

(علمی-ترویجی)

مطالعه اثرات باد بر ایمنی نشست و برخاست هواپیما

محمد خلیل نژاد^{۱*}

۱- دانشگاه علوم انتظامی امین و هواپیمایی ناجا،
تهران، ایران، کدپستی: ۱۸۷۷۶۱۱۹۸۴

* دانش‌آموخته دکتری (نویسنده پاسخگو)، ایمیل:
khalilnejad.mohammad@iran.ir

پدیده‌های مختلف جوی، عامل اصلی و یا حداقل یکی از عوامل مؤثر در بسیاری از سوانح هوانوردی است. پدیده‌های آب و هوایی مختلفی از قبیل دما، میدان دید، هوای حاضر، ابرها، فشار و باد بر ایمنی هوانوردی تأثیرگذار هستند. از میان این عناصر، وضعیت باد در سطح زمین بیشترین تأثیر را بر پرواز و ایمنی هواپیما و به‌طور عمده در مرحله نشست و برخاست دارد. بر این اساس، در مقاله حاضر به مطالعه اثرات عنصر باد بر ایمنی نشست و برخاست هواپیما در باند فرودگاه پرداخته شده است. بررسی تأثیر وضعیت‌های مختلف باد بر پرواز هواپیما نشان می‌دهد که باد جانبی به عنوان تأثیرگذارترین وضعیت باد مطرح است. همچنین، تغییرات ناگهانی و لحظه‌ای باد می‌تواند برای هواپیما مخاطره آمیز محسوب شده و باعث افزایش وضعیت از دست رفتن توازن و تعادل هواپیما در حین نشست و برخاست شود.

واژه‌های کلیدی: آب و هوا، باد، تغییرات لحظه‌ای باد، ایمنی پرواز، ایمنی نشست و برخاست

Study of the Effects of Wind on Aircraft Landing and Take-off Safety

Various atmospheric phenomena are the main factor or at least a contributing factor in many aviation accidents. Various weather phenomena such as air temperature, visibility, present weather, clouds, pressure, wind affect aviation safety. Among these elements, the wind condition has the greatest impact on flight safety and mainly, in the landing and take-off stage. Accordingly, in this paper, the effects of wind elements on landing and take-off safety are studied. Examining the impact of different wind conditions on aircraft flight shows that the Crosswind is considered to be the most influential wind situation. Also, sudden and momentary changes in the wind can be dangerous for aircraft during landing and takeoff.

Keywords: Climate, Wind, Wind Moment Changes, Flight Safety, Landing and Take-off Safety

M. Khalilnejad^{1*}

1- Amin Police University and Police Aviation, Postal Code: 1877611984, Tehran, IRAN

* Ph.D. Holder (Corresponding Author): Email: khalilnejad.mohammad@iran.ir

۱- مقدمه

باد به حرکات افقی یا تقریباً افقی هوا گفته می‌شود که سرعت وزش آن از یک متر بر ثانیه کمتر نباشد [۱] و به حرکات عمودی هوا جریان^۱ گفته می‌شود (منظور از حرکت عمودی هوا، جریان هوا در جهت عمود بر سطح زمین است). حرکات عمودی هوا گاهی در ستون‌هایی از جو به وجود می‌آید و در هوانوردی اثرات ملموسی از خود نشان می‌دهد. از جمله این حرکات، چاله^۲ هوایی^۳ است که عبارت از یک جریان نزولی شدید هوا بوده و باعث ایجاد یک محیط خالی از هوا در زیر هواپیما می‌شود [۲].

باد در ارتفاع استاندارد ۱۰ متری (۳۳ پا) از سطح زمین اندازه گیری می‌شود [۳]. این پدیده یک کمیت برداری است و دارای دو مؤلفه است که یکی سمت و دیگری سرعت است. سمت باد، جهتی است که باد از آن سمت می‌وزد و یا به عبارت دیگر از آن سمت وارد ایستگاه می‌شود. در فرودگاه‌ها برای تشخیص جهت باد از کیسه‌های بادی^۴ که مخروطی شکل هستند، استفاده می‌شود. بدین صورت که دهانه گشاد این کیسه در مقابل باد قرار گرفته و وزش باد آن را متورم نگه می‌دارد تا از دور توسط خلبان قابل رؤیت باشد [۲]. در گزارش‌های هواشناسی فرودگاهی، سمت باد بر حسب درجه و با تقریب ۱۰ درجه‌ای و به صورت سه رقمی درج می‌شود. به طور نمونه، اگر باد از سمت بین ۲۴۵ تا ۲۵۴ درجه بوزد با تقریب ۲۵۰ درجه محسوب شده و عدد ۲۵۰ در گزارش‌های مزبور درج می‌شود. مثال دیگر، اگر باد از سمت بین ۱۵ تا ۲۴ درجه بوزد با تقریب ۲۰ درجه محسوب شده و به صورت ۰۲۰ درج می‌شود. همچنین سرعت باد نیز بر حسب متر بر ثانیه (MPS) و یا کیلومتر بر ساعت (KMH) و یا نات^۵ درج می‌شود. یک نات برابر با ۱۸۵۳ متر در ساعت و یا ۰/۵۱۴ متر در ثانیه است. برای مثال، کد 28006KT به مفهوم این است که باد از سمت ۲۸۰ درجه با سرعت ۶ نات بر ساعت می‌وزد. مثال دیگر، 32005MPS به مفهوم این است که باد از سمت ۳۲۰ درجه با سرعت ۵ متر بر ثانیه می‌وزد. باید توجه نمود که جهت و سرعت وزش باد، نقش تعیین‌کننده‌ای در انجام یک پرواز ایمن و مطمئن دارد. بر این اساس، در مقاله حاضر به مطالعه اثرات باد و تغییرات لحظه‌ای و ناگهانی این پدیده بر ایمنی نشست و برخاست هواپیما در باند فرودگاه پرداخته شده است.

