مدل مکانیابی فرودگاه به روش جایگشت

محمود صفارزاده، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
هیوا ژولیده، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد، تهران، ایران
امین‌میرزا بروجردیان، کارشناس ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail: saffar_m@modares.ac.ir

چکیده

مکانیابی نادرست فرودگاهها یکی از مهم ترین مسائلی است که در برخی فرودگاهها با آن روبه‌رو هستیم، به گونه ای که در اثر این اشتباه صدمات جانی و مالی فراوانی به وقوع می‌پیوندند. در این پژوهش، با استفاده از مدل جایگشت (پرماتاسیون)، یک مثال مکانیابی فرودگاه شامل گزینه‌های مختلف، بر اساس وضعیت و کمیت شاخصهای آنها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند و در نهایت، گزینه برتر انتخاب می شود.

بررسی و مقایسه گزینه‌ها با در نظر گرفتن تمامی پارامترها و معیارهای موثر در انتخاب گزینه مناسب، امکان پذیر می‌شود. هدف اصلی این تحقیق، دستیابی به یک مدل مکانیابی فرودگاه و ارزیابی آن با استفاده از نمونه های عملی است. نتایج حاصل از این مدل نشان می‌دهند که می‌توان با استفاده از یک مدل منطقی و ریاضی، خطای انسانی در انتخاب را به حداقل ممکن رساند.

در حال حاضر، در مکانیابی فرودگاه‌ها به منظور یافتن گزینه برتر از تعداد محدودی شاخص استفاده می شود که امکان خطا به دلیل کم بودن شاخص ها وجود دارد و از سوی دیگر کلیه شاخص ها تواماً مورد مقایسه قرار نمی‌گیرند که خود این مسئله باعث افزایش خطا می‌شود. این در حالی است که با استفاده از این مدل می توان هم در زمان صرفه‌جویی کرد و هم به دلیل امکان توجه به همه معیارها، به طور همزمان میزان خطاها را به حداقل ممکن کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: فرودگاه، مکانیابی، جایگشت، مدل غیرجبرانی

۱. مقدمه

موقعیت یک فرودگاه می تواند اثرات گوناگونی بر کاربری ها و فعالیتهای پیرامون آن داشته باشد [۱]. این تأثیرات ممکن است اقتصادی، توسعه ای ، بصری و ... باشند.

یکی از اشکالات فرایند مکانیابی فرودگاهها استفاده نکردن از کلیه پارامترهای مؤثر در مکانیابی است. هدف مدل حاضر آن است که به کمک آن طراحان و برنامه‌ریزان فرودگاه ها بتوانند با توجه به محدودیت‌های عملیاتی و مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی و با درنظر گرفتن لزوم بکارگیری فنون جدید بهره‌برداری، از بروز عوارض نامطلوب در اثر انتخاب محل نادرست فرودگاه پیشگیری کنند.

با توجه به این که تمام معیارهای مقایسه‌ای مکانیابی فرودگاه کمی نیستند، لازم است با ارایه یک مدل جامع که معیارهای کمی و کیفی را مورد مقایسه قرار می‌دهد، اولویت گزینه‌های مختلف را مشخص کرد.

عمده‌ترین معیارهایی که باید در مدل مکانیابی فرودگاه در نظر گرفته شوند، عبارتند از [۲]:

تاریخ دریافت: ۸٤/۰۵/۱۵ – تاریخ پذیرش: ۸٤/۰۸/۱۵

- فراهم کردن نیازهای مربوط به ایمنی فرودگاه، مانند در نظر داشتن موانع در محوطه های مجاور فرودگاه،
- توسعه آینده فرودگاه،
- اطمینان از کمترین تأثیر گذاری سوء انواع آلودگی‌های فرودگاه بر محیط زیست و ساکنین اطراف فرودگاه،
- تحلیل هزینه های اداری و نگهداری،
- دسترسی به سیستم حمل ونقل زمینی،
- طرح کاربری زمین،
- تحلیل اقتصادی ساخت،
- ارزیابی وتحلیل سود ـ هزینه،
- در نظر گرفتن شرایط جوی،
- امکان دسترسی به خدمات تأسیساتی لازم برای فرودگاه،
- ایجاد فاصله مناسب بین فرودگاه ها.

در طرحهای تفصیلی فرودگاه‌ها، انتخاب مکان مناسب برای آنها یکی از بخشهای مهم است. برای انتخاب محل فرودگاه، اولین گام تعیین شاخص‌های اصلی است، تا بر اساس آنها انتخاب محل مناسب با ابعاد و مشخصات مورد نظر، امکان پذیر شود. فرایند مکانیابی فرودگاه باید به صورت مجموعه‌ای منسجم و هماهنگ باشد و تمام عوامل مؤثر در تعیین محل مناسب درنظر گرفته شوند [۳و٤]. عوامل موثر در انتخاب محل استقرار فرودگاهها را می توان به چهار گروه زیر تقسیم کرد:

۱- عوامل فیزیکی، شامل:
- چگونگی توسعه فضای زمینی،
- دسترسی به سیستم حمل‌ونقل زمینی،
- وجود زمین کافی برای توسعه آتی فرودگاه،
- نزدیکی به مراکز عمده تقاضای حمل‌ونقل هوائی،
- دسترسی به خدمات تأسیساتی لازم در فرودگاه.

