

تحلیل عناصر آب و هوایی موثر بر ایمنی هوانوردی با رویکرد تغییر اقلیم (مطالعه موردی: فرودگاه های بین المللی اصلی ایران)

تاریخ دریافت مقاله: بهمن ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش مقاله: اسفند ۱۳۹۹

محمد خلیل نژاد^۱، رضا برنا^۲، منوچهر فرج زاده اصل^۳

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه جغرافیا، تهران، ایران

^۲ دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

^۳ استاد آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، گروه جغرافیا، تهران، ایران

نام نویسنده مسئول:

رضا برنا

چکیده

نتایج این پژوهش نشان می دهد که تا سال ۲۰۵۰ بر اساس سه سناریوی RCP_{2.6}، RCP_{4.5} و RCP_{8.5}، سمت وزش باد غالب در کلیه فرودگاه های بین المللی اصلی ایران به استثناء فرودگاه های تبریز و اصفهان (در RCP_{2.6} فاقد تغییرات است)، تغییر می یابد. همچنین سرعت وزش باد غالب نیز در کلیه فرودگاه های مورد مطالعه بر اساس سه سناریوی مزبور تا سال ۲۰۵۰، دارای تغییراتی خواهد بود و میزان وزش باد غالب در این فرودگاه ها با سرعت بیش از ۱۳ نات به صفر نزدیک می شود. از طرفی میانگین سرعت باد بر اساس سه سناریوی مورد مطالعه، در فرودگاه های تبریز، مشهد و یزد به ترتیب و حداقل ۰/۲۶، ۰/۰۷ و ۰/۰۹ متر بر ثانیه کاهش می یابد و در فرودگاه های مهرآباد، اصفهان، شیراز، زاهدان و بندرعباس به ترتیب و حداقل ۰/۲۵، ۰/۰۱، ۰/۷۶، ۰/۱۵ و ۰/۵۶ متر بر ثانیه افزایش می یابد.

در اثر تغییرات مزبور، ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه های تبریز، اصفهان و شیراز، در سه سناریوی مورد مطالعه با افزایش مواجه شده و در کمترین مقدار خود به ترتیب برابر با ۹۷/۳۲٪، ۹۹/۶٪ و ۹۹/۹۳٪ می شود. در حالی که این ضریب در فرودگاه های مهرآباد و یزد در سه سناریوی مزبور، با کاهش مواجه شده و در کمترین مقدار خود به ترتیب برابر با ۹۷/۸۳٪ و ۹۸/۶۷٪ می شود و در فرودگاه های مشهد، زاهدان و بندر عباس به ترتیب و فقط در سناریوهای RCP_{2.6}، RCP_{4.5} و RCP_{8.5}، با کاهش مواجه شده و در بقیه سناریوها افزایش می یابد و در کمترین مقدار خود به ترتیب برابر با ۹۵/۲۳٪، ۹۳/۲۲٪ و ۹۳/۳۷٪ می شود. باید توجه داشت که ضریب استفاده از باند موجود فرودگاه های زاهدان و بندر عباس به ترتیب در سناریوهای RCP_{8.5} و RCP_{2.6}، از حداقل ضریب استفاده از باند (۹۵٪)، کمتر است. بنابراین بر اساس این سناریوها در دو فرودگاه مزبور جهت تامین حداقل ضریب استفاده از باند، نیاز به احداث باند دیگری منطبق با جهت باد نایب غالب شناسایی شده در این سناریوها وجود دارد.

کلمات کلیدی: آب و هوا، تغییر اقلیم، باد غالب، فرودگاه های بین المللی اصلی ایران، ایمنی هوانوردی و ضریب استفاده از باند پرواز.

مقدمه

در مناطق مختلف جغرافیایی، عناصر آب و هوایی مختلفی بر ایمنی هوانوردی بویژه بر نشست و برخاست هواپیماها، تاثیرگذار هستند که از مهم ترین آنها می توان به سمت و سرعت باد در سطح زمین، میدان دید، نوع، مقدار و ارتفاع ابر، بارندگی، یخبندان، دما و فشار، اشاره کرد (Kumar 2006, 427). تاثیر عناصر آب و هوایی هر منطقه بر پرواز هواپیماها، یکی از مقوله های کاربردی آب و هوا است که همواره مدنظر برنامه ریزان حمل و نقل هوایی قرار دارد. حمل و نقل هوایی، بیش از سیستم های دیگر حمل و نقل با شرایط آب و هوایی ارتباط دارد (جهانبخش اصل و همکاران ۱۳۸۱). همچنین نامساعد بودن آب و هوا، عامل اصلی و یا حداقل یکی از عوامل موثر در وقوع ۲/۲۹٪ از سوانح هوانوردی است. بررسی ها نشان می دهد که یکی از هشت علت عمده رخ دادن این سوانح در گروهی، تحت عنوان "باد و ضعف در مقابله با آن" قرار دارد (ترولپ و جنسن، ۱۹۹۱، ۳۱). باید توجه داشت که سمت و سرعت وزش باد، نقش تعیین کننده ای در انجام یک پرواز ایمن دارد. زیرا نامساعد بودن جهت و سرعت باد، عامل اصلی و یا حداقل یکی از عوامل موثر در ۴۷٪ از کل سوانح هوانوردی مرتبط با آب و هوا است. سهم وضعیت های مختلف باد در سوانح هوانوردی ناشی از این پدیده به ترتیب عبارت از: باد جانبی (سمت وزش باد نسبت به مسیر پرواز و یا نسبت به جهت باند، دارای یک زاویه باشد): ۵۵٪، باد پشت: ۲۲٪، باد گاستی: ۸٪، ویند شیر: ۸٪، باد متغیر: ۵٪ و گرد باد: ۲٪ است (برنا و خلیل نژاد، ۱۳۹۸).

