

## مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر ضریب استفاده از باند فرودگاه به روش FAA.

### مورد مطالعه: فرودگاه زاهدان

محمد خلیل نژاد<sup>۱</sup>، رضا برنا<sup>۲\*</sup>، منوچهر فرج زاده اصل<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری تخصصی آب و هواشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

<sup>۳</sup> استاد گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۱

#### چکیده

در مقاله حاضر با استفاده از گلبادهای قطبی شانزده جهت، ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه زاهدان (باند ۳۵-۱۷) در دو دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۷ و ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و با در نظر گرفتن بادهای جانبی مجاز (۱۳ نات در ساعت) به روش FAA محاسبه شد. در این راستا با بکارگیری نرم‌افزار SDSM و مدل CanESM<sub>2</sub> و بر اساس سه سناریوی RCP<sub>2.6</sub>، RCP<sub>4.5</sub> و RCP<sub>8.5</sub>، سمت و سرعت وزش باد ایستگاه زاهدان تا سال ۲۰۵۰ مورد مطالعه قرار گرفت و با استفاده از نرم افزار WRPLOT گلبادهای شانزده جهت روزانه برای دوره‌های آماری مزبور ترسیم گردید. نتایج نشان می‌دهد که ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه زاهدان در دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۷ برابر با ۰.۹۵٪ است. همچنین پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰، ضریب استفاده از باند فعلی این فرودگاه در دو سناریوی RCP<sub>2.6</sub> و RCP<sub>4.5</sub> به ترتیب با ۰.۲/۲٪ و ۰.۱/۳٪ افزایش مواجه شده و به بیش از ۰.۹۸/۰۱٪ می‌رسد. در حالی که ضریب مزبور در RCP<sub>8.5</sub> با ۰.۱/۱٪ کاهش مواجه شده و برابر با ۰.۹۳/۲۲٪ می‌شود که از حداقل ضریب استفاده از باند (۰.۹۵٪)، کمتر است. بنابراین بر اساس سناریو RCP<sub>8.5</sub> در فرودگاه زاهدان جهت تامین حداقل ضریب استفاده از باند، نیاز به احداث باند دیگری منطبق با جهت باد نایب غالب شناسایی شده در این سناریو (۱۳۵ درجه) وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی:** آب و هوا، تغییر اقلیم، باد، ضریب استفاده از باند پرواز، فرودگاه زاهدان.

#### مقدمه

اقلیمی شده و ضرورت ایجاب می‌کند که باند دیگری به صورت متقاطع و یا غیر متقاطع (به صورت V شکل باز) و در جهت باد غالب دوم ساخته شود (صافزارزاده و همکاران ۱۳۹۳: ۲۵۹). بر اساس توصیه سازمان ایکائو (ICAO<sup>۳</sup>) بهتر است، امتداد یا جهت باند پرواز به نحوی انتخاب و طراحی شود که حداقل در ۰.۹۵٪ پروازها، برای فرود و صعود قابل استفاده باشد که به آن ضریب استفاده ۰.۹۵٪ گفته می‌شود (Annex 14, 3-1: 2009). به بیان دیگر لازم است باند پرواز در جهت و امتدادی ساخته شود که برای ۰.۹۵٪ پروازها، نشست و یا برخاست در وضعیت باد روبرو و یا باد جانبی<sup>۴</sup> با سرعت و جهت مجاز (معین)، مقدور باشد.

امتداد یا جهت گیری باند فرودگاه‌ها بایستی به نحوی طراحی شود که هواپیما هنگام نشست و برخاست با سر وارد جریان باد (Head Wind)، شود. برای این منظور لازم است اطلاعات مربوط به عنصر باد از قبیل جهت، مدت و سرعت آن، حداقل برای یک دوره برگشت پنج ساله و ترجیحاً ۱۰ ساله، مورد مطالعه قرار گیرد (بهبهانی و ایمانی ۱۳۷۶: ۳۷) و امتداد باند پرواز در جهت وزش باد غالب منطقه، طراحی و ساخته شود. از طرفی در برخی مناطق، عدم وجود باد غالب در یک فصل، باعث ایجاد محدودیت

\*نویسنده مسئول: bornareza@yahoo.com

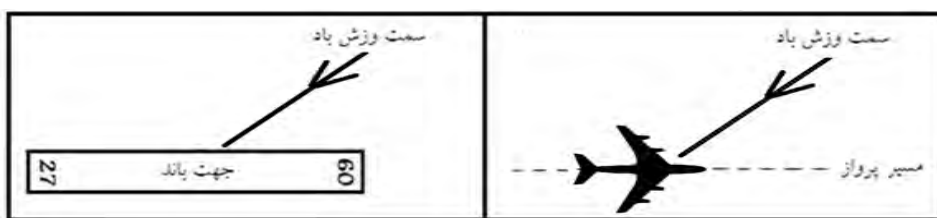
۲. به جهت بادی که متضاد با جهت نشست یا برخاست هواپیما باشد، باد روبرو یا باد مقابل گویند.