۲- عوامل هوانوردی شامل:
- شرایط جوی و آب و هوایی،
- موقعیت فرودگاه های اطراف و کریدورهای ارتباطی هوایی،
- موقعیت موانع موجود در اطراف فرودگاه و دسترسی به فضای هوایی و زمینی کافی.

۳- عوامل اقتصادی شامل:
- تحلیل اقتصادی ساخت،
- ارزیابی و تحلیل سود – هزینه،
- تحلیل هزینه‌های اداری و نگهداری،
- تحلیل هزینه‌های هوانوردی و پیامدهای زیست محیطی.

٤- عوامل زیست محیطی مانند:
- اثرات زیست محیطی بر انسان، حیوان و منابع طبیعی،
- تغییر کاربری زمین [۵و٦].

۲. تئوری مدل مکانیابی فرودگاه

به طور کلی در دهه‌های اخیر نظر محققین به مدلهای چندمعیاره[1] برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده معطوف گردیده است. در این تصمیم‌گیری‌ها به جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی ممکن است از چندین معیار سنجش استفاده شود. این مدلهای تصمیم‌گیری به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند: مدلهای چند هدفه[2] و مدلهای چند شاخصه[3]، از مدلهای چند هدفه برای طراحی و از مدلهای چند شاخصه برای انتخاب گزینه برتر استفاده می‌شود.

با توجه به این که در این تحقیق هدف انتخاب یک گزینه برتر است، بنابر این باید از مدلهای چند شاخصه استفاده شود. مدل‌های چند شاخصه انتخاب‌گر بوده و به منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه از بین چند گزینه موجود به کار می‌روند.

برای پردازش اطلاعات یک مدل چند شاخصه از روشهای متعددی استفاده می‌شود. یک دسته از این روش‌ها منشعب از مدلی مشهور به مدل غیرجبرانی[4] است و دسته دیگر منشعب از مدل دیگری معروف به مدل جبرانی[5] است.

الف ـ مدل جبرانی دربرگیرندهٔ روشهایی است که مبادله در بین شاخص‌ها در آنها مجاز است، یعنی به طور مثال تغییری (احتمالاً کوچک) در یک شاخص می‌تواند توسط تغییری مخالف در شاخص (یا شاخص‌های) دیگر جبران شود.

ب- مدل غیرجبرانی شامل روشهائی می‌شود که در آنها مبادله در بین شاخص‌ها مجاز نیست، یعنی به‌طور مثال ضعف در یک شاخص توسط مزیت شاخص دیگر جبران نمی‌شود. بنابراین در این روشها هر شاخص، مستقل از شاخص‌های دیگر، در تصمیم‌گیری مؤثر است. مزیت این روشها سادگی آنها است که با فرایند تصمیم‌گیری و محدود بودن اطلاعات تصمیم‌گیرنده سازگار است. [۷]. کاربرد این روشهای نسبتاً ساده به نوع تصمیم‌گیری بستگی داشته و تحلیل آنها به دقت بیشتری نیاز دارد. با توجه به نوع معیارهای مکانیابی فرودگاه، در اینجا از مدلهای غیرجبرانی استفاده می‌شود. در این پژوهش با توجه به عملکرد رفتار مدلها، از مدل جایگشت (پرماتاسیون)[6] استفاده شده است [٤و۵].

۳. مکانیابی با استفاده از روش جایگشت (پرماتاسیون)

در این روش تمام جایگشت‌های ممکن، مرتب شده و مقدار وزن یا ارجحیت هر کدام از آنها محاسبه می‌شود. جایگشتی که بیشترین وزن را دارد به عنوان بهترین حالت در نظرگرفته می‌شود. اگر m گزینه داشته باشیم، !m جایگشت خواهیم داشت که از بین آنها بهترین جایگشت را انتخاب می‌کنیم[۸].

فرض کنید m گزینه داریم $(A_1, A_2, ..., A_m)$ که می‌خواهیم با توجه به n معیار $(x_1, x_2, ..., x_n)$ آنها را مورد ارزیابی قرار دهیم، ماتریس تصمیم‌گیری D را به شکل زیر تشکیل می‌دهیم [۹].

$$D = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۱)$$

که در آن:

D =ماتریس تصمیم‌گیری

m = تعداد گزینه‌ها

n =تعداد معیارها

r_{ij} =عملکرد گزینه A_i به ازای معیار x_j

با توجه به این که اهمیت (وزن) معیارهای $(x_1, x_2, ..., x_n)$ با هم متفاوت است، لذا ضریب ارجحیت نرمال شده آنها را با w_i تا w_n نشان می‌دهیم، بنابراین:

$$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1 \qquad (۲)$$

که در آن:

w_j = وزن معیار x_j است.