۲- پیشینه تحقیق

نظر به اهمیت حمل و نقل هوایی و تأثیر عنصر باد بر پرواز هواپیما، تحقیقات مختلفی در این زمینه شکل گرفته است که به برخی از مهم‌ترین آنها در ادامه اشاره می‌شود. در سال ۲۰۱۰، لاو و همکارانش^۵ طی تحقیقی به تأثیر آب و هوا و تغییرات آن در عملکرد سیستم‌های حمل و نقل جاده‌ای، هوایی و دریایی پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که عملکرد سیستم‌های مختلف حمل و نقل در اکثر کشورها به طیف وسیعی از آستانه‌های آب و هوایی حساس هستند. این آستانه‌ها مربوط به باد، بارش، دما، رعد و برق و سطح آب دریاها است [۴]. ویلیامز و جوشی^۶ پژوهشی به بررسی تأثیر تغییر آب و هوا بر وقوع پدیده تلاطم^۷ هوایی صاف پرداختند. ایشان با استفاده از شبیه‌سازی مدل‌های آب و هوایی نشان دادند که شدت وقوع پدیده مزبور تا سال ۲۰۵۰ در مختصات جغرافیایی ۵۰ تا ۷۵ درجه شمالی و ۱۰ تا ۶۰ درجه غربی به میزان ۱۰ تا ۴۰ درصد و نرخ تناوب وقوع آن ۴۰ تا ۱۷۰ درصد افزایش می‌یابد [۵]. ایروینی و همکارانش^۸ با مطالعه پروازهای مسیر نیویورک به لندن (پروازهای رو به شرق^۹) یا از غرب به شرق) نشان دادند که با انتخاب مسیر پرواز بهینه و استفاده از مزایای بادهای پشت قوی و اجتناب از بادهای روبرو می‌توان مدت این پرواز را بیش از ۶۰ دقیقه کاهش داد [۶]. تحقیقات بوربیج^{۱۰} نشان می‌دهد که یکی از اثرات کلیدی آب و هوا و تغییرات آن بر فرودگاه‌های قاره اروپا، تغییر در الگو و وضعیت باد است [۷].

شجیعی و همکارانش به بررسی اثرات پدیده قیچی باد^{۱۱} در ارتفاع‌های مختلف بر کیفیت و ایمنی پرواز هواپیماها پرداختند. آنها خاطر نشان کردند که این پدیده بیشترین تأثیر را در مرحله نشست هواپیما دارد. همچنین، در مرحله مزبور پدیده قیچی باد بر حالت واماندگی^{۱۲} هواپیما در هنگام تقرب^{۱۳} فلر و تماس چرخ‌ها با باند^{۱۴} مؤثر است. ایشان به این نتیجه رسیدند که هرچه قدر ارتفاع قیچی باد پایین‌تر و شدت آن بیشتر باشد، احتمال بروز سانحه افزایش می‌یابد [۸].

5. Love et al.

6. Williams and Joshi

7. Turbulence

8. Irvine et al.

9. Eastbound Flights

1 . Burbidge

1 . Wind shear

1 . Stall

1 . Approach

1 . Touch Down

0

1

2

3

4

1. Current

2. Bumpy air

3. Wind Sock

4. Knot (KT)

سوانح هوایی ثبت شده در NTSB^۱ بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ نشان می‌دهد که نامساعد بودن آب و هوا عامل اصلی و یا حداقل یکی از عوامل مؤثر در وقوع ۲۹/۲ درصد از سوانح هوانوردی است و در میان عناصر آب و هوا نیز عنصر باد بیشترین تأثیر را بر ایمنی پرواز هواپیماها بویژه در هنگام نشست و برخاست دارد. شکل ۱، سوانح هوانوردی مرتبط با آب و هوا را به تفکیک عناصر آب و هوایی نشان می‌دهد. براساس این شکل، قریب به نیمی (۴۷ درصد) از سوانح هوانوردی مرتبط با آب و هوا ناشی از باد بوده است. همچنین، شکل ۲ سهم وضعیت‌های مختلف باد را در سوانح هوانوردی ناشی از این پدیده نشان می‌دهد که به ترتیب عبارتند از: باد جانبی^۲ ۵۵ درصد، باد پشت^۳ ۲۲ درصد، تندباد^۴ ۸ درصد، قیچی باد ۸ درصد، باد متغیر^۵ ۵ درصد و گرد باد^۶ ۲ درصد [۱۳]. بر این اساس در مقاله حاضر به اثرات شش وضعیت مختلف باد یاد شده پرداخته شده است.

