ارزیابی و اولویت‌بندی موانع پروازی توسعه فرودگاه‌ها با تکنیک TOPSIS در GIS (مطالعه موردی: فرودگاه بیرجند)

روزبه شاد (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
سعیده سبز علی جماعت، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
E-mail: rouzbeh_shad@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۲۸ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۰۴

چکیده:
امروزه رشد روز افزون جمعیت و گسترش ارتباط‌های شهری، لزوم توسعه فرودگاه‌ها به عنوان بخش مهمی از برنامه‌های حمل‌ونقلی، ترابری بار و جابجایی مسافر را مشخص می‌کند. روند توسعه فرودگاه‌ها به عنوان سازه‌هایی پیچیده، فرآیندی زمان‌بر بوده و عواملی مانند: شرایط اقتصادی و اجتماعی، مشخصات عملیاتی، ویژگی‌های فنی و مباحث امنیتی، بر کارایی عملکرد آن تأثیرگذارند. در این راستا ارزیابی و شناخت سطوح موانع پروازی، به عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورها در روند توسعه فرودگاه‌ها اهمیت بسزایی دارد، به طوری‌که گزینه‌هایی دقیق و پیشگیرانه را به منظور بهبود فرآیندها ارائه می‌کند. در این مقاله، با توجه به ضوابط و استانداردهای ملی و بین‌المللی، پارامترهای دخیل در روند توسعه فرودگاهها بررسی شده و اولویت باندهای موجود جهت تصمیم‌گیری‌های آتی ارزیابی می‌گردد. به این منظور، در فرودگاه مطالعاتی بیرجند وضعیت هر یک از باندهای موجود از لحاظ مولفه‌هایی نظیر: توپوگرافی، پوشش گیاهی، هیدرولوژی، جهت باد، نزدیکی اراضی شهری، سیستم روشنایی، شیب و طول باند بررسی شده و المانهای مکانی مرتبط، در محیط سیستم اطلاعات مکانی (GIS) آماده‌سازی می‌شوند. سپس لایه‌های خروجی در چارچوبی هدفمند تلفیق شده و توسط روش تاپسیس (TOPSIS) اولویت هفت باند از باندهای موجود، در شش گام عملیاتی، تعیین می‌گردد. در نهایت، با در نظرگرفتن نتایج عددی به‌دست آمده و اطلاعات میدانی موجود، باند نمونه معین شده و جهات توسعه آتی فرودگاه مشخص می‌گردد. نتایج حاصل از مقایسه باندها در فرودگاه بیرجند مبین آنست که باند ۲۸ با رتبه ۰/۶۶ بهترین گزینه، باند ۰۸ با ارزش ۰/۲٤ بدترین آلترناتیو، امتداد شرقی مناسب‌ترین جهت و راستای جنوب غرب بدترین امتداد به منظور توسعه آتی فرودگاه هستند.

واژه‌های کلیدی: توسعه فرودگاه، سطوح موانع پروازی، سیستم اطلاعات مکانی، تاپسیس.

۱. مقدمه

بدون شک پیشرفتهای اقتصادی و توسعه اجتماعی کشورها، با میزان کارآیی سیستمهای حمل‌ونقلی آنها و توسعه زیرساختهای ارتباطی هر یک در راستای تسریع انتقال بار و مسافر از محلی به محل دیگر، رابطه‌ای تنگاتنگ دارند. آمار منتشر شده از فعالیتهای مختلف دولتی در کشور ایران نشان می‌دهند که فعالیتهای حمل‌ونقلی بیش از ۹/۱ درصد از تولید ناخالص ملی، ۱۵ درصد از کل سرمایه ناخالص ماشین آلات و قریب به ۳ میلیون از فرصتهای شغلی را به خود اختصاص داده‌اند. در این میان صنعت حمل‌ونقل هوایی نقش غیر قابل انکاری را در توسعه اقتصادی، اجتماعی، صنعتی و گردشگری ایفا می‌کند [Saghaei, 2009]. در جوامع مختلف انسانی، این صنعت با توجه به داشتن ویژگیهایی مانند: امنیت، سرعت و جاذبه در کاربردها، از جمله صنایع پایه‌ای و راهبردی محسوب می‌شود [Naz-arian, Ghaderi and Haghighi, 2010]. در این میان عواملی مانند: رشد فعالیت‌های اقتصادی-صنعتی و گردشگری، لزوم جابجایی سریع (مسافر و بار) و کمبود ظرفیتهای موجود، اهمیت مبحث توسعه راهبردی و عملیاتی فرودگاهها (به عنوان پایانه‌های اصلی شریانهای هوایی) را در تصمیم‌گیری‌های کلان بارزتر می‌کنند. بررسیهای انجام شده در مورد وضعیت فرودگاه‌های موجود در ایران نشان می‌دهند که تعداد ۱۲ فرودگاه از فرودگاههای موجود امکان پذیرش انواع هواپیماهای پهن‌پیکر، بدنه متوسط و باریک‌پیکر را دارند. علاوه بر این ۳۰ فرودگاه قابلیت پذیرش هواپیماهای متوسط و باریک را داشته و مابقی با توجه به گنجایش محدود هر یک، فقط به هواپیماهای باریک بدنه خدمات ارائه می‌کنند. این موضوع مشخص می‌کند که به منظور ارتقاء ظرفیتها و امکانات فرودگاهی موجود، احتساب نوع هواپیمای ورودی در تعیین مشخصات باندی و تعریف شرایط حریم هوایی، نقش بسزایی دارد. علاوه بر این در حریم هوایی فرودگاه به عنوان فضایی که عاری از هر گونه مانع پروازی است، عملیاتهای پروازی در شرایطی ایمن انجام شده و از باندهای موجود تا حد ممکن استفاده می‌شود. بنابراین در محدوده هر فرودگاه، شناسایی موانع پروازی و محدودیت‌های ناشی از موقعیت و ارتفاع آنها، به همراه بررسی کلیه عوامل طبیعی و مصنوعی مرتبط با جهت توسعه باندهای پرواز، از جمله ملزومات اصلی است. در این مقاله با در نظر گرفتن فرودگاه بیرجند به عنوان محدوده مطالعاتی، استانداردهای هواپیمایی بین‌المللی (ایکائو) و ضوابط سازمان هواپیمایی ایران (ICAS-114) مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس آن سطوح موانع پروازی که مشخص کننده حریم هوایی فرودگاه هستند، شناسایی میگردند. به‌این منظور انواع سطوح در نظر گرفته شده شامل: مخروطی، افقی داخلی، افقی خارجی، تقرب، تقرب داخلی، انتقالی، انتقالی داخلی، برخاست و سطح انصراف از نشستن، هستند که با رده عملیاتی باندهای پرواز و همچنین تجهیزات کمک ناوبری فرودگاهی در ارتباطند. همچنین خصوصیات باندها مانند: طول، عرض، شیب، زاویه بین جهت باد و راستای باند، پوشش گیاهی، وضعیت هیدرولوژیکی، نزدیکی به اراضی شهری و وضعیت سطوح بدون موانع پروازی، از مهم‌ترین پارامترهای در نظر گرفته شده در توسعه فرودگاه بیرجند هستند. از چالشهای پیش رو در این فرودگاه، ایجاد تعامل و ارتباطی مؤثر (در قالب چارچوبی هدفمند) بین پارامترها و عوامل مذکور، به منظور دستیابی به گزینه‌های بهینه و اتخاذ تصمیم‌های اقتصادی و عاری از خطا در توسعه باندهای پروازی است. چرا که کوچک‌ترین اشتباه در این زمینه، نه تنها خسارات اقتصادی فراوانی به دنبال خواهد داشت، بلکه صدمات و لطمات جانی ناشی از آن جبران‌ناپذیر خواهند بود. سیستم اطلاعات مکانی به عنوان چارچوبی دیجیتال و محیطی شبیه‌سازی شده از واقعیت‌ها، قادر است که داده‌های مکانمند را [در قالبی سازمان یافته (پایگاه داده)] ذخیره کرده و با طی نمودن فرآیندی

کارآمد گزینه‌های ایده آل را (به کمک مدلهای تصمیم گیری چند معیاره مکانی) مشخص نماید. به‌این منظور مدل مکانی تاپسیس (TOPSIS) یا "فن اولویت‌بندی از طریق محاسبه تشابه با راه‌حل ایده آل" از جمله روشهایی است که با محاسبه مقدار حداقل فواصل از راه‌حلهای ایده‌آل و حداکثر اختلافات از راه‌حلهای ضدایده‌آل قادر است گزینه‌های بهینه را ارائه کند [Ghofran,Biorani and Talei, 2011]. در این راستا، به منظور محاسبه دقیق حجم عملیات خاکی، کنترل تقرب و برخاست ایمن هواپیماها از قابلیتهای تحلیلی منحصر به فرد سیستم اطلاعات مکانی در فرآیند تلفیق داده‌های توپوگرافی منطقه و سطوح مجازی موانع پروازی استفاده می‌شود. قطعا نتایج ایده پیش رو گامی مؤثر در جهت توسعه ایمن و اقتصادی خدمات فرودگاهی و مدلسازی دقیق تصمیم‌های آتی مرتبط با آن خواهد بود.