حال درنظر بگیرید، سه گزینه داشته باشیم، یعنی $m = 3$ و آنها را با A_3, A_2, A_1 نمایش دهیم. در این صورت (۶=۳!) جایگشت مختلف خواهیم داشت، که عبارتند از:

$$\begin{aligned} &P_1 = \{A_1, A_2, A_3\}, \\ &P_2 = \{A_1, A_3, A_2\}, \\ &P_3 = \{A_2, A_1, A_3\}, \\ &P_4 = \{A_2, A_3, A_1\}, \qquad (۳) \\ &P_5 = \{A_3, A_1, A_2\}, \\ &P_6 = \{A_3, A_2, A_1\}, \end{aligned}$$

که در آنها:

P_i = جایگشت iام،

A_i = گزینه iام، است.

به منظور انتخاب جایگشت برتر، برای هر جایگشت یک مجموعه موافق و یک مجموعه مخالف تعریف می‌شود. این مجموعه ها گزینه های یک جایگشت را دو به دو مقایسه می‌کنند [۸]، مثلاً برای جایگشت $P_5 = \{A_3, A_1, A_2\}$، مجموعه موافق و مخالف عبارت است از:

$$\text{مجموعه موافق} = \{A_3 \geq A_1, A_3 \geq A_2, A_1 \geq A_2\} \qquad (٤)$$

$$\text{مجموعه مخالف} = \{A_3 \leq A_1, A_3 \leq A_2, A_1 \leq A_2\} \qquad (٥)$$

وزن حالت موافق (یعنی برتر بودن گزینه A_i بر A_j یا $A_i \geq A_j$) و وزن حالت مخالف (یعنی برتر بودن گزینه A_j بر A_i یا $A_j \geq A_i$) محاسبه و از هم کم می‌شوند، حاصل این تفاضل وزن نهایی جایگشت را نشان می دهد.

برای مثال، جایگشت iام بصورت زیر است:

$$P_i = (..., A_k, ...A_l, ...) \qquad (٦)$$
$$i = 1,2,...,m$$

در این جایگشت طبق تعریف، گزینه A_k رتبه بیشتری از A_l دارد. برای محاسبه وزن هر جایگشت، وزن تمام تقدم‌های دو به دو را محاسبه و با هم جمع می‌کنیم. وزن برتری گزینه kام بر lام (یعنی $A_k \geq A_l$) عبارت است از:

$$\text{وزن برتری } A_k \text{ بر } A_l = T_i = \sum_{j \in S_{kl}} w_j - \sum_{j \in R_{kl}} w_j \qquad (٧)$$

که در آن:

T_i = وزن جایگشت iام،

$$S_{kl} = \{j | r_{kj} \geq r_{lj}\}, \quad k,l = 1,2,3,...m, \quad k \neq 1, \qquad (٨)$$

$$R_{kl} = \{j | r_{lj} \geq r_{kj}\}, \quad k,l = 1,2,3,...m, \quad k \neq 1, \qquad (٩)$$

به عبارت دیگر وزن برتری A_k بر A_l را به این ترتیب به دست می‌آوریم که عملکرد این دو را روی همه معیارها با هم مقایسه می‌کنیم، در هر معیاری که عملکرد گزینه k بر گزینه l ترجیح داشته (یا مساوی آن باشد یعنی $r_{kj} \geq r_{lj}$)، وزن آن معیار را در مجموعه موافق در نظر می‌گیریم تا مقدار $(\sum_{j \in S_{kl}} w_j)$ محاسبه شود و در هر معیاری که k بر l ترجیح ندارد (کمتر یا مساوی است یعنی $r_{kj} \leq r_{lj}$) وزن آن معیار را جزء مجموعه مخالف در نظر می‌گیریم تا مقدار $(-\sum_{j \in R_{kl}} w_j)$ محاسبه شود. جمع جبری این دو مقدار برتری A_k بر A_l را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر وزن برتری A_k بر A_l (برای معیار j) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(۱۰)

$$\text{وزن برتری } A_k \text{ بر } A_l \text{ به‌ازای معیار j‌ام} = \begin{cases} w_j, & r_{kj} \geq r_{lj} \\ -w_j, & r_{kj} \leq r_{lj} \end{cases}$$

بنابراین وزن برتری A_k بر A_l روی کلیه معیارها از رابطه (۷) به دست می آید.

بعد از این که وزن همه جایگشت‌ها (T_i) به ازای $(i = 1,...m!)$ محاسبه شد، جایگشتی که بیشترین وزن $(\max T_i)$ را دارد به عنوان بهترین جایگشت انتخاب می‌شود.

٤. مقیاس اندازه‌گیری شاخص‌ها

یک گزینه (A_i) ممکن است توسط دو نوع شاخص (x_j) توصیف شود : شاخص کمّی (هزینه) و شاخص کیفی (راحتی) [۱۰]. مقیاس‌های اندازه‌گیری شاخص‌های کمی می‌توانند با یکدیگر متفاوت باشند (هزینه به ریال در مقابل وزن به کیلوگرم) و به این دلیل انجام عملیات ریاضی قبل از بی‌مقیاس کردن یا یکسان‌سازی مقیاسها مجاز نیست.