همان گونه که می دانیم، لازم است کلیه ی نشست و برخاست هواپیماها در وضعیت رو به باد (HeadWind) انجام شود. به جهت بادی که متضاد با جهت نشست یا برخاست هواپیما باشد، "باد روبرو یا باد مقابل" گویند. این باد نیروی بالابری بال ها را در هنگام برخاستن هواپیما افزایش داده و باعث می شود هواپیما زودتر از روی باند، بلند شود. به علاوه در هنگام فرود، باد روبرو به مانند ترمز برای هواپیما عمل کرده و باعث می شود هواپیما پس از طی طول کمتری از باند، متوقف شود. در نتیجه برخاستن و نشست هواپیما در وضعیت باد روبرو، به باند کوتاه تری نیاز دارد (بهبهانی و ایمانی ۱۳۷۶، ۷۱). بنابراین امتداد یا جهت باند فرودگاه ها بایستی به نحوی طراحی شود که هواپیماها هنگام نشست و برخاست با سر وارد جریان باد (HeadWind)، شوند. برای این منظور لازم است اطلاعات مربوط به باد از قبیل جهت، مدت و سرعت آن، حداقل برای یک دوره برگشت پنج ساله و ترجیحا ۱۰ ساله، مورد مطالعه قرار گرفته (بهبهانی و ایمانی ۱۳۷۶، ۳۷) و جهت باند پرواز در جهت وزش باد غالب منطقه، طراحی و ساخته شود. بر اساس توصیه سازمان ایکنائو، بایستی جهت گیری باند پرواز به نحوی انتخاب و طراحی شود که حداقل در ۹۵٪ پروازها، برای فرود و صعود قابل استفاده باشد که به آن ضریب استفاده ۹۵٪ گفته می شود (Annex 14, 2009, 1:p 3-1). به بیان دیگر، لازم است باند در امتدادی ساخته شود که برای ۹۵٪ پروازها، نشست و برخاست در وضعیت باد روبرو و یا باد جانبی با سرعت کمتر از ۱۳ نات، مقدور باشد (FAA, 2016, p 8-17). ممکن است در اثر تغییر اقلیم، جهت باد غالب محلی تغییر نماید و در نتیجه بادهای جانبی نسبت به باند موجود، افزایش یابد. در این شرایط اگر ضریب استفاده از باند در اثر افزایش بادهای جانبی کمتر از ۹۵٪ شود، نیاز به طراحی مجدد باندی دیگر به صورت متقاطع و یا غیر متقاطع با باند موجود، افزایش می یابد (Burbidge, 2016). بنابراین صنعت هوانوردی برای کاهش اثرات تغییر در الگوهای باد ناشی از تغییر اقلیم، نیازمند سرمایه گذاری های بیشتر در تجهیز وسایل پرنده جهت افزایش ایمنی پروازها است و ساخت باند جدید یا طراحی و ساخت فرودگاه های سازگارتر با تغییر اقلیم می تواند در خصوص عمل انطباق موثر واقع شود.

