

## جانمایی فرودگاه‌ها با رویکرد ایمنی، با استفاده

### از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

علی سعیدی<sup>۱</sup>، رضا مرادی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۲

#### چکیده

امروزه جانمایی فرودگاه‌ها بر اساس رهیافت‌های علمی روز دنیا به‌عنوان یکی از شاخصه‌های توسعه‌یافتگی در جوامع بشری همواره مدنظر دستگاه‌های حاکمیتی و کارشناسی دنیا بوده و خواهد بود. افزایش روزافزون مسافری و پیشرفت چشم‌گیر صنعت هوانوردی در ترابری هوایی مسائلی را در جانمایی فرودگاه‌ها ایجاد کرده است. به‌رحال احداث فرودگاه با ملاحظات مربوط به آن، فضای قابل توجهی را در مجاورت یک شهر نیاز دارد که مستلزم برنامه‌ریزی دقیق و مطالعه همه‌جانبه از نظر اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، زیست‌محیطی و امنیتی هست، و محل آن از جهت موقعیت طبیعی، زمین‌شناسی، هواشناسی و پدافند غیرعامل، باید مناسب باشد. جنبه دیگر این اقدامات در حوزه‌های فرودگاهی مشخص نمودن نوع تهدید و تدوین رویکرد پدافندی و امنیتی متناسب با آن است که در فرودگاه‌ها به دلیل نوع کارکرد و ساختار، طیف متنوعی از تهدیدات را برای آن‌ها می‌توان متصور شد. مکان‌یابی فرآیندی است که از طریق آن می‌توان بر اساس شرایط تعیین شده برای یک کاربری مشخص و با توجه به منابع و امکانات موجود، بهترین محل مناسب را تعیین نمود. در این تحقیق از روش توصیفی - تحلیلی بهره‌گیری شده است و از نظر نوع اجرا با استفاده از تکنیک‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش سلسله مراتبی (AHP) انجام شده است. روش نمونه‌گیری در این پژوهش، شیوه طبقه‌بندی است که از طریق نمونه‌گیری هدفمند ساده به طبقه‌های جامعه نمونه دسترسی پیدا شده است. در این تحقیق از پرسشنامه استفاده شده است و با مراجعه مستقیم به خبرگان و متخصصین در این حوزه جهت پاسخگویی به پرسشنامه اقدام شده است. پس از پاسخگویی به پرسشنامه، سنجش میزان وزن معیارهای تحقیق با بررسی سه معیار عوامل فیزیکی، عوامل هوانوردی و عوامل زیست‌محیطی حاصل شده است. (۱) عوامل فیزیکی (شامل: فاصله تقریبی تا فرودگاه‌های اطراف، نزدیکی به راه‌های اصلی و بزرگراه‌ها، جنس زمین، توپوگرافی، شیب و جهت شیب، دسترسی به تأسیسات و زیرساخت‌ها، مخاطرات طبیعی و فاصله از کاربری پرخطر)؛ (۲) عوامل هوانوردی (شامل: جهت‌گیری مناسب در برابر باد، موقعیت موانع موجود در اطراف فرودگاه (میدان دید))؛ (۳) عوامل زیست‌محیطی (شامل: کاهش آلودگی صوتی، فاصله از زمین‌های کشاورزی، بایر و خالی، جنگل، مناطق حفاظت‌شده و اماکن تاریخی). در ادامه تحقیق با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و توابع تحلیلی آن، سعی شد تا یک نمونه کاربردی از مقوله مکان‌یابی فرودگاه‌ها، اجرا و مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به نتیجه نهایی که از تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات به‌دست آمده، مناسب‌ترین مکان‌های استقرار فرودگاه بعد از روی هم گذاری نقشه‌ها و معیارهای موردنظر از دید مؤلفه‌های ایمنی بررسی می‌گردد و مکان مناسب برای جانمایی فرودگاه مشخص می‌گردد.

**کلید واژه‌ها:** جانمایی فرودگاه، مؤلفه‌های ایمنی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تحلیل سلسله مراتبی

<sup>۱</sup> دانشیار، دانشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع) - (asaaidi40@gmail.com) - نویسنده مسئول

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی ایمنی، دانشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

## ۱- مقدمه

تازه در مسائل جانمایی فرودگاه، جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی جانمایی خواهد بود.

محسن سقایی (۱۳۹۲)، در مقاله خود با عنوان «تحلیلی بر مکان‌یابی فرودگاه‌ها بر اساس شاخص‌های استاندارد» این‌گونه بیان می‌دارد که ایجاد فرودگاه‌ها با ملاحظه مقتضیات آن‌که فضای قابل‌توجهی را در مجاور یک شهر نیاز دارد مستلزم سرمایه‌گذاری زیاد می‌باشد. لذا احداث آن احتیاج به مطالعه همه‌جانبه اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی داشته و محل آن از نظر موقعیت طبیعی، زمین‌شناسی و هواشناسی باید مناسب باشد.

میمندی پاریزی و کاظمی نیا (۱۳۹۴)، در مقاله خود با عنوان «پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر کرمان بر اساس اصول پدافند غیرعامل» انجام داده‌اند؛ این پژوهش در پی آن است که آسیب‌پذیری شهر کرمان را از دیدگاه پدافند غیرعامل و با تأکید بر تأسیسات حیاتی و تهدیدپذیری شهری، همچنین، سه شاخص تراکم جمعیتی، کیفیت ابنیه و نسبت فضاهای پر به خالی ارزیابی و پهنه‌بندی کند.

محمد رضا عبدلی، (۱۳۹۰) در مقاله خود با عنوان «بررسی ضرورت استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در فرودگاه بین‌المللی امام خمینی تهران» عمده‌ترین مزایای استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدیریت فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) بررسی سیستم‌ها و ارائه اطلاعات دقیق و بهنگام در مورد نقاط ضعف، نقاط قوت، فرصت‌ها و تهدیدهای آن‌ها، ارائه امکان شبیه‌سازی حوادث و بحران‌ها و بررسی عکس‌العمل سیستم‌ها، تجهیزات و تأسیسات موجود و آتی، ارائه پیشنهادها لازم برای ارتقاء وضعیت موجود و همچنین امکان ارائه راه‌حل‌های سریع و دقیق در زمان بحران می‌باشد.