همچنین در اندازه‌گیری یک مقیاس کیفی ممکن است از مقیاس‌های فاصله‌ای و رتبه‌ای استفاده شود. یک روش عمومی در اندازه‌گیری یک شاخص کیفی با مقیاس فاصله‌ای، استفاده از مقیاس دو قطبی فاصله‌ای، بر اساس یک مقیاس ده نقطه‌ای است، به طوری که صفر مشخص‌کننده کمینهٔ ارزش ممکن (که عملاً قابل درک باشد) و ده مشخص کننده بیشینهٔ ارزش ممکن از شاخص مورد نظر است. همچنین نقطه وسط نیز نقطه شکست مقیاس بین مساعدها و نامساعدهاست.

جدول ۱. تبدیل ارزش شاخصهای کیفی به شاخص‌های کمّی

ارزش کمی	ارزش کیفی
۰	
۱	خیلی کم
۳	کم
۵	متوسط
۷	زیاد
۹	خیلی زیاد
۱۰	

در این روش، برای ارزش گذاری شاخص‌های با جنبه مثبت (مانند راحتی)، مطلوبیت آن ارزش کمّی بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد، به طور مشابه برای شاخص‌های با جنبه منفی (مانند سختی کار) هر چه کمتر باشد، دارای مطلوبیت بیشتر و در نتیجه ارزش کمی بیشتری است.

قابل توجه است که ارزشهای صفر و ده عملاً در مقیاسهای فوق کمتر مورد استفاده واقع می‌شوند، ضمناً ارزشهای ۲، ٤، ٦ و۸ را می‌توان به عنوان ارزشهای واسطه در مقیاس فوق به‌کار برد. عملیات جمع و ضرب با مقیاس فوق با توجه به استنباط‌های زیر مجاز است:

الف- در این‌گونه مقیاس فرض بر این است که به طور مثال امتیاز ۹، سه برابر مناسب‌تر از امتیاز ۳ است.

ب- به علاوه به طور مثال اختلاف بین زیاد و کم با اختلاف بین متوسط و خیلی کم (هر دو با امتیاز ٤) یکسان است.

ج- ترکیب ارزشها برای شاخص‌های مختلف مجاز است، زیرا اختلاف بین هر دو ارزش مخصوص (مثلاً زیاد و کم) برای هر شاخص مفروض یکسان است.

قابل توجه است که درنظرگرفتن واژه‌های فوق برای مقیاس مفروض کاملاً اختیاری است و می‌توان از واژه‌های دیگری (مانند بد، ضعیف، عالی و غیره) استفاده کرد.

در این مدل برای بی‌مقیاس کردن عملکردهای ماتریس تصمیم‌گیری از روش بی‌مقیاس کردن خطی استفاده شده است [۱۰،۱۱،۱۲].

٤-١ محاسبه توزیع احتمال با روش آنتروپی

آنتروپی در تئوری اطلاعات معیاری برای تعیین مقدار عدم اطمینان آمار توسط یک توزیع احتمال گسسته است، به طوری که این عدم اطمینان، در صورت پخش بودن توزیع، بیشتر از زمانی است که توزیع فراوانی فشرده‌تر است [٨].

همان طور که گفته شد، یک ماتریس تصمیم‌گیری را به صورت ماتریس D در نظر می‌گیریم.

محتوای اطلاعات موجود در این ماتریس را ابتدا به صورت زیر نرمالیزه و بی‌بعد می‌کنیم.

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}}; \forall i, j \qquad (١١)$$

شاخص همگرایی E_j، برای هر معیار را به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^{m} \left[p_{ij}.Lnp_{ij} \right]; \forall j \qquad (١٢)$$

$$K = \frac{1}{Lnm}, \qquad (١٣)$$

که در آن:

E_j = شاخص همگرایی گزینه‌ها به ازای معیار j ام،

K= یک عدد مثبت، به منظور تامین $0 \le E \le 1$، است.

عدم اطمینان یا درجه انحراف (d_j) از اطلاعات ایجاد شده به ازای شاخص j ام برابر است با:

$$d_j = 1 - E_j; \forall_j \qquad (١٤)$$

که در آن:

d_j = درجه انحراف گزینه‌ها به ازای معیار j ام،

و سرانجام برای اوزان (w_j) از شاخص‌های موجود خواهیم داشت:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} \qquad (١٥)$$

که در آن:

w_j = وزن معیار jام.

اگر تصمیم گیرنده با یک قضاوت مهندسی، ضریب (λ_j) را نیز به عنوان اهمیت نسبی برای شاخص jام در نظر داشته باشد، آنگاه می‌توان w_j محاسبه شده از طریق آنتروپی را به صورت زیر تعدیل کرد [٩]:

$$w'_j = \text{وزن تعدیل شده} = \frac{\lambda_j.w_j}{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j.w_j}, \forall_j \qquad (١٦)$$

که در آن:

w'_j = وزن تعدیل شده معیار jام است.