لازم به ذکر است علی‌رغم این که جهت و سرعت وزش باد نامساعد، سهم عمده‌ای را در بین عوامل سوانح هوانوردی مرتبط با آب و هوا دارد، ولی با این حال در برخی مواقع عدم وزش باد در هنگام بلند شدن و یا نشست می‌تواند مشکلاتی را برای هواپیما بوجود آورد. زیرا برخی از بادها برای پرواز هواپیما، مفید هستند [۱۴]. به طور نمونه وزش باد روبرو در مراحل نشست و برخاست هواپیما از روی باند باعث بهبود عملکرد هواپیما می‌شود. بدین صورت که در حین برخاستن، باعث افزایش نیروی بالابرنده بال‌ها شده و در حین نشست نیز مانند ترمز عمل می‌کند. در نتیجه وزش باد روبرو در هر دو مرحله نشست و برخاست طول باند مورد نیاز را کاهش می‌دهد. در این مقاله، با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و با کمک اطلاعات کتابخانه‌ای سعی می‌شود که اثرات انواع مختلف باد بر پرواز و ایمنی هواپیماها و عمدتاً در مراحل نشست و برخاست، مورد بررسی قرار گیرد.

رنجبر و مرادی به مطالعه پدیده قیچی باد و مخاطرات آن برای پرواز هواپیماها پرداختند. آنها خاطر نشان کردند که این پدیده در ارتفاع زیر ۵۰۰ متری از سطح زمین برای هواپیما خطرناک محسوب می‌شود و هواپیماهای جت کنونی در بالای ارتفاع مزبور توانایی عبور بی خطر از میان آن را دارند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بهترین راه روبرو شدن با این پدیده، اجتناب از آن می‌باشد. همچنین، بررسی سوانح هوایی جدیدی که بر اثر پدیده قیچی باد اتفاق افتاده است، نشان می‌دهد که این پدیده ممکن است در یک فاصله زمانی کوتاه، تشکیل و گسترش یابد [۹]. کریمی به مطالعه داده‌های سمت و سرعت باد سطوح فوقانی (۱۹۹۷-۲۰۰۴) ایستگاه جو بالای مستقر در فرودگاه اصفهان پرداخت. وی به این نتیجه رسید که در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس حداکثر سرعت باد در بالاترین مقدار خود و در حدود ۸۰ متر بر ثانیه است و جهت آن بین ۲۶۰ تا ۲۷۰ درجه است. در حالی که در ماه‌های ژوئن و ژوئیه حداکثر سرعت باد در کمترین مقدار خود و در حدود ۳۵ متر بر ثانیه است و جهت آن نیز ۱۰۰ درجه است. همچنین، وی یادآور شده است که سمت و سرعت باد سطوح فوقانی جو نقش بسیار مهم و تعیین‌کننده‌ای در پرواز دارد و می‌تواند بر روی سرعت و جهت حرکت هواپیماها اثر گذاشته و آنها را تغییر دهد [۱۰]. در سال ۲۰۰۵، سقایی طی پژوهشی به بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی بر ایمنی پرواز پرداخت. مطالعات وی نشان می‌دهد که هر چند امروزه هواپیماها توان رویارویی با شرایط نامساعد جوی را دارند ولی وضعیت هوا همچنان می‌تواند برای حمل و نقل هوایی محدودیت ایجاد کند، بالاخص نشست و برخاست هواپیما به وضع هوا بستگی دارد [۱۱].

۳- تشریح مسأله

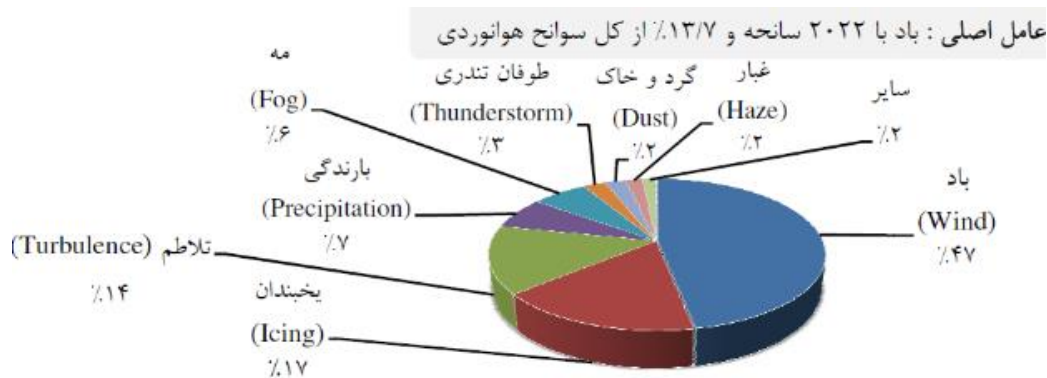
در مناطق مختلف جغرافیایی، عناصر آب و هوایی مختلفی بر هوانوردی به ویژه بر نشست و برخاست هواپیماها تأثیرگذار است. از مهمترین آنها می‌توان به سمت و سرعت باد در سطح زمین، میدان دید، نوع، مقدار و ارتفاع ابر، بارندگی، یخبندان، دما و فشار هوا اشاره کرد [۱۲]. مطالعات حاکی از آن است که پدیده‌های مختلف جوی، عامل اصلی و یا حداقل یکی از عوامل مؤثر در بسیاری از سوانح هوانوردی است. بررسی آمار