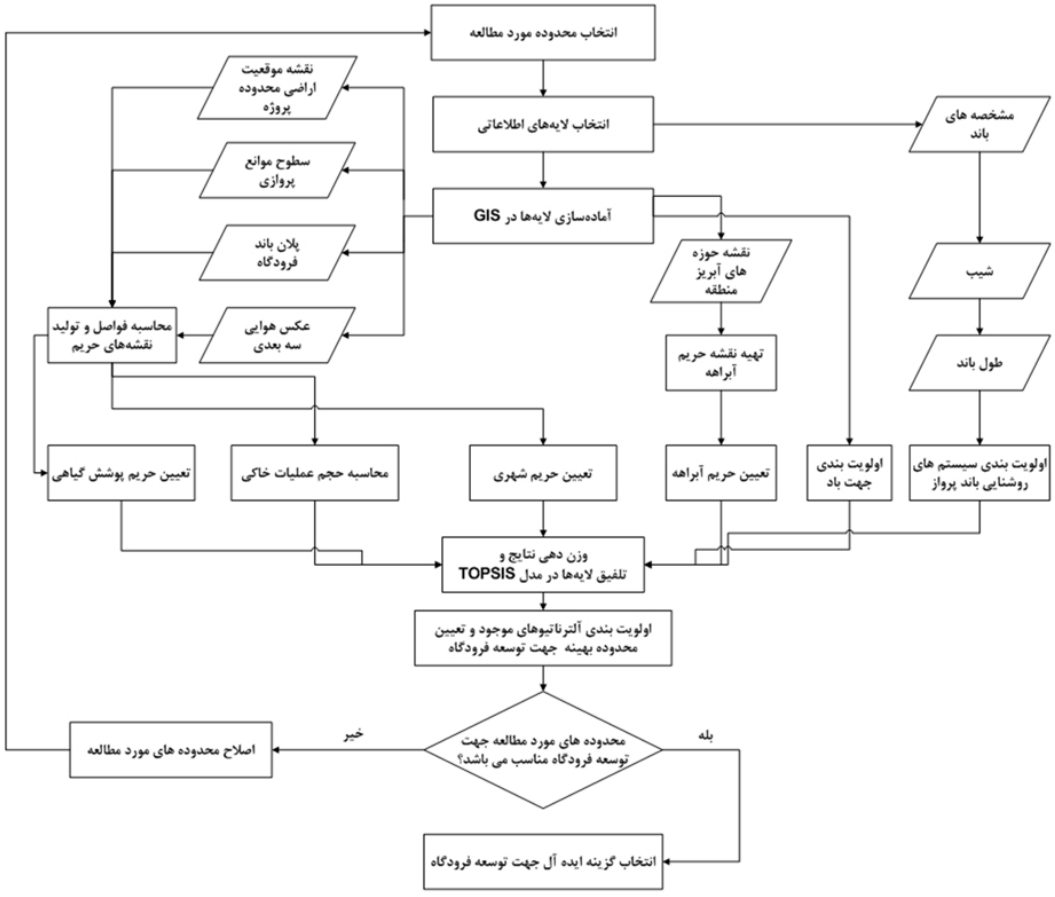
۲. تجربیات گذشته

در راستای برنامه‌ریزی و طراحی مکانی فرودگاهها و ارائه خدمات حمل‌ونقل هوایی ایمن و عاری از سوانح، تحقیقات و مطالعات زیادی توسط محققین مختلف انجام شده است [Bar-,Postorino Greaves and Collins, 2007; 2006 ,Cotroneo and rile Bentes, Heleno, Slama, 2012; Graham, 2008]. با در نظر گرفتن این موضوع که صنعت حمل‌ونقل هوایی عمدتا در اختیار دولت‌هاست، سازمان بین المللی هواپیمایی غیرنظامی (ایکائو)، استانداردهایی را به منظور طراحی یکنواخت و ایمن فرودگاه‌ها تدوین کرده است که تمامی کشورهای عضو موظف به رعایت آن هستند [Button et al ,.al 2004]. به‌علاوه با هدف ارائه تسهیلات فرودگاهی، اغلب کشورهای توسعه‌یافته نیز (با توجه به نیاز خود) استانداردهایی را در قالب دستورالعمل تهیه کرده‌اند. از آن جمله می‌توان به دستور العمل‌های دوره‌ای سازمانهایی نظیر: هوانوردی فدرال آمریکا (FAA)، حمل‌ونقل کانادا (TC)، هوانوردی ژاپن (JAA) و هواپیمایی ایران (ICAS-114) اشاره نمود. در هر یک از استانداردهای مذکور، مساله جانمایی و تخصیص مکان مناسب برای احداث فرودگاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. ارائه فرآیندی جامع و دقیق برای مکانیابی و اولویت‌بندی سایت‌های مناسب جهت احداث فرودگاه، در مقالات گوناگونی مورد بحث قرار گرفته است. به عنوان مثال برای احداث فرودگاهی جدید در جزیره ساموتراکی یونان، ابتدا شاخص‌های تأثیرگذار، شناسایی و تلفیق شده و در مرحله بعد آلترناتیوهای مطلوب با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اولویت‌بندی شدند[Ballis, 2003]. در مقاله مذکور فاکتورهایی نظیر: کاربری اراضی، جهت باد، شرایط آب و هوایی، معضلات عملیاتی و ایمنی، تداخل با شبکه‌های جاده‌ای موجود، حجم عملیات خاکی، هزینه‌های سلب مالکیت، هزینه‌های ساخت و ساز و همچنین مسائل زیست محیطی، به عنوان عوامل تأثیرگذار در مکانیابی فرودگاه، در نظر گرفته شدند. در تحقیق دیگری به منظور آنالیز طراحی محوطه پروازی فرودگاه علاوه بر شاخص‌های بیان شده، شرایط حریم هوایی نیز به عنوان یک عامل مهم مطرح گردید [Saffarzadeh and Ghaemei, 2003]. در این پژوهش با ارائه یک مدل ریاضی و رایانه‌ای، سطوح عاری از موانع پروازی نسبت به مختصات تمام نقاط اطراف باند مورد بررسی قرار گرفتند. در نتیجه، سطوح موانع پروازی با موانع فرضی تداخل یافته و با وارد کردن مختصات هر یک از موانع مصنوعی و طبیعی، مقدار مجاز ارتفاع عوارض نسبت به حد سطوح موانع پروازی کنترل شد. مدل ارائه شده مذکور، با توجه به دیدگاه جامع آن در برآوردن تمام نیازها، برای اکثر فرودگاه‌های غیر نظامی و بین المللی قابل استفاده است.

با وجود این از عمده معایب این مدل آنست که به علت پیچیدگی‌های موجود در توپوگرافی سطح زمین، محاسبه دقیق حجم عملیات خاکی در تداخل سطوح موانع پروازی با عوارض

طبیعی، امری پیچیده و طاقت‌فرسا است. بنابراین برای حل این مشکل از قابلیتهای تحلیلی و مدلسازیهای توپولوژیک سیستم اطلاعات مکانی (GIS) (که محیطی شبیه سازی شده از روابط واقعی را فراهم می‌سازد)، می‌توان استفاده کرد. در این راستا و طی تحقیقی جامع، به کمک سیستم اطلاعات مکانی نحوه تلاقی سطوح موانع پروازی و عوارض طبیعی زمین برای فرودگاه جکسون شهر می‌سی‌سی‌پی (Mississippi) ارزیابی و مدیریت شد [Turk-Al and Uddin Waheed, 2002]. در این پروژه به منظور تولید مدل توپوگرافی سه بعدی زمین(DEM)، تکنولوژی لیزر هوابرد و GPS به صورت توأم بکار گرفته شدند. بکارگیری این روش در فرآیند استخراج مدل رقومی زمین، علاوه بر برخورداری از امتیاز دقت بیشتر نسبت به روش سنتی، از مزیت امکان عکس برداری و استخراج اطلاعات در شرایط آب و هوایی نامساعد نیز بهره می‌برد [Gutelius ,Uddin Waheed ,2011 Parrish and].

نتایج نهایی حاصل از تلفیق مذکور، علاوه بر استفاده از تحلیل‌های مکانمند سطوح سه بعدی موانع پروازی و مرزهای باند پرواز، بر برقراری ارتباط دو طرفه با پایگاه جامع مدیریت اطلاعات فرودگاه نیز تأکید دارد. در اینجا این نکته لازم به ذکر است که در بررسی‌های پیشین به عواملی همچون: جهت وزش باد، نحوه توسعه دسترسیها و نظیر آن که در عملکرد درست و منطبق بر نیاز محل فرودگاه‌ها (به ویژه در جهت گیری باندهای پرواز) تأثیر گذارند، توجه زیادی نشده است. در تحقیقی دیگر، تاثیر وزش باد بر عملیات نشست و برخاست هواپیماها و جهات



شکل ۱. فلوچارت الگوریتم انتخاب گزینه ایده آل جهت توسعه فرودگاه

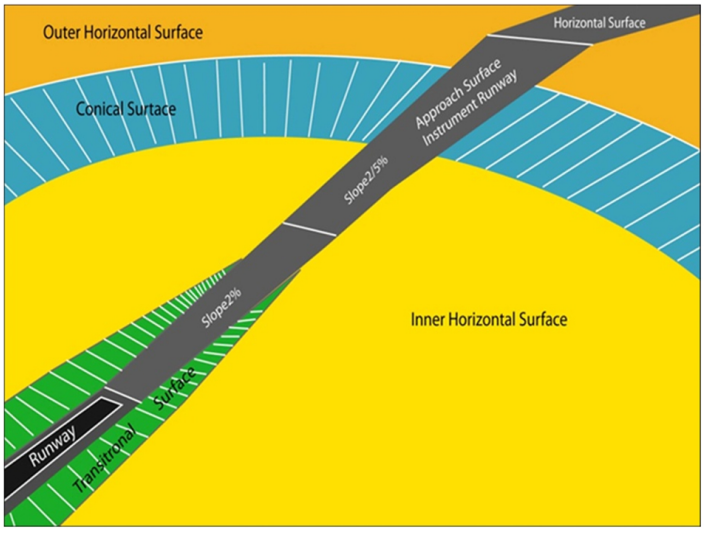
اصلاحی باندهای پرواز موجود در ماه‌های مختلف سال (طبق استانداردهای بین المللی) ارزیابی شد که در نتیجه آن اطلاعات قابل اعتمادتری حاصل شدند [Sari ,asl Jahanbakhsh ,2006 Hosseini and Sarraf]. با بررسی اجمالی تحقیقات گوناگون انجام شده در زمینه توسعه فرودگاهها، کاملا محرز می‌شود که در توسعه و اصلاح باندهای پرواز مبحث مدلسازی موانع پروازی و ارزیابی پارامترهای مؤثر در آن کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. لذا در این مقاله، با ارائه فرآیندی جامع در محیط GIS، شاخصهای موانع پروازی و توسعه باندی پردازش و تلفیق شده و به کمک روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی ارزیابی می‌شوند.

۳. تئوری

بررسی موانع پروازی و محاسبه حجم عملیات خاکی، همواره از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در تحلیل و مدلسازی توسعه آتی فرودگاهها بوده‌اند[Wenali, Jie and Meng, 2012]. به این منظور، در محدوده فرودگاهها شناسایی و آمادهسازی سیستماتیک عوامل طبیعی، عوارض مصنوعی و سطوح بدون موانع پروازی، به همراه مدلسازی تأثیرات هر یک از آنها در فرآیند توسعه، اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، با ترسیم فرآیندی جامع شامل مراحل: مطالعات اولیه، آماده‌سازی داده‌های مکانی مرتبط، ایجاد معیارهای تصمیم، تلفیق فاکتورها و ارزیابی نتایج در محیط GIS، تخمینی روشن از نتایج خروجی قابل دستیابی است.

در این راستا معیارهایی مستقل مانند: پوشش گیاهی، حجم عملیات خاکی، حریم شهری، حریم آبراهه، جهت باد و سیستم روشنایی باند پرواز، به منظور تشکیل ماتریس تصمیم تاپسیس (TOPSIS) در نظر گرفته شده و گزینه‌های نهایی حاصله از منظر کارآئی عملیاتی مقایسه می‌شوند. منظور از استقلال متغیرها عدم وابستگی تأثیر هر یک از آنها در تعیین بهترین باندهای پرواز (به منظور توسعه فرودگاه بیرجند) نسبت به دیگر پارامترهاست. علاوه بر این هر یک از معیارها به صورت جبرانی مستقل عمل کرده و کاهش تأثیر هر یک در ارزش هدف با افزایش تأثیر دیگر معیارها جبران خواهد شد. در نهایت با استفاده از نتایج خروجی حاصله و مشخصه‌های باندی، اولویت‌بندی نهایی آلترناتیوهای توسعه فرودگاهی انجام‌پذیر خواهد بود.

در ادامه، هر یک از معیارهای مؤثر به همراه مبانی ریاضی تکنیک مدل‌سازی بکار رفته بررسی شده و (مطابق با استاندارد) شرایط هر یک در روال توسعه فرودگاهی تشریح می‌گردد.



شکل ۲. انواع سطوح بدون مانع پروازی

۳-۱ سطوح بدون موانع پروازی

در این بخش با بررسی مبانی و مفاهیم مرتبط با توسعه فرودگاهها، پارامترهای مکانی تأثیرگذار در محدوده مطالعاتی شناسایی شده و به طور خلاصه تفسیر می‌شوند. به این منظور، با در نظر گرفتن مواردی مانند: رده عملیاتی هر باند پرواز، تجهیزات کمک ناوبری موجود و سیستم تقرب مورد استفاده در هر فرودگاه و مطابق با استانداردهای هواپیمایی بین‌المللی (ایکائو)، محدودیت‌هایی تحت عنوان سطوح بدون مانع پروازی (OLS) تعیین شده‌اند. با توجه به این موضوع می‌توان گفت که در هر فرودگاه، هدف اصلی مدیران از شناسایی و تحلیل سطوح بدون مانع پروازی و حریم‌های هوایی، مشخص نمودن حدود مرزی فضایی است که عاری از هر گونه مانع نگهداری می‌شود. در نتیجه، عملیات پرواز بدون خطر انجام گرفته و از غیرقابل استفاده شدن باندها و یا کاهش رده عملیاتی آنها (به علت وجود موانع) جلوگیری خواهد شد. در ادامه، با در نظر گرفتن خصوصیات فرودگاه بیرجند به عنوان محدوده مطالعاتی، هر یک از انواع سطوح بدون مانع پروازی مختصرا تشریح می‌شوند(شکل ۲).

۳-۱-۱ سطح افقی داخلی(Inner Horizontal Surface):

سطحی گسترش یافته در راستای افق است که در ارتفاعی بالاتر طراحی شده و فضایی امن را جهت تطبیق خط فرود هواپیما با راستای باند (در هنگام فرود) مهیا می‌کند (محدوده زرد رنگ شکل ۲). در این سطح، شعاع دایره فوقانی نسبت به نقطه مرجع یا نقاط مبنا (با توجه به استانداردهای سازمان هواپیمایی کشوری ایران- ICAS، این نقاط برای هواپیماهای با سرعت زیاد، روی آستانه و در دو انتهای باند پروازی قرار می‌گیرند)، در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که شکل سطح افقی داخلی، الزاما دایره‌ای نیست و در صورت تعدد باندها و یا نقاط مرجع، شکل آن ترکیبی از دوایر، اتصالات و خطوط است. سطح افقی داخلی فرودگاه بیرجند (برای دو باند پرواز عملیاتی همزمان)، از چهار دایره با ارتفاع ۴۵ متر و شعاع ۴۰۰۰ متر تشکیل شده است. با توجه به برنامه‌های پروازی این فرودگاه، بکارگیری هر دو باند به طور همزمان ضرورت نداشته و بنابراین شرایط عملیاتی برای استفاده همزمان از دو باند در نظر گرفته نمی‌شوند. در نتیجه، سطح افقی هر یک از باندهای فرودگاه بیرجند به صورت مجزا طراحی شده است.