٥. استفاده از مدل برای مکانیابی فرودگاه انتخابی

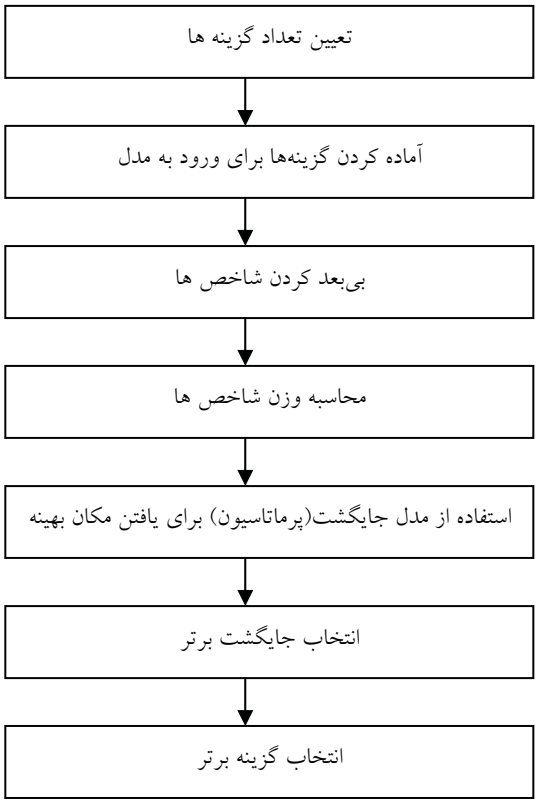
در این بخش نحوه عملکرد مدل جایگشت برای مکانیابی یک فرودگاه خاص بررسی و بهترین محل فرودگاه براساس این مدل تعیین می‌شود.

اطلاعات تهیه شده قبل از ورود به مدل می‌باید دسته بندی و از نظر محدوده تعریف شوند.

مراحل مختلف مدل مطروحه در شکل شماره ١ نشان داده شده است.

٥-١ تعیین تعداد گزینه ها

پس از بررسی نقشه ها و مطالعات فاز اول، مکان هایی که شرایط اولیه برای احداث فرودگاه را دارند تعیین می‌شوند. که در این مطالعه موردی چهار مکان برای احداث فرودگاه پیشنهاد شده‌است.



شکل ۱. مراحل اجرایی مدل مکانیابی فرودگاه

۵-۲ آماده کردن گزینه ها برای ورود به مدل

در این بخش شاخص های هر گزینه دسته بندی ، از نظر کمی و کیفی تفکیک شده و به بخش بعد فرستاده می‌شوند که این فرایند شامل چند مرحله است:

مرحله اول – مشخص کردن شاخص‌های هر گزینه:
با توجه به مطالعات انجام شده شاخص‌های موثر در انتخاب گزینه برتر مشخص می‌شوند.

مرحله دوم – مشخص کردن شاخص های مشترک قابل مقایسه گزینه‌ها:
در این مرحله با توجه به بررسی‌های انجام شده و نقاط مشترک، شاخص‌های زیر به عنوان شاخص‌های مشترک برگزیده شدند:
فاصله تا مراکز تولید سفر، نوع خاک محل، نوع کاربری فعلی زمین، مساحت منطقه (برای توسعه آتی)، دسترسی به مراکز جمعیتی (سیستم حمل و نقل زمینی)، موانع طبیعی، موانع غیرطبیعی (دکل برق فشار قوی و ....)، آلودگی صوتی، مسائل زیست محیطی و مسائل اقتصادی.

مرحله سوم – تفکیک نوع شاخص‌ها از نظر کمّی و کیفی:
از بین شاخص‌ها، شاخص فاصله تا مراکز تولید سفر، کمّی و سایر شاخص‌ها کیفی هستند.
شاخص فوق دارای تاثیر معکوس است (هر چه فاصله کمتر باشد، مطلوب‌تر است).
شاخص‌های کیفی ابتدا با توجه به نوع تاثیر آنها مشخص و به شاخص‌های کیفی قابل مقایسه تبدیل می‌شوند.
در مرحله بعد شاخص‌هایی که در محدوده قرار نمی‌گیرند حذف می‌شوند. در این مرحله تمام شاخص‌ها برای استفاده در مدل باقی می‌مانند.