3. International Civil Aviation Organization

4. Crosswind

باد پهلو گفته می‌شود که در شکل ۱، نشان داده شده است (Kumar 2006: 190).

اگر سمت وزش باد نسبت به مسیر پرواز و یا نسبت به جهت باند، دارای یک زاویه باشد به آن باد جانبی یا



شکل ۱: باد جانبی یا باد پهلو (Crosswind).

منبع (Kumar, 2006: 190)

استفاده از باند در اثر افزایش وزش بادهای جانبی کمتر از ۹۵٪ شود، نیاز به طراحی مجدد باندی دیگر به صورت متقاطع و یا غیر متقاطع با باند موجود، افزایش می‌یابد (Burbidge, 2016).

#### پیشینه تحقیق

مطالعات کوتس و ریتولد<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) نشان می‌دهد که تغییر در بادهای سطوح فوقانی به ویژه تغییر در رودبادها، ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند بر صنعت هوانوردی تاثیر گذار باشد. به طوری که تغییر در موقعیت و قدرت رودبادها می‌تواند بر وقوع بادهای شدید و تغییرپذیری جهت باد در فرودگاه‌ها تاثیر گذاشته و از این طریق می‌تواند ظرفیت باندها را تغییر دهد. ویلیامز و جوشی<sup>۴</sup> (۲۰۱۳) به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر وقوع پدیده توربولانس هوای صاف در شرایط دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که تا سال ۲۰۵۰ در مختصات جغرافیایی ۵۰ تا ۷۵ درجه شمالی و ۱۰ تا ۶۰ درجه غربی، شدت وقوع این پدیده به میزان ۱۰ تا ۴۰ درصد و نرخ تناوب وقوع آن ۴۰ تا ۱۷۰ درصد افزایش می‌یابد. تحقیق باربیدج<sup>۵</sup> (۲۰۱۶) نشان می‌دهد که یکی از اثرات کلیدی تغییر اقلیم بر فرودگاه‌های قاره اروپا، تغییر در الگو و وضعیت باد است. به طوری که با تغییر سمت بادهای غالب محلی در اثر تغییر اقلیم، وزش بادهای زاویه دار (باد جانبی)

خاطر نشان می‌گردد که هواپیما زمانی می‌تواند با ایمنی کافی نشست و برخاست نماید که باد جانبی وارده بر مسیر پرواز از حد معینی بیشتر نشود. حداکثر باد جانبی مجاز بستگی به ابعاد هواپیما، شکل و ترکیب بال‌ها و کیفیت سطح روسازی باند دارد (صفارزاده و همکاران ۱۳۹۳: ۲۷۲). سازمان هوانوردی کشوری آمریکا (FAA<sup>۱</sup>) حداکثر باد جانبی مجاز برای نشست و برخاست هواپیما را ۱۳ نات (۱۵ مایل در ساعت) تعیین نموده است (FAA, 2016: 8-17). بر این اساس در پژوهش حاضر بادهای جانبی با سرعت کمتر از ۱۳ نات در ساعت، مجاز در نظر گرفته شده است.

در خصوص تاثیر تغییر اقلیم بر فرودگاه‌ها، نتایج مطالعات نشان می‌دهد که فرودگاه‌ها در اثر پیامدهای تغییر اقلیم از نظر عملیاتی و کسب و کار در معرض مخاطره هستند. به علاوه اثرات تغییر اقلیم بر هوانوردی شامل تغییر در الگوهای باد، تغییر در میزان بارش، بالا آمدن سطح آب دریا و امواج بلند طوفان، افزایش دما و بیشتر و شدیدتر شدن همرفت، می‌باشد (Burbidge 2016). باید توجه داشت که تغییر در الگوهای باد می‌تواند بر ضریب استفاده از باند<sup>۲</sup> تاثیر گذار باشد. همان گونه که بیان شد؛ باندهای پرواز در امتداد جهت باد غالب محلی ساخته می‌شوند. ولی ممکن است در اثر تغییر اقلیم، جهت باد غالب محلی تغییر نماید و در نتیجه وزش بادهای جانبی نسبت به باند موجود، بیشتر شود. در این شرایط اگر ضریب

3. Koetse and Rietveld  
4. Williams and Joshi  
5. Burbidge

1. Federal Aviation Administration  
2. Usability factor of runway

می دهد که باند دوم این فرودگاه به دلیل موانع طبیعی موجود، با اندکی تفاوت از جهت گیری‌های مناسب شناسایی شده در این پژوهش و با جهت گیری ۰۷-۲۵ ساخته شده است (AIP 2018, p AD2 OITL ADC1).