یکی از تاثیرات بالقوه و شناخته شده تغییر اقلیم بر هوانوردی، اثر تغییرات باد در انتخاب مسیر پرواز هواپیماها می باشد. اروین و همکاران در خصوص انتخاب مسیر پرواز بهینه، یادآور شده اند که پروازهای عبوری از فراز شمال اقیانوس اطلس از الگوی بادهای فوقانی این منطقه که از موقعیت های وزش رودبادهای قوی است، تاثیر پذیر هستند و غالب پروازهای رو به مشرق در این منطقه از مزایای باد پشت قوی رودبادهای، از قبیل کوتاه شدن مدت پرواز و کاهش مصرف سوخت بهره مند می شوند (Irvine et al, 2016). در خصوص اثرات تغییر اقلیم بر فرودگاه ها، تحقیقات باربیدج نشان می دهد که فرودگاه ها در اثر پیامدهای تغییر اقلیم، از نظر عملیاتی و کسب و کار در معرض مخاطره هستند. وی همچنین اشاره می کند، اثرات تغییر اقلیم بر فرودگاه ها شامل: تغییر در وضعیت باد، تغییر در میزان بارش، افزایش سطح آب دریا و طوفان، افزایش دما و بیشتر و شدیدتر شدن همرفت، می باشد (Burbidge, 2016). در مجموع همان گونه که مشاهده می گردد، عناصر آب و هوایی مختلفی بر ایمنی هوانوردی تاثیرگذار هستند. در این میان بیشترین تاثیر را وضعیت باد و به ویژه شرایط باد جانبی و تغییرات ناگهانی و لحظه ای باد بر ایمنی هوانوردی دارد. می توان چنین بیان نمود که تغییرات در وضعیت بادهای در اثر تغییر اقلیم، می تواند برای هواپیما مخاطره آمیز محسوب شده و باعث افزایش وضعیت از دست رفتن توازن و تعادل هواپیما در پرواز شود. به ویژه با توجه به اینکه امتداد و جهت باندهای پرواز ثابت می باشند، در نتیجه تغییرات در جهت وزش بادهای در اثر تغییر اقلیم، می تواند بیشترین تاثیر منفی را بر توازن و تعادل هواپیما در هنگام برخاستن از روی باند و یا فرود آن روی باند فرودگاه، در پی داشته باشد. بنابراین تاثیر تغییر اقلیم بر وضعیت بادهای و بطور مشخص بر جهت و یا سرعت وزش بادهای غالب در سطح زمین، مهم بوده و در این مطالعه به میزان تغییرات آنها تحت تاثیر تغییر اقلیم، پرداخته شده است.

مواد و روش ها

الف- داده های مورد استفاده

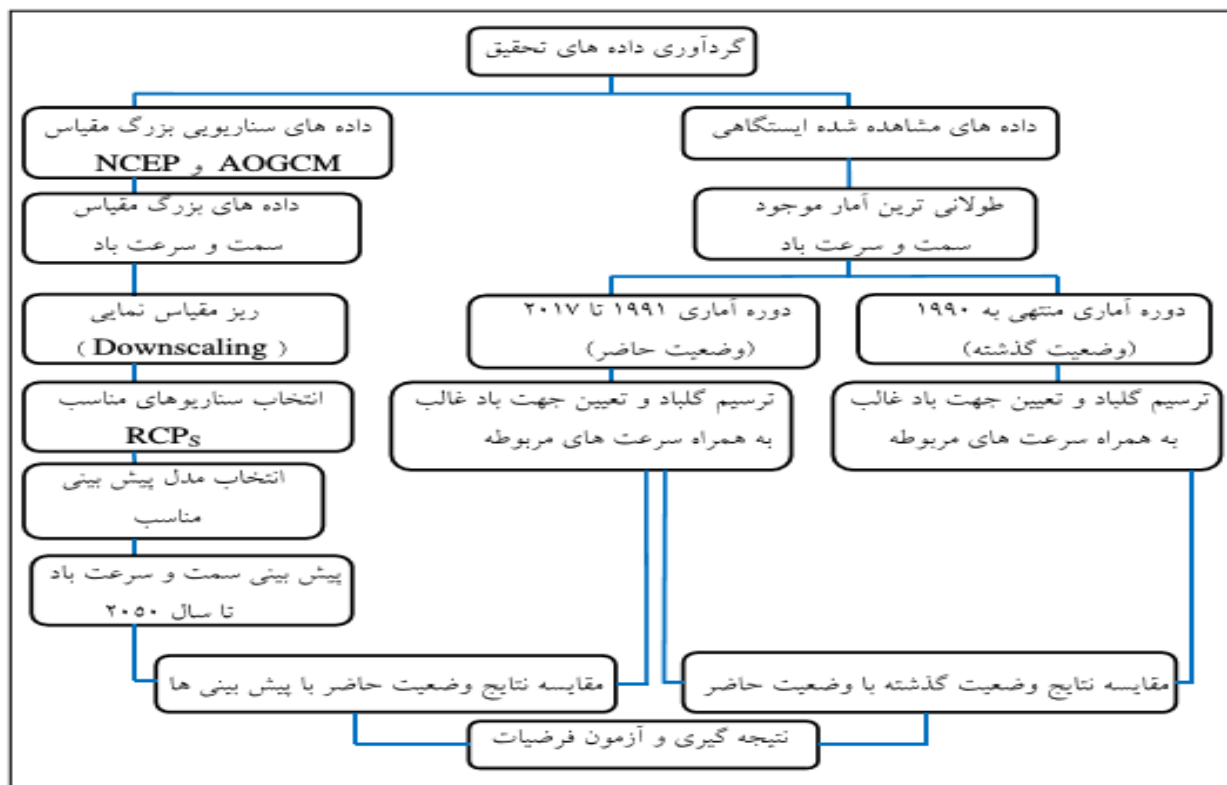
۱- داده های مشاهده شده: در پژوهش حاضر از داده های سه ساعته و روزانه سمت و سرعت وزش باد ایستگاه های تبریز، مشهد، مهرآباد، شرق اصفهان، یزد، شیراز، زاهدان و بندرعباس در دوره آماری از بدو تاسیس ایستگاه مربوطه تا سال ۲۰۱۷ استفاده شده است. داده های روزانه و سه ساعته سرعت باد از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید و داده های روزانه جهت باد با استفاده از روش میانگین مثلثاتی از داده های سه ساعته جهت باد که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است، تهیه گردید.

