوند:

$W_{g,c}$ : فاصله گیت  $g$  تا کانتر  $c$  (بر حسب متر)

$m_f$ : تعداد مسافران پرواز  $f$

$cap_c$ : ظرفیت کانتر  $c$

$h_{g,f}$ : اگر پرواز  $f$  از نظر فنی امکان ورود به گیت  $g$  را داشته باشد، برابر یک، در غیر این صورت صفر است.

$NG_p$ : تعداد گیت‌های ترمینال  $p$

### ۲-۴ متغیرهای تصمیم

مدل ارائه‌شده در این تحقیق شامل سه متغیر تصمیم اصلی به صورت زیر است:

$x_{t,p,g,f}$ : اگر پرواز  $f$  در دوره زمانی  $t$  به گیت  $g$  در ترمینال  $p$  تخصیص یابد، یک و در غیر این صورت صفر.

$y_{t,p,c,f}$ : اگر پرواز  $f$  در دوره زمانی  $t$  به کانتر  $c$  در ترمینال  $p$  تخصیص یابد، یک و در غیر این صورت صفر.

$t_{t,f}$ : اگر پرواز  $f$  در دوره زمانی  $t$  به پارکینگ تخصیص یابد، یک و در غیر این صورت صفر.

$S_{tpg}^+, S_{tpg}^-$ : متغیرهای مربوط به محدودیت آرمانی که عدد صحیح هستند.

### ۲-۵ محدودیت‌ها

محدودیت‌های مدل به صورت زیر ارائه می‌شود. لازم به ذکر است که اندیس  $t$  به عنوان هر یک ساعت تعریف می‌شود.

۱- در مجموع دوره زمانی، هر پرواز به یک گیت تخصیص می‌یابد.

$$\sum_{p \in P} \sum_{g \in G_p} x_{t,p,g,f} + r_{t,f} = 1 \quad \forall t \in T; f \in F_t \quad (1)$$

بخش سوم تابع هدف، برای حداقل کردن تعداد پروازهای تخصیص یافته به پارکینگ است:

$$\min z_3 = \sum_{t \in T} \sum_{f \in FF_t} \Gamma_{t,f} \quad (16)$$

در قسمت دوم ( $\min z_2$ ) به علت وجود ضرب دو متغیر ( $X_{tpgf} \times Y_{tpcf}$ ) تابع هدف، غیر خطی است. برای خطی سازی آن، در تابع هدف به جای حاصلضرب دو متغیر بالا به شکل زیر عمل می شود:

$$x_{t,p,g,f} \times y_{t,p,c,f} = q_{t,p,g,c,f} \quad (17)$$

بنابراین تابع هدف در بخش اول به شکل زیر بازنویسی می شود:

$$\min z_1 = \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{g \in G_p} \sum_{c \in C_p} \sum_{f \in FF_t} m_f w_{g,c} q_{t,p,g,c,f} \quad (18)$$

در ادامه برای تکمیل کردن خطی سازی تابع هدف، موارد زیر به محدودیت ها اضافه می شود:

$$x_{t,p,g,f} + y_{t,p,c,f} \leq q_{t,p,g,c,f} + 1 \quad \forall t \in T; p \in P; g \in G_p; c \in C_p; f \in FF_t \quad (19)$$

$$x_{t,p,g,f} + y_{t,p,c,f} \geq 2q_{t,p,g,c,f} \quad \forall t \in T; p \in P; g \in G_p; c \in C_p; f \in FF_t \quad (20)$$

### ۳- حل مدل و تجزیه و تحلیل نتایج

پایانه مسافری فرودگاه، مهم ترین بنای فرودگاه است. ظرفیت پذیرش پایانه مسافری امام خمینی ۴/۵ میلیون نفر مسافر بین المللی در سال است که امکان پذیرش تا ۵ میلیون نفر مسافر را با امکانات رفاهی و خدماتی در سطح بین المللی دارد. لازم به ذکر است که فرودگاه امام، دو ترمینال برای ورود و خروج پروازها دارد. در این تحقیق برای هر ترمینال ۴ گیت و ۸ کانتر به صورت فعال در نظر گرفته شده است. ظرفیت هر کانتر ۳۰۰ نفر و فاصله گیت ها تا کانترها نیز برحسب متر و از ۱ تا ۳٫۵ متر، تغییر می کند. چیدمان گیت ها و کانترها نسبت به هم به صورت موازی و متقارن در نظر گرفته شده است.

مدل توسط نرم افزار GAMS کدنویسی و در جدول ۱ نحوه تخصیص پروازها به گیت ها (G) و کانترها (C) و در واقع بار کاری برای ترمینال A طی کل دوره برنامه ریزی نشان داده شده است.