### مواد و روش‌ها

#### الف- داده‌های مورد استفاده در این تحقیق

**عبارتند از:** ۱- داده‌های مشاهده شده جهت و سرعت باد: در پژوهش حاضر از داده‌های روزانه جهت و سرعت باد ایستگاه زاهدان در دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۱ استفاده شده است. داده‌های روزانه سرعت باد از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. با توجه به این که داده‌های روزانه جهت باد توسط سازمان مزبور تهیه نمی شود، بر این اساس داده‌های روزانه جهت باد با استفاده از روش میانگین مثلثاتی از داده‌های سه ساعته جهت باد ایستگاه زاهدان که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است، تهیه گردید.

۲- داده‌های بزرگ مقیاس AOGCM و NCEP (داده‌های سناریویی): این داده‌ها با توجه به مختصات جغرافیایی ایستگاه زاهدان از پایگاه داده مدل‌های گردش عمومی جو کشور کانادا به آدرس اینترنتی <http://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred-canesm2> اخذ گردید. داده‌های بزرگ مقیاس مورد استفاده در این تحقیق، تحت سناریوهای RCPs و مدل‌های گردش عمومی جو سری CMIP<sub>5</sub> و به‌طور مشخص مدل CanESM<sub>2</sub> و بر اساس سناریوهای RCP<sub>2.6</sub>، RCP<sub>4.5</sub> و RCP<sub>8.5</sub> می باشد.

برای ریزمقیاس نمایی این داده‌ها از نرم افزار SDSM استفاده گردید. این نرم افزار از داده‌های روزانه مشاهده شده ایستگاهی در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ استفاده نموده و تغییرات آب و هوایی را برای دوره آماری ۲۱۰۰-۲۰۰۶ برآورد می نماید. همان طور که اشاره شد، این نرم افزار قابلیت پیش بینی سرعت و جهت باد تا سال ۲۱۰۰ را دارا می‌باشد. ولی به جهت این که با افزایش مدت پیش بینی، خطای آن نیز افزایش می یابد؛ بنابراین در تحقیق حاضر جهت

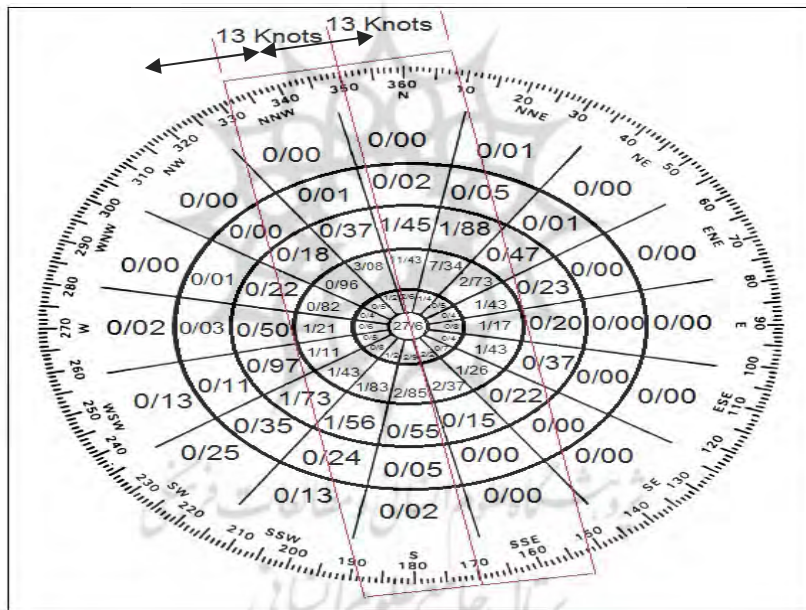
با امتداد باندهای پرواز، بیشتر شده و نیاز به احداث باند متقاطع افزایش می‌یابد. لویز<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) در تحقیقی به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر فرودگاه‌های کشور فرانسه پرداخت. وی یادآور شده است که در فرودگاه‌های این کشور، تغییر محسوس در میانگین سمت و سرعت باد، مورد انتظار است و تغییرات دراز مدت در سمت بادهای، امکان تاثیر منفی بر قابلیت استفاده از باند را در پی دارد.