۲- داده های بزرگ مقیاس AOGCM و NCEP: این داده ها با توجه به مختصات جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه از پایگاه داده مدل های گردش عمومی جو کشور کانادا اخذ گردید. داده های بزرگ مقیاس مورد استفاده در این تحقیق، تحت سناریوهای RCP_s و مدل های گردش عمومی جو سری CMIP₅ و به طور مشخص مدل CanESM₂ و بر اساس سناریوهای RCP_{2.6}، RCP_{4.5} و RCP_{8.5} می باشد.

۳- آمار سوانح هوانوردی رخ داده بین سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ برای انواع هواپیماهای موجود، از طریق پایگاه اطلاعات سوانح هوانوردی متعلق به هیئت ایمنی حمل و نقل ملی ایالات متحده (NTSB)، اخذ گردید.

ب- روش شناسی تحقیق

در شکل شماره ۱، روند و مراحل انجام این تحقیق ارائه شده است. با توجه به این که در پژوهش حاضر داده های هشت ایستگاه همدید مطالعه می شود؛ بنابراین برای هر یک از ایستگاه های مزبور، این مراحل به صورت جداگانه انجام گردید.



شکل ۱: مراحل انجام تحقیق

ج- روش ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده ها

در پژوهش حاضر از روش های کمی، جهت تجزیه و تحلیل داده ها استفاده گردید. همچنین نرم افزارهای زیر نیز در این مطالعه، بکار گرفته شده است:

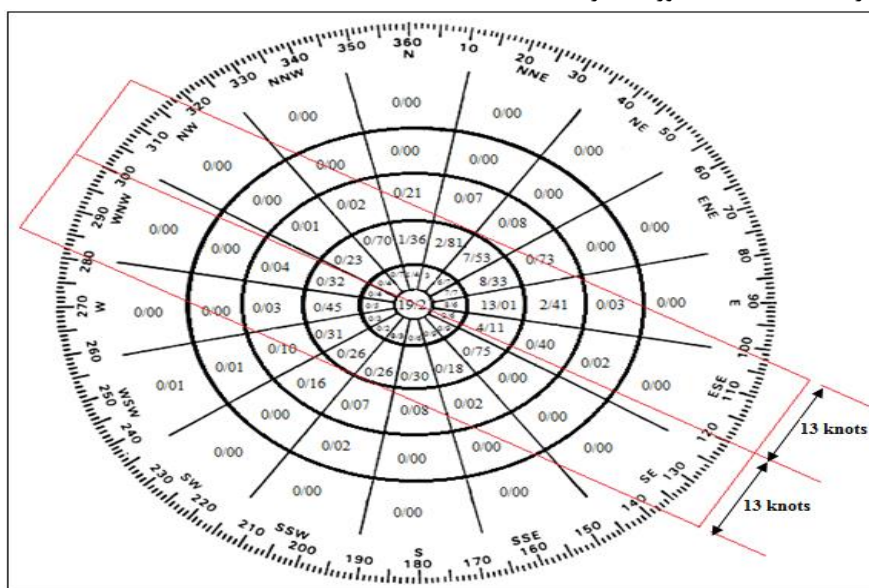
- ۱- نرم افزار Excel، برای ترسیم نمودارها و محاسبه میانگین روزانه جهت باد به روش میانگین مثلثاتی.
- ۲- نرم افزار Irimo Climate، برای آشکار سازی تغییرات اقلیمی.
- ۳- نرم افزار GIS، برای ترسیم نقشه.
- ۴- نرم افزار WRPLOT: با استفاده از این نرم افزار گلبادهای شانزده جهتی سه ساعته (در ساعات همدید ۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱) و روزانه برای سه دوره آماری از بدو تاسیس ایستگاه مربوطه تا سال ۱۹۹۰، ۲۰۱۷-۱۹۹۱ و ۲۰۵۰-۲۰۲۰، ترسیم گردید و با

بررسی این گلبادها؛ ویژگی های باد غالب در هر یک از ساعات همدید، مشخص گردید و با مقایسه نتایج سه دوره آماری مزبور، میزان تغییرات باد غالب بدست آمد.

۵- نرم افزار SDSM: برای ریز مقیاس نمایی و تبدیل مدل های گردش عمومی اقیانوس- اتمسفر (AOGCM) به مدل های منطقه ای آب و هوا (Reg CM)، از این نرم افزار استفاده گردید. نرم افزار SDSM قابلیت پیش بینی سرعت و جهت باد تا سال ۲۱۰۰ را دارا می باشد. ولی به جهت این که با افزایش مدت پیش بینی، خطای آن نیز افزایش می یابد؛ بنابراین در تحقیق حاضر جهت کاهش خطای مزبور به پیش بینی سرعت و جهت باد تا سال ۲۰۵۰ بسنده شده است.