۹- توازن در ترمینال ها برقرار شود. یعنی در هر زمان پروازها به تعداد برابر یا با حداقل اختلاف به ترمینال ها تخصیص یابند:

$$\left| \sum_{g \in G_p} \sum_{f \in FF_t} x_{t,p,g,f} - \sum_{g \in G_{p'}} \sum_{f \in FF_t} x_{t,p',g,f} \right| \leq 1 \quad \forall t \in T; p, p' \in P, p < p' \quad (9)$$

از آنجا که وجود قدر مطلق در مدل، آن را از حالت خطی بودن خارج می کند، بنابراین برای جلوگیری از این امر به جای عبارت بالا، عبارات زیر قرار می گیرد:

$$\begin{aligned} \sum_{g \in G_p} \sum_{f \in FF_t} x_{t,p,g,f} - \sum_{g \in G_{p'}} \sum_{f \in FF_t} x_{t,p',g,f} &\leq 1 \\ \sum_{g \in G_p} \sum_{f \in FF_t} x_{t,p,g,f} - \sum_{g \in G_{p'}} \sum_{f \in FF_t} x_{t,p',g,f} &\geq -1 \end{aligned} \quad \forall t \in T; p, p' \in P, p < p' \quad (10)$$

۱۰- گیت ها در هر ترمینال به صورت یک در میان تخصیص یابند:

$$\sum_{f \in FF_t} x_{t,p,g,f} + \sum_{f \in FF_t} x_{t,p,g+1,f} \leq 1 \quad \forall t \in T; p \in P; g \in G_p, g < NG_p \quad (12)$$

محدودیت بالا، به شکل یک محدودیت نرم در نظر گرفته می شود بنابراین:

$$\sum_{f \in FF_t} x_{t,p,g,f} + \sum_{f \in FF_t} x_{t,p,g+1,f} + S_{tpg}^+ - S_{tpg}^- = 1 \quad \forall t \in T; p \in P; g \in G_p, g < NG_p \quad (13)$$

### ۲-۶- تابع هدف

مدل تخصیص گیت و کانتر برای پروازهای ورودی، یک مدل سه هدفه است. بخش اول تابع هدف با توجه به محدودیت آخر در بالا به صورت زیر تعریف می شود:

$$\min z_1 = \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{g \in G_p, g \neq NG_p} S_{tpg}^- \quad (14)$$

بخش دوم تابع هدف، شامل حداقل کردن طول مسیر پیاده روی مسافران از گیت تا کانتر برای مسافران ورودی است:

$$\min z_2 = \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{g \in G_p} \sum_{c \in C_p} \sum_{f \in FF_t} m_f w_{g,c} x_{t,p,g,f} y_{t,p,c,f} \quad (15)$$

جدول ۱: گیت‌ها و کانترهای مشغول در ترمینال A طی هر بازه زمانی دوره برنامه‌ریزی

بازه زمانی	G1	G2	G3	G4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	بازه زمانی	G1	G2	G3	G4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
t=1	■	■	■	■									t=26	■	■	■	■								
t=2													t=27												
t=3													t=28												
t=4													t=29												
t=5													t=30												
t=6													t=31												
t=7													t=32												
t=8													t=33												
t=9													t=34												
t=10													t=35												
t=11													t=36												
t=12													t=37												
t=13													t=38												
t=14													t=39												
t=15													t=40												
t=16													t=41												
t=17													t=42												
t=18													t=43												
t=19													t=44												
t=20													t=45												
t=21													t=46												
t=22													t=47												
t=23													t=48												
t=24													t=49												
t=25																									
جمع	۷	۸	۳	۱۲	۰	۲	۷	۹	۱۲	۱۲	۲	۰	جمع	۴	۱۱	۲	۳	۰	۱	۴	۱۲	۱۲	۳	۰	۰

مقدار تابع هدف در هر یک از حالات بالا به نصف کاهش یافت.

جدول ۲: تغییرات تابع هدف نسبت به تغییر همزمان تعداد گیت و کانتر

تعداد کانتر در هر ترمینال			مقدار تابع هدف	
۱۲	۱۰	۸	تعداد گیت	در هر ترمینال
۰.۰۰۴۶	۰.۰۰۶۴	۰.۰۰۸۵	۴	
۰.۰۰۳۰	۰.۰۰۴۱	۰.۰۰۵۵	۶	
۰.۰۰۲۰	۰.۰۰۲۹	۰.۰۰۳۹	۸	

#### ۴- جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق، مسئله تخصیص همزمان گیت و کانتر برای پروازهای ورودی، بررسی و مورد توجه قرار گرفت. تابع هدف، شامل حداقل کردن فاصله پیاده‌روی مسافران از گیت تا کانتر و نیز حداقل کردن تعداد پروازهای تخصیص یافته به پارکینگ است. یک هدف نیز به طور آرمانی به تابع هدف اضافه شد که تخصیص یک در میان گیت‌ها را برقرار کرد. نتایج تحقیق باعث شد که حداقل پروازها وارد پارکینگ شوند. همچنین بار کاری در ترمینال‌ها به صورت

همان‌طور که از جدول بالا مشخص است، بار کاری کانترهای ۱، ۲، ۷ و ۸ صفر و یا بسیار کم است. با توجه به هدف کاهش فاصله پیاده‌روی مسافران از گیت تا کانتر، این نحوه تخصیص کاملاً بدیهی است. همچنین در مورد محدودیت نرم مدل، تخصیص پروازها به گیت‌ها در هر دوره به صورت یک در میان انجام شده است و نیز هر پرواز به یک گیت تخصیص یافته و دو پرواز در یک زمان به یک گیت و کانتر تخصیص نیافته‌اند.