۵-۲-۱ بی‌بعد کردن شاخص‌ها

در این مرحله شاخص‌ها براساس نوع تاثیر آنها (مستقیم یا معکوس) بی‌مقیاس می‌شوند که در نهایت مقدار شاخص‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

۵-۲-۲ محاسبه وزن شاخص ها

در این مرحله وزن هر دسته از شاخص‌ها به منظور مشخص کردن تاثیر شاخص بر گزینه‌ها مشخص می‌شود تا بتوان با محاسبه کلیه وزن‌ها و تاثیر آنها بر شاخص‌ها در نهایت موقعیت هر گزینه را محاسبه کرد.
با توجه به تاثیر گذاری شاخص بر گزینه‌ها به هر یک از شاخص‌ها یک ضریب اختصاص داده می‌شود.
در این مرحله با استفاده از روش آنتروپی این ضرائب تعیین و در ادامه مقدار k محاسبه می‌شود.

$$m = 4,$$

براساس رابطه (۱۳)؛

$$k = \frac{1}{Ln\,m} = \frac{1}{Ln\,4} = 0.721 \qquad (۱۷)$$

جدول ۲. ارزش کمی شاخص‌های کیفی و نوع تاثیر آنها بر ارزش شاخص‌ها

شاخص	تاثیر	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳	گزینه ٤
نوع خاک محل	مستقیم	۹	۵	۳	۵
نوع کاربری فعلی زمین	مستقیم	۹	۹	۷	۷
مساحت منطقه	مستقیم	۹	۹	۷	۵
دسترسی به مراکز جمعیتی	مستقیم	۹	۷	۵	۹
موانع طبیعی	معکوس	۷	۳	۷	۱
موانع غیر طبیعی	معکوس	۳	۳	۱	۳
آلودگی صوتی	معکوس	۹	۷	۳	۱
آلودگی زیست محیطی	معکوس	۷	۷	۳	۳
ارزش اقتصادی	مستقیم	۷	۵	۵	۳

جدول ۳. مقادیر بی‌بعد شده عملکرد گزینه‌ها به ازای هر یک از شاخص‌ها

حرف نظیر	شاخص	ارزش شاخص			
		گزینه یک	گزینه دو	گزینه سه	گزینه چهار
A	فاصله از مرکز تولید سفر	۰/۷۵	۰/٤۱	۰/۵٦	۱
B	نوع خاک محل	۱	۰/۵٦	۰/۳۳	۰/۵٦
C	نوع کاربری فعلی زمین	۱	۱	۰/۷۸	۰/۵٦
D	مساحت منطقه	۱	۱	۰/۷۸	۰/۵٦
E	دسترسی به مراکز جمعیتی	۱	۰/۷۸	۰/۵٦	۱
F	موانع طبیعی	۱	۰/٤۳	۱	۰/۱٤
G	موانع غیر طبیعی	۱	۱	۰/۳۳	۱
H	آلودگی صوتی	۱	۰/۷۸	۰/۳۳	۰/۱۱
I	آلودگی زیست محیطی	۱	۱	۰/٤۳	۰/٤۳
K	ارزش اقتصادی	۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/٤۳

در ادامه، مقادیر P_{ij} (توزیع احتمال گسسته) با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شوند. همان طور که ذکر شد P_{ij} توزیع احتمال شاخص **i**ام به ازای گزینه **j** است. جدول ٤ مقادیر p_i هر یک از شاخص‌ها را برای چهارگزینه مورد نظر نشان می‌دهد.

جدول ٤. مقدار p_i هر یک از شاخص های گزینه‌ها

مسائل اقتصادی	مسائل زیست محیطی	آلودگی صوتی	موانع غیر طبیعی	موانع طبیعی	دسترسی به مراکز جمعیتی	مساحت منطقه	نوع کاربری فعلی زمین	نوع خاک محل	فاصله از مرکز تولید سفر	p
۰/۳۵	۰/۳۵	۰/٤٥	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/٤۱	۰/۲۸	گزینه یک
۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۱۵	گزینه دو
۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۳۹	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۱٤	۰/۲۱	گزینه سه
۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۳۰	۰/۰٦	۰/۳۰	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۳۷	گزینه چهار

جدول ۵. مقدار $Ln\ pij$ به ازای هر کدام از گزینه ها

مسائل اقتصادی	مسائل زیست محیطی	آلودگی صوتی	موانع غیر طبیعی	موانع طبیعی	دسترسی به مراکز جمعیتی	مساحت منطقه	نوع کاربری فعلی زمین	نوع خاک محل	فاصله از مرکز تولید سفر	$Ln\ p$
−۱/۰۵	−۱/۰۵	−۰/۸۰	−۱/۲۰	−۰/۹٤	−۱/۲۰	−۱/۲۰	−۱/۲۷	−۰/۸۹	−۱/۲۹	گزینه یک
−۱/۳۹	−۱/۰۵	−۱/۰۵	−۱/۲۰	−۱/۷۹	−۱/٤٦	−۱/۲۰	−۱/۲۷	−۱/٤۸	−۱/۹۰	گزینه دو
−۱/۳۹	−۱/۹۰	−۱/۹۰	−۲/۳۰	−۰/۹٤	−۱/۷۹	−۱/٤٦	−۱/۵۲	−۱/۹۹	−۱/۵۸	گزینه سه
−۱/۹۰	−۱/۹۰	−۳/۰۰	−۱/۲۰	−۲/۸۹	−۱/۲۰	−۱/۷۹	−۱/۵۲	−۱/٤۸	−۱/۰۰	گزینه چهار