۴- یافته‌ها و بحث

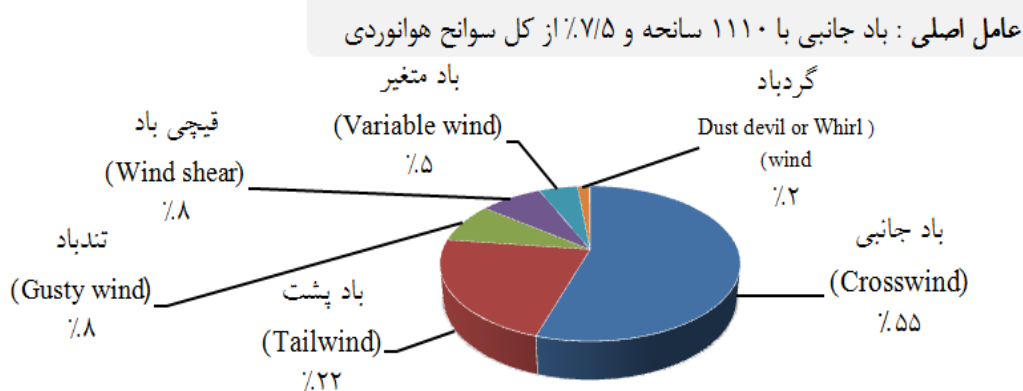
در این بخش تأثیرات وضعیت‌های مختلف باد به تفصیل شرح داده خواهد شد.

1. National Transportation Safety Board
2. Crosswind
3. Tailwind
4. Gusty Wind
5. Variable Wind
6. Dust Devil or Whirl Wind

(علمی-ترویجی)
محمد خلیل‌نژاد



شکل (۱): سوانح هوانوردی ناشی از آب و هوا به تفکیک عناصر آب و هوایی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ [۱۳].



شکل (۲): سوانح هوانوردی ناشی از وضعیت‌های مختلف باد ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ [۱۳].

۴-۱- باد جانبی

اگر سمت وزش باد نسبت به مسیر پرواز و یا نسبت به جهت باند، دارای یک زاویه باشد به آن باد جانبی گفته می‌شود که در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۲]. باید توجه نمود که جهت هواپیما^۱ در مرحله تقرب به نیروی باد جانبی در حال وزش بستگی دارد و مسیر پرواز^۲ در این مرحله در امتداد خط مرکزی باند^۳ است. هواپیما برای فرود ایمن باید در طول مسیر مزبور پرواز نماید. در شکل ۴ تأثیر باد جانبی بر جهت هواپیما در مرحله تقرب نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود هواپیما برای خنثی نمودن تأثیر وزش باد جانبی مجبور است با زاویه X نسبت به مسیر پرواز نماید. به این زاویه، زاویه کجی (زاویه عرضی)^۴ گفته می‌شود. این زاویه عبارت است از زاویه‌ای که راستای دماغه^۵ هواپیما با مسیر پرواز می‌سازد. زاویه مزبور از رابطه زیر بدست می‌آید [۱۵]:

$$\sin X = \frac{V_c}{V_h} \quad (1)$$

در فرمول (۱)، V_c سرعت باد جانبی و V_h سرعت تقرب هواپیما است.

مؤلفه V_t عبارت است از سرعت واقعی هواپیما^۵ در طول مسیر Track که از فرمول (۲) بدست می‌آید:

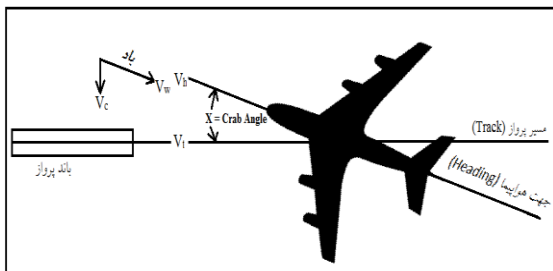
$$V_t = V_h \cos X \quad (2)$$

همچنین سرعت زمینی هواپیما^۶ در طول مسیر Track برابر است با اختلاف V_t با $V_w \sin X$ که مؤلفه سرعت باد در جهت مسیر Track می‌باشد. برای درک بهتر مطلب، مثالی زده می‌شود. فرض کنید هواپیمایی در حال تقرب به باند با سرعت ۱۳۵ نات بوده و سرعت باد جانبی نیز ۲۵ نات است. در این صورت زاویه X برابر با ۱۰ درجه و ۱۰ دقیقه است. در این شرایط خلبان برای نشستن ایمن و مطلوب هواپیما، بایستی زاویه X را درست قبل از تماس چرخ‌های هواپیما به زمین به صفر برساند [۱۶].

خاطر نشان می‌شود که هواپیما زمانی می‌تواند با ایمنی کافی نشست و برخاست نماید که باد جانبی وارده بر مسیر پرواز از حد معینی بیشتر نشود. سازمان ایکائو حداکثر باد جانبی مجاز

1. Heading
2. Track
3. Runway Centre Line
4. Crab Angle

5. True Air Speed
6. Ground Speed (GS)



شکل (۴): تأثیر باد جانبی بر جهت هواپیما در مرحله تقرب [۱۶].