جهانبخش اصل، خورشید دوست و حسینی (۱۳۸۱) به مطالعه داده‌های جهت و سرعت باد ایستگاه میانه پرداختند. ایشان با ترسیم گلبادهای ۸ جهتی، بادهای غالب این ایستگاه را شناسایی نموده و از این طریق امتداد و یا جهت گیری مناسب برای باند فرودگاه این شهر را که پیش‌بینی می‌شود در آینده طراحی و ساخته شود، محاسبه نمودند. جهانبخش اصل، ساری صراف و حسینی (۱۳۸۵) به مطالعه داده‌های سه ساعته سمت و سرعت باد فرودگاه اردبیل پرداختند. آنها با استفاده از گلبادهای شانزده جهتی، بادهای غالب این فرودگاه را شناسایی نمودند. ایشان نشان دادند که جهت گیری مناسب برای باند این فرودگاه به ترتیب ۲۳-۰۵ و ۲۴-۰۶ با در نظر گرفتن بادهای جانبی مجاز (۱۳ نات در ساعت) می‌باشد. این تحقیق در حالی صورت گرفت که جهت گیری باند موجود این فرودگاه ۳۳-۱۵ بود و ۸۰ تا ۹۰ درجه از جهت‌های مناسب شناسایی شده، اختلاف وجود داشت. این اختلاف باعث می شد که نشست و برخاست هواپیماها در باند مزبور، اغلب در شرایط وجود باد جانبی انجام شود. این موضوع، مشکلاتی برای نشست و برخاست هواپیماها در باند این فرودگاه به همراه داشت و نیاز به تغییر جهت باند موجود یا احداث باند دیگری با یکی از جهت گیری‌های مناسب شناسایی شده، ضروری به نظر می رسید. لازم به ذکر است که باند دوم فرودگاه اردبیل برای برطرف نمودن مشکل وزش بادهای جانبی مستمر در سال ۱۳۸۵، طراحی و به بهره برداری رسید (روزنامه دنیای اقتصاد، ۱۳۸۵). همچنین بررسی اسناد موجود در AIP نشان

کاهش خطای مزبور به پیش‌بینی سرعت و جهت باد تا سال ۲۰۵۰ بسنده شده است.

**ب- محاسبه ضریب استفاده از باند:** ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه زاهدان در دو دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۱ و ۲۰۵۰-۲۰۲۰ محاسبه شد. برای این منظور، از یک نوع سیستم مختصات قطبی گلباد (شکل شماره ۲) که مختص محاسبات ضریب استفاده از باند پرواز است، استفاده گردید. در واقع این گلباد استاندارد شامل یک رشته دایره‌های هم مرکز است که با خطوط شعاعی متقارن قطع شده‌اند. خطوط شعاعی مزبور نشان دهنده میزان بزرگی و سرعت باد است، چنان که فضای بین هر دو خط

شعاعی متوالی نشان‌دهنده جهت باد است (صفارزاده و همکاران ۱۳۹۳، ۲۰۲۳:۱). در این مطالعه از گلبادهای قطبی شانزده جهتی استفاده شده است که در آنها دایره مرکزی گلباد، مقدار بادهای آرام کمتر از ۱ نات در ساعت را نشان می‌دهد. دایره اول، درصد بادهای با سرعت ۱ تا ۵ نات را نشان می‌دهد. دایره دوم، حداکثر سرعت باد جانبی مجاز بر محور باند را نشان می‌دهد. در این پژوهش، بادهای جانبی با سرعت کمتر از ۱۳ نات در ساعت، مجاز در نظر گرفته شده است (FAA, 2016, p 8-17). دایره سوم، به بادهای با حداکثر سرعت ۲۰ نات، دایره چهارم به بادهای با حداکثر سرعت ۲۵ نات و دایره پنجم به بادهای با سرعت بیش از ۲۵ نات اختصاص یافته است.



شکل ۲: ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه زاهدان (باند ۳۵-۱۷) در دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۱. (منبع: نگارندگان)

محاسبات مربوط به ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه زاهدان در دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۱ به شرح زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned}
 & ۲۷/۵۹ + ۱۷/۱۶ + ۴۲/۵۲ + ۰/۰۲ + ۰/۰۸ + ۰/۱۷ + ۰/۳۷ + ۱/۴۵ + ۱/۸۰ + ۰/۱۸ + ۰/۰۱ + ۰/۰۳ + ۰/۰۲ \\
 & + ۰/۰۱ + ۰/۰۴ + ۰/۷۷ + ۱/۵۲ + ۰/۵۵ + ۰/۱۵ + ۰/۲۰ + ۰/۱۴ + ۰/۰۱ + ۰/۰۵ + ۰/۱۴ + ۰/۰۲ + ۰/۰۲ \\
 & = ۹۵/۰۲
 \end{aligned}$$

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 (با مقیاس) نشان می‌دهد. این نوار شفاف طوری روی گلباد قرار گرفت که خط میانی آن از

درصد زمانی که باد با سرعت معین و در جهت معینی می‌وزد، بر روی این گلباد و در قطعه مربوطه نوشته می‌شود. برای محاسبه ضریب استفاده از باند فعلی این فرودگاه (باند ۳۵-۱۷) از یک نوار کاغذی شفاف (ترانسپارانتی) که بر روی آن سه خط موازی

۳- آزار و سروصدا: در صورتی که باند پرواز در امتداد مناطق مسکونی و مناطق عمومی طوری واقع شود که این مناطق در محدوده برخاست هواپیماها واقع گردند، تعدیل جهت باند پرواز در صورت پایین بودن شدت باد مناسب می‌باشد (بهبهانی و ایمانی ۱۳۷۶: ۸۰).