۳-۱-۲ سطح مخروطی (Conical Surface) :

سطحی مفروض و شیبدار است که از رشد و گسترش موانع طبیعی و همچنین دست ساز بشری (موجود در اطراف فرودگاه)، به سمت داخل آن جلوگیری می‌کند. این سطح از محیط سطح افقی داخلی شروع شده و به طرف بالا و بیرون امتداد می‌یابد. در این‌حالت، ضلع تحتانی سطح مخروطی می‌بایست بر محیط دایره سطح افقی داخلی، منطبق شده و ضلع فوقانی آن در ارتفاعی مشخص و در بالای سطح افقی داخلی طراحی گردد. مقدار شیب این سطح، نسبت به امتداد یک صفحه مفروض عمود بر محیط افقی داخلی، قابل اندازه‌گیری است.

برای باندهای مجهز به تجهیزات کمک ناوبری که به منظور کنترل و هدایت هواپیماهای در حال نشست و برخاست طراحی شده‌اند، سطوح افقی داخلی و خارجی، اختلاف ارتفاع بیشتری نسبت به باندهای با تقرب بدون دستگاه دارند. مشخصات سطح مخروطی طراحی شده هر دو باند پروازی فرودگاه بیرجند (شامل: سطح افقی خارجی باند جدید در راستای مغناطیسی ۱۰-۲۸) اختلاف ارتفاع ۱۰۰ متری با سطح افقی داخلی داشته و شیب واگرایی آنها ۵ درصد است. همچنین اختلاف ارتفاع سطوح افقی داخلی و خارجی باند قدیم، در راستای مغناطیسی ۰۸-۲۶، به دلیل برخورداری از شرایط قابلیت دید (تقرب بدون دستگاه)، ۷۵ متر در نظر گرفته شده است.

۳-۱-۳ سطح افقی خارجی(Outer Horizontal Surface):

این سطح تنها برای باندهای مجهز به سیستم تقرب دستگاهی

دقیق در نظر گرفته می‌شود. سیستم تقرب دستگاهی دقیق عبارتست از یک ایستگاه فرستنده زمینی که به خلبان کمک می‌کند تا در مسیر و راستای صحیح، مطمئن و ایمن به فرودگاه نزدیک شده و عملیات فرود بر روی باند را انجام دهد. با توجه به باندهای پروازی فرودگاه بیرجند که از نوع تقرب غیردقیق هستند، در این فرودگاه سطح افقی خارجی تعریف نشده است.

۳-۱-۴ سطح تقرب (Approach Surface):

این سطح که معمولاً در انتهای حریم باند پرواز در نظر گرفته می‌شود، به منظور فرود هواپیماها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن کد فرودگاهی و شرایط پرواز، طول لبه داخلی سطح تقرب در باند ۱۰-۲۸ فرودگاه بیرجند، ۳۰۰ متر در نظر گرفته شده است که در ابتدای خطوط آستانه قرار می‌گیرد. خطوط آستانه که در محدوده‌های ابتدایی و انتهایی باند پرواز قرار دارند، تقریبا ۳۰ متر طول دارند.

دو لبه جانبی سطح تقرب به طول ۱۵۰۰۰ متر، با درصد واگرایی ۱۵٪ طراحی شده‌اند که در ۳۰۰۰ متر اولیه با شیب ۲٪، و در ۳۶۰۰ متر دوم با شیب ۲/۵٪ به سمت بالا و در ۸۴۰۰ متر انتهایی به صورت افقی امتداد یافته‌اند. اما با توجه به نوع سیستم تقرب باند قدیم (۰۸-۲۶)، سطح تقرب این باند با طول لبه داخلی ۹۰ متر و در فاصله معینی قبل از حد آستانه قرار می‌گیرد. همچنین دو لبـه جانبی آن به طول ۳۰۰۰ متر، با درصد واگرایی ۱۰٪ و شیب ۳/۳۳ ٪ امتداد یافته‌اند.

۳-۱-۵ سطح تقرب داخلی(Inner Approach Surface):

سطح تقرب داخلی سطحی است که به منظور استقرار چراغ‌های روشنایی و علائم مربوط به سیستم تقرب دقیق طراحی می‌گردد. این سطح صفحه‌ای مستطیل شکل است که با فاصله مشخصی قبل از سطح تقرب و حد آستانه قرار می‌گیرد. با توجه به عدم وجود دستگاه‌های کمک ناوبری تقرب دقیق (ILS) در فرودگاه بیرجند، سطح تقرب داخلی برای آن در نظر گرفته نشده است.

۳-۱-۶ سطح انتقالی (Transitional Surface):

این سطح نیز برای جلوگیری از نفوذ عوارض دست ساز و طبیعی به داخل فضای ناوبری فرودگاه تعریف می‌گردد. معمولا لبه پایینی این سطح بر حاشیه باند پرواز و در امتداد قسمتی از ضلع جانبی سطح تقرب منطبق است. همچنین شیب سطح انتقال برای هر دو باند فرودگاه بیرجند، با حداکثر ارتفاع ۴۵ متر نسبت به ارتفاع مرجع، برابر با ۱۴/۳درصد (۷:۱) است.

۳-۱-۷ سطح برخاست (Take-off Climb Surface):

از یک صفحه مایل تشکیل شده است که در منتهی‌الیه باند پرواز قرار می‌گیرد. در فرودگاه بیرجند بر اساس استانداردهای سازمان هواپیمایی کشوری ایران، سطح برخاست باندهای رده ۳ و۴ دارای مشخصاتی یکسان هستند. خصوصیات سطح برخاست هر دو باند پروازی فرودگاه بیرجند عبارتست از: الف- ضلع داخلی و عمود بر محور باند به طول ۱۸۰ متر (۹۰ متر به طرفین از محور باند) است، ب-شیب طولی یکنواختی به میزان ۲ درصد دارد، د-از دو ضلع جانبی که از هر طرف دارای واگرایی به میزان ۱۲/۵درصد است تشکیل شده و ه- ضلع خارجی آن به طول ۱۲۰۰ متر (۶۰۰ متر از هر طرف محور باند) و به فاصله ۱۵۰۰۰ متر از ضلع داخلی قرار گرفته است.

۳-۱-۸ سطح انصراف از نشستن (Balked Landing Surface):

سطحی مایل است که در فاصله‌ای مشخص بعد از آستانه باند قرار گرفته و فی‌مابین سطوح انتقالی داخلی امتداد می‌یابد. این سطح نیز تنها برای باندهای با تقرب دقیق در نظرگرفته می‌شود. با توجه به سیستم تقرب فرودگاه بیرجند و درنظر گرفتن اینکه هیچ یک از باندهای پروازی به سیستم تقرب دقیق مجهز نیستند، از این سطح استفاده نشده است.

۳-۲ زاویه بین جهت باد و راستای باند

وزش باد از جمله پارامترهایی است که تأثیر بسزایی در مکانیابی فرودگاه و تعیین جهت و طراحی باندهای پرواز دارد. مکان‌هایی

که در راستای جهت وزش باد و در معرض تأثیر پدیده قیچی قرار دارند، برای ساخت و استقرار تاسیسات فرودگاهی مناسب نیستند. در نتیجه با توجه به اینکه لازم است باندهای متعددی در جهت‌های مختلف وزش باد احداث شوند، هزینه‌های اقتصادی ساخت و نگهداری فرودگاه افزایش می‌یابد. بررسی آماری داده‌های وزش باد در ایستگاه‌های سینوپتیک شهر بیرجند، نشان می‌دهد که در این منطقه همواره وزش باد ملایم بوده و بادهای با سرعت‌های زیاد کمتر اتفاق می‌افتند. به این نحو که متوسط سرعت وزش باد در فرودگاه، حدودا ۴/۳ نات اندازه‌گیری شده و جهت آن غالبا از سمت شمال‌شرقی و شرق است. بیشترین میانگین سرعت باد ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک شهر بیرجند برابر با ۸/۷ نات (در ماه مرداد) برآورد شده است.

۳-۳ مشخصات باند

فرودگاه از نظر رده عملیاتی و نوع هواپیماهایی که مجاز به نشست و برخاست در آن هستند، با مشخصه‌های باندهای پرواز از قبیل: طول، عرض و شیب باند ارتباطی مستقیم دارد. به طور کلی پارامترهای هندسی طول باند، تعیین کننده سرعت هواپیماهایی است که در آن فرودگاه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. به این صورت که هر چه سرعت هواپیما کمتر باشد، باند طولانی‌تری برای برخاست آن مورد نیاز است. علاوه بر این عرض باند عاملی محدود کننده برای ابعاد هواپیماهای مورد استفاده در فرودگاه است. به این نحو که رابطه مستقیمی بین عرض باندها و فاصله دو انتهای بال‌های هواپیما وجود دارد. در هر باند شیب مثبت، عملیات برخاست را مشکل کرده و در نتیجه به منظور کاهش اثر آن می‌بایست طول باند را افزایش داد. باند قدیم فرودگاه بیرجند با طول ۲۱۸۰ متر، عرض ۳۰ متر و شیب یک درصد، دارای رده عملیاتی 3C بوده و باند جدید آن با طول ۴۰۰۰ متر، عرض ۴۵ متر و شیب ۰/۴ درصد، قابلیت پذیرش هواپیماهای رده 4D را دارد [Collins and Greaves ,2007].

۳-۴ پوشش گیاهی

هر فرودگاه از نظر محل احداث بایستی در نواحی با خاک مناسب و شامل مقدار معقولی مواد نفوذپذیر استقرار یابد. به عنوان مثال خاک‌های پلاستیک بدترین انواع خاک برای ایجاد فرودگاه هستند. همچنین در زمینه پوشش گیاهی فرودگاه، توجه به این نکته ضروری است که معمولا کاشت درختان مرتفع در محدوده فرودگاهی مجاز نیست. توجه به پوشش گیاهی مناسب در اطراف فرودگاهها به دو دلیل از اهمیت خاصی برخوردار است. اولا، در صورت وزش باد، پوشش گیاهی موجب تکامل و انسجام خاک شده و مانع از پراکنده شدن آن در محدوده داخلی فرودگاه می‌گردد. ثانیاً، در صورت وقوع بارندگی شدید و سیلاب، پوشش گیاهی مانع از رانش خاک به سمت فرودگاه خواهد شد. پوشش گیاهی استان خراسان جنوبی به دلیل تنوع آب و هوایی و وجود ناهمواری‌ها، در نقاط مختلف یکسان نیست. در نواحی کوهستانی (شمالی)، پوشش گیاهی فشرده‌تر بوده و از استپ‌های کوهستانی تشکیل می‌شود. با وجود این در نواحی غربی، جنوبی و شرقی (محدوده باندهای فرودگاه بیرجند)، پوشش گیاهی تنک بوده و انواع گیاهان شورپسند رشد کرده‌اند.

۳-۵ وضعیت هیدرولوژیکی

آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز از جمله عواملی هستند که در عملکرد مکانی فرودگاه تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارند. به عنوان مثال عبور رودخانه از میان تأسیسات فرودگاه، خطر احتمالی سیل و فرسودگی تأسیسات را به همراه دارد. آب‌های سطحی به دلیل تخریب زیرساخت‌ها، هزینه زهکشی و نگهداری فرودگاه را افزایش می‌دهند. وجود قنات در اطراف فرودگاه نیز باعث عدم استحکام و ناپایداری تاسیسات، به خصوص سطوح باندهای پروازی می‌شوند. در نتیجه بررسی وضعیت هیدرولوژیکی و اثرات آن بر تأسیسات فرودگاهی اجتناب ناپذیر است. به طور سالیانه و گاهی در چند نوبت از سال، سیل موجب ویرانی مزارع،

باغ‌ها، جاده‌ها و واحدهای مسکونی شده و یکی از علل اصلی فقدان پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی و جلگه‌ها محسوب می‌شود. در محدوده فرودگاه بیرجند، رودخانه فصلی شاهرود (با نام محلی کفترخان) که در جنوب آن قرار گرفته است، از جمله مهمترین پارامترهای هیدرولوژیکی اثرگذار است.