۲-۴- باد پشت

باد پشت بادی است که موافق جهت پرواز هواپیما بوزد. ولی باد روبرو بادی است که جهت وزش آن، مخالف جهت پرواز هواپیما است. باد پشت و باد روبرو بر سرعت هواپیما تأثیرگذار است. با این توضیح که سرعت هواپیما معمولاً به دو صورت سرعت زمینی و سرعت هوایی^۲ اندازه گیری می‌شود. سرعت زمینی عبارت است از سرعت هواپیما نسبت به زمین و سرعت هوایی، سرعت هواپیما نسبت به هوای مجاور است. به عبارت دیگر، سرعت زمینی برابر است با سرعت هوایی بعلاوه یا منهای سرعت باد محیطی که هواپیما در آن پرواز می‌کند. به طور مثال، اگر هواپیما با سرعت هوایی ۷۰۰ کیلومتر در ساعت در حال پرواز باشد و باد با سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت از پشت و موافق جهت پرواز بوزد، در این صورت سرعت زمینی برابر با ۷۵۰ کیلومتر در ساعت است و برعکس اگر باد از روبرو و مخالف جهت پرواز بوزد، سرعت زمینی هواپیما برابر با ۶۵۰ کیلومتر در ساعت خواهد بود [۱۵]. به عبارتی می‌توان چنین بیان نمود که در اثر وزش باد موافق (باد پشت) سرعت زمینی هواپیما افزایش می‌یابد و باعث می‌شود هواپیما زودتر به مقصد رسیده و مصرف سوخت کاهش یابد. برعکس وزش باد مخالف (باد روبرو) سرعت زمینی هواپیما را کاهش داده و باعث می‌شود هواپیما دیرتر به مقصد رسیده و مصرف سوخت افزایش یابد. بنابراین، وزش باد پشت باعث بهبود عملکرد هواپیما البته به استثنای مراحل نشست و برخاست می‌شود. باید توجه داشت که در مراحل نشست و برخاست، وزش باد پشت نه تنها باعث بهبود عملکرد هواپیما نمی‌شود، بلکه به عنوان عامل اصلی و یا حداقل یکی از عوامل مؤثر در وقوع ۲۲ درصد از سوانح هوانوردی مرتبط با عنصر باد مطرح است (شکل ۲). به همین سبب وزش باد پشت در حین نشست و برخاست هواپیما به عنوان یکی از مخاطرات هوانوردی محسوب می‌شود. دلایل این موضوع عبارت است از: (۱) باد پشت در حین نشست و برخاست هواپیما باعث کاهش نیروی بالابرنده بال‌ها شده و

برای نشست و برخاست هواپیما را بر اساس طول باند مرجع و به شرح زیر تعیین نموده است:

(۱) برای هواپیماهایی که طول باند مرجع آنها کمتر از ۱,۲۰۰ متر باشد، حداکثر باد جانبی مجاز برای نشست و برخاست کمتر از ۱۹ کیلومتر در ساعت (۱۰ نات) است.

(۲) برای هواپیماهایی که طول باند مرجع آنها ۱,۲۰۰ متر تا کمتر از ۱,۵۰۰ متر باشد، حداکثر باد جانبی مجاز برای نشست و برخاست کمتر از ۲۴ کیلومتر در ساعت (۱۳ نات) است.

(۳) برای هواپیماهایی که طول باند مرجع آنها ۱,۵۰۰ متر و یا بیشتر باشد، حداکثر باد جانبی مجاز، کمتر از ۳۷ کیلومتر در ساعت (۲۰ نات) است [۱۷].

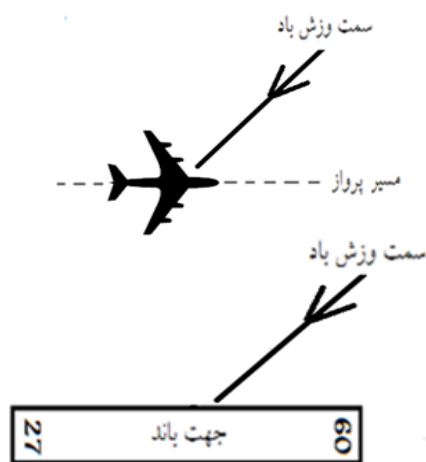
همچنین، در خصوص بادهای جانبی، چهار آستانه سرعتی نیز وجود دارد که عبارتند از:

(۱) باد جانبی کمتر از ۱۵ نات، نشست و برخاست هواپیماهای سبک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند باعث انحراف این نوع هواپیماها از باند شود.

(۲) باد جانبی ۲۵ نات حتی برای یک هواپیمای سنگین نیز مشکلاتی را در نشست و برخاست به همراه دارد. توصیه می‌شود در این مواقع از باند دیگری با جهت گیری مناسب استفاده شود و در صورت عدم وجود باند مناسب در آن فرودگاه بهتر است از فرودگاه جایگزین دیگری که این مقدار باد جانبی در آن وجود ندارد، استفاده شود.

(۳) با وزش باد جانبی بیشتر از ۳۰ نات توصیه شده است سرویس‌های اضطراری مستقر در فرودگاه‌ها به حالت آماده باش درآیند.

(۴) باد جانبی بیشتر از ۳۵ نات برای نشست و برخاست هر نوع هواپیمایی مشکلاتی را به همراه خواهد داشت [۱۴].



شکل (۳): باد جانبی یا باد پهلو.

1. Head Wind
2. Indicated Air Speed (IAS)

زاویه حمله بال‌ها و تغییر در زاویه اوج گیری است [۲۰].