جدول ٦. مقادیر w_j و E_j هر کدام از گزینه ها

	فاصله از مرکز تولید سفر	نوع خاک محل	نوع کاربری فعلی زمین	مساحت منطقه	دسترسی به مراکز جمعیتی	موانع طبیعی	موانع غیر طبیعی	آلودگی صوتی	مسائل زیست محیطی	مسائل اقتصادی
E_j	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹٦	۰/۹۵	۰/۸٤	۰/۹٤	۰/۹۷
d_j	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰٤	۰/۰۵	۰/۱٦	۰/۰٦	۰/۰۳
w_j	۰/۰٦۵٦	۰/۰۹٤۳	۰/۰۰۹۸	۰/۰۳۲۱	۰/۰۳۲۱	۰/۲٤۰٤	۰/۰۹۰۵	۰/۲۸۱۲	۰/۱۰۲۷	۰/۰۵۱٤

با استفاده از مقادیر جداول فوق و رابطه (۱۲)، مقدار E_j محاسبه می‌شود (جدول ٦). با استفاده از روابط ١٤ و ١٥ مقدار d_j و w_j برای هر کدام از گزینه‌ها محاسبه می‌شود.

۵-۳ استفاده از مدل پرماتاسیون برای یافتن مکان بهینه

پس از طی مراحل فوق با توجه به شاخص‌های مشترک موجود و اوزان هر شاخص، گزینه‌ها به مدل پرماتاسیون وارد شده و براساس این مدل، رتبه هر گزینه مشخص می‌شود. در مرحله اول مقدار !m محاسبه می‌شود. (m تعداد گزینه‌هاست)

$$m!= 4!= 24 \qquad (۱۸)$$

یعنی تعداد جایگشت‌های مختلف اولویت گزینه‌ها ٢٤حالت است. در مرحله بعد تک تک حالات بایستی بررسی شوند و برای هر حالت مقادیر S_{KL} و R_{KL} محاسبه می شوند:

S_{kl} = مجموعه فرعی موافق،

R_{KL} = مجموعه فرعی مخالف،

مقادیر فوق برای یکی از جایگشت‌ها به شرح زیر هستند:

جدول ۷. مقادیر S_{KL} و R_{KL} محاسبه شده

گزینه	۱	۲	۳	٤
۱	۰	۱	۱	۰/۹۳٤٤۰۷
۲	۰/۲۳٥۱۱٥	۰	۰/٦۹٤۰۲٦	۰/۹۰۲۲۹٥
۳	۰/۲٤۰۳۸۱	۰/۳٥۷۳٤٦	۰	۰/۷۱۷٥٥٥
٤	۰/۱۸۸۱۸٤	۰/۲۸۲٤٤٥	۰/۳۹٤۹۷	۰

این اعداد نشان دهنده مقادیر S_{KL} و R_{KL} بین گزینه‌ها هستند به این صورت که:

$S_{12} = 1$,
$S_{23} = 0.694$,
$R_{31} = 0.24$,
$R_{42} = 0.2824$

٥-٤ انتخاب جایگشت برتر

در این مرحله با توجه به محاسبات و عملیات انجام شده، ارزش هر جایگشت T_i محاسبه و سپس جایگشت برتر (مناسب) انتخاب می‌شود. با توجه به جایگشت برتر می‌توان اولویت گزینه‌ها را مشخص کرد. برای هر جایگشت مقدار ارزش آن در جدول ۸ نشان داده شده است. ترتیب شماره‌ها نشان دهندهٔ اولویت گزینه‌ها است.

همان گونه که در جدول ۸ دیده می‌شود، مقدار بیشینه T_i برابر است با:

$$\max T_i = 3.55 \qquad (۱۹)$$

که این مقدار مربوط به جایگشت ۱۲۳٤ است.

جدول ۸. مقادیر ارزش هر جایگشت

حالت جایگشت	ارزش جایگشت	حالت جایگشت	ارزش جایگشت
۳۱٤۲	۰/۱۱	۱۲۳٤	۳/٥٥
۳۱۲٤	۱/۳٦	۱۲٤۳	۲/۹۰
۳۲۱٤	۱/۳٦	۱۳۲٤	۲/۸۸
۳۲٤۱	-۱/٦٦	۱۳٤۲	۱/٦٤
۳٤۱۲	-۱/۳۷	۱٤۳۲	۰/۹۹
۳٤۲۱	-۲/۹۰	۱٤۲۳	۱/٦٦
٤۱۲۳	-۰/۱۷	۲۱۳٤	۲/۰۲
٤۱۳۲	-۰/٥	۲۱٤۳	۱/۳۷
٤۲۱۳	-۱/۳٦	۲۳٤۱	-۰/۹۹
٤۲۳۱	-۲/۸۸	۲۳۱٤	۰/٥
٤۳۱۲	-۲/۰۲	۲٤۳۱	-۱/٦٤
٤۳۲۱	-۳/٥٥	۲٤۱۳	-۰/۱۲

٥-٥ انتخاب گزینه برتر

باتوجه به جایگشت انتخاب شده، گزینه ۱ اولویت دارد وبنا بر این، این گزینه به عنوان گزینه برتر انتخاب می شود.