لی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی با عنوان «پناهگاه‌ها و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل تحت شرایط طوفان» در کارولینای شمالی آمریکا، سعی در بهینه‌سازی انتخاب مکان پناهگاه‌ها با در نظر گرفتن طیف وسیعی از طوفان‌های رخ داده و نیاز به تخلیه‌ی سریع و استقرار در این پناهگاه‌ها اقدام کرده‌اند. در این پژوهش با استفاده نرم‌افزار Arc GIS موقعیت مناسب برای این پناهگاه‌ها و همچنین مدل SWOT به سناریوینسی در این زمینه پرداخته‌اند. نتیجه‌ی نهایی نشان می‌دهد که با توجه به طیف وسیع طوفان‌ها ضرورت این پناهگاه‌ها الزامی بوده، همچنین اهمیت در نظر گرفتن سیستم حمل‌ونقل ویژه در ناحیه‌ی موردبررسی برای تخلیه در هنگام بروز بحران و انتقال به این پناهگاه‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد.

افزایش روزافزون مسافری و مسافرت‌های هوایی و تحول سریع ترابری هوایی و افزایش حجم و مقدار آن‌ها، مسائلی را در جانمایی فرودگاه‌ها پدید آورده که حل آن‌ها مستلزم برنامه‌ریزی و به کار گرفتن دانش و فنون فرودگاهی و هوانوردی است. (عبدی، ۱۳۹۵، ص ۱۰) ایجاد فرودگاه‌ها با ملاحظه مقتضیات آن‌که فضای قابل‌توجهی را در مجاور یک شهر نیاز دارد، مستلزم سرمایه‌گذاری زیاد است. لذا احداث آن احتیاج به مطالعه‌ی همه‌جانبه‌ی اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی داشته و محل آن از نظر موقعیت طبیعی، زمین‌شناسی و هواشناسی باید مناسب باشد. جانمایی فرودگاه‌ها نیازمند مطالعات علمی سازمان‌یافته‌ای است. عوامل متعددی چون شرایط آب‌وهوایی، شرایط توپوگرافی، راه‌های ارتباطی، آب، شیب زمین، مسائل امنیتی و ملاحظات سیاسی در گزینش مکان آن‌ها مؤثرند. (صفار زاده و معصومی، ۱۳۸۳، ص ۱۴)

جانمایی فرودگاه‌ها و سایر نقاط حساس و مهم، از گذشته موردتوجه بوده است، اما امروزه با توجه به پیشرفت فناوری، عوامل زیادی در تعیین موقعیت این مراکز نقش دارند. مطالعات اولیه و تصمیم‌گیری برای انتخاب مکان مناسب و همچنین ساخت‌وساز آن، هزینه‌های بسیار هنگفتی را می‌طلبد و به لحاظ امنیتی بسیار حائز اهمیت است. از آنجاکه به‌کارگیری روش‌های مناسب در فرآیند مکان‌یابی ضمن کاهش هزینه‌ها، از اتخاذ تصمیمات نادرست جلوگیری می‌کند و همچنین علاوه بر افزایش کارایی و عملکرد آن‌ها در منطقه، می‌تواند مانع اتلاف نیروها، سرمایه و زمان، باشد؛ از این‌رو در احداث این مراکز باید کلیه عوامل، اعم از طبیعی و انسانی مدنظر قرار گیرد تا با یک برنامه‌ریزی بلندمدت، از صرف هزینه‌های بی‌مورد جلوگیری شود. (سقایی، ۱۳۹۲، ص ۱۲).

## ۲- پیشینه تحقیق

توحیدی راد (۱۳۹۳) در پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) با عنوان «ارزیابی روش‌های مکان‌یابی فرودگاه‌ها در تناسب با مسائل توسعه شهری (نمونه تحقیق: فرودگاه قزوین و الگوریتم ژنتیک)» پس از بررسی داده‌های موردنیاز در جانمایی فرودگاه قزوین و حل مسئله با استفاده از الگوریتم NSGA-II، بهترین جواب آن به‌عنوان مکان بهینه برای فرودگاه قزوین در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج پژوهش، الگوریتم NSGA-II، به علت سرعت و دقت بالا و همچنین ارائه‌ی یک سیستم پشتیبان تصمیم به‌عنوان رهیافتی

<sup>1</sup> Liu

۳. کاهش خسارت کمتر در هنگام بروز حملات هوایی دشمن به فرودگاه‌ها،
  ۴. بیان شاخص‌ها و مؤلفه‌های ایمنی تأثیرگذار در انتخاب مکان مناسب برای فرودگاه‌ها.
- اگر این تحقیق مورد توجه قرار نگیرد با مشکلاتی که برخی از آن‌ها در زیر اشاره می‌شود مواجه خواهیم شد:

۱. عدم شناسایی نقاط ضعف و قوت در جانمایی فرودگاه‌ها،
۲. افزایش خسارت وارده به فرودگاه‌ها در هنگام بروز حملات دشمن،
۳. کاهش ایمنی محیطی و افزایش خسارات و تلفات ناشی از وقوع حوادث و سوانح طبیعی و غیرطبیعی.

### ۵- روش تحقیق

روش انجام هر پژوهشی بستگی به ماهیت پژوهش، اهداف، فرضیات، امکانات اجرایی و ملاحظات اخلاقی آن دارد. (فرشیدیان فر و اولیا زاده، ۱۳۸۸، ص ۵) انجام مطالعات و اخذ تصمیم به منظور انتخاب یک مکان مناسب برای فرودگاه‌ها و ساخت آن‌ها مستلزم صرف هزینه‌های زیادی است و به لحاظ امنیتی نیز فوق العاده حائز اهمیت است. به کارگیری و توجه به اصول دفاع غیرعامل به ویژه جانمایی مناسب فرودگاه‌ها و لحاظ نمودن نقش عوامل جغرافیایی بر آن‌ها می‌تواند به طور چشمگیری از اتلاف نیروها، هزینه‌ها و سرمایه جلوگیری نماید. در این پژوهش از داده‌های زیادی از جمله داده‌های هواشناسی و اقلیمی که این داده‌ها برای یک بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۹ از اداره کل هواشناسی کشور دریافت گردیده است. داده‌های غیرمکانی (توصیفی) مورد نیاز از کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها، نشریات، آمارنامه‌ها مدارک وجود و با توجه به سازمان‌ها و مطالعات میدانی جمع‌آوری و وارد سیستم شده است.

مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی کتب، مجلات، مقالات، جستجوی اینترنتی و... به منظور بررسی منابع و تقویت جنبه‌های تئوریک جهت آشنایی با نظرات و مطالعات انجام شده است. (صفا زاده و معصومی، ۱۳۹۷، ص ۱۶) تنظیم و ارائه پرسشنامه جهت کسب اطلاعات اختصاصی و به دست آوردن وزن معیارها از طریق کارشناسان و متخصصان صورت پذیرفته است.

با توجه به اهداف تحقیق، ابتدا عوامل و معیارهای ایمنی مؤثر در جانمایی فرودگاه‌ها از طریق مطالعات کتابخانه‌ای (تحقیقات پیشین) شناسایی و با نظرهای کارشناسان تکمیل و داده‌های مکانی منطقه مورد مطالعه متناسب با معیارها، جمع‌آوری

مندوزا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵) با ترکیب روش‌های تحلیل چند معیاری و GIS، شرایط زمین را برای مکان‌یابی مناطق آموزشی، ارزیابی و برای منعکس کردن تأثیرات آموزشی از سه معیار: وضعیت فرسایش، درصد پوشش گیاهی و شرایط برد سلاح استفاده کرده‌اند.

### ۳- بیان مسئله

جانمایی درست و اصولی فرودگاه‌ها و سایر مراکز حساس یکی از مهم‌ترین اقداماتی است که موجب کاهش قابل توجه هزینه‌های بعدی مرتبط با فعالیت‌ها و پیشامدهای مربوط به این مکان‌ها خواهد داشت. عمده‌ترین هدف ایمنی، کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های مورد نیاز مردم است، این اقدامات اگر به صورت یک برنامه‌ریزی و طراحی در توسعه نهادینه شود، تداعی‌گر آینده‌ای روشن در زمینه بهره‌وری ایمنی هست. عوامل جغرافیایی در اتخاذ تدابیر کارآمد با رویکرد ایمنی در جانمایی، جهت مقابله با تهدیدات طبیعی و همچنین تهدیدات انسانی، اثر قاطعی دارد. از مهم‌ترین و ضروری‌ترین اقدامات برای جلوگیری از خسارت‌های حیاتی به فرودگاه‌ها و مراکز حساس، و یا محدود کردن آن، جانمایی صحیح آن‌ها می‌باشد.

جانمایی مطلوب را می‌توان مهم‌ترین اقدام دفاع غیرعامل در کاهش آسیب‌پذیری مراکز حیاتی و حساس از جمله فرودگاه‌ها محسوب نمود، زیرا اگر در مرحله صفر پروژه طراحی، احداث و تأسیس این مراکز عوامل و معیارهای ذی ربط دفاعی و امنیتی از قبیل «حداکثر استفاده از عوامل طبیعی، آمایش سرزمینی، رعایت پراکندگی، پرهیز از انبوه و حجم سازی، مقاوم‌سازی اولیه و بسیاری از فرصت‌های موجود در دسترس» می‌تواند نظارت و کنترل گردد و از بروز بسیاری از مشکلات بعدی نوعاً پیش‌بینی و هزینه‌بر جلوگیری به عمل خواهد آمد. جانمایی، انتخاب بهترین و مطلوب‌ترین نقطه و استقرار است، به طوری که پنهان و مخفی نمودن نیروی انسانی، وسایل و تجهیزات و فعالیت‌ها را به بهترین وجه امکان‌پذیر می‌سازد.

### ۴- اهمیت و ضرورت

به دلایلی که برخی از آن در زیر آمده است این تحقیق انجام شد:

۱. تجزیه و تحلیل شرایط ایمنی و معرفی مکان مناسب برای احداث فرودگاه‌ها،
۲. افزایش ایمنی از نظر حفظ اقدامات پدافند غیرعامل در جانمایی فرودگاه‌ها،

<sup>1</sup> Mendoza

فرودگاه ارزیابی شود. (سقای، ۱۳۹۲، ص ۱۸) و در نهایت شاخص‌های مؤثر در جانمایی فرودگاه تعیین شود.

#### ۶-۱- شاخص‌های مؤثر در جانمایی فرودگاه بر اساس

##### نمونه‌های پیشین

انتخاب یک محل مناسب برای فرودگاه بستگی به طبقه‌بندی فرودگاه تحت مطالعه دارد. در صورتی که عوامل تعیین‌کننده، لزوم انتخاب امکانات وسیع را ایجاب کند، اجرای چندمرحله‌ای جانمایی فرودگاه سهل‌تر و اقتصادی‌تر خواهد بود. (سقای، ۱۳۹۲، ص ۱۹) عوامل زیر در انتخاب محل مناسب برای فرودگاه‌های اصلی مؤثر می‌باشند.

#### ۶-۲- عوامل مؤثر در انتخاب محل مناسب برای

##### فرودگاه‌ها

در جدول ۱، سیزده عامل مؤثر برای انتخاب محل مناسب برای فرودگاه‌ها بیان شده است. بررسی و توجه به این عوامل در جانمایی فرودگاه اجتناب‌ناپذیر است.

جدول (۱): عوامل مؤثر در انتخاب محل مناسب برای فرودگاه‌ها (سازمان هواپیمایی کشوری، ۱۳۹۲، ۸۵)

شبکه کشوری	۱-
کاربری فرودگاه	۲-
فاصله تقریبی تا فرودگاه‌های دیگر	۳-
دسترسی به فرودگاه	۴-
توپوگرافی منطقه	۵-
موانع	۶-
میدان دید (حوزه دید)	۷-
باد	۸-
آلودگی صوتی	۹-
شیب، زهکشی و خصوصیات خاک	۱۰-
گسترش آینده	۱۱-
دسترسی به تأسیسات و زیرساخت‌ها مانند آب، برق، گاز، سرویس‌های خدماتی و غیره	۱۲-
بررسی اقتصادی (صرفه‌جویی در هزینه ساخت‌وساز)	۱۳-

ترافیک و وسایل کنترل ترافیک دارد. (سازمان هواپیمایی کشوری، ۱۳۹۲، ص ۹۱)

#### ۶-۳-۲- نزدیکی به راه‌های اصلی و بزرگراه‌ها

زمان لازم برای رسیدن وسایل نقلیه از محل‌های تجاری یا مناطق مسکونی به فرودگاه نباید از ۳۰ دقیقه تجاوز کند. بهترین محل،

می‌گردد. سپس با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP و نرم‌افزار Expert Choice، وزن هر معیار را به دست آورده و در نهایت به مدل‌سازی آن در محیط نرم‌افزار ArcGIS ۱۰٫۷ پرداخته شد.