د- محاسبه ضریب استفاده از باند

در این پژوهش ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه های بین المللی اصلی ایران در سه دوره آماری مورد مطالعه و با در نظر گرفتن داده های جانبی مجاز (۱۳ نات در ساعت) به روش FAA، محاسبه شده است. برای این منظور از گلبادهای قطبی^۱ شانزده جهتی استفاده گردید. درصد زمانی که باد با سرعت معین و در جهت معینی می وزد، بر روی این گلباد و در قطعه مربوطه نوشته می شود. برای محاسبه ضریب استفاده از باند فعلی این فرودگاه ها از یک نوار کاغذی شفاف (ترانسپارانس) که بر روی آن سه خط موازی به فواصل مساوی رسم شده است، استفاده گردید. خط میانی نشان دهنده خط مرکزی باند پرواز و فاصله دو خط طرفین از خط میانی معادل مقدار باد جانبی مجاز (۱۳ نات) را نشان می دهد. این نوار شفاف طوری روی گلباد قرار گرفت که خط میانی آن از مرکز گلباد گذشته و دو سر این خط در امتداد خط مرکزی باند پرواز فرودگاه مربوطه واقع شود. بدین ترتیب مجموع اعداد روی قطعه های واقع بین خطوط طرفین نوار شفاف (زیر سطح نوار شفاف)، محاسبه شد. در مواردی که قسمتی از یک قطعه زیر نوار شفاف و قسمتی خارج از آن واقع شود، در این صورت مقدار مربوطه متناسب با کل سطح قطعه محاسبه می گردد. اگر ضریب استفاده از باند موجود محاسبه شده کمتر از ۹۵٪ باشد، در این صورت لازم است؛ نوار شفاف دوم را طوری روی گلباد مزبور قرار دهیم که اکثر اعداد بیرون از نوار شفاف اول، داخل نوار شفاف باند دوم قرار گیرند. بدین ترتیب جهت مناسب باند دوم بدست می آید. در شکل شماره ۲ به طور نمونه، ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه تبریز (باند ۳۰-۱۲) در ساعت همدید ۰۳ دوره حاضر (۲۰۱۷-۱۹۹۱) محاسبه شده است.



شکل ۲: ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه تبریز در ساعت همدید ۰۳ (۲۰۱۷-۱۹۹۱)

محاسبات مربوط به ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه تبریز (باند ۳۰-۱۲) در ساعت همدید ۰۳ دوره حاضر به شرح زیر می باشد:

$$19/2 + 35/26 + 40/99 + 0/02 + 0/02 + 0/40 + 2/41 + 0/30 + 0/02 + 0/02 + 0/03 + 0/03 + 0/04 + 0/01 + 0/02 + 0/07 = 98/84$$

منبع: نگارندگان.

یافته های تحقیق

جهت تجزیه و تحلیل داده های مشاهده شده و پیش بینی شده سمت و سرعت وزش باد هشت ایستگاه فرودگاهی مورد مطالعه از گلبادهای شانزده جهتی استفاده شده است. با تجزیه و تحلیل گلبادهای مزبور، وضعیت سمت و سرعت باد غالب این فرودگاه ها در سه دوره آماری از بدو تاسیس ایستگاه مربوطه تا سال ۱۹۹۰، ۲۰۱۷-۱۹۹۱ و ۲۰۵۰-۲۰۲۰ مشخص گردید و با مقایسه نتایج سه دوره

^۱. Polar graph-Wind Roses

آماري مزبور، ميزان تغييرات باد غالب بدست آمد. براي محاسبه ضريب استفاده از باند موجود اين فرودگاه ها از گلبادهای ديگري به نام گلبادهای قطبي شانزده جهتي استفاده شده است.

فرودگاه تبريز:

دوره	جهت باد غالب	سرعت باد غالب					ضريب استفاده از باند موجود
		۱-۵ نات	۵-۱۳ نات	۱۳-۲۰ نات	۲۰-۲۵ نات	۲۵≥	
۱۹۵۱-۱۹۹۰	۹۰ درجه	٪۶/۴	٪۸/۹	٪۴/۷	٪۰/۳	٪۰/۲	٪۹۳/۹
۱۹۹۱-۲۰۱۷	۹۰ درجه	٪۶/۱	٪۱۰/۴	٪۲/۹	٪۰/۱	٪۰/۱	٪۹۴/۵۶
RCP _{2.6} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۹۰ درجه	٪۲/۸	٪۵/۷	٪۰/۱	۰	۰	٪۹۸/۷۵
RCP _{4.5} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۹۰ درجه	٪۳/۶	٪۶/۱	٪۰/۱	۰	۰	٪۹۸/۸۹
RCP _{8.5} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۹۰ درجه	٪۲/۹	٪۵/۸	٪۰/۱	۰	۰	٪۹۷/۳۲