۳-۶ نزدیکی به اراضی شهری

از دیگر پارامترهای مهم در طراحی فرودگاه‌ها، سازگاری و تطبیق آنها با محیط اطراف است. تعدد فرودها و برخاست‌های هواپیماها که غالباً در اطراف فرودگاهها و در زمان‌های نشست و یا برخاست اتفاق می‌افتند، غالبا باعث وقوع سوانح می‌شوند. بنابراین در فرودگاه‌های بزرگ و با حجم ترافیک زیاد، احتمال بروز سانحه و تصادف افزایش یافته و ایمنی فعالیت‌ها در فرآیند برنامه‌ریزی کاربری اراضی اطراف فرودگاهها اهمیت می‌یابد. بر این اساس، فاصله هر فرودگاه از مراکز جمعیتی باید در حدی باشد که رفت و آمدها در یک بازه زمانی معقول و منطقی و همراه با هزینه قابل قبولی برای استفاده کنندگان، انجام گیرند. همچنین مسیر فرود و برخاست هواپیماها بایستی به نحوی طراحی شوند که تا حد امکان از روی مناطق مسکونی پرجمعیت عبور نکنند و یا کمترین همپوشی را با مناطق پرجمعیت داشته باشند. علاوه بر این موارد دیگری مانند: امنیت، آلودگی صوتی، معضلات اجتماعی، عناصر اقتصادی، شرایط محیطی و پارامترهای زیست‌محیطی نیز تحت‌الشعاع عملکرد مکانی فرودگاه‌ها قرار دارند. بنابراین در این مقاله وضعیت توزیع مکانی اراضی شهری و کاربری‌های تحت تأثیر آلودگی‌های صوتی از جمله عواملی هستند که در توسعه فرودگاه بیرجند مدنظر قرار می‌گیرند.

۳-۷ تکنیک راه‌حل ایده‌آل TOPSIS

پارامترهای توضیح داده شده در بخش قبل، به منظور توسعه فرودگاه بیرجند بررسی شده و در مرحله بعد لازم است که در قالب یک مدل تصمیم گیری مناسب تحلیل شوند، تا جوابهای بهینه و جهات مناسب برای توسعه مشخص شوند. تاپسیس به عنوان تکنیکی از روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه جبرانی برای اولویت بندی گزینه‌ها، قادر است که از طریق محاسبه مقدار شباهت هر راه‌حل به جواب ایده‌آل گزینه‌های بهینه را تعیین کند[Behzadian et al., 2012] .

در این روش، با توجه به اینکه مفهوم ایده‌آل به نحوی تحت تأثیر جامعه جوابها قرار دارد، نسبت به تغییرات وزنی حساسیت کمی داشته و پاسخ‌های حاصل از آن از ثبات نسبی برخوردار هستند. برخی از محاسن این روش در اولویت بندی مکانی شامل: الف-تلفیق معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان، ب-تعیین اولویت نسبی جوابها بر اساس نتایج کمی خروجی، پ-امکان تشخیص تضاد و تطابق موجود در معیارها، ج-قابلیت تعریف ضرایب وزنی اولیه و د- سرعت بالای تحلیل، است. در این روش هر گزینه انتخابی، کمترین فاصله را با جواب ایده‌آل و بیشترین فاصله را با راه‌حل ضد ایده‌آل دارد. اگر به عنوان مثال m گزینه موجود توسط n شاخص یا معیار مورد ارزیابی قرار گیرند، ماتریسی به نام ماتریس تصمیم مطابق رابطه ۱ تشکیل خواهد شد، که بر اساس آن فرآیند مذکور قابل اجرا است.

(۱)

$$\mathbf{D}=\begin{array}{c} \\ \mathbf{A_1} \\ \mathbf{A_2} \\ \vdots \\ \mathbf{A_i} \\ \vdots \\ \mathbf{A_m} \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} \mathbf{X_1} & \mathbf{X_2} & & \mathbf{X_j} & & \mathbf{X_n} \end{array} \\ \begin{bmatrix} \mathbf{X_{11}} & \mathbf{X_{12}} & \cdots & \mathbf{X_{1j}} & \cdots & \mathbf{X_{1n}} \\ \mathbf{X_{21}} & \mathbf{X_{22}} & \cdots & \mathbf{X_{2j}} & \cdots & \mathbf{X_{2n}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \mathbf{X_{i1}} & \mathbf{X_{i2}} & \cdots & \mathbf{X_{ij}} & \cdots & \mathbf{X_{in}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \mathbf{X_{m1}} & \mathbf{X_{m2}} & \cdots & \mathbf{X_{mj}} & \cdots & \mathbf{X_{mn}} \end{bmatrix} \end{array}$$

در ماتریس فوق A_i نشان دهنده گزینه i ام و X_{ij} بیانگر مقدار عددی به دست آمده از مطلوبیت گزینه i با توجه به معیار j است. در این ماتریس، افزایش مقدار X_{ij} در معیارهای سود (Benefit) نشانگر مطلوبیت بالا بوده و ارزش کمتر آن مبین مناسبت کمتر گزینه i به ازای معیار j ام است. این موضوع در معیارهای هزینه

(Cost) با توجه به اینکه هزینه کمتر مطلوب‌تر است، بالعکس می‌گردد. پس از تشکیل ماتریس تصمیم، در اولین گام لازم است که ماتریس مورد نظر نرمال سازی و استاندارد شود. برای این کار هر یک از مقادیر X_{ij} به ازای هر j بر اندازه بردار شاخص مربوطه تقسیم می‌شود (رابطه ۲).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \qquad (۲)$$

پس از محاسبه مقادیر نرمال شده r_{ij} و تشکیل ماتریس نرمال تصمیم، فرآیند وزن‌دهی اعمال شده تا اولویت هر معیار در ماتریس تصمیم منظور گردد. به این منظور مقدار هر r_{ij} در وزن معیار مربوطه ضرب می‌شود تا ارزشهای وزن دار (V_{ij}) حاصل شوند. در این حالت مجموع وزن‌های اختصاص داده شده به معیارها برابر با عدد یک است (رابطه ۳).

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n) \quad \sum_{j=1}^{n} w_j = 1 \qquad (۳)$$

در ادامه، پس از وزن‌دار نمودن ماتریس تصمیم نرمال، لازم است که به ازای هر معیار یک **گزینه ایده‌آل مثبت** و یک **گزینه ایده‌آل‌منفی**(ضد ایده‌آل) تعیین شود. برای تعیین ایده‌آل مثبت (مطابق با رابطه ۴)، در معیارهای سود، گزینه‌ای که بالاترین رقم را داراست و در معیارهای هزینه، گزینه‌ای که کمترین عدد را به خود اختصاص داده است، انتخاب می‌شود (A*). به همین ترتیب به منظور مشخص کردن ایده‌آل منفی، برای هر معیار سود جوابی با کمترین ارزش و بالعکس در شاخصهای هزینه آلترناتیوی با مطلوبیت بالا معین شده که با A^- نشان داده می‌شود(رابطه ۵).

$$A^* = \left\{\left(\left(\max v_{ij}\right) \middle| j \in J\right), \left(\min v_{ij} \middle| j \in J'\right) \middle| i = 1, 2, \dots, m\right\} = \left\{v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*\right\} \qquad (۴)$$

$$A^- = \left\{\left(\left(\min v_{ij}\right) \middle| j \in J\right), \left(\max v_{ij} \middle| j \in J'\right) \middle| i = 1, 2, \dots, m\right\} = \left\{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\right\} \qquad (۵)$$

در روابط ۶ و ۷ $J = \{j = 1,2,3,\dots,n\}$ ، اندیس شاخص‌های سود و $J' = \{j = 1,2,3,\dots,n\}$ ، اندیس مربوط به پارامترهای هزینه هستند. در مرحله بعد، با اعمال روابط ۸ و ۹ اندازه اختلاف هر راه‌حل از گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه شده و به ترتیب با S_j^* و S_j^- نشان داده می‌شوند. در این روابط v_{ij} درایه مربوط به گزینه iام از معیار jام در ماتریس نرمال وزنی هستند و v_j^* و v_j^- به ترتیب ایده‌آل‌های مثبت و منفی مربوط به معیار j ام هستند.

$$S_j = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^*)^2} \qquad i = 1, 2, 3, \dots, m \qquad (۶)$$

$$S_j = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \qquad i = 1, 2, 3, \dots, m \qquad (۷)$$

در ادامه و در رابطه ۸، با داشتن فاصله گزینه‌ها از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل محاسبه می‌گردد(C_i^*). این پارامتر نشان دهنده امتیاز نهایی هر گزینه بوده که بر اساس آن رتبه‌بندی جوابها حاصل می‌شود. به این صورت که گزینه با C_i^* بیشتر در اولویت بالاتر قرار گرفته و سایرین در رتبه‌های بعدی مرتب می‌شوند.

$$C_i = \frac{S_i}{S_i + S_i} \qquad 0 < C_{i*} < 1 \qquad (۸)$$

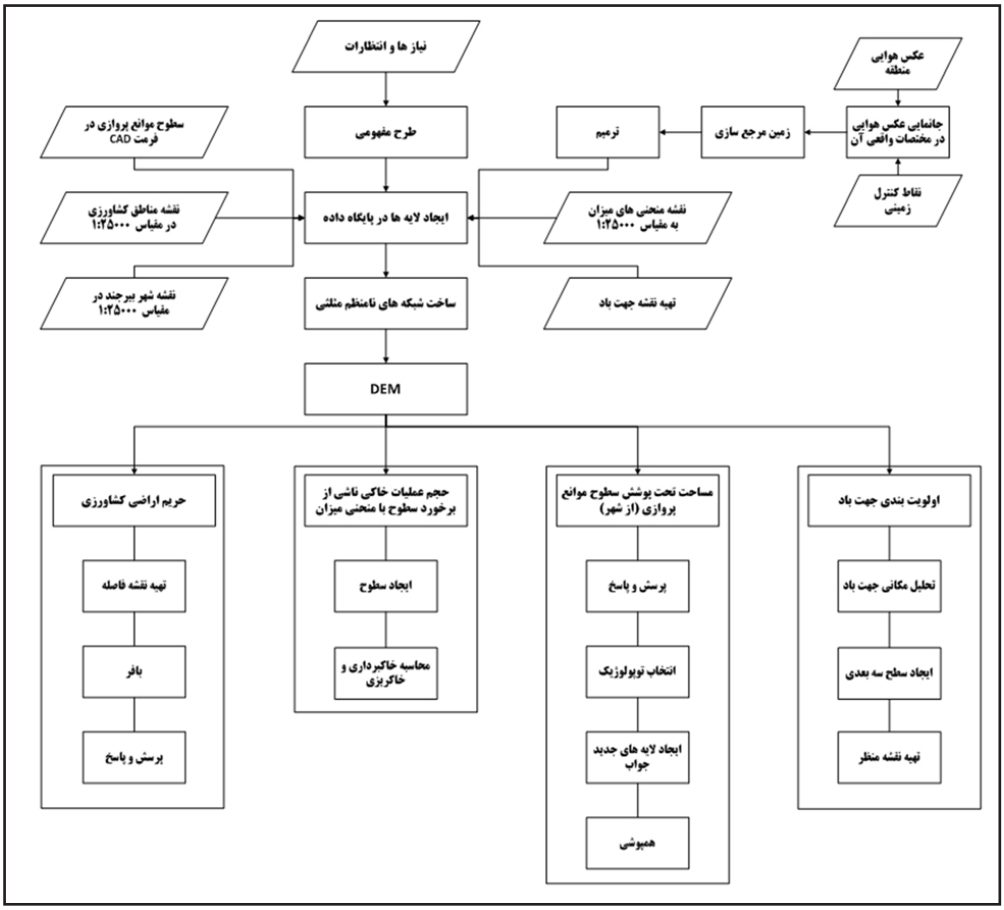
۴. پیاده سازی

همان‌گونه که در بخش‌های قبل مطرح شد، پارامترهای مؤثر در توسعه فرودگاه‌ها، در چارچوبی مکانمند به نام سیستم اطلاعات مکانی قابل تحلیل هستند که در نتیجه آن راه‌حلها و تصمیم‌هایی کارآمد و مطابق با نیاز تولید می‌گردند. همان طور که در شکل شماره ۳ نشان داده شده است، مجموعه‌ای از پردازش‌های مکانی به صورت هدفمند، بر روی داده‌های ذخیره‌سازی شده در پایگاه داده مکانی اعمال شده‌اند. در پایگاه داده مکانی ایجاد شده، لایه‌هایی مانند: اولویت‌بندی جهت باد، مساحت تحت پوشش سطوح بدون موانع پروازی، حجم عملیات خاکی ناشی از برخورد