جامعه آماری تحقیق ۱۰۰ نفر می‌باشد، که با مراجعه مستقیم به خبرگان و متخصصین در این حوزه جهت پاسخگویی به پرسشنامه انتخاب شده است. سنجش میزان وزن معیارهای تحقیق با بررسی سه معیار اصلی ۱- فیزیکی ۲- عوامل هوانوردی و ۳- عوامل زیست‌محیطی، انجام شده است و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و توابع تحلیلی آن سعی شد تا یک نمونه کاربردی از مقوله جانمایی فرودگاه‌ها اجرا و مورد ارزیابی قرار گیرد.

#### ۶-۳- شاخص‌های ایمنی مؤثر در جانمای فرودگاه

برای تعیین شاخص‌های مؤثر در جانمایی فرودگاه، ابتدا باید شاخص‌های جانمایی فرودگاه در نمونه‌های پیشین و آیین‌نامه‌ها بررسی شود و سپس با استفاده از قضاوت خبرگان به روش تصمیم‌گیری چند معیاره نظر متخصصان بومی برای جانمایی

#### ۶-۳-۳- مؤلفه‌ها و معیارهای ایمنی

##### ۶-۳-۱- فاصله از فرودگاه‌های اطراف

محل فرودگاه باید با فاصله مناسبی از فرودگاه‌های دیگر انتخاب شود به طوری که نشست و برخاست هواپیماها در فرودگاه دیگر ایجاد مزاحمت نکند. فاصله لازم بستگی به نوع هواپیما، حجم

باشد. آلودگی صوتی مربوط به ترافیک هوایی را باید عمدتاً از طریق جانمایی صحیح و ایجاد حریم حفاظتی بر پیرامون فرودگاه مهار کرد. (فرشیدیان فر و اولیازاده، ۱۳۹۵).

### ۶-۳-۹- توپوگرافی منطقه

عوارض توپوگرافی از عوامل مهمی می‌باشد که باعث عملکرد بهینه یا نامطلوب فرودگاه‌ها می‌شوند. ساخت فرودگاه در ناحیه‌ای که عوارض توپوگرافی متعددی دارد هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ عملیاتی مقرون به صرفه نمی‌باشد. عوارض توپوگرافی به‌عنوان مانع پروازی محسوب می‌شوند که نقش زیادی در کارایی فرودگاه دارند. فرودگاه‌هایی که در نزدیکی عوارض توپوگرافی قرار دادند امکان توسعه آن‌ها با مشکل روبرو می‌شود، کوه‌ها و تپه‌های بلند باعث ایجاد محدودیت‌هایی در هنگام نشست و برخاست هواپیماها می‌گردند. بسیاری از سوانح هوایی که در کشور ما و سایر نقاط جهان رخ داده مربوط به برخورد هواپیما به ارتفاعات نزدیک فرودگاه بوده است. اگر فرودگاه در میان ناهمواری‌ها قرار بگیرد وضعیت بادهای محلی در فرودگاه تأثیرگذار می‌شود، چون کوه‌ها می‌توانند همانند تونل هوا عمل کنند (مولر، ۱۳۸۹، ص ۱۱).

ارتفاع مکان فرودگاه از سطح دریاهای آزاد نیز از مسائل حائز اهمیت است در مکان‌های مرتفع چگالی و غلظت هوا کمتر می‌شود در نتیجه برخاستن هواپیما به‌سختی صورت می‌گیرد و نیاز به باندهای طویل‌تری دارد از آنجایی که در مکان‌یابی مرتفع به‌خصوص در فصول سرد سال دمای هوا کاهش می‌یابد (به ازای هر ۱۰۰۰ متر ۶ درجه سانتی‌گراد دمای هوا کاهش می‌یابد)، این مسئله ممکن است منجر به یخ‌زدگی سطوح پروازی باله‌های هواپیما گردد که باعث ابطال پروازها یا بروز سوانح می‌شود. ارتفاع محوطه محل استقرار فرودگاه بر روی ابعاد و مساحت موردنیاز فرودگاه نیز تأثیر می‌گذارد. (صفارزاده، معصومی، ۱۳۹۷، ص ۱۰۹)

### ۶-۳-۱۰- شیب زمین

میزان شیب زمین در جانمایی فرودگاه‌ها حتماً باید موردتوجه قرار گیرد. مناسب‌ترین مکان برای ساخت فرودگاه زمین‌هایی است که کمتر از ۳ درصد شیب دارند. هرچه شیب بیشتر باشد ساخت فرودگاه به سرمایه‌گذاری و هزینه بیشتری نیاز دارد. طبق توسعه سازمان بین‌المللی هواپیمایی کشور شیب عرضی باند نباید از ۲ درصد تجاوز نماید، شیب عرضی معمولاً برای هدایت سریع آب‌های سطحی روی باند مورد استفاده قرار می‌گیرد. شیب طولی توصیه‌شده نیز حداکثر ۲ درصد است. در صورت وجود شیب بیشتر طول لازم باند افزایش می‌یابد و باعث ایجاد نقیصه در

نزدیکی به بزرگراه‌هاست، زیرا می‌توان با صرف حداقل زمان به فرودگاه دسترسی پیدا کرد. (سازمان هواپیمایی کشوری، ۱۳۹۲، ص ۹۳)

### ۶-۳-۳- جنس زمین (میتولوژی خاک)

احتمال جریان سیل، مطالعه بر روی محل‌هایی که دارای سطح آب‌های زیرزمینی بالایی هستند و نفوذپذیری خاک در جانمایی فرودگاه باید در نظر گرفته شود. (سازمان هواپیمایی کشوری، ۱۳۹۲، ص ۹۷)

### ۶-۳-۴- دسترسی به تأسیسات و زیرساخت‌ها

هر فرودگاهی احتیاج به تأسیساتی از قبیل شبکه آب و فاضلاب، گاز، نیروی برق و ... دارد. لذا در انتخاب محل استقرار فرودگاه فراهم بودن این تسهیلات باید موردتوجه قرار گیرد. (سازمان هواپیمایی کشوری، ۱۳۹۲، ص ۹۲)