### یافته‌های تحقیق

جهت محاسبه ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه زاهدان (باند ۳۵-۱۷)، ابتدا داده‌های سمت و سرعت باد ایستگاه فرودگاهی زاهدان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این راستا از نتایج گلبادهای شانزده جبهتی روزانه دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۱ و گلبادهای مربوط به سه سناریوی RCP<sub>2.6</sub>، RCP<sub>4.5</sub> و RCP<sub>8.5</sub> در دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۵۰ استفاده گردید. گلبادهای مزبور در جدول شماره ۱، ارائه شده است. با تجزیه و تحلیل گلبادهای مندرج در این جدول، وضعیت تغییرات سمت و سرعت باد این فرودگاه تا سال ۲۰۵۰ مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه گردید. در ادامه به تشریح جدول‌های موصوف پرداخته شده است.

الف- بر اساس جدول ۲ و با مقایسه سرعت وزش بادهای ایستگاه فرودگاهی زاهدان در دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۱ نسبت به دوره پیش‌بینی (۲۰۵۰-۲۰۲۰) تغییراتی به شرح زیر قابل ذکر است:

۱- تغییراتی که تا سال ۲۰۵۰ در سرعت وزش

بادهای این ایستگاه رخ می‌دهد؛ در هر سه سناریوی مورد مطالعه تا حدودی مشابه است.

۲- پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که بادهای آرام این ایستگاه در هر سه سناریوی مورد مطالعه حدود ۲۷/۶٪ کاهش می‌یابد و به صفر نزدیک می‌شود.

۳- بادهای با سرعت ۵-۱ نات در هر سه سناریوی مورد مطالعه با کاهش مواجه می‌شود. بیشترین کاهش در RCP<sub>8.5</sub> برابر با ۳/۷٪ و کمترین کاهش در RCP<sub>4.5</sub> برابر با ۲/۶٪ است.

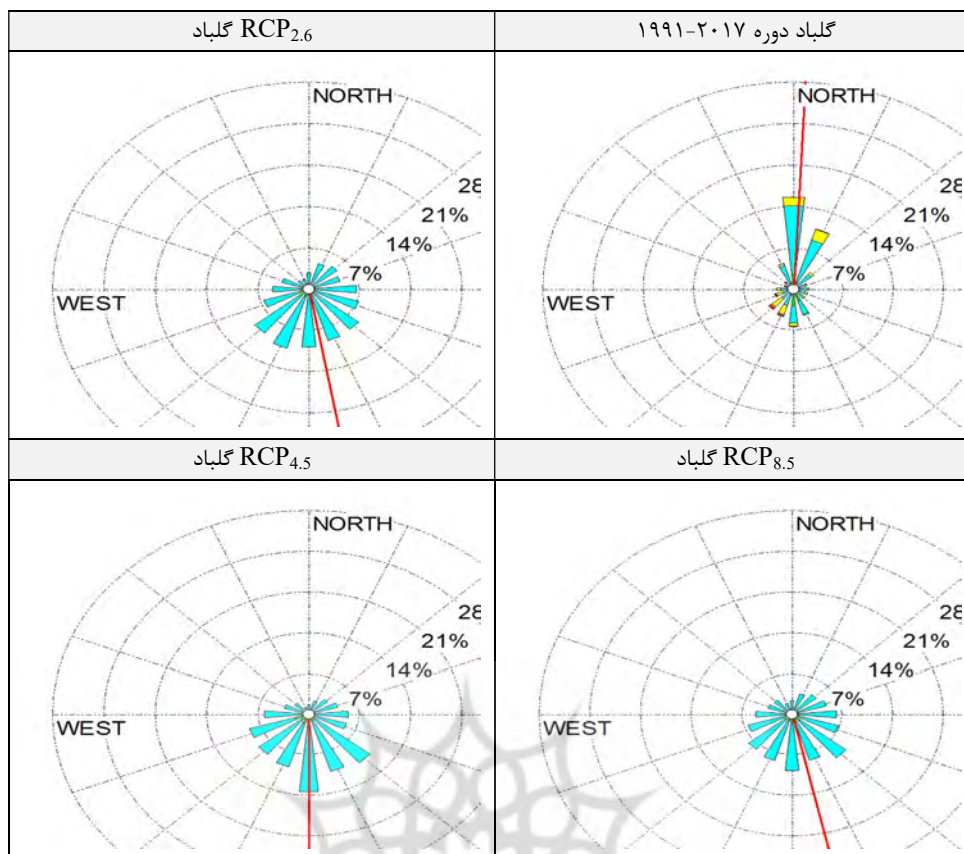
مرکز گلباد گذشته و دو سر این خط روبروی ۱۷۰ درجه و ۳۵۰ درجه واقع شود. بدین ترتیب مجموع اعداد روی قطعه‌های واقع بین خطوط طرفین نوار شفاف (زیر سطح نوار شفاف)، محاسبه شد. در مواردی که قسمتی از یک قطعه زیر نوار شفاف و قسمتی خارج از آن واقع شود، در این صورت مقدار مربوطه متناسب با کل سطح قطعه محاسبه می‌گردد. در شکل ۲، به‌طور نمونه، ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه زاهدان (باند ۳۵-۱۷) در دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۱، محاسبه شده است.

