







Research Paper

Investigating the effects of tropospheric jet streams on airplane flight

Mohammad Reza Rafighi ^a , Mohammad Saligheh ^b  , Mehri Akbary ^c 

^a. Department of Geography, Faculty of Climatology, Khurazmy University, Tehran, Iran

Email: mohandesrafighi@gmail.com

^b. (Corresponding Author) Department of Geography, Faculty of Climatology, Khurazmy University, Tehran, Iran

Email: Saligheh@khu.ac.ir

^c. Department of Geography, Faculty of Climatology, Khurazmy University, Tehran, Iran

Email: mehryakbary@khu.ac.ir

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Flight,
Jet Stream,
Troposphere,
Tropopause,
Airplane.

in this research, their effects on the flight of airplanes were investigated. The study area is the country of Iran, and the flight routes of Kermanshah, Ahvaz and BandarAbbas to Tehran. The research data includes maps of the Vertical Transect (profile) of the jet stream, the daily average of the Zonal wind (U-Wind) and meridional wind (V-Wind) components for the winter period of 2018 through NOAA/NCEP environmental databases. Also, flight route information was received from FlightRadar24 and Flightaware systems. First, by using Vertical Transect maps, the days containing strong U-Wind were extracted, and the average position of the core of the Jet Streams in the Zonal and meridional wind components, the Tropospheric level of 200 HP was detected. The list of flights was prepared, and the Zonal Wind maps were produced. Finally, the height of the flights was compared with the level of the currents of the Jet Streams, and the influence or lack of influence of the Jet Streams on the flights was studied. According to the results of the research, all the Jet Streams caused turbulence for all flights, and they caused a decrease in the speed of flights between Ahvaz and BandarAbbas to Tehran and an increase in the speed of flights between Kermanshah and Tehran according to the direction and type of Jet Streams. It was also found that all the Jet Streams had a speed of more than 90 knots, so the capacity to create tension and turbulence such as CAT was seen in them.

Article History:**Received:**

23 August 2023

Received in revised form:

24 November 2023

Accepted:

27 December 2023

Available online:

28 January 2024

pp. 41-460

Citation: Rafighi, M. R., Saligheh, M., & Akbary, M. (2023). Investigating the effects of tropospheric jet streams on airplane flight. *Geographical planning of space quarterly journal*, 13 (4), 41-60.

 <http://doi.org/10.30488/GPS.2023.381718.3611>



© The Author(s)

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

Climatology knowledge is applied to aviation issues by knowing the weather condition and their effect on air transportation. This effect is so significant that many airline programs in different countries are delayed or canceled due to unfavorable weather conditions and accurate forecasting. Among the major atmospheric hazards during a flight are wind shears, Jet Streams and clear air turbulence (CAT). In this, Jet Streams play a more important role.

Methodology

The applied research has been carried out by referring to the literature and library documents, websites and data of meteorology, Climatology and remote sensing databases and interviewing and consulting pilots and aviation meteorology experts quantitatively and scientifically with an inductive approach.

Results and Discussion

Airports that were in the path of strong Jet Streams were selected. Six events were recorded in the western region in the area of Kermanshah airport, two events in the southwest area in the area of Ahvaz airport, three events in the southeast area in the area of Zabol airport, two events in the area of Zahedan airport, and finally one event in the south area in the area of Bandar Abbas airport.

The final flight height of the Fokker 100 plane in the Kermanshah-Tehran flight path is 8222 meters, equivalent to 27000 feet above sea level. The maximum speed of this plane is equivalent to 887 km/h. The Jet Streams of this route (December 30 and 31, 2019, January 1 and January 2, 2020) have a speed of more than 80 meters per second, equivalent to 288 kilometers per hour, and on January 3 and February 8, 2020, more than 70 meters per second. As long as the planes are in the main corridor, they do not have much contact with the cores of the Jet Streams. On January 1, 2020, the core of Jet Streams slightly expanded, and in addition to the level of 200 hp, it is also present at 300 HP.