### ۶-۳-۵- مخاطرات طبیعی

هر فرودگاهی احتیاج به فاصله مناسب تا رودخانه‌های اصلی، فرعی، مسیل و پهنه‌های سیل، گسل و ... دارد. لذا در انتخاب محل استقرار فرودگاه موارد مذکور باید موردتوجه قرار گیرد. (سازمان هواپیمایی کشوری، ۱۳۹۲، ص ۹۹)

### ۶-۳-۶- جهت‌گیری مناسب در برابر باد

باند پرواز باید به نحوی قرار گیرد که هواپیما هنگام نشست یا برخاست در جهت مخالف باد باشد. محل فرودگاه باید در امتداد جهت وزیدن باد به شهر واقع شود تا دود و غبار شهر در جهت مخالف فرودگاه حرکت نماید. همچنین اطلاع از سرعت و جهت باد در سطح زمین برای خلبانان الزامی است. (سازمان هواپیمایی کشوری، ۱۳۹۲، ص ۱۰۱)

### ۶-۳-۷- موقعیت موانع موجود در اطراف فرودگاه (میدان دید)

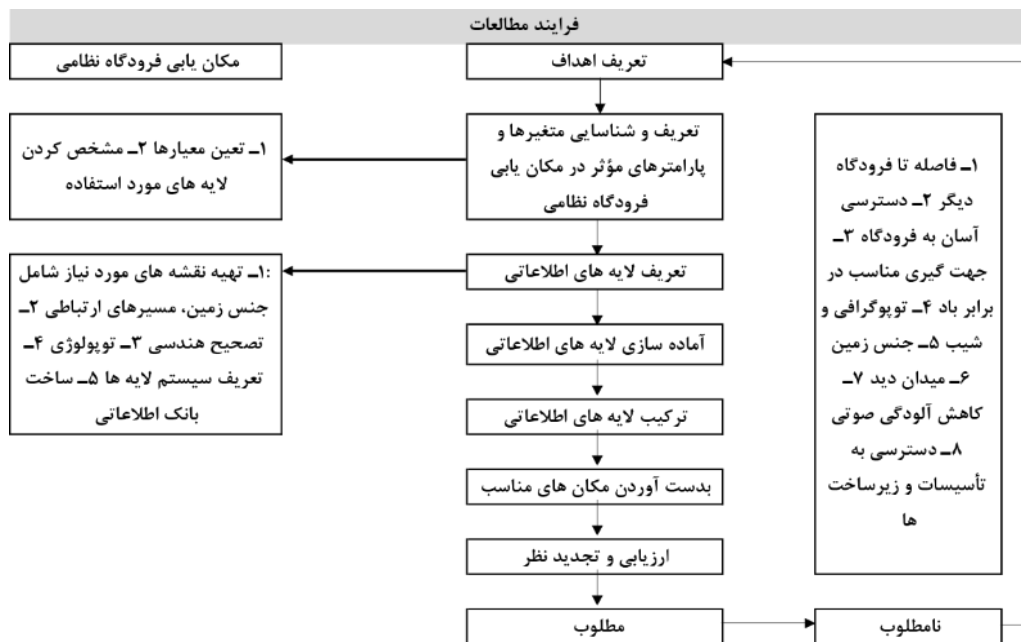
محل انتخاب فرودگاه باید از هرگونه وضعیت کاهش دهنده دید مانند مه، دود و غبار، مبرا باشد. محل محوطه فرودگاه باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که مسیرهای تقرب لازم در توسعه نهایی فرودگاه عاری از هرگونه مانعی باشد و یا در صورت وجود موانع بتوان آن را برطرف کرد. (سازمان هواپیمایی کشوری، ۱۳۹۲، ص ۹۴)

### ۶-۳-۸- آلودگی صوتی

محل فرودگاه باید به نحوی انتخاب شود که مسیرهای نشست و برخاست هواپیما بر فراز زمین‌های غیرمسکونی و صنعتی

بعد از آماده‌سازی کلیه لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌ها، ضروری است که این لایه‌ها را باهم ترکیب نموده و در انتها مکان مناسب برای احداث فرودگاه مورد مطالعه به دست می‌آید. سپس مکان به‌دست‌آمده، مورد ارزیابی و تجدیدنظر قرار می‌گیرد، اگر مکان پیشنهادشده مطلوب باشد، به هدف خود که جانمایی فرودگاه با رویکرد مؤلفه‌های ایمنی هست، محقق می‌گردد، در غیر این صورت کل این فرآیند مجدداً باید تکرار شود، تا نهایتاً به هدف تعریف‌شده (جانمایی فرودگاه بر اساس مؤلفه‌های ایمنی) دست‌یافت.

در شکل ۱ به‌صورت چارت مدل مفهومی بررسی مؤلفه‌های ایمنی مؤثر در جانمایی فرودگاه توضیح داده شده است.



شکل (۱): مدل مفهومی مؤلفه‌های ایمنی در جانمایی فرودگاه

نتایج رتبه‌بندی و امتیازدهی معیارهای ارزیابی با استفاده از تجربه و دانش کارشناسان متخصص و خلبانان با در نظر گرفتن خصوصیات محدوده مطالعاتی مطابق جدول (۲) تا جدول (۵) می‌باشد.

عملکرد هواپیماها در هنگام برخاستن می‌گردد و دید را نیز کاهش می‌دهد (ایمانی و بهبهانی، ۱۳۷۷، ص ۱۱۱ - ۱۱۲)

#### ۴-۶- مدل مفهومی مؤلفه‌های ایمنی مؤثر در جانمایی فرودگاه

فرآیند جانمایی فرودگاه به این صورت است که پس از تعریف اهداف جانمایی (با توجه به میزان تأثیر و اهمیت مؤلفه‌های ایمنی مؤثر در جانمایی فرودگاه)، متغیرها و پارامترهای مؤثر در جانمایی را تعریف می‌کنیم. و بعد از آن، لایه‌های اطلاعاتی مشخص می‌گردد، و برای هر یک از لایه‌های اطلاعاتی به کمک نرم‌افزار Arc GIS نقشه آن‌ها با توجه به اهمیت و میزان اثرگذاری متغیرها و پارامترهای جانمایی (مؤلفه‌های ایمنی) طراحی می‌گردد.