همان‌گونه که بیان شد، ضریب استفاده از باند فرودگاه بایستی حداقل ۹۵٪ باشد. یعنی سطح زیر نوار شفاف دارای پوشش ۹۵٪ باشد. بر این اساس اگر ضریب استفاده از باند موجود محاسبه شده کمتر از میزان مزبور باشد، نیاز به طراحی و ساخت باند دیگری به‌صورت متقاطع و یا غیر متقاطع با باند موجود، افزایش می‌یابد. 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 می‌آید. باید توجه داشت که اگر مجموع ضرایب استفاده از باند اول و دوم (سطح زیر نوار شفاف اول بعلاوه سطح زیر نوار شفاف دوم به استثناء قسمت مشترک) ۹۵٪ و یا بیشتر شود، کافی خواهد بود. در غیر این صورت محاسبه جهت مناسب برای باند سوم بررسی خواهد شد.

البته ممکن است قرار گرفتن باند پرواز به‌طور کامل در جهت تعیین شده بوسیله گلباد به روش پیش گفته، امکان پذیر نباشد. در این صورت تعدیل جزئی در جهت تعیین شده به علت دلایل زیر الزامی است:

۱- موانع: برای پیاده کردن باند پرواز، موجود نبودن موانع مهم تر از باد جانبی مجاز است. در چنین وضعیتی تامین منطقه فرود با مانع کمتر نسبت به منطقه با پوشش باد بیشتر، اولویت دارد.

۲- شیب زیاد: جهت باند پرواز ممکن است به علت شیب زیاد و عملیات خاکی تعدیل گردد.



جدول ۱: گلبادهای روزانه ایستگاه زاهدان در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۷ و دوره پیش بینی (۲۰۲۰-۲۰۵۰) بر اساس سه سناریوی RCP<sub>2.6</sub>، RCP<sub>4.5</sub> و RCP<sub>8.5</sub>. (منبع: نگارندگان)

۴- بادهای با سرعت ۱۳-۵ نات در هر سه سناریوی مورد مطالعه با افزایش مواجه می شود. بیشترین افزایش در RCP<sub>2.6</sub> برابر با ۴۱/۵٪ و کمترین افزایش در RCP<sub>8.5</sub> برابر با ۳۷/۳٪ است.

۵- پیش‌بینی‌ها بر اساس هر سه سناریو مورد مطالعه نشان می‌دهد که وزش بادهایی با سرعت بیش از ۱۳ نات به صفر نزدیک می شود.

جدول ۲: وضعیت سرعت باد ایستگاه زاهدان در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۷ و دوره پیش بینی (۲۰۲۰-۲۰۵۰) بر اساس سه سناریوی RCP<sub>2.6</sub>، RCP<sub>4.5</sub> و RCP<sub>8.5</sub>. (منبع: محاسبات نگارندگان)

سرعت باد دوره	بادهای آرام	۱-۵ نات	۵-۱۳ نات	۱۳-۲۰ نات	۲۰-۲۵ نات	≥ ۲۵
۱۹۹۱-۲۰۱۷	٪۲۷/۶	٪۱۷/۲	٪۴۲/۵	٪۱۱/۱	٪۱	٪۰/۶
RCP <sub>2.6</sub> (۲۰۲۰-۲۰۵۰)	۰	٪۱۴	٪۸۴	۰	۰	۰
تغییرات نسبت به دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۷	٪۲۷/۶ کاهش	٪۳/۲ کاهش	٪۴۱/۵ افزایش	٪۱۱/۱ کاهش	٪۱ کاهش	٪۰/۶ کاهش
RCP <sub>4.5</sub> (۲۰۲۰-۲۰۵۰)	۰	٪۱۴/۶	٪۸۳/۴	۰	۰	۰
تغییرات نسبت به دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۷	٪۲۷/۶ کاهش	٪۲/۶ کاهش	٪۴۰/۹ افزایش	٪۱۱/۱ کاهش	٪۱ کاهش	٪۰/۶ کاهش
RCP <sub>8.5</sub> (۲۰۲۰-۲۰۵۰)	۰	٪۱۳/۵	٪۷۹/۸	۰	۰	۰
تغییرات نسبت به دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۷	٪۲۷/۶ کاهش	٪۳/۷ کاهش	٪۳۷/۳ افزایش	٪۱۱/۱ کاهش	٪۱ کاهش	٪۰/۶ کاهش

وزش باد غالب در هر سه سناریوی مورد مطالعه با کاهش همراه است. بیشترین کاهش در  $RCP_{8.5}$  برابر با  $۵/۸\%$  و کمترین کاهش در  $RCP_{4.5}$  برابر با  $۲/۲\%$  است.