۴-۴- قیچی باد

به تغییرات ناگهانی سمت و یا سرعت باد در یک فاصله معین قیچی باد گویند [۲۱]. این پدیده در مسافت کوتاه و به صورت افقی یا عمودی رخ می‌دهد. در قیچی باد افقی سمت و یا سرعت باد در طول یک مسافت افقی تغییر می‌کند. ولی در قیچی باد عمودی، سمت و یا سرعت باد با تغییر ارتفاع تغییر می‌کند [۲۰]. توجه به این نکته ضروری است که پدیده قیچی باد در سطوح پایین جو برای ایمنی نشست و برخاست هواپیماها حائز اهمیت است. پدیده قیچی باد در گزارش‌های هواشناسی فرودگاهی به اختصار با کد WS درج می‌شود [۲۲]. به طور مثال، کد WS RWY 29L به مفهوم آن است که پدیده قیچی باد در ابتدای باند ۲۹ چپ وجود دارد. مثال دیگر، کد WS All RWY به مفهوم آن است که پدیده قیچی باد در همه باند‌ها وجود دارد. از طرفی، قیچی باد با پدیده‌های گوناگونی از قبیل وارونگی دما، رودباد، طوفان تندی، جبهه‌ها و میکروبرست همراهی می‌کند [۲۳]. پرداختن به پدیده‌های مذکور، مطالعه دیگری را می‌طلبد و در این مختصر از آن صرف نظر شده است.

۴-۵- باد متغیر

به تغییر ناگهانی و قابل ملاحظه جهت باد که در فاصله زمانی کوتاه اتفاق می‌افتد، باد متغیر گویند. این پدیده در گزارش‌های هواشناسی فرودگاهی به اختصار با کد V و VRB گزارش می‌شود که تفاوت‌های به صورت زیر با یکدیگر دارند:

(۱) شرایطی که باد متغیر با کد V گزارش می‌شود، عبارتست از: هرگاه طی ۱۰ دقیقه قبل از زمان دیدبانی، سمت باد بیش از ۶۰ درجه و کمتر از ۱۸۰ درجه تغییر نماید و میانگین سرعت آن ۳ نات یا بیشتر (۲ متر بر ثانیه و یا ۶ کیلومتر بر ساعت) باشد، بدین صورت کد می‌شود که هر دو مقدار حد بالا و پایین سمت باد به ترتیب مطابق حرکت عقربه‌های ساعت و پس از قرار دادن حرف V بین دو مقدار مذکور گزارش می‌شود. به طور مثال، کد 130V200 به مفهوم آن است که باد بین سمت‌های ۱۳۰ تا ۲۰۰ درجه متغیر است.

(۲) شرایطی که باد متغیر با کد VRB گزارش می‌شود، عبارتست از:

راندمان موتور هواپیما را کاهش می‌دهد و (۲) وزش باد پشت در حین برخاستن باعث می‌شود هواپیما دیرتر از روی باند بلند شود. به علاوه در حین نشست، هواپیما پس از طی طول بیشتری از باند متوقف می‌شود در نتیجه به باند طولانی‌تری نیاز دارد. در صورت عدم برنامه‌ریزی مناسب خلبان جهت مواجهه با این شرایط نامعمول، در هر دو صورت امکان خارج شدن هواپیما از انتهای باند و برخورد با موانع انتهای باند و یا واژگونی هواپیما وجود دارد.

تأثیر دیگر باد روبرو و باد پشت بر مداومت پروازی و برد هواپیما است. با این توضیح که مداومت پروازی یعنی مدت زمانی که هواپیما می‌تواند با یک بار سوخت‌گیری روی زمین در آسمان پرواز نماید. در مداومت پروازی مهمترین هدف خلبان مصرف سوخت در کمترین مقدار ممکن است. همچنین، برد هواپیما یعنی مسافتی که هواپیما می‌تواند بدون سوخت‌گیری مجدد پرواز نماید. باد روبرو یا باد پشت مشروط بر این که خلبان سرعت هواپیما را ثابت نگه دارد، بر مداومت پروازی هیچ تأثیری ندارد. ولی باد روبرو برد هواپیما را کاهش و باد پشت برد هواپیما را افزایش می‌دهد [۱۸].

۴-۳- تندباد

به تغییر آنی و لحظه‌ای سرعت باد، گاستی ویند یا تندباد گویند [۱۲]. به عبارتی در تندباد سرعت باد در فاصله زمانی کوتاه بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. این پدیده در گزارش‌های هواشناسی فرودگاهی با کد G درج می‌شود. به طوری که اگر در طی ۱۰ دقیقه قبل از زمان دیدبانی، افزایش ناگهانی سرعت باد برابر با ۱۰ نات (۵ متر در ثانیه یا ۲۰ کیلومتر در ساعت) و یا بیشتر باشد، به صورت زیر کد و گزارش می‌شود [۱۹]. به طور مثال، 22012G25KT کد مزبور به مفهوم آن است که باد از سمت ۲۲۰ درجه می‌وزد و سرعت آن بین ۱۲ تا ۲۵ نات متغیر است.

باید توجه داشت که هر هواپیمایی توانایی محدودی در مقابل اغتشاشات جوی از جمله تندباد را دارد. معمولاً شرکت سازنده یک هواپیما، مقدار تندباد مجاز برای پرواز ایمن آن هواپیما را تعیین و در کتاب دستورالعمل خلبانی مربوطه ارائه می‌دهد. روشن است که اگر شدت تندباد از مقدار معین شده فراتر رود، هواپیما از کنترل خلبان خارج شده و امکان سانحه وجود خواهد داشت. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هواپیما هنگام مواجهه با پدیده تندباد با سه تغییر روبرو می‌شود. این سه تغییر شامل تغییر در سرعت هواپیما، تغییر

2. Angle of Attack
3. Temperature Inversion
4. Jet stream
5. Thunderstorm
6. Fronts
7. Microburst

1. Pilot of Handbook (POH)

تولید می‌کند. ممکن است در یک روز آفتابی، گردبادهای متعددی از این نوع تشکیل شود ولی آنها تنها زمانی قابل رویت هستند که ذرات ریز و سست خاک را به بالا ببرند [۲۵].