فرودگاه مشهد:

دوره	جهت باد غالب	سرعت باد غالب					ضريب استفاده از باند موجود
		۱-۵ نات	۵-۱۳ نات	۱۳-۲۰ نات	۲۰-۲۵ نات	۲۵≥	
۱۹۵۱-۱۹۹۰	۱۸۰ درجه	٪۴/۲	٪۴/۴	٪۰/۳	۰	۰	٪۹۸/۱۲
۱۹۹۱-۲۰۱۷	۱۸۰ درجه	٪۴/۴	٪۴/۷	٪۰/۲	۰	۰	٪۹۷/۷۵
RCP _{2.6} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۶۷/۵ درجه	٪۸/۳	٪۹/۳	۰	۰	۰	٪۹۵/۲۳
RCP _{4.5} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۶۷/۵ درجه	٪۹/۵	٪۹/۳	۰	۰	۰	٪۹۹/۶۶
RCP _{8.5} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۴۵ درجه	٪۱۰/۱	٪۸/۵	۰	۰	۰	٪۹۹/۹۳

فرودگاه مهرآباد:

دوره	جهت باد غالب	سرعت باد غالب					ضریب استفاده از باند موجود
		۱-۵ نات	۵-۱۳ نات	۱۳-۲۰ نات	۲۰-۲۵ نات	۲۵≥	
۱۹۵۱-۱۹۹۰	۲۷۰ درجه	٪۱/۹	٪۶/۷	٪۴/۲	٪۰/۱۵	٪۰/۴	٪۹۸/۸۱
۱۹۹۱-۲۰۱۷	۲۷۰ درجه	٪۲/۱	٪۸/۸	٪۳/۸	٪۰/۱۶	٪۰/۳	٪۹۹/۱۱
۲۰۵۰- RCP _{2.6} ۲۰۲۰	۱۸۰ درجه	٪۲/۱	٪۷/۷	٪۰/۱	۰	۰	٪۹۸/۱۱
۲۰۵۰- RCP _{4.5} ۲۰۲۰	۲۲۵ درجه	٪۱/۹	٪۶/۶	۰	۰	۰	٪۹۸/۷۴
۲۰۵۰- RCP _{8.5} ۲۰۲۰	۲۰۲/۵ درجه	٪۲/۶	٪۸/۲	۰	۰	۰	٪۹۷/۸۳

فرودگاه اصفهان:

دوره	جهت باد غالب	سرعت باد غالب					ضریب استفاده از باند موجود
		۱-۵ نات	۵-۱۳ نات	۱۳-۲۰ نات	۲۰-۲۵ نات	۲۵≥	
۱۹۷۶-۱۹۹۰	۲۷۰ درجه	٪۲/۳	٪۹/۴	٪۱	٪۰/۱	٪۰/۱	٪۹۷/۶۷
۱۹۹۱-۲۰۱۷	۲۷۰ درجه	٪۳/۶	٪۸/۴	٪۱/۲	٪۰/۱	٪۰/۱	٪۹۷/۹۵
۲۰۵۰- RCP _{2.6} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۲۷۰ درجه	٪۳/۶	٪۱۳/۶	۰	۰	۰	٪۹۹/۷۸
۲۰۵۰- RCP _{4.5} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۲۲۵ درجه	٪۴/۵	٪۱۳/۸	۰	۰	۰	٪۹۹/۶
۲۰۵۰- RCP _{8.5} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۲۲۵ درجه	٪۴/۴	٪۱۶/۲	۰	۰	۰	٪۹۹/۸۶

فرودگاه یزد:

دوره	جهت باد غالب	سرعت باد غالب					ضریب استفاده از باند موجود
		۱-۵ نات	۵-۱۳ نات	۱۳-۲۰ نات	۲۰-۲۵ نات	۲۵≥	
۱۹۵۲-۱۹۹۰	۲۷۰ درجه	٪۱/۶	٪۷/۸	٪۱/۳	۰	٪۰/۱	٪۹۸/۲۴
۱۹۹۱-۲۰۱۷	۲۷۰ درجه	٪۳/۵	٪۷/۲	٪۰/۴	۰	۰	٪۹۸/۹
-۲۰۵۰ RCP _{2.6} ۲۰۲۰	۱۸۰ درجه	٪۴/۵	٪۴/۶	۰	۰	۰	٪۹۸/۸۷
-۲۰۵۰ RCP _{4.5} ۲۰۲۰	۱۸۰ درجه	٪۴/۷	٪۵/۲	۰	۰	۰	٪۹۸/۶۷
-۲۰۵۰ RCP _{8.5} ۲۰۲۰	۱۳۵ درجه	٪۵/۳	٪۴/۸	۰	۰	۰	٪۹۸/۶۷

فرودگاه شیراز:

دوره	جهت باد غالب	سرعت باد غالب					ضریب استفاده از باند موجود
		۱-۵ نات	۵-۱۳ نات	۱۳-۲۰ نات	۲۰-۲۵ نات	۲۵≥	
۱۹۵۱-۱۹۹۰	۲۷۰ درجه	٪۵	٪۶/۷	٪۱/۹	٪۰/۱	۰	٪۹۸/۳۶
۱۹۹۱-۲۰۱۷	۲۷۰ درجه	٪۲/۵	٪۵/۶	٪۱/۷	٪۰/۱	۰	٪۹۸/۹۸
RCP _{2.6} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۲۴۷/۵ درجه	٪۱۲/۹	٪۱۷/۸	۰	۰	۰	٪۹۹/۹۳
RCP _{4.5} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۲۴۷/۵ درجه	٪۱۲/۵	٪۱۷/۸	۰	۰	۰	٪۹۹/۹۴
RCP _{8.5} ۲۰۲۰-۲۰۵۰	۲۴۷/۵ درجه	٪۱۲/۸	٪۱۷/۴	۰	۰	۰	٪۹۹/۹۳

دوره	جهت باد غالب	سرعت باد غالب					ضریب استفاده از باند موجود
		۱-۵ نات	۵-۱۳ نات	۱۳-۲۰ نات	۲۰-۲۵ نات	۲۵≥	
۱۹۵۱-۱۹۹۰	۰ درجه	٪۱/۵	٪۱۰/۹	٪۳/۳	٪۰/۱	٪۰/۲	٪۹۴/۲۳
۱۹۹۱-۲۰۱۷	۰ درجه	٪۲/۷	٪۱۱/۴	٪۱/۵	۰	۰	٪۹۵/۰۲
۲۰۵۰- RCP _{2.6} ۲۰۲۰	۲۰۲/۵ درجه	٪۱/۴	٪۹/۱	۰	۰	۰	٪۹۸/۰۱
۲۰۵۰- RCP _{4.5} ۲۰۲۰	۱۸۰ درجه	٪۲/۴	٪۱/۱	۰	۰	۰	٪۹۸/۰۳
۲۰۵۰- RCP _{8.5} ۲۰۲۰	۱۸۰ درجه	٪۱/۷	٪۸/۱	۰	۰	۰	٪۹۳/۲۲

دوره	جهت باد غالب	سرعت باد غالب					ضریب استفاده از باند موجود
		۱-۵ نات	۵-۱۳ نات	۱۳-۲۰ نات	۲۰-۲۵ نات	۲۵≥	
۱۹۵۷-۱۹۹۰	۱۸۰ درجه	٪۱/۵	٪۱۲/۱	٪۲/۷	۰	۰	٪۹۸/۷۳
۱۹۹۱-۲۰۱۷	۱۸۰ درجه	٪۱/۸	٪۱۴/۷	٪۲/۴	۰	۰	٪۹۹/۱۷
۲۰۵۰- RCP _{2.6} ۲۰۲۰	۲۰۲/۵ درجه	٪۰/۳	٪۸/۴	۰	۰	۰	٪۹۳/۳۷
۲۰۵۰- RCP _{4.5} ۲۰۲۰	۰ درجه	٪۰/۲	٪۹/۲	۰	۰	۰	٪۹۹/۹۴
۲۰۵۰- RCP _{8.5} ۲۰۲۰	۹۰ درجه	٪۰/۲	٪۹/۶	۰	۰	۰	٪۹۹/۲۵

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان می دهد که تا سال ۲۰۵۰ بر اساس سه سناریوی RCP_{2.6}، RCP_{4.5} و RCP_{8.5}، سمت وزش باد غالب در کلیه فرودگاه های بین المللی اصلی ایران به استثناء فرودگاه های تبریز و اصفهان (در RCP_{2.6} فاقد تغییرات است)، تغییر می یابد. همچنین سرعت وزش باد غالب نیز در کلیه فرودگاه های مورد مطالعه بر اساس سه سناریوی مزبور تا سال ۲۰۵۰، دارای تغییراتی خواهد بود و میزان وزش باد غالب در این فرودگاه ها با سرعت بیش از ۱۳ نات به صفر نزدیک می شود. از طرفی میانگین سرعت باد بر اساس سه سناریوی مورد مطالعه، در فرودگاه های تبریز، مشهد و یزد به ترتیب و حداقل ۰/۲۶، ۰/۰۷ و ۰/۰۹ متر بر ثانیه کاهش می یابد و در

فرودگاه های مهرآباد، اصفهان، شیراز، زاهدان و بندرعباس به ترتیب و حداقل ۰/۲۵، ۰/۰۱، ۰/۷۶، ۰/۱۵ و ۰/۵۶ متر بر تانیه افزایش می یابد.