۳- باد نائب غالب این ایستگاه در دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۷ از سمت  $۲۲/۵$  درجه می وزد. پیش بینی ها نشان می دهد که در سناریو  $RCP_{2.6}$  جهت وزش این باد  $۱۵۷/۵$  درجه تغییر نموده و از سمت جنوب خواهد وزید. در سناریوهای  $RCP_{4.5}$  و  $RCP_{8.5}$  نیز با  $۱۱۲/۵$  درجه تغییر از سمت  $۱۳۵$  درجه خواهد وزید. همچنین در سه سناریوی مورد مطالعه، میزان وزش این باد دارای تغییرات متفاوتی است. بدین صورت که در  $RCP_{2.6}$  و  $RCP_{8.5}$  به ترتیب با  $۱/۸\%$  و  $۱\%$  کاهش و در  $RCP_{4.5}$  با  $۲/۲\%$  افزایش مواجه می شود.

ب- براساس جدول ۳ و با مقایسه جهت وزش بادهای ایستگاه فرودگاهی زاهدان در دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۱ نسبت به دوره پیش بینی (۲۰۲۰-۲۰۵۰) تغییراتی به شرح زیر قابل ذکر است:

۱- پیش بینی ها بر اساس سه سناریو مورد مطالعه نشان می دهد که برآیند جهت باد این ایستگاه تا سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۷ دارای تغییراتی است. مقدار این تغییرات در محدوده  $۱۶۵$  تا  $۱۷۷$  درجه است.

۲- باد غالب این ایستگاه در دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۷، شمالی است. پیش بینی ها نشان می دهد که در سناریو  $RCP_{2.6}$  جهت وزش این باد  $۱۵۷/۵$  درجه تغییر نموده و از سمت  $۲۰۲/۵$  درجه خواهد وزید. در سناریوهای  $RCP_{4.5}$  و  $RCP_{8.5}$  نیز با  $۱۸۰$  درجه تغییر از سمت جنوب خواهد وزید. همچنین میزان

جدول ۳: وضعیت جهت باد ایستگاه زاهدان در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۱۷ و دوره پیش بینی (۲۰۲۰-۲۰۵۰) به همراه ضریب استفاده از باند موجود فرودگاه زاهدان بر اساس سه سناریوی  $RCP_{2.6}$ ،  $RCP_{4.5}$  و  $RCP_{8.5}$ . (منبع: محاسبات نگارندگان)

جهت باد دوره	برآیند جهت بادهای	باد غالب / درصد	باد نائب غالب / درصد	قرینه باد غالب / درصد	ضریب استفاده از باند موجود (باند ۱۷-۳۵)
۱۹۹۱-۲۰۱۷	۳ درجه	۰ درجه / $۱۵/۶\%$	$۲۲/۵$ درجه / $۱۰/۷\%$	$۱۸۰$ درجه / $۶/۴\%$	$۹۵/۰۲\%$
$RCP_{2.6}$ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)	۱۷۰ درجه	$۲۰۲/۵$ درجه / $۱۰/۵\%$	$۱۸۰$ درجه / $۹/۹\%$	$۲۲/۵$ درجه / $۴/۶\%$	$۹۸/۰۱\%$
تغییرات نسبت به دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۷	۱۶۷ درجه	$۱۵۷/۵$ درجه / $۵/۱\%$ کاهش	$۱۵۷/۵$ درجه / $۰/۸\%$ کاهش	$۱۵۷/۵$ درجه / $۱/۸\%$ کاهش	$۲/۹۹\%$ افزایش
$RCP_{4.5}$ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)	۱۸۰ درجه	$۱۸۰$ درجه / $۱۳/۴\%$	$۱۳۵$ درجه / $۱۰/۹\%$	$۳۶۰$ درجه / $۱/۷\%$	$۹۸/۰۳\%$
تغییرات نسبت به دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۷	۱۷۷ درجه	$۱۸۰$ درجه / $۲/۲\%$ کاهش	$۱۱۲/۵$ درجه / $۰/۲\%$ افزایش	$۱۸۰$ درجه / $۴/۷\%$ کاهش	$۳/۰۱\%$ افزایش
$RCP_{8.5}$ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)	۱۶۸ درجه	$۱۸۰$ درجه / $۹/۸\%$	$۱۳۵$ درجه / $۹/۷\%$	$۳۶۰$ درجه / $۲/۴\%$	$۹۳/۲۲\%$
تغییرات نسبت به دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۷	۱۶۵ درجه	$۱۸۰$ درجه / $۵/۸\%$ کاهش	$۱۱۲/۵$ درجه / $۱\%$ کاهش	$۱۸۰$ درجه / $۴\%$ کاهش	$۱/۱۸\%$ کاهش

۵- بررسی گلبادهای مربوط به RCP ها نشان می دهد که تا سال ۲۰۵۰ از میزان وزش بادهای شمالی و شمال شرقی این ایستگاه کاسته می شود. در حالی که بادهای جنوب شرقی، جنوبی و جنوب غربی ایستگاه یاد شده، افزایش می یابد.