۵- نتیجه گیری

پدیده باد، اثرات چشمگیری بر کارایی و ایمنی هوانوردی دارد و میزان این تأثیر به پیش‌بینی صحیح وضعیت هوا و برنامه‌ریزی درست پرواز بستگی دارد. به طور مثال، پیش‌بینی وضعیت باد می‌تواند مهمترین نقش را در تعیین چگونگی انتخاب سریعترین و اقتصادیترین مسیر پرواز داشته باشد. زیرا وجود باد مساعد در پشت هواپیما می‌تواند سرعت زمینی هواپیما، مصرف سوخت و زمان فرود برآورد شده را بهبود بخشد. در مقاله حاضر به مطالعه اثرات پدیده باد بر ایمنی نشست و برخاست هواپیما پرداخته شده است. باید توجه داشت که پدیده‌های آب و هوایی مختلفی بر ایمنی پرواز هواپیما تأثیرگذار هستند. در میان این پدیده‌ها، بیشترین تأثیر را وضعیت‌های مختلف باد و به ویژه شرایط باد جانبی و تغییرات ناگهانی و لحظه‌ای باد بر ایمنی هواپیما دارد. می‌توان چنین بیان نمود که تغییرات ناگهانی و لحظه‌ای باد می‌تواند برای هواپیما مخاطره‌آمیز محسوب شده و باعث افزایش وضعیت از دست رفتن توازن و تعادل هواپیما در حین نشست و برخاست از روی باند شود.

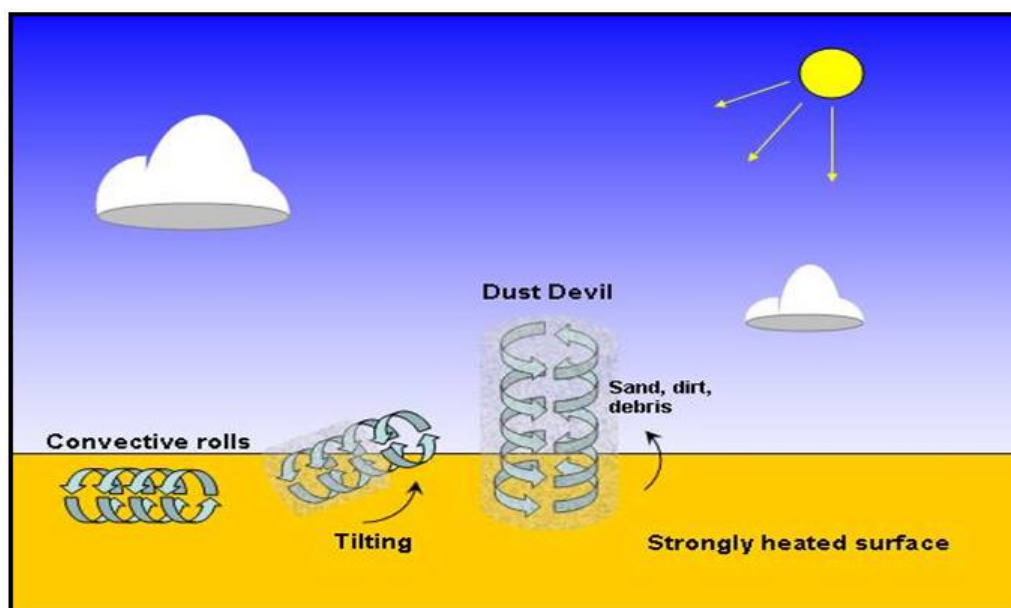
الف- میانگین سرعت باد، متغیر و کمتر از ۳ نات (۲ متر بر ثانیه و یا ۶ کیلومتر بر ساعت) باشد. به طور مثال، باد متغیر با سرعت ۲ نات به صورت VRB02KT کد می‌شود.

ب- در سرعت‌های بالاتر، موقعی که تغییر سمت باد ۱۸۰ درجه یا بیشتر باشد و یا اندازه‌گیری منحصر به یک سمت معین امکان‌پذیر نباشد. به طور مثال، زمانی که طوفان رعد و برق از بالای منطقه فرودگاه عبور نماید. برای مثال، هرگاه سرعت باد ۲۰ نات و سمت آن متغیر باشد، به صورت VRB02KT کد می‌شود [۱۹].

۴-۶- گردباد کوچک در سطح زمین

گردبادهای کوچک در سطح زمین در اثر اختلاف دما و فشار در یک مسافت کوتاه بوجود می‌آیند. در مناطق خشک حرکت دورانی آنها باعث تشکیل مخروطی از گرد و غبار می‌شود [۲۴]. ذرات ریز غبار به مرکز این گردباد کشیده شده و گاهی تا ارتفاع ۶۰۰ تا ۹۰۰ متری از سطح زمین، این ذرات را بالا می‌برد. سرعت این گردباد ۸ تا ۲۴ کیلومتر در ساعت است و گاهی به ۸۰ کیلومتر هم می‌رسد. این پدیده در بعدازظهرهای گرم و خشک و هوای صاف گسترش می‌یابد [۲۱].