سطوح با منحنی میزان‌ها و حریم اراضی کشاورزی، به صورت نقشه معیار ثبت شده و جهت ورود به مدل تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۴-۱ محدوده عملیاتی

فرودگاه بیرجند به عنوان یکی از قدیمی‌ترین فرودگاه‌های کشور، به دلیل نزدیکی به مرز و مجاورت با قطب‌های مهم معدنی، از اهمیت بسزایی برخوردار است. این فرودگاه در استان خراسان جنوبی با بیش از ۶۴۰ اثر تاریخی قرار گرفته است که جاذب گردشگران داخلی و خارجی است. محدوده داخلی فرودگاه از ۲ باند پرواز، در راستاهای مغناطیسی ۰۸-۲۶ و۱۰- ۲۸ (مطابق با توضیحات بخش تئوری) تشکیل شده است. باند قدیم، با طول ۲۱۸۰ متر، عرض ۳۰ متر و رده عملیاتی 3C، در راستای مغناطیسی ۰۸-۲۶ امتداد یافته است. بزرگ‌ترین هواپیماهایی که امکان تردد در این باند را دارند، از نوع فوکر ۵۰ و ATR72 هستند. همچنین باند جدید این فرودگاه با طول ۳۶۰۰ متر و عرض ۴۵ متر، در راستای ۱۰-۲۸ قرار گرفته است که در نتیجه قابلیت پذیرش هواپیمای پهن‌پیکر ایرباس A300 و هواپیماهای رده 4D را خواهد داشت. در شکل شماره ۴ محدوده عملیاتی فرودگاه بیرجند نشان داده شده است که در آن نمایی از باندها، تأسیسات و حریم فرودگاه به همراه برخی کاربریهای موجود مشاهده می‌شود. علاوه بر این، پتانسیل‌های بالای صنعتی و کشاورزی استان خراسان جنوبی باعث شده است که این فرودگاه به عنوان یکی از مهم‌ترین فرودگاه‌های شرق کشور مطرح شود. همچنین اجرای طرح‌های متعدد توسعه (از جمله ایجاد منطقه ویژه اقتصادی خراسان جنوبی) که باعث افزایش تقاضای خدمات فرودگاهی بیرجند در سال‌های آینده خواهند شد، نیز از دیگر



شکل ۳. الگوی گردش اطلاعات در کاربرد توسعه فرودگاهی

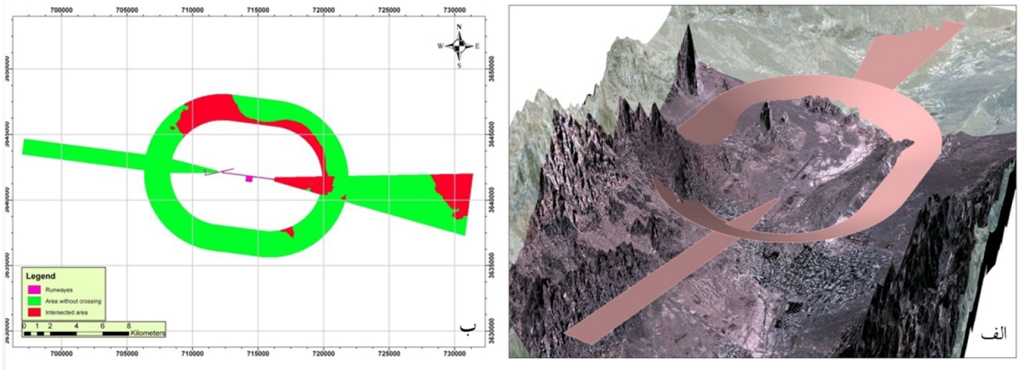
دلایل اهمیت توسعه آنست.

۲-۴ پردازش و آماده‌سازی اطلاعات و مستندات

اطلاعات جمع آوری شده اولیه شامل: نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، سطوح موانع پروازی بر اساس ضوابط آیین نامه ICAS (در فرمت CAD)، اطلاعات آماری ایستگاه سینوپتیک بیرجند، عکس هوایی منطقه و پلان مربوط به باندهای فرودگاه بیرجند هستند. از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور، اطلاعاتی از قبیل: منحنی‌های میزان، پوشش گیاهی منطقه، موقعیت اراضی شهری و وضعیت هیدرولوژیکی اطراف باند فرودگاه قابل استخراج اند. هر یک از داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی مستخرج، تحت فرآیندهای موجود در شکل (۱) به منظور تولید پارامترهای مؤثر در توسعه فرودگاه بیرجند مورد استفاده قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که پارامترهای مذکور بر مبنای نظر کارشناسان مرتبط و نتایج طرح جامع توسعه فرودگاه بیرجند در نظر گرفته شده اند.

سطوح بدون مانع پروازی و حجم عملیات خاکی، از جمله پارامترهای متأثر از پدیده توسعه باندی در فرودگاه‌ها هستند. این دو پارامتر امکان اجرای طیف وسیعی از پردازش‌های مرتبط، به همراه اجرای اعمالی مانند: تولید، تحلیل و مدلسازی را بر روی داده‌های ارتفاعی فراهم می‌کنند. به این منظور لازم است که داده‌های رقومی ارتفاعی و منحنی میزان‌های مستخرج از نقشه توپوگرافی۱:۲۵۰۰۰، همراه با عکس هوایی محدوده فرودگاه بیرجند (پس از زمین مرجع نمودن) تفسیر شوند. بنابراین در محدوده مورد مطالعه لایه عوارض طبیعی منطقه ایجاد شده و جهت مدلسازی کنترل می‌شود. برای ایجاد سطوح بدون مانع پروازی، نقشه‌های مرتبط به صورت سه بعدی در نرم‌افزار کد (CAD) ترسیم شده و با استفاده از قابلیت‌های GIS تفکیک می‌شوند (شکل۵). همان‌طور که در شکل ۵ نمایش داده شده است، خروجی سه بعدی حاصل از همپوشی باندها و داده‌های مرتبط با سطوح بدون مانع پروازی، تجسم قابل قبولی را از

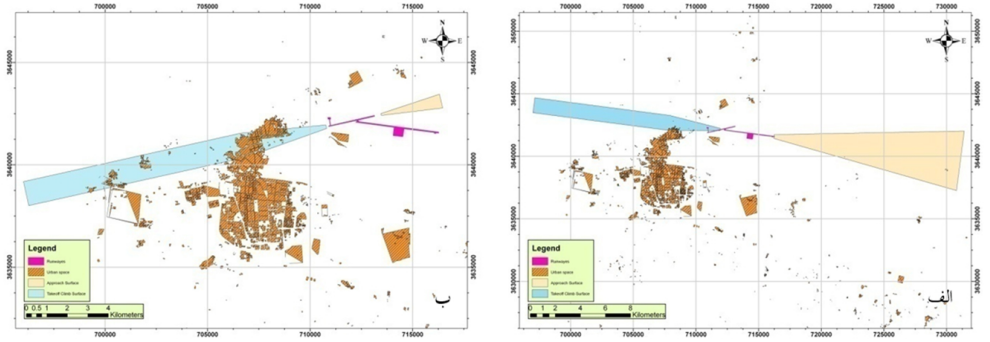
شکل ۴. محدوده عملیاتی فرودگاه بیرجند



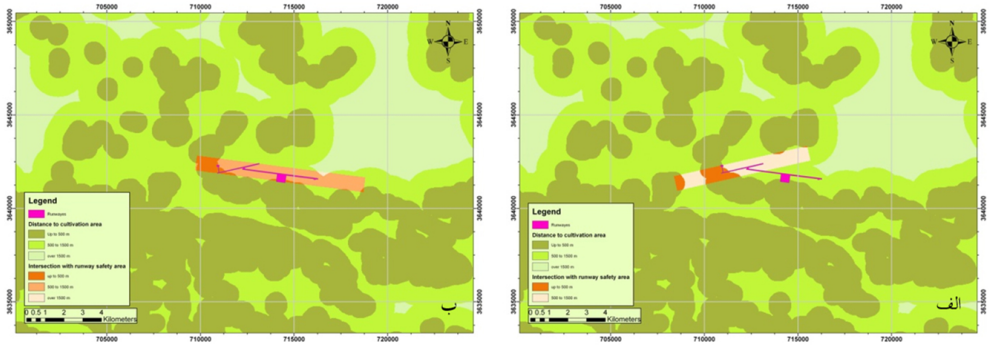
شکل ۵. نتیجه تلفیق سطوح بدون مانع پروازی با عوارض طبیعی زمین (به منظور محاسبه حجم عملیات خاکی)

مشکلات توسعه باندی فراهم می کنند. در مرحله بعد پایگاه دادهای رستری از رقوم ارتفاعی و سطوح بدون مانع پروازی ایجاد شده که در نتیجه تلفیق آن با عوارض طبیعی زمین، حجم عملیات خاکی مورد نیاز به ازای هر آلترناتیو قابل محاسبه خواهد بود. بهاین منظور، ابتدا نقاط ارتفاعی و عوارض سه بعدی جمع‌آوری شده به کمک الگوریتم مثلث بندی دلونی به یکدیگر مرتبط می‌شوند. سپس الگوریتم درونیابی کریجینگ پیاده‌سازی شده و لایه های رستری متشکل از سطح توپوگرافی و سطوح بدون مانع پروازی به‌دست می‌آیند. بنابراین طبق مثلث‌بندی انجام شده و بر مبنای وابستگی بین هر دو داده مکانی(از نظرارتفاعی)، ابتدا مقدار شباهت برای کل منطقه محاسبه شده و سپس در هر پیکسل متعلق به فایل رستری، پارامتر ارتفاع اندازه‌گیری می شود. این کار اصطلاحاً درونیابی نام دارد که در آن مقدار ارتفاع یک نقطه مجهول بر اساس ارتفاع داده‌های مثلث‌بندی شده اطراف و پارامتر شباهت مشخص خواهد شد. در اینجا تشریح این نکته ضرورت دارد که هر چه نقاط داده‌ای به یکدیگر نزدیک‌تر شوند، شباهت بین آنها افزایش می‌یابد. در نهایت با مقایسه دو سطح رقومی رستری تهیه شده، حجم بخشهای خاکبرداری و خاکریزی معین خواهد شد.