در اثر تغییرات مزبور، ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه های تبریز، اصفهان و شیراز، در سه سناریوی مورد مطالعه با افزایش مواجه شده و در کمترین مقدار خود به ترتیب برابر با ۰/۹۷/۳۲، ۰/۹۹/۶ و ۰/۹۹/۹۳ می شود. در حالی که این ضریب در فرودگاه های مهرآباد و یزد در سه سناریوی مزبور، با کاهش مواجه شده و در کمترین مقدار خود به ترتیب برابر با ۰/۹۷/۸۳ و ۰/۹۸/۶۷ می شود و در فرودگاه های مشهد، زاهدان و بندر عباس به ترتیب و فقط در سناریوهای RCP_{2.6}، RCP_{8.5} و RCP_{2.6}، با کاهش مواجه شده و در بقیه سناریوها افزایش می یابد و در کمترین مقدار خود به ترتیب برابر با ۰/۹۵/۲۳، ۰/۹۳/۲۲ و ۰/۹۳/۳۷ می شود. باید توجه داشت که ضریب استفاده از باند موجود فرودگاه های زاهدان و بندر عباس به ترتیب در سناریوهای RCP_{2.6} و RCP_{8.5}، از حداقل ضریب استفاده از باند (۰/۹۵)، کمتر است. بنابراین بر اساس این سناریوها در دو فرودگاه مزبور جهت تامین حداقل ضریب استفاده از باند، نیاز به احداث باند دیگری منطبق با جهت باد نایب غالب شناسایی شده در این سناریوها وجود دارد.

پیشنهادهای

۱- در پژوهش حاضر به تاثیر تغییرات سمت و سرعت باد غالب در سطح زمین بر ایمنی نشست و برخاست هواپیما در فرودگاه های بین المللی اصلی ایران پرداخته شده است. در این راستا پیشنهاد می شود؛ در خصوص تغییرات دیگر عنصر باد در ارتفاع پایین (سطح زمین) نظیر باد گاستی، ویندشیر و باد متغیر در فرودگاه های مزبور مطالعه شود.

۲- در خصوص تغییرات عناصر آب و هوا نظیر افزایش دما، یخبندان، تغییر در میزان بارش، تغییر در میزان ابرناکی، تغییرات فشار، افزایش وقوع و شدت توربولانس هوای صاف، بالا آمدن سطح آب دریا (در فرودگاه بندرعباس) و عواملی که در کاهش میدان دید تاثیر دارند از قبیل انواع مه، انواع بارندگی ها، گرد و خاک و غبار در فرودگاه های بین المللی اصلی ایران، مطالعات کاربردی بیشتری مورد نیاز است.

منابع و مراجع

- ۱- برنا، رضا و محمد خلیل نژاد. ۱۳۹۸. بررسی نقش عناصر آب و هوا در سوانح هوانوردی. دومین کنفرانس ملی هوانوردی عمومی، پژوهشگاه هوافضا. فردوس، ۲۳ تا ۲۵ بهمن ۱۳۹۸.
- ۲- بهبهانی، حمید و مختار ایمانی. ۱۳۷۶. طرح و محاسبه فرودگاه. تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ چهارم.
- ۳- ترولپ، استنلی آر. و ریچارد اس. جنسن. ۱۹۹۱. عوامل انسانی در هواپیمایی عمومی. ترجمه ی علی اکبر پژوهان منش. تهران: دفتر تحقیقات کاربردی هواپیمایی ناجا.
- ۴- جهانبخش اصل، سعید. خورشیددوست، علی محمد و عباس حسینی. ۱۳۸۱. باد عامل تأثیرگذار در طراحی و احداث فرودگاه (مطالعه موردی فرودگاه میانه). فضای جغرافیایی، شماره ۶، صص ۱ تا ۱۸.
- ۵- پایگاه داده های مدل های گردش عمومی جو، کشور کانادا، دسترسی اینترنتی:

<http://www.ccsn.ec.gc.ca/index.php?page=dst-sdi>

- ۶- پایگاه اطلاعات سوانح هوانوردی، متعلق به هیئت ایمنی حمل و نقل ملی ایالات متحده امریکا (NTSB)، دسترسی اینترنتی:
- https://www.nts.gov/_layouts/nts.aviation/index.aspx

- 7- Burbidge, Rachel. 2016. Adapting European airports to a changing climate. 6th Transport Research Arena, April 18-21, 2016, pp 14-23. <doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.036>. Accessed on 25/08/2018.
- 8- Federal Aviation Administration (FAA). 2016. Airplane Flying Handbook. U.S. Department of Transportation, available at: < www.faa.gov/library/manuals/aviation >.
- 9- International Civil Aviation Organization (ICAO). July 2009. Annex 14: Aerodromes, Volume I, Aerodrome Design and Operations. Fifth edition.
- 10- Irvine, Emma A .Shine, Keith P and Stringer, Marc A .2016. What are the implications of climate change for trans-Atlantic aircraft routing and flight time?. Transportation Research, Part D: Transport and Environment, Volume 47, pp 44-53. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2016.04.014>>. Accessed on 11/05/2018.
- 11- Kumar, Bharat. 2006. An Illustrated Dictionary of Aviation. Indian, New Delhi, Tata McGraw-Hill publishing company.