#### ۷- امتیازدهی معیارها و زیر معیارهای ارزیابی جانمایی

##### ۷-۱- نتایج رتبه‌بندی و امتیازدهی معیارهای ارزیابی

جدول (۲): ماتریس مقایسه اولیه معیارها

معیار	فیزیکی	هوانوردی	زیست محیطی	وزن
فیزیکی	۱	۳/۴	۵/۶	۰/۶۴۰
هوانوردی		۱	۵/۹	۰/۲۸۶
زیست محیطی			۱	۰/۰۷۴

جدول (۳): ماتریس مقایسه اولیه عوامل فیزیک

وزن	کاربری پرخطر	مخاطرات طبیعی	تأسیسات و زیرساخت‌ها	توپوگرافی	میتولوژی	راه‌های ارتباطی	فاصله از فرودگاه	زیر معیار
۰/۰۵۲	۳/۷	۲/۰	۲/۰	۳/۹	۱/۹	۲/۰	۱	فاصله از فرودگاه
۰/۰۵۸	۱/۰	۲/۰	۷/۴	۶/۷	۱/۰	۱		راه‌های ارتباطی
۰/۱۴۴	۳/۹	۳/۹	۱/۰	۳/۴	۱			میتولوژی
۰/۲۱۲	۲/۰	۱/۹	۲/۰	۱				توپوگرافی
۰/۱۹۰	۷/۱	۴/۰	۱					تأسیسات و زیرساخت‌ها
۰/۱۳۰	۱/۰	۱						مخاطرات طبیعی
۰/۲۱۳	۱							کاربری پرخطر

جدول (۴): ماتریس مقایسه اولیه عوامل هوانوردی

وزن	میدان دید	جهت باد	زیر معیار
۰/۹۰۰	۹/۰	۱	جهت باد
۰/۱۰۰	۱		میدان دید

جدول (۵): ماتریس مقایسه اولیه عوامل زیست‌محیطی

وزن	فاصله از زمین کشاورزی و تاریخی	آلودگی صوتی	زیر معیار
۰/۸۷۵	۷/۰	۱	آلودگی صوتی
۰/۱۲۵	۱		فاصله از زمین کشاورزی و تاریخی

نتایج ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس محاسبه شده که به صورت زیر می‌باشد.

۲-۷- نتایج ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها

	Fiziki	Havanavar	zistmohity
Fiziki		3.41995	5.64203
Havanavardi			5.91913
zistmohity	Incon: 0.18		



شکل (۲): ضرایب اهمیت معیارها

در جدول ۵ ترتیب رتبه‌بندی معیارهای اصلی در جانمایی فرودگاه‌ها به ترتیب اهمیت فیزیکی، هوانوردی و درنهایت زیست‌محیطی می‌باشند.

۱-۲-۷- معیارهای اصلی در جانمایی فرودگاه‌ها

جدول (۶): رتبه‌بندی معیارهای اصلی در جانمایی فرودگاه

معیار	ضرایب اهمیت نسبی	ضریب ناسازگاری
فیزیکی	۰/۶۴۰	۰/۱۸
هوانوردی	۰/۲۸۶	
زیست‌محیطی	۰/۰۷۴	

۷-۲-۲- عوامل فیزیکی

خاک، مخاطرات طبیعی، نزدیکی به راه اصلی، فاصله تا فرودگاه، دیگر به دست آمده است.

در جدول ۶ رتبه بندی زیرمعیارهای مربوط به معیار اصلی عوامل فیزیکی که در جانمایی فرودگاه ارائه شده است، به ترتیب اهمیت: کاربری پرخطر، توپوگرافی، تأسیسات و زیرساخت، جنس

در شکل ۲ خروجی به دست آمده از نرم افزار اکسپرت چویس ارائه شده است که مربوط به اهمیت زیرمعیار عوامل فیزیکی تحقیق هستند.

	fasele_ta_1	Nazdiki_be	Litology	Topograph	Tasisat_va	mokhaterat	Karbari_po
fasele_ta_foroodgah_atraf		2.03965	1.95598	3.98951	2.04501	2.00689	3.74166
Nazdiki_be_raheasli			1.0225	6.79904	7.45764	2.00689	1.04552
Litology				3.47603	1.04552	3.91196	3.92543
Topography					2.05205	1.94416	2.0
Tasisat_va_zirsakht						4.0	7.15753
mokhaterat_tabiee							1.0
Karbari_porkhatar	Incon: 0.35						



شکل (۲): ضرایب اهمیت زیر معیار عوامل فیزیکی

جدول (۷): رتبه بندی زیرمعیارهای مربوط به معیار عوامل فیزیکی در جانمایی فرودگاه

ضریب ناسازگاری	ضرایب اهمیت نسبی	زیر معیار
۰/۳۵	۰/۲۱۳	کاربری پرخطر
	۰/۲۱۲	توپوگرافی
	۰/۱۹۰	تأسیسات و زیرساخت
	۰/۱۴۴	جنس خاک
	۰/۱۳۰	مخاطرات طبیعی
	۰/۰۵۸	نزدیکی به راه اصلی
	۰/۰۵۲	فاصله تا فرودگاه دیگر

در شکل ۳ ضرایب اهمیت زیرمعیار عوامل هوانوردی که توسط نرم افزار اکسپرت چویس ترسیم شده است.

۷-۲-۳- عوامل هوانوردی

	Jahate_bad	Meydane_1
Jahate_bad		9.0
Meydane_did		Incon: 0.00



شکل (۳): ضرایب اهمیت زیر معیار عوامل هوانوردی

نتایج به دست آمده به ترتیب: جهت باد و میدان دید، از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

در جدول ۷ رتبه بندی زیرمعیارهای مربوط به معیار اصلی عوامل هوانوردی در جانمایی فرودگاه ارائه شده است، با توجه به

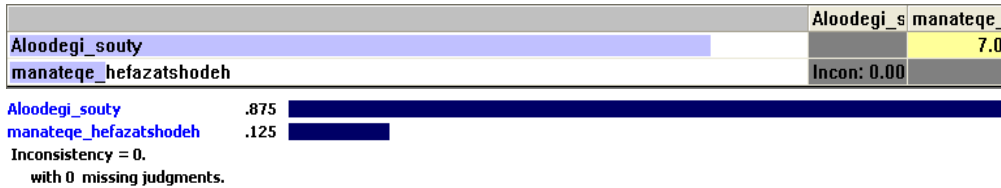


جدول (۸): رتبه‌بندی زیرمعیارهای مربوط به معیار عوامل هوانوردی در جانمایی فرودگاه

زیر معیار	ضرایب اهمیت نسبی	ضریب ناسازگاری
جهت باد	۰/۹۰۰	۰/۰۰
میدان دید	۰/۱۰۰	

۴-۲-۷ - عوامل زیست‌محیطی

در شکل ۴ ضرایب اهمیت زیرمعیار عوامل زیست‌محیطی توسط نرم‌افزار اکسپرت چویس ترسیم شده است.