در شکل(۵) – ب نتیجه تلفیق سطوح بدون مانع پروازی با عوارض طبیعی زمین، به صورت سه بعدی، نشان داده شده است. در این شکل، نمایش سطوح تقرب، برخاست و مخروطی بر روی سطح سه بعدی منطقه، نشان دهنده وضعیت تغییرات هندسی هر یک نسبت به ناهمواری‌های زمین است. در شکل (۵) –الف نتیجه تلفیق رستری سطوح تلاقی، نشان دهنده تغییرات حجم عملیات خاکی است که در آن رنگ قرمز حجم عملیات مورد نیاز جهت خاکبرداری (cut) از منطقه را ارائه کرده و رنگ سبز نشان دهنده سطوح خاکریزی (fill) است. در واقع محدوده مشخص شده در شکل ۵، شامل مجموعه پیکسلهای درونیابی شده توپوگرافی و مجموعه پیکسلهای درونیابی شده بدون موانع پروازی است که

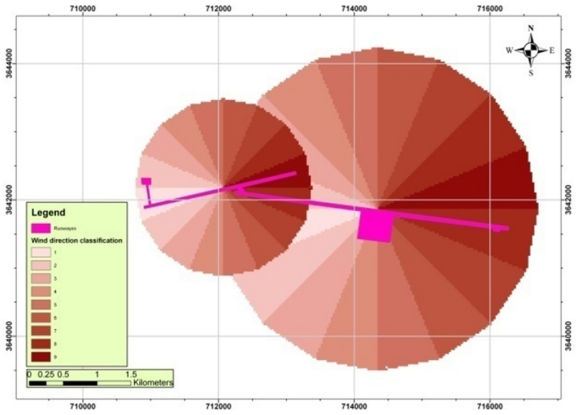


شکل ۶. همپوشی سطوح موانع پروازی با اراضی شهری



شکل ۷. همپوشی حریم اطراف باند و طبقات حریم کشاورزی

با مقایسه نظیر به نظیر آنها در محیط GIS حجم عملیات خاکی حاصل خواهد شد. علاوه بر این، پارامتر آلودگی صوتی ناشی از نشست و برخاست هواپیماها نیز نقش مؤثری را در مساله توسعه فرودگاه‌ها خواهد داشت. این پارامتر به همراه افزایش احتمال بروز سانحه در زمان‌های نشست و برخاست، لزوم بررسی کاربری‌های محدوده شهری اطراف فرودگاه‌ها را اجتناب ناپذیر می‌کند. در نتیجه، طراحی باندهای فرودگاه بایستی به نحوی انجام شود که تا حد امکان مسیر تقرب و برخاست هواپیما از روی مناطق مسکونی پرجمعیت عبور نکند. بنابراین در این بخش وضعیت مناطق مسکونی که تحت تأثیر سطوح تقرب و برخاست هر باند قرار دارند، مورد بررسی قرار خواهند گرفت. به این منظور، اراضی شهری اطراف فرودگاه بررسی شده و پس از انجام پردازش‌های اولیه، در پایگاه داده سیستم اطلاعات مکانی ثبت می‌شوند. لایه‌های سطوح تقرب و برخاست نیز با توجه به این که در مراحل قبلی آماده‌سازی شده‌اند، به منظور پردازش نهایی وضعیت کاربری‌های موجود، ارزیابی می‌شوند. شکل شماره ۶، لایه‌های اطلاعاتی ایجاد شده شامل: اراضی شهری، باندها و سطوح تقرب و برخاست را نشان می‌دهد. در این شکل، نقشه‌های همپوشانی محدوده شهری با سطوح بدون موانع پروازی، جهت تعیین مساحت بخشی از شهر که بیشترین تاثیرپذیری را از لحاظ ایمنی و آلودگی صوتی دارد، استفاده شده‌است. شکل (۶)-الف وضعیت باند نوساز و شکل (ب) وضعیت باند قدیمی فرودگاه



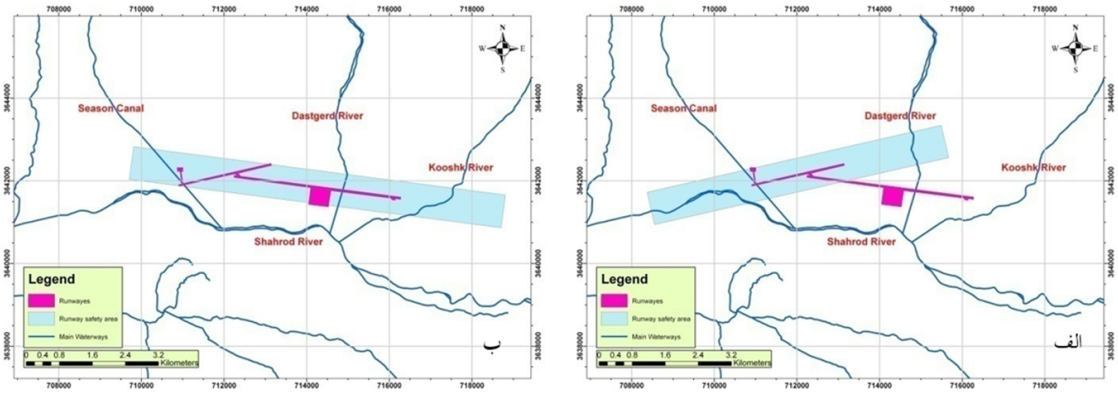
شکل ۸. طبقه بندی محدوده اطراف هر یک از باندها، بر اساس بیشترین مطلوبیت از نظر وزش باد

جدول ۱. شاخص‌های تاثیر گذار بر توسعه باند فرودگاه و ضرایب وزنی کارشناسی مربوطه

ردیف	عنوان شاخص	نوع شاخص	مقیاس	وزن کارشناسی	شاخص
۱	حجم عملیات خاکبرداری	منفی	متر مکعب	۰/۲۰	x_1
۲	حریم شهری	منفی	کیلومتر مربع	۰/۲۵	x_2
۳	حریم آبراهه	منفی	کیلومتر مربع	۰/۰۰	x_3
۴	اراضی کشاورزی	مثبت	متر مربع	۰/۰۵	x_4
۵	جهت باد	مثبت	کیفی	۰/۱۵	x_5
۶	شیب	مثبت	درصد	۰/۱۰	x_6
۷	طول باند	مثبت	متر	۰/۲۰	x_7
۸	روشنایی	مثبت	کیفی	۰/۰۵	x_8

بیرجند را ارائه می‌کنند که با مقایسه آن دو می‌توان گفت که همپوشی اراضی شهری با سطوح بدون موانع پروازی در باند قدیمی بیشتر از باند نوساز است. برای اعمال همپوشی ابتدا فرمت برداری مربوط به هر یک از داده‌ها، به آماده‌سازی شده و سپس به ازای هر باند و لایه شهری اپراتور منطقی تلفیقی AND اجرا و محدوده‌های مشترک معین می‌گردند. لذا به کمک نقشه توزیع مکانی اراضی شهری در واحد سطح به راحتی می‌توان مجموع تراکم اراضی شهری در هر باند را معین کرد. در نقشه تراکم اراضی شهری، ابتدا شبکه‌های رستری برروی داده‌های حاصل از اپراتور منطقی قرار گرفته و سپس به ازای هر پیکسل، دایره جستجویی ترسیم گردیده و تعداد المانهای شهری شمارش (بر اساس وزنی معادل با معکوس فاصله هر یک تا پیکسل)و بر مساحت آن دایره تقسیم می‌گردد.

با توجه به مطالب بیان شده در بخش تئوری در خصوص پوشش گیاهی و با عنایت به این که بهترین نوع کاربریها برای زمین‌های اطراف فرودگاه و حتی محدوده داخلی آن، کاربریهای کشاورزی هستند (محصولاتی که جذب کننده پرندگان نباشند)، لازم است که نحوه توزیع زمین‌های کشاورزی اطراف فرودگاه بیرجند، بررسی گردند. بهاین منظور، اطلاعات زمین‌های کشاورزی اطراف وارد سیستم شده و نقشه حریم اراضی کشاورزی ایجاد می‌شود. بنابراین بر اساس نظرات کارشناسی جمع‌آوری شده، حریم‌های تا ۵۰۰ متر به عنوان دسته اول، ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متر



شکل ۹. وضعیت هیدرولوژیک محدوده باندهای فرودگاه بیرجند

جدول ۲. مقادیر شاخص‌ها برای هر یک از آلترناتیوهای موجود

شماره آلترناتیو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	هزینه بر سود
جهت باند	۱۰	۲۸	۰۸	۲۶	۱۸	۱۲	۲۰	۰
حجم عملیات خاکبرداری (m^3)	۱۰۸۹۲۳۲۷۲۲	۷۷۵۳۸۰۸۴۸	۴۹۲۴۵۲۲۶۹	۵۱۰۱۲۶۸۷۴	۸۰۲۳۱۵۲۴۰	۶۱۴۴۵۳۳۰۱	۷۳۹۳۷۴۸۲ ۱	۱
حریم شهری (m^2)	۳۲۸۱۵	۵۷۰۰۰	۶۷۲۱۳۶	۳۷۳۸۷	۶۶۰۰۰	۵۲۷۳۰۰	۴۴۸۶۷	۱
اراضی کشاورزی (m^2)	۳۰۴۰	۳۰۴۰	۲۶۳۶	۲۶۳۶	۲۶۳۶	۲۶۳۶	۳۰۴۰	۰
جهت باد	۲	۸	۱	۹	۶	۳	۷	۰
شیب	۴	۳	۲	۱	۳	۳	۲	۰
طول باند	۴	۴	۱	۱	۴	۱	۱	۰
روشنایی	۴	۴	۱	۱	۴	۱	۱	۰

محدوده دوم و بیشتر از ۱۵۰۰ متر به عنوان حریم سوم معرفی شده‌اند. همچنین در اینجا لازم به ذکر است که لایه‌های حریم اطراف باند فرودگاه نیز بر اساس دستورالعمل‌های IKAO تولید شده‌اند. در نهایت، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز جهت محاسبه متراژ همپوشانی هر یک از طبقات، با لایه حریم اراضی کشاورزی تلفیق می‌گردند.در این‌حالت نیز اپراتورهای تلفیقی منطقی اعمال شده و محدوده های مشترک به همراه نحوه توزیع آنها در هر باند مشخص می‌شود. شکل شماره ۷ (الف) و (ب)، محدوده حریم باند فرودگاه قدیمی و نوساز را با مستطیل نشان می‌دهد که در هر یک طبقات حریم کشاورزی با رنگی متفاوت تعریف شده است. در این شکل درجات رنگی مبین آنست که میزان همپوشی در باند قدیمی کمتر از باند نوساز است.

همچنین با توجه به تعاریف ارائه شده در بخش تئوری (۲-۳)، عامل جهت باد به عنوان یک مؤلفه کیفی تأثیرگذار بر اساس زاویه امتداد برخاست باند پرواز با جهت اصلی وزش باد، قابل تعریف است. به منظور کمی‌سازی این پارامتر، محیط اطراف هر یک از باندها به ۹ کلاس اصلی شامل اعداد ۱ تا ۹ طبقه بندی می‌شود. این اعداد، به نحوی با تقسیم بندی زاویه‌ای محدوده و مطلوبیت آن از نظر تقابل با جهت باد غالب (در شهر بیرجند شمال شرقی به سمت جنوب غربی) مرتبط هستند. به این ترتیب که جهت شمال شرقی با بیشترین مطلوبیت به عنوان کلاس شماره ۹ و جهت مخالف آن (جنوب غربی) با ارزش ۱ تعریف می‌گردند. در نتیجه، هر یک از آلترناتیوها بر اساس طبقه بندی ارائه شده حائز شرایط خاصی خواهند بود که اولویت هر یک را از نظر توسعه فرودگاه معین می‌کند. در شکل ۸ باند شماره ۲ در کلاس ۸ و باند شماره ۴ در کلاس ۹ قرار گرفته‌اند که این موضوع نشانگر

جدول ۳. ماتریس تصمیم نرمال شده

	روشنایی	طول باند	شیب	جهت باد	اراضی کشاورزی	حریم شهری	حجم عملیات خاکبرداری
۱	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷۳	۰/۱۶	۰/۵۳	۰/۶۹	۰/۲۸
۲	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۵۳	۰/۴۰	۰/۴۰
۳	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۳۷	۰/۰۸	۰/۴۶	۰/۰۳	۰/۶۳
۴	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۷۳	۰/۴۶	۰/۶۱	۰/۶۱
۵	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۵۵	۰/۴۹	۰/۴۶	۰/۰۹	۰/۳۸
۶	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۴۶	۰/۴۴	۰/۵۱
۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۴۲

جدول ۴. ماتریس وزن دار

	روشنایی	طول باند	شیب	جهت باد	اراضی کشاورزی	حریم شهری	حجم عملیات خاکبرداری
۱	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۰۶
۲	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۰۸
۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۳
۴	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۱۲
۵	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۸
	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۰
	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۸

وضعیت مطلوب‌تر باند قدیمی از نظر وزش باد است.

علاوه بر پارامترهای مذکور، وضعیت هیدرولوژیک باندهای فرودگاه بیرجند نیز در توسعه آن مؤثرند. به این منظور در حریم هر یک از باندهای مورد مطالعه، وضعیت آبراهه‌های اصلی به سمت رودخانه فصلی شاهرود مورد بررسی قرار می‌گیرند. از آنجا که آبروها و پل‌های مورد نیاز جهت عبور آبراهه‌ها، از قبل در هر دو باند در نظر گرفته شده و احداث گردیده‌اند، هزینه ساخت تأسیسات زهکشی قابل چشم‌پوشی است. علاوه بر این، مطابق با شکل ۹ (الف) و (ب)، وضعیت هیدرولوژیک هر دو باند از نظر نزدیکی به رودخانه فصلی شاهرود، تقریباً مشابه است. بنابراین در الگوریتم تصمیم‌گیری مورد نظر، به منظور اولویت بندی جهات توسعه، این پارامتر با ضریب وزنی صفرمعرفی شده است.