٦. نتیجه‌گیری

برای انتخاب محل فرودگاه اولین گام تعیین شاخص های اصلی است تا بر اساس آن محل مناسبی با ابعاد و مشخصات مورد نظر انتخاب شود، زیرا غالباً این معیارها در واقع برای توسعه فرودگاههای موجود نیز قابل استفاده وکاربرد هستند.

برای انتخاب مکان فرودگاه، ابتدا بایستی براساس معیارهای هوانوردی، فیزیکی، اقتصادی و زیست محیطی، تعدادی گزینه که شرایط اولیه را دارند، مورد مطالعه قرار گیرند، سپس شاخص‌های مؤثر در مقایسه گزینه‌ها مطرح می‌شوند، در این حالت با استفاده از فرآیند زیر گزینه برتر انتخاب می‌شود:

۱- تعیین گزینه‌هایی که شرایط اولیه برای احداث فرودگاه را دارا باشند.

۲- آماده کردن گزینه‌ها برای ورود به مدل

۲-۱- استفاده از روش خطی برای بی‌بعد کردن شاخص‌ها

۲-۲- استفاده از روش آنتروپی به‌منظور وزن‌دهی به شاخص‌ها

۳- استفاده از مدل پرماتاسیون (جایگشت) برای به دست آوردن مکان بهینه

٤- انتخاب جایگشت برتر

٥- انتخاب گزینه برتر

با توجه به ارزیابی عملکرد این مدل در مکانیابی فرودگاهها، این مدل توانایی برنامه‌ریزی و مکانیابی در پروژه‌های آتی را دارد. از مزایای این مدل می‌توان به راحتی، سرعت عمل و هزینه کم آن اشاره کرد. از سایر مزایای این مدل می‌توان موارد زیر را برشمرد:

- کم شدن نقش خطای انسانی در طول انجام عملیات؛
- محدود نبودن مدل در مورد تعداد گزینه و تعداد شاخص؛
- قابلیت تعمیم مدل به سایر مکانها؛
- پاسخگویی به کلیه محدودیت ها، الزامات و پیش فرضهای لازم در خصوص مکانیابی فرودگاه.

مدل ارائه شده در این مقاله در واقع آغازگر فرایندی درگسترهٔ وسیع طراحی مدلهای مناسب برای انتخاب گزینه برتر، از بین گزینه های مختلف برای محل فرودگاه است.

۷. مراجع

۱. صفارزاده ، محمود (۱۳۷۹) "برنامه‌ریزی و طراحی فرودگاه"، شرکت فرودگاههای کشور، تهران.

۲. صفارزاده، محمود "راهنمای تهیه طرح جامع فرودگاه‌ها"، مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری، ۱۳۷٦.

3. Federal Aviation Administration (1993) "Airport Design", Advisory Circular AC 150/5300-13, Federal Aviation Administration, Washington, DC.

4. Federal Aviation Administration (1995) "Airport master plans" Advisory Circular AC 150/5070-6A, Federal Aviation Administration, Washington, DC.

5. International Civil Aviation Organization (1997) "Airport planning manual, Part1: Master planning", 2nd Edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.

6. International Civil Aviation Organization (1995) "Airport planning manual, Part 2: Land use and environmental control" 2nd. edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.

7. Bodily, S. E (1995) “Modern decision making” McGraw Hill.

۸. اصغر پور، محمد جواد "تصمیم گیریهای چند معیاره"، دانشگاه تهران ، ۱۳۸۱.

9. Hwang, C. L. and Yoon, K. (1991) “Multiple Attribute Decision Making”; Springer Verlag.

10. International Civil Aviation Organization (1990) "Aerodromes, Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, vol. 1: Aerodrome design and operations, 1st ed.", International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada..

11. Ashford, Norman, and Wright, Paul H. (1994) "Airport engineering”; Third Edition, John Wiley & Sons.

12. Horonjeff, R. and Mc.Kelvey, F.X. (1994) "Planning and design of airports", Fourth Edition, McGraw Hill.

پانویس‌ها

1- Multiple Criteria Decision Making
2- Multiple Objective Decision Making
3- Multiple Attribute Decision Making
4- Non – Compensatory Model
5- Compensatory Model
6- Permutation

An Airport Site Selection Model Based on Permutation Method

M. Saffarzadeh, Associate Professor, Department of Civil Enginnering, Tabrbiat Modares University, Tehran, Iran
H. Julideh, MSc. Student, Department of Civil Engineering, Azad University, Tehran, Iran
A. M. Borujerdian, Research Associate, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
E-mail:Saffar_m@modares.ac.ir

ABSTRACT
Improper location of airport may cause human and property losses. In this research, an attempt has been made to develop an airport site selection model using the permutation methodology. In this method, the most widely accepted site selection criteria for an airport are taken into account. Different alternatives and scenarios are analyzed and the optimum one is selected by using the developed model. The human errors in the process are minimized. More over, the site selection process would not be time consuming. It is also possible to change the number of variables effective in the airport location within the site selection process.

Keywords: Airport, site selection, permutation