شکل (۴): ضرایب اهمیت زیر معیار عوامل زیست محیط

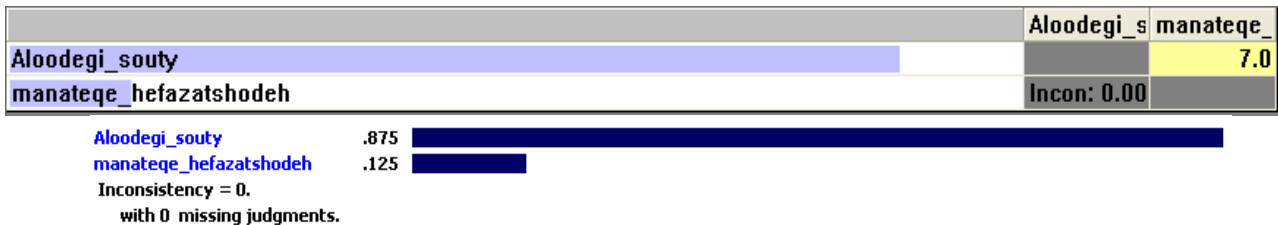
در جدول ۸ رتبه‌بندی زیرمعیارهای مربوط به معیار عوامل زیست‌محیطی در جانمایی فرودگاه ارائه شده است به ترتیب: آلودگی صوتی و مناطق حفاظت‌شده، از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

جدول (۸): رتبه‌بندی زیرمعیارهای مربوط به معیار عوامل زیست‌محیطی

زیر معیار	ضرایب اهمیت نسبی	ضریب ناسازگاری
آلودگی صوتی	۰/۸۷۵	۰/۰۰
مناطق حفاظت‌شده	۰/۱۲۵	

۴-۲-۷ - عوامل زیست‌محیطی

در شکل ۴ ضرایب اهمیت زیرمعیار عوامل زیست‌محیطی توسط نرم‌افزار اکسپرت چویس ترسیم شده است.

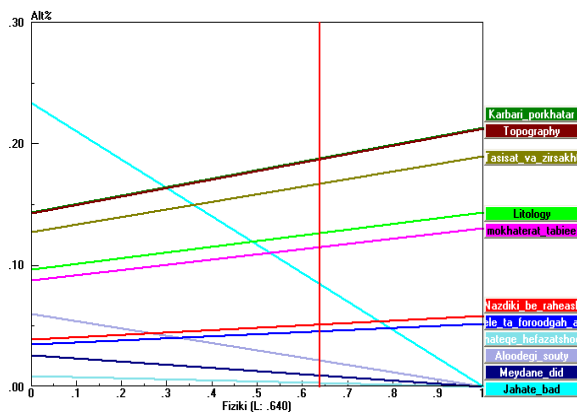


شکل (۴): ضرایب اهمیت زیر معیار عوامل زیست محیط

در جدول ۸ رتبه‌بندی زیرمعیارهای مربوط به معیار عوامل زیست‌محیطی در جانمایی فرودگاه ارائه شده است به ترتیب: آلودگی صوتی و مناطق حفاظت‌شده، از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

جدول (۸): رتبه‌بندی زیرمعیارهای مربوط به معیار عوامل زیست‌محیطی

زیر معیار	ضرایب اهمیت نسبی	ضریب ناسازگاری
آلودگی صوتی	۰/۸۷۵	۰/۰۰
مناطق حفاظت‌شده	۰/۱۲۵	



شکل (۵): نمودارهای مربوط به وزن‌های معیارها و زیرمعیارهای جانمایی فرودگاه

## ۸- روش تحلیل سلسله مراتبی و مدل Weighted Overlay

با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و مدل Weighted Overlay مناطق مناسب برای احداث فرودگاه به دست آمده است. مراحل کار عبارت است از:

مرحله اول: بررسی پارامترهای انتخاب شده برای جانمایی فرودگاه در این مرحله ابتدا با استفاده از پرسشنامه خبرگی، دیدگاه و نظرات کارشناسان و مدیران مربوطه را در قالب پرسشنامه دریافت نموده و نتایج ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها با استفاده از نرم افزار SPSS و ExpertChoise، محاسبه شد.

مرحله دوم: پهنه بندی پارامترهای مکان گزینی:

بعد از تهیه کلیه لایه‌هایی که در مؤلفه‌های ایمنی جانمایی فرودگاه مؤثر بودند، با توجه به درجه اهمیت و مقدار تأثیر هر کدام از آن عناصر به روش AHP وزن دهی می‌شوند.

مرحله سوم: ارزش گذاری و وزن دهی به پارامترها

بعد از وزن دهی لایه‌ها برای اینکه کلیه لایه‌ها با هم جمع شوند اقدام به تبدیل لایه‌های وکتوری به رستری شد که این عملیات توسط ابزارهای Raster Calculator و 3D Analyst، Spatial Analysis در محیط Arc GIS انجام گردید.

مرحله چهارم: تلفیق و همپوشانی نقشه‌ها جهت جانمایی فرودگاه:

در این مرحله نقشه‌های مختلف را با هم ترکیب نموده تا مناسب‌ترین مکان‌های استقرار فرودگاه بعد از روی هم گذاری نقشه‌ها و معیارهای مورد نظر تعیین شود.