۳-۴ تحلیل و مدلسازی

در این بخش مراحل لازم به منظور پیاده سازی تکنیک نزدیکی به راه‌حل ایده آل به صورت گام به گام تشریح شده و نتایج حاصل ارزیابی می‌شوند. به این منظور ابتدا هفت آلترناتیو شامل: باند ۱ (با راستای مغناطیسی ۱۰)، باند ۲ (با راستای مغناطیسی ۲۸)، باند ۳ (با راستای مغناطیسی ۰۸)، باند ۴ (با راستای مغناطیسی ۲۶)، باند ۵ (با راستای مغناطیسی ۱۸)، باند ۶ (با راستای مغناطیسی ۱۲) و باند ۷ (با راستای مغناطیسی ۲۰) در نظر گرفته شده و با توجه به نتایج پردازشی حاصل از هر یک از معیارها، ماتریس تصمیم طراحی می‌شود. حجم عملیات خاکی، مساحت حریم شهری و تأثیر جهت باد از جمله پارامترهایی هستند که مستقیماً قابل استفاده بوده و نیازی به پیش پردازش ندارند. این در حالی است که مساحت‌های محاسباتی حاصل از حریم اراضی

جدول ۵. تعیین گزینه‌های ایده آل و ضد ایده آل

	روشنایی	طول باند	شیب	جهت باد	اراضی کشاورزی	حریم شهری	حجم عملیات خاکی
گزینه ایده‌آل	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۱۳
گزینه ضد ایده‌آل	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۶

جدول ۶. محاسبه فواصل از گزینه ایده آل و ضد ایده آل، به همراه اولویت بندی آلترناتیوها

شماره آلترناتیو	C	S-	S*
۱	۰/۶۵	۰/۲۰	۰/۱۱
۲	۰/۶۶	۰/۱۷	۰/۰۹
۳	۰/۲۴	۰/۰۷	۰/۲۲
۴	۰/۶۰	۰/۱۸	۰/۱۲
۵	۰/۴۳	۰/۱۳	۰/۱۷
۶	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۱۴
۷	۰/۴۶	۰/۱۳	۰/۱۵

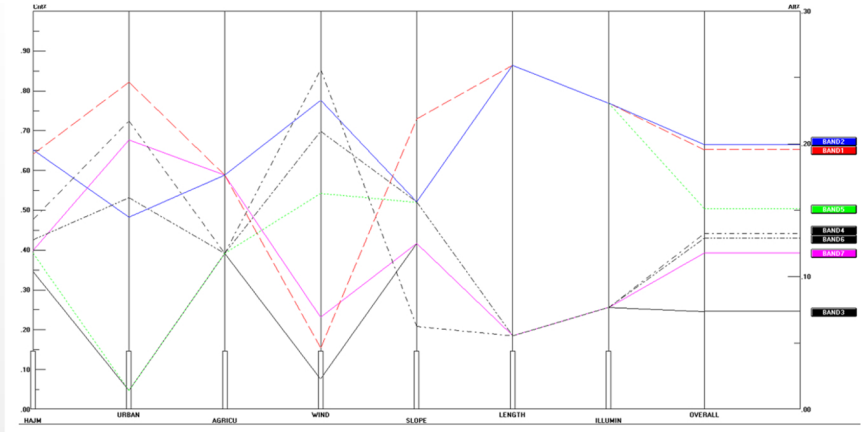
کشاورزی بایستی به طور غیرمستقیم و بر مبنای طبقه‌بندی اعمال شده و حوزه استاندارد تعریف شده (بین ۱ تا ۹)، یکنواخت گردند. بنابراین به زمین‌های با حریم بیش از ۱۵۰۰ متر وزن ۱، به زمین‌های با حریم ۵۰۰ الی ۱۵۰۰ متر وزن ۵ و به زمین‌های با حریم کمتر از ۵۰۰ متر وزن ۹، اختصاص یافته است.

علاوه بر پارامترهای توصیف شده، برخی مشخصات مانند: طول باند، شیب و روشنایی نیز به منظور تخمین دقیق‌تر گزینه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. در نشست و برخاست هواپیما افزایش پارامتر شیب برای شرایط برخاست نامطلوب و در وضعیت فرود مطلوب است. به عنوان مثال از نظر پارامتر شیب، باند شماره ۱ بهترین وضعیت و باند شماره ۴ بدترین شرایط را دارند. همچنین هر چه طول باند کوتاه‌تر شود، امکان نشست و برخاست هواپیماهای پهن‌پیکر در آن کمتر شده و موجب کاهش رده فرودگاهی خواهد شد. در جدول شماره ۲ باندهای شماره ۱ و ۲ با طول‌های ۳۶۰۰ متر نسبت به باندهای ۳ و ۴ با طول ۲۱۸۰ متر، دارای شرایط مطلوب‌تری هستند. در نهایت، سیستم روشنایی از جمله پارامترهای مهم است که بر مبنای تجهیزات و امکانات موجود در هر باند فرودگاه قابل اندازه گیری است. بنابراین هر چه امکانات و تجهیزات موجود به منظور بهبود شرایط نشست و برخاست در هر باند بهتر باشد، حائز شرایط مطلوب‌تر بوده و ارزش بیشتری در فرآیند توسعه خواهد داشت.

در باند ۰۸-۲۶، با در نظر گرفتن سیستم روشنایی و طول آن، به دلیل آن که هواپیماهای پهن‌پیکر و باری امکان نشست و برخاست ندارند، رده فرودگاهی کاهش یافته و ارزش آن کمتر

جدول ۷. نتایج اولویت بندی آلترناتیوها در طرح جامع ۱۳۹۰

شماره آلترناتیو	وزن نهایی
۱	۰/۵۶
۲	۰/۵۸
۳	۰/۱۹
۴	۰/۵۰
۵	۰/۳۸
۶	۰/۴۴
۷	۰/۴۱



شکل ۱۰. نتایج تحلیل حساسیت انجام شده

می‌شود. در جدول ۱ به ازای هر آلترناتیو در GIS، مقادیر معیارها بر اساس نظرات کارشناسی و ارزش‌های محاسباتی مشخص شده‌اند. بنابراین طبق روال توصیف شده برای حل مساله از طریق تکنیک نزدیکی به راه‌حل ایده آل، لازم است که ماتریس تصمیم نرمال‌سازی شده و وزندهی گردد. به این منظور، سطری در جدول۲ اضافه شده که معیارهای هزینه (Cost) و سود (Ben-efit) را از هم (سود عدد ۰ و هزینه عدد ۱) متمایز می‌کند. با توجه به توضیحات بخش تئوری (روابط ۲و۳)، ماتریس تصمیم نرمال شده به ازای معیارهای سود و هزینه، به صورت جدول شماره ۳ به دست می‌آید.

به ازای هر معیار، هر یک از اوزان به دست آمده از تلفیق نظرات کارشناسی، در مقادیر ستون مربوطه ضرب شده و ماتریس وزن دار تولید می‌گردد (جدول شماره ۴). این اوزان شامل: حجم عملیات خاکی = ۲/۰، حریم شهری = ۲۵/۰، اراضی کشاورزی= ۰۵/۰، جهت باد = ۱۵/۰، شیب = ۱۰/۰، طول باند = ۲۰/۰ و روشنایی = ۰۵/۰ هستند که مقادیر آنها سازگار بوده و مجموعشان برابر با ۱ است. در گام بعدی لازم است که گزینه‌های ایده آل و ضد ایده آل از طریق جدول به‌دست آمده مشخص شود. با توجه به این که ایده آل و ضد ایده‌آل، وابسته به شرایط موجود هستند، به ازای هر معیار، بیشینه ارزشها استخراج شده و بردار ایده آل تعیین می‌شود. به همین ترتیب به ازای هر ستون در جدول وزن دار، کمترین مقدار استخراج شده و بردار متشکل از کمترین‌ها به عنوان ضد ایده‌آل تعیین می‌شود (جدول شماره ۵). حال لازم است که فاصله بردار مشخصات هر گزینه، از بردارهای ایده آل و ضد ایده‌آل معین شده و پارامتر طبق (رابطه شماره ۸) محاسبه شود. در جدول شماره ۶، فاصله هر گزینه از راه‌حل ایده آل و فاصله هر گزینه از راه‌حل ضد ایده ال هستند. بررسی مقادیر، نشان دهنده آنست که باند ۲ بیشترین و باند ۳ کمترین اولویت را دارند. این موضوع نشان دهنده بهترین و بدترین باندها به منظور تأمین هدف توسعه است. باندهای ۱ و ۴ با اختلاف کمی از باند ۳ در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. از مهم‌ترین دلایل نامناسب بودن باند ۳ به منظور توسعه، همپوشی زیاد آن با اراضی شهری و راستای نامناسب آن نسبت به جهت باد غالب است.

برای آزمایش و کنترل نتایج حاصل از اعمال روش تاپسیس، مقادیر جدول شماره ۶ با نتیجه رتبه بندی طرح جامع فرودگاه بیرجند در سال ۱۳۹۰ مورد مقایسه قرار گرفتند[khaje nassir uni,2011]. در این طرح، با اعمال روش AHP و در نظر گرفتن عواملی همچون: وضعیت دید خلبان، میزان عملیات خاکی، جهت باد غالب، اراضی شهری و کشاورزی موجود، کاربریها و تأسیسات اطراف، وضعیت زیرساختهای موجود در منطقه، مشخصه‌های فنی و شیب باندها، هر یک از گزینه های مذکور (به صورت عینی و ذهنی) امتیازدهی شدند. محاسبه متوسط مربعات انحرافات جدول وزنی حاصله از تاپسیس و مقادیر نهایی جدول ۷ نشان می‌دهد که میانگین انحرافات حدودا ۰/۰۰۵ است که به نظر بازه قابل قبولی است. البته بررسی وضعیت نسبی وزن گزینه‌ها در دو روش مذکور صحت نتایج حاصل را در اولویت‌بندی تاپسیس محرز می‌کند، ولی نسبت تغییرات در اولویت‌بندی گزینه‌ها تا حدی متفاوت است. دلیل این موضوع کیفی بودن برخی اوزان در طرح جامع و تفاوتهای ارزشی موجود در برخی معیارهای تصمیم‌گیری است. ضمناً تمامی اوزان اختصاص یافته در طرح جامع از اوزان تاپسیس کمتر هستند که شاید دلیل اصلی آن پردازش جداگانه معیار زیرساختهای اطراف و وضعیت دید خلبان در طرح جامع است.

علاوه بر این، به منظور تعیین میزان ثبات رتبه‌بندی انجام شده، نتایج تحلیل حساسیت در شکل ۱۰ آورده شده است. در این شکل، معیارهای عملیات خاکی ناشی از برخورد با سطوح بدون موانع پروازی، جهت باد، حریم اراضی شهری و کشاورزی، وضعیت هیدرولوژیکی منطقه، مشخصه‌های ابعادی باند و شیب باند بر

روی محور افقی و ۷ آلتر ناتیو بر روی محور عمودی نمایش داده شده‌اند. تقاطع خطوط گزینه ها با خطوط عمودی مربوط به معیارها، وزن آن گزینه را در آن معیار نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، میزان حساسیت گزینه ها نسبت به معیارهای حریم اراضی شهری و جهت باد بالاتر از سایرین است. علاوه بر این با تفسیر تغییرات نتایج با اوزان مختلف می‌توان به این نتیجه رسید که دلیل اصلی انتخاب نشدن باند یک به عنوان بهترین جواب جهت باد غالب شهر بیرجند است.