۴- بادهای قرینه باد غالب این ایستگاه تا سال ۲۰۵۰ کاهش می یابد. به طوری که بر اساس سه سناریوی مورد مطالعه از میزان وزش این بادهای در محدوده  $۱/۸\%$  تا  $۴/۷\%$  کاسته می شود.

موجود یک فرودگاه، می‌تواند بر افزایش ظرفیت ترافیک هوایی و بهبود ایمنی نشست و برخاست هواپیما در آن فرودگاه موثر واقع شود.

در حالی که ضریب مزبور در  $RCP_{8.5}$  با  $1/8\%$  کاهش مواجه شده و برابر با  $93/22\%$  می‌شود. باید توجه داشت که ضریب استفاده از باند موجود این فرودگاه در  $RCP_{8.5}$  از حداقل ضریب استفاده از باند ( $95\%$ )، کمتر است. بنابراین براساس سناریوی مزبور در فرودگاه زاهدان جهت تامین حداقل ضریب استفاده از باند، نیاز به احداث باند دیگری منطبق با جهت باد نایب غالب شناسایی شده در این سناریو ( $135$  درجه) وجود دارد.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه زاهدان (باند ۳۵-۱۷) در دو دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۱ و ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و با در نظر گرفتن بادهای جانبی مجاز (۱۳ نات در ساعت) به روش FAA، محاسبه شده است. ضریب استفاده از باند فعلی این فرودگاه در دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۱ برابر با  $95/02\%$  است. همچنین پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰، ضریب استفاده از باند فعلی فرودگاه مزبور در دو سناریوی  $RCP_{2.6}$  و  $RCP_{4.5}$  به ترتیب با  $2/99\%$  و  $3/01\%$  افزایش مواجه شده و به بیش از  $98/01\%$  می‌رسد. روشن است که افزایش ضریب استفاده از باند

- 25/08/2018: <doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.036>
8. Civil Aviation Organization of Iran. (11 OCT 2018). Aeronautical Information Publication (AIP), Aerodromes 2.
  9. - Federal Aviation Administration (FAA). 2016. Airplane Flying Handbook. U.S. Department of Transportation, available at: <www.faa.gov/library/manuals/aviation>
  10. International Civil Aviation Organization (ICAO). 2009. Annex 14: Aerodromes, Volume I, Aerodrome Design and Operations. Fifth Edition.
  11. Koetse, Mark J. Rietveld, Piet. 2009. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 14, May 2009, pp 205-221. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.004>. accessed on 07/11/2018.
  12. Kumar, Bharat. 2006. An Illustrated Dictionary of Aviation. Indian, NewDelhi, Tata McGraw-Hill publishing company.
  13. Williams, Paul D., and Manoj M. Joshi. 2013. Intensification of winter transatlantic aviation turbulence in response to climate change. Nature Climate Change.
  14. <<https://www.nature.com/articles/nclimate1866>>. accessed on 24/08/2018.

## منابع

۱. بهبهانی، حمید. ایمانی، مختار. ۱۳۷۶. طرح و محاسبه فرودگاه. تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ چهارم.
۲. جهانبخش اصل، سعید. خورشیددوست، علی محمد. حسینی، عباس. ۱۳۸۱. باد عامل تأثیرگذار در طراحی و احداث فرودگاه (مطالعه موردی فرودگاه میانه). فضای جغرافیایی، شماره ۶، صص ۱ تا ۱۸.
۳. جهانبخش اصل، سعید. ساری صراف، بهروز. حسینی، عباس. ۱۳۸۵. ارزیابی امتداد باند پرواز فرودگاه اردبیل با تجزیه و تحلیل عنصر باد. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۷، صص ۱۱۳ تا ۱۲۶.
۴. صفارزاده، محمود. معصومی، غلامرضا. ندیمی، نوید. ۱۳۹۳. برنامه ریزی و طراحی فرودگاه. جلد اول و دوم، ویرایش دوم، تهران: پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
۵. پایگاه داده مدل‌های گردش عمومی جو، کشور کانادا، دسترسی: <http://www.cccsn.ec.gc.ca/index.php?page=dst-sdi>.
۶. روزنامه دنیای اقتصاد، شماره ۱۱۷۱، تاریخ چاپ ۱۳۹۶/۶/۳۰، دسترسی در ۱۳۸۵/۱۱/۱۸. <<http://donya-e-qtasad.com/news/700343/>>
7. Burbidge, Rachel. 2016. Adapting European airports to a changing climate. 6th Transport Research Arena, April 18-21, 2016, pp 14-23. accessed on