## ۹- نکات مهم در جانمایی فرودگاه‌ها

• محل فرودگاه باید با فاصله مناسبی از فرودگاه‌های دیگر انتخاب شود به طوری که نشست و پرخاست هواپیماها در فرودگاه دیگر ایجاد مزاحمت نکند. فاصله لازم بستگی به نوع هواپیما، حجم ترافیک و وسایل کنترل ترافیک دارد. (ولز و یانگ، ۲۰۱۴، ص ۴۵)

• زمان لازم برای رسیدن وسایل نقلیه از محل‌های تجاری یا مناطق مسکونی به فرودگاه نباید از ۳۰ دقیقه تجاوز کند. بهترین محل، نزدیکی به بزرگراه‌هاست زیرا می‌توان با صرف حداقل زمان به فرودگاه دسترسی پیدا کرد. (ولز و یانگ، ۲۰۱۴، ص ۴۵)

- احتمال جریان سیل، مطالعه بر روی محل‌هایی که دارای سطح آب‌های زیرزمینی بالایی هستند و نفوذپذیری خاک در جانمایی فرودگاه باید در نظر گرفته شود. (دیلیپ، ۲۰۱۱، ص ۲۸)
- هر فرودگاهی احتیاج به تأسیساتی از قبیل شبکه آب و فاضلاب، گاز، نیروی برق و... دارد. لذا در انتخاب محل استقرار فرودگاه فراهم بودن این تسهیلات باید مورد توجه قرار گیرد. (دیلیپ، ۲۰۱۱، ص ۲۹)
- توجه به هر یک از مخاطرات طبیعی از قبیل؛ فاصله از رودخانه اصلی، فرعی، گسل و... در مکان‌یابی فرودگاه بسیار حائز اهمیت می‌باشد. (بابویی و بابویی، ۲۰۱۳، ص ۳۳)
- برای مکان‌یابی فرودگاه‌ها، فاصله از کاربری‌های پرخطر بسیار مهم است. (ولز و یانگ، ۲۰۱۴، ص ۴۷)
- محل انتخاب فرودگاه باید از هرگونه وضعیت کاهش دهنده دید مانند مه، دود و غبار، مبرا باشد. (ولز و یانگ، ۲۰۱۴)

## ۱۰- نتیجه گیری

در این تحقیق با بررسی معیارهای اصلی در جانمایی فرودگاه که شامل: ۱- عوامل فیزیکی (شامل؛ فاصله تقریبی تا فرودگاه‌های اطراف، نزدیکی به راه‌های اصلی و بزرگراه‌ها، جنس زمین، توپوگرافی، شیب و جهت شیب، دسترسی به تأسیسات و زیرساخت‌ها، مخاطرات طبیعی و فاصله از کاربری پرخطر) و ۲- عوامل هوانوردی (شامل؛ جهت‌گیری مناسب در برابر باد، موقعیت موانع موجود در اطراف فرودگاه (میدان دید)) و در نهایت ۳- عوامل زیست‌محیطی (شامل؛ کاهش آلودگی صوتی، فاصله از زمین‌های کشاورزی، بایر و خالی، جنگل، مناطق حفاظت‌شده و اماکن تاریخی) می‌باشد. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و توابع تحلیلی آن، سعی شد تا یک نمونه کاربردی از مقوله جانمایی فرودگاه‌ها، اجرا و مورد ارزیابی قرار گیرد و با توجه به اهمیت موضوع و اینکه تاکنون پژوهشی در این خصوص در این وسعت از محدوده مورد مطالعه صورت نگرفته است. با وجود مشکلات فراوان از لحاظ جمع‌آوری داده‌ها و ارائه پرسشنامه به مسئولان امر حوزه مأموریتی و تخصصی هوانوردی، اقدام به جمع‌آوری داده‌ها و انجام مطالعات تخصصی در این خصوص صورت گرفت. با توجه به نتیجه نهایی که از تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات به دست آمده، مناسب‌ترین مکان‌های استقرار فرودگاه بعد از روی هم گذاری نقشه‌ها و معیارهای ایمنی مورد نظر، مشخص می‌گردد.

## ۱۱- مراجع

- [۱] ایمانی، مختار و بهبهانی، حمید، ۱۳۷۳، طرح و محاسبه فرودگاه، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران
- [۲] جغرافیای طبیعی استان گیلان، ۱۳۹۶، دانشنامه فرهنگ و تمدن گیلان.
- [۳] شیعه، اسماعیل (۱۳۸۸)، با شهر و منطقه در ایران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران
- [۴] سازمان هواپیمایی کشوری، ۱۳۹۲، آیین‌نامه‌ی احداث، توسعه، بهره‌برداری و مدیریت فرودگاه‌های غیرنظامی
- [۵] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۸۰، آیین‌نامه کاربری اراضی اطراف فرودگاه‌ها، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- [۶] سقایی، محسن. ۱۳۹۲، تحلیلی بر مکان‌یابی فرودگاه‌ها بر اساس شاخص‌های استاندارد، دوره بیستم، شماره هفتاد و هفتم، پرتال جامع علوم انسانی
- [۷] صفارزاده، محمود، معصومی، غلامرضا (۱۳۹۷)، برنامه‌ریزی و طراحی فرودگاه، شرکت فرودگاه کشور
- [۸] عبدی، فریدون، ۱۳۹۵، ضرورت توجه به مکان‌یابی صنایع در راستای تحقق اقتصاد مقاومتی، دهمین کنگره پیشگامان پیشرفت، تهران
- [۹] فرشیدیان فر، انوشیروان و اولیازاده، پوریا، ۱۳۹۵ آلودگی صوتی ناشی از پرواز هواپیما و آثار آن، مجله مهندسی مکانیک، شماره ۱۰۶، سال بیست و پنجم.
- [۱۰] فرقانی، علی و همکاران، ۱۳۸۸، مکان‌یابی مراکز صنعتی و خدماتی با رویکرد کاربردی، انتشارات جهاد دانشگاهی.
- [۱۱] مولر، هاینتز (۱۳۸۹)، ارزیابی مکان‌یابی جغرافیایی فرودگاه‌های کشور بر اساس مؤلفه‌های اقلیم و توپوگرافی، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، شماره ۷۶
- [12] Drezner, Z. (1995) Facility Location: A Survey of Applications and Methods, New York, Springer.
- [13] Baboeei, O, baboeei, B, (2013), Bultin analisis, planning, defense, and passive defense, International EConference on Economy under sanctions, the University of Mazandaran (UMZ) Head Office, Babolsar.
- [14] Dileep, R.S. (2011) Logistics of Facility Location and Allocation, Louisiana, CRC Press.
- [15] Wells, A.T and Young, S.B. (2014) Airport Planning & Management, (5th edn), New York, McGraw.Hill.
- [16] <http://emilms.fema.gov/is/a/EMOP0101080text.htm>, (2015).