۴-۴ بحث و بررسی

در سال ۱۳۷۵،فرآیند توسعه فرودگاه بیرجند به عنوان یکی از مهم‌ترین ترمینال‌های هوایی شرق کشور، در چارچوب طرحی جامع و با هدف ارتقاء رده عملیاتی آن، مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا و با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و معضلات موجود در باند قدیمی (راستای مغناطیسی ۲۶-۰۸) این فرودگاه، پیشنهادی مبنی بر احداث باند جدید مطرح شد. از مهم‌ترین مشکلات در توسعه باند ۰۸-۲۶ مواردی مانند: وجود ارتفاعات در شمال باند، ناهمواری‌های گسترش یافته در امتداد تقرب (از سمت شرق) و وجود کمربندی مشهد – زاهدان در راستای مغناطیسی ۰۸ هستند. علاوه بر این، عواملی چون تجمع عناصر وابسته، مسیریابی بهینه مسافران، دسترسی، امنیت، هماهنگی با طرح‌های مصوب و اراضی مناسب جهت احداث در طرح جامع مورد بررسی قرار گرفتند که در نتیجه آن باند ۲۸-۱۰ پیشنهاد شده و در سال ۱۳۹۰ مورد بهره‌برداری قرار گرفت.

بنابراین در توسعه آتی این فرودگاه لازم است که وضعیت باندهای موجود، با در نظر گرفتن هزینه‌های باند نوساز بررسی شوند. در این مقاله باندهای جدید و قدیم فرودگاه بیرجند به عنوان آلترناتیوهای موجود در محیط GIS ارزیابی شده‌اند. با بررسی نتایج حاصله مشخص می‌شود که جهت باد از جمله عوامل تأثیرگذار بر روند نشست و برخاست هواپیما و در نتیجه توسعه باند فرودگاهی است. در مناطقی که شدت باد زیاد بوده و جهت وزش، راستای ثابتی ندارد، ضریب امنیت با احداث چندین باند افزایش یافته و در مواقع لزوم تأثیر وزش باد کنترل می‌گردد. بنابراین دو باند منتخب مقاله، به چهار جهت نشست و برخاست تقسیم شدند و در مدل‌های تصمیم‌گیری به عنوان آلترناتیو ارزیابی گردیدند. با در نظر گرفتن این که بادهای غالب شهر بیرجند، عموماً در راستای باند ۲۶ قرار دارند، این باند مطابق جدول شماره ۳ بالاترین ارزش را داشته و جهت مخالف نشست و برخاست در آن حائز کمترین مطلوبیت است.

به طور کلی عوامل تأثیر گذار بر توسعه فرودگاه بیرجند شامل: عملیات خاکی ناشی از برخورد با سطوح بدون موانع پروازی، جهت باد، حریم اراضی شهری و کشاورزی، وضعیت هیدرولوژیکی منطقه، مشخصه‌های ابعادی باند و شیب باند هستند. بر اساس نتایج پیاده‌سازی، عوامل مذکور در بررسی‌های کارشناسی محدوده مطالعاتی مورد نظر تاثیر داشته و مواردی نظیر آلودگی صوتی و امنیت نیز قابل بررسی هستند. با توجه به اهمیت وزنی محاسبه شده برای هر عامل در جدول شماره ۱ مشخص می‌گردد که آلودگی صوتی و میزان امنیت منطقه تحت پوشش در حین نشست و برخاست هواپیما در قالب پارامتر کلی‌تری به نام حریم شهری قابل تعریف بوده و باعث می‌شوند که عامل مذکور (حریم شهری) اهمیت زیادی داشته باشد. همچنین حجم عملیات خاکی با توجه به هزینه‌های گزاف خاکبرداری و تأثیر قابل ملاحظه آن در سطح ایمنی فرودگاه در رتبه دوم اهمیت وزنی قرار می‌گیرد. مطالعه وضعیت هیدرولوژیکی فرودگاه بیرجند نشان می‌دهد که تاسیسات و آبروهای لازم جهت هدایت آب در هر باند موجود بوده و تقریبا فاصله یکسانی تا رودخانه فصلی شاهرود دارند. بنابراین ارزش این عامل برای دو گزینه در نظر گرفته شده یکسان است.

با توجه به پیچیدگی عوامل تأثیرگذار در توسعه فرودگاه‌ها

شاخص‌های دیگری مانند: کیفیت دسترسی به فرودگاه، وضعیت زیست محیطی، جنس خاک، خصوصیات زمین، مخاطرات طبیعی (مانند سیل و زلزله)، تأثیرات سیاسی–نظامی و مسائل اقتصادی نیز قابل مدل‌سازی هستند[Suau-Sanchez, Burghouwt and Pallares-Barbera, 2014]. هر یک از این عوامل و تأثیر آنها در نتایج، در گام‌های بعدی و با توجه به اهداف طرح جامع قابل بررسی هستند. در نهایت، پیاده‌سازی مدل تاپسیس به عنوان یک روش مؤثر در ارزیابی گزینه‌های مشخص، نشان می‌دهد که امکان توسعه آتی باند ۲۸ فراهم بوده و منطبق با نتایج طرح جامع است.

۵. نتیجه‌گیری

امروزه دانشمندان معتقدند که بدون ارائه زیرساخت‌های حمل‌ونقلی مناسب نمی‌توان پیشرفت اقتصادی یک کشور را تضمین کرد. بنابراین وجود شبکه‌های حمل‌ونقلی قوی و کارآمد به عنوان شریانهای اقتصادی کشورها بسیار حائز اهمیت است. احداث فرودگاه‌ها، به عنوان یکی از مهم‌ترین بازوان صنعت حمل‌ونقل و توسعه آنها در قالب فرآیندی هدفمند و جامع، از اهمیت خاصی برخوردار است و به منزله یکی از شاخص‌های مهم توسعه اقتصادی کشورهای پیشرفته محسوب می‌شود. بنابراین اجرای طرح‌های توسعه، برای افزایش ضریب ایمنی باندهای پرواز (به عنوان یکی از مهم‌ترین تأسیسات زیر بنایی فرودگاه‌ها)، به همراه ایجاد شرایط مناسب به منظور نشست و برخاست هواپیماهای بزرگ ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. از آنجا که که تحقق این هدف، مستلزم جمع‌آوری و تلفیق عوامل مکانی پیچیده و حجیم است، بکارگیری تکنیک‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در چارچوبی هدفمند منجر به تسهیل و تسریع حل مساله خواهد شد. علاوه بر این، پیاده‌سازی تکنیک‌های تصمیم‌گیری در محیطی مکانمند و با در نظر گرفتن تعاملات مکانی عوامل (به صورت روابط توپولوژیک) موجب ارائه نتایجی واقعی‌تر و دقیق‌تر برای تصمیم‌گیرندگان و مدیران خواهد شد. در این مقاله فرآیند ارزیابی جهات توسعه باندهای فرودگاهی، به کمک روش تاپسیس و با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات مکانی پیاده‌سازی شد. به این منظور عواملی چون: خصوصیات هندسی باندها (طول، عرض و شیب)، جهت باد، راستای باند، وضعیت پوشش گیاهی، شرایط هیدرولوژیکی، نزدیکی به اراضی شهری و وضعیت سطوح بدون مانع پروازی در نظر گرفته شدند. این عوامل طبق نظرات کارشناسی و با توجه به آلترناتیوهای معین در محدوده فرودگاه بیرجند، وزن‌دهی شده و پس از آماده‌سازی در محیط GIS به صورت توام تجزیه و تحلیل گردیدند. در نتیجه طراح خواهد توانست شرایط توسعه باندی را بر اساس استانداردهای ملی سنجیده و گزینه‌های بهینه را با دقت شناساسی کند. بررسی وضعیت هر یک از باندهای موجود در فرودگاه بیرجند (به کمک مدل تاپسیس)، نشان می‌دهد که باند ۲۸ با رتبه ۶۶/۰ بهترین گزینه و باند ۰۸ با رتبه ۲۴/۰ بدترین آلترناتیو هستند. علاوه بر این ارزیابی امتدادهای توسعه مبین آن است که سمت شرق مناسب‌ترین راستا و سمت جنوب غربی بدترین امتداد به منظور توسعه آتی باندهای فرودگاه بیرجند است.

۶. مراجع

– بیورانی، حسین و غفران، علی (۱۳۸۸) "تبیین و بکارگیری مدل تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS برای رتبه بندی مناطق مختلف شهری از منظر جرم و بزهکاری"، کارآگاه، سال دوم، شماره ۸، پائیز ۱۳۸۸، ص. ۱۲۸–۱۰۹.

– جهانبخش اصل، سعید، ساری صرافّ، بهروز و حسینی، عباس (۱۳۸۵) " ارزیابی امتداد باند پرواز فرودگاه اردبیل با تجزیه وتحلیل عنصر باد"، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۷، پائیز ۱۳۸۵، ص. ۱۱۳–۱۲۶.

- رجبی، محمدرضا، منصوریان، علی و طالعی، محمد (۱۳۹۰) "مقایسهٔ روشهای تصمیم گیری چند معیاره AHP ،AHP_OWA و FuzzyAHP_OWA برای مکان‌یابی مجتمع های مسکونی در شهر تبریز"، مجله محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۷، بهار ۹۰، ص. ۷۷-۹۲.

- دانشگاه صنعتی خواجه نصیر (۱۳۹۰) "گزارش تفصیلی طرح جامع توسعه فرودگاه بیرجند در محیط GIS" ، تهران، ایران.

-سقایی، محسن (۱۳۸۸) "تحلیلی بر تأثیر فرودگاه مهرآباد بر توسعه فعالیت های اقتصادی، صنعتی و گردشگری شهر تهران ۱۳۸۰- ۱۳۸۵"، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال اول، شماره ۳، زمستان ۱۳۸۸، ص. ۱۳۵-۱۵۰.

- صفارزاده، محمود و قائمی، علی (۱۳۸۲) " ارائه مدل ریاضی و کامپیوتری برای جلوگیری از برخورد عوارض با سطوح عاری از موانع فرودگاهها"، نشریه دانشکده مهندسی تربیت مدرس، سال پانزدهم، شماره ۲، ص. ۲۲۱-۲۳۶.

- نظریان، اصغر، قادری، اسماعیل و حقیقی، عبدالرضا (۱۳۸۹) "نقش حمل و نقل هوایی در توسعه صنعت توریسم با تاکید بر فرودگاه بین المللی ارومیه"، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیای انسانی، سال دوم، شماره ۳، تابستان ۱۳۸۹،ص. ۲۵- ۴۴.

- Ballis, A. (2003) "Airport Site Selection Based on Multi criteria Analysis: the Case Study of the Island of Samothraki", Operational Research, An International Journal, Vol.3, No.3, pp. 261-279.

- Behzadian, M., Khanmohammadi, S., Yazdani, M. and Ignatius, J. (2012) "A state of the art survey of TOPSIS applications", Expert Systems with Applications, Vol. 39, No. 17, pp. 13051-13069.

- Bentes, F. M., Heleno, T. A. and Slama, J. G. (2012) "Analysis of airport noise exposure around Viracopos International Airport using geographic information systems", Journal of Air Transport Management, In Press, Corrected Proof.

- Button, K., Clarke, A., Palubinskas, G., Stough, R. and Thibault, M. (2004) "Conforming with ICAO safety oversight standards", Journal of Air Transport Management, 10(4), pp. 249-255.

- Graham, A. (2008) "Managing Airports an international perspective", 3rd. Edition, Elsevier Ltd., University of Westminster, London, UK (ISBN: 978-0-7506-8613-6).

- Greaves, S. and Collins, A., (2007) "Disaggregate spatio-temporal assessments of population exposure to aircraft noise", Journal of Air Transport Management, 13, pp. 338-347.

- Postorino, M. N., Barrile, V. and Cotroneo, F. (2006) "Surface movement ground control by means of a GPS–GIS system". Journal of Air Transport Manage-

ment, 12, pp. 375-381.

- Suau-Sanchez, P., Burghouwt, G. and Pallares-Barbera, M. (2014) "An appraisal of the CORINE land cover database in airport catchment area analysis using a GIS approach", Journal of Air Transport Management, Vol. 34, pp. 12-16.

- Waheed Uddin, Gutelius, B. and Parrish, Ch. (2011) "Airborne laser survey specifications and quality management protocols for airport obstruction surveys", Transportation Research Record 2214, Journal of Transportation Research Board, pp.117-125.

- Waheed Uddin, Al-Turk, E. (2002) "Airport Obstruction space management using airborne LIDAR three-dimensional digital terrain mapping", Airport Technology Conference, Federal Aviation Administration, Atlantic City, New Jersey, May 5-8, 2002.

- Wenali, C., Jie, Y. and Meng, L. (2012) "Application of GIS/GPS in Shanghai Airport Pavement Management System", Procedia Engineering, Vol. 29, PP. 2322-2326.