با تحلیل حساسیت مدل و تغییر مقادیر پارامترهای آن شامل تعداد گیت‌ها، تعداد و ظرفیت کانترها، همه نتایج حاکی از آن است که با افزایش هر یک از این موارد، مقدار تابع هدف بهبود می‌یابد. نتایج تحلیل حساسیت برای تغییر همزمان تعداد گیت و کانتر در جدول ۲ نشان داده شده است که این نتایج را نیز اثبات می‌کند. لازم به ذکر است که در هر یک از حالات جدول زیر، ترتیب چیدمان گیت‌ها و کانترها از ابتدا انجام شده، اما چیدمان موازی و متقارن آنها نسبت به هم حفظ شده است.

همه موارد جدول ذکرشده، در حالتی که ظرفیت کانترها به ۱۰۰۰ نفر افزایش یافت، بار دیگر انجام شد و

بازه برنامه‌ریزی را بیشتر و ابعاد آن را بزرگ‌تر کرده و در صورت ناتوانایی حل توسط GAMS، از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده کرد. لازم به ذکر است که در سایر فرودگاه‌ها نیز با مد نظر قرار دادن شرایط آنها و ایجاد تغییرات مناسب در مدل، می‌توان برنامه‌ریزی مناسب برای تخصیص گیت و کانتر را ارائه داد.

متوازن توزیع شد. مدل برای یک دوره دو روزه نوشته و با استفاده از نرم‌افزار GAMS کدنویسی و حل شد. نتایج این تحقیق می‌تواند مورد توجه فرودگاه امام قرار گیرد. در تحقیقات بعدی می‌توان با اعمال تغییرات لازم، مدل را واقع بینانه‌تر کرده و آن را با مد نظر قرار دادن سایر محدودیت‌ها و اهداف، توسعه داد. همچنین می‌توان

## مراجع

- 1- Maharjan, B. and Matis, T.I. (2011). "An optimization model for gate reassignment in response to flight delays." *Journal of Air Transport Management*, Vol. 17, Issue 5, PP. 256-261.
- 2- Cheng, C-H., Ho, S.C. and Kwan, C-L. (2012). "The use of meta-heuristics for airport gate assignment." *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, Issue 16, PP. 12430-12437.
- 3- Hassanabadi, M. (2002). *Solving and analysis of aircraft-gates assignment problem of the airport in condition of uncertainty*. Thesis of M.Sc, Iran University of Science and Technology.
- 4- Abdi, A., Asadi Gangraj, E., Saffarzadeh, M., Jolai, F. and Nahavandi, N. (2011). "Airside of airport capacity enhancement based on flexible flow shop multi-objective scheduling model." *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 45, Issue 2, PP. 175- 185.
- 5- Zheng, P., Hu, S. and Zhang, C. (2010). "Airport Gate Assignments Model and Algorithm." *3<sup>rd</sup> IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT)*, Chengdu, China, Vol. 2, PP. 457-461.
- 6- Dorndorf, U., Jaehn, F. and Pesch, E. (2012). "Flight gate scheduling with respect to a reference schedule." *Annals of Operation Research*, Vol. 194, Issue 1, PP. 177-187.
- 7- CHUN, H.W. (1996). "Scheduling as a Multi-dimensional Placement Problem." *Engineering Application of Artificial of Intelligence*, Vol. 9, Issue 3, PP. 261-273.
- 8- Park, Y. and Ahn, S.B. (2003). "Optimal assignment for check-in counters based on passenger arrival behaviour at an airport." *Transportation Planning and Technology*, Vol. 26, Issue 5, PP. 397-416.
- 9- Yan, S., Chang, K-C. and Tang, C-H. (2005). "Minimizing inconsistencies in airport common-use checking counter assignments with a variable number of counters." *Journal of Air Transport Management*, Vol. 11, Issue 2, PP. 107-116.
- 10- Stolletz, R. (2010). "Operational workforce planning for check-in counters at airports." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 46, Issue 3, PP. 414-425.

## واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Multi Objective Decision Making
- 2- Maharjan et al.
- 3- Cheng et al.
- 4- Genetic Algorithm
- 5- Simulated Annealing
- 6- Tabu Search
- 7- Zheng et al.
- 8- Dorndorf et al.
- 9- Chun
- 10- Park et al.
- 11- Stolletz