در شکل ۵، مکانیزم تشکیل این پدیده نشان داده شده است. این گردبادها معمولاً در مناطق به نسبت خشک زمانی که تابش خورشید، گرمایش قوی سطح زمین را فراهم کرده و باد آرام است، تشکیل می‌شوند. همانطور که در این شکل نشان داده شده است سطح زمین گرم، جریان همرفتی چرخشی هوا را



شکل (۴): مکانیزم تشکیل گردبادهای کوچک در سطح زمین [۲۵].

۶- مراجع

- [1] Masoudian, A., *Climate of Iran*, Sharia Toos Publications, Mashhad, Iran, 2011 (In Persian).
- [2] Alizadeh, A., Kamali, G., Mousavi, F., and Mousavi Baigi, M., *Weather and climatology*, 16rd Ed., Ferdowsi University Press, Mashhad, Iran, 2015 (In Persian).
- [3] Kaviani, M., *Microclimatology*, 5rd Ed., Organization for the Study and Compilation of University Humanities Books (Samat), Tehran, Iran, 2011 (In Persian).
- [4] Love, G., Soares, A., and Puempel, H. "Climate Change, Climate Variability and Transportation", *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 1, pp. 130-145, 2010.
- [5] Williams, P. and Joshi, M. "Intensification of Winter Transatlantic Aviation Turbulence in Response to Climate Change", *Nature Climate Change*, Vol. 3, pp. 644-648, 2013.
- [6] Irvine, E.A., Hoskins, B.J., Shine, K.P., Lunnon, R.W., and Froemming, C., "Characterizing North Atlantic Weather Patterns for Climate-Optimal Aircraft Routing", *Meteorological Applications*, Vol. 20, pp 80-93, 2013.
- [7] Burbidge, R. "Adapting European Airports to a Changing Climate", *Transport Research Arena*, Vol. 14, pp 14-23, 2016.
- [8] Shajiei, Sh., Maghsoudi, N., and Rahmani, A., "Investigation of the Effects of Horizontal Wind Shears in the Landing Phase on the Longitudinal Motion of the Aircraft and Its Role in Air Accidents", *2rd Aviation Safety Conference*, Aerospace Research Institute, Tehran, Iran, 2002 (In Persian).
- [9] Ranjbar, M., and Moradi, A., "Determination of Aircraft Hazard Indicators against wind shear Phenomenon", *3rd Aviation Safety Conference*, Aerospace Research Institute and Aviation of the Islamic Republic of Iran (Homa), Tehran, Iran, 2005 (In Persian).
- [10] Karimi, M., "Study of the Effect of Wind Direction and Speed of Maximum Atmospheric Levels in the City of Isfahan", *4rd Aviation Safety Conference*, Aerospace Research Institute and National Aviation Organization, Tehran, Iran, 2007 (In Persian).
- [11] Saghaei, M., "Analysis of Meteorological Parameters and Its Relationship with Aviation Safety", *3rd Aviation Safety Conference*, Aerospace Research Institute and Aviation of the Islamic Republic of Iran (Homa), Tehran, Iran, 2005 (In Persian).
- [12] Kumar, B., *An Illustrated Dictionary of Aviation*, Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi, Indian, 2006.
- [13] Borna, R., and Khalilnejad, M. "Study of the Role of Climate Elements in Aviation Accidents", *2rd National Conference on General Aviation*, Aerospace Research Institute, Ferdows, Iran, 2019 (In Persian).
- [14] Thompson, R. and Perry, A., *Applied Climatology Principles and Practice*, Routledge, London, UK, 1997.
- [15] Oveysi, Kh. and Hakimi, R., *Planning and Design of Airport*, Amir Kabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Publishing Center, Tehran, Iran, 2015 (In Persian).
- [16] Saffarzadeh, M., Masoumi, G., and Nadimi, N., *Planning and Design of Airport*, 2rd Ed., Transportation Research Institute, Tehran, Iran, 2014 (In Persian).
- [17] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Annex 14: Aerodromes, Volume I, Aerodrome Design and Operations", 5rd Ed., 2009.
- [18] Sadraei, M., *flight Mechanics*, 4rd Ed., Tehran: Imam Hossein University, Printing and Publishing Institute, Tehran, Iran, 2017 (In Persian).
- [19] Waldkhani, H., Azizaqli, M., Rezazadeh, P., Fatehi, M., Pourghfar, R., and Siyahatgar, M., *A Set of Instructions for Codes and Methods of Surveillance of the Ground Surface (Synop)*, Meteorological Organization of Iran, Technical Deputy and Station Network, General Directorate of Meteorological Monitoring Network, Tehran, Iran, 2012 (In Persian).
- [20] Sadraei, M., *Stability and Flight Control*, Ayandegan Publishing Cultural Institute, Tehran, Iran, 2009 (In Persian).
- [21] Mohammadi, H., *The Concepts and Technical Term of Climatology*, University of Tehran, Tehran, Iran, 2007 (In Persian).
- [22] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Annex 3: Meteorological Service for International Air Navigation", 9rd Ed., 2016.
- [23] Sanderson, J., *Instrument/Commercial Manual*, International Standard Book Number 0-88487-188-6, 10rd Ed., 1995.
- [24] Sobhan, I., "Meteorology in flight", Sina Institute, 7rd Ed., 2010.
- [25] Online Available at: "https://weatherstreet.com/weatherquestions/What_are_dust_devils.htm, accessed on 28/01/2021".