On January 4, 2020, the Sub_tropical Jet

Streams near the flight paths of Ahvaz Airport were stronger and more than 80 meters per second, and on January 19, they flowed over Ahvaz at a speed of 70 meters per second. The flight ceiling of the Boeing 737 airplane is 29,700 feet on the Ahvaz-Tehran route. The Jet Streams blow at 200 HP or an altitude of 39,000 feet. While the flight ceiling of this plane is about 30,000 feet maximum in the mentioned route, located at 300 HP. This plane is not located in the core of the gust but was flying at a lower level where gusts with a speed of 70 meters per second were flowing.

The Jet Streams of The flight routes of Zahedan airport are also, Sub_tropical. January 5, 22, 23, 24 and 25, 2020, were the days when Zahedan Airport's flight paths were affected by gusts of more than 80 meters per second. The final height of the Airbus A320 on this route is 35,000 feet. These Jet Streams blow at 200 HP, that is, 11,700 meters above sea level or 39,000 feet high. While the flight ceiling of this plane is at 250 HP. The flight path of this plane was located in the core of the Jet Stream.

The Jet Streams of the Bandar Abbas airport's flight path are also, Sub_tropical type. January 20, 2020, was the day when the flight paths of Bandar Abbas Airport were affected by the strong Jet Streams phenomenon of more than 80 meters per second. The flight ceiling of the Airbus A-320 plane on the Bandar Abbas-Tehran route is 36,000 feet. The maximum speed of this plane is 830 km/h at an altitude of 8,359 meters or 27,424 feet, and the plane reached this speed after about 15 minutes of takeoff. The first finding that was obtained from the present research was that all the examined Jet Streams were of the subtropical type and their extension was west-east, so all the selected flights were involved in encountering them.

The Jet Streams that flowed on the selected days and flight routes, except for the Kermanshah-Tehran route, all flowed in the opposite direction of the flights. Because their cores had a maximum speed of 80 meters per second (+-), the necessary capacity and power had a decrease in the speed of the planes and in addition to a noticeable decrease in speed, they made

more use of the power of the engines. On the contrary, the Jet Streams in the direction of airplane flight (such as the Kermanshah-Tehran route) significantly helped the aeroplanes' engines on this route increase the speed.

Conclusion

According to the outputs, the core of the speed of all the Jet Streams of the selected days was located at the level of 200 hp (equivalent to 11.7 km or 39000 feet) and was considered as the main position of the Jet Stream currents. The direction of all Jet Streams was west-east. Except on January 1, 2020, on the Kermanshah-Tehran flight route, all the flights investigated in this research did not understand the core of the Jet Stream and the Jet Streams had a negative role in the speed of the aircraft. The reason is due to the direction and type of Jet Streams. The geographical location of airports relative to the destination airport, flight path, flight altitude and flight speed are among the important and effective factors in increasing or decreasing the

speed of the plane. This is completely the opposite of the flights that took place on December 30 and 31, 2019 - January 1, 2, 3 and February 8, 2020 from Shahid Ashrafi Isfahani Airport in Kermanshah, located in the west of the country, to Mehrabad Airport in Tehran.

Funding

There is no funding support.

Authors'

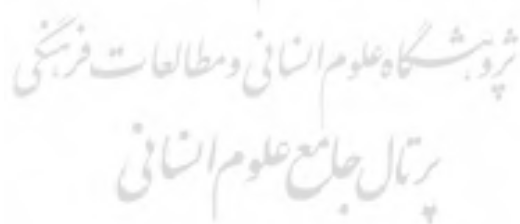
Contribution Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.





بررسی تأثیرات رود بادهای وردسپهری بر پرواز هواپیماها

محمد رضا رفیقی^۱، محمد سلیقه^۲، مهتری اکبری^۳

۱- گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. Email: mohandesrafighi@gmail.com

۲- نویسنده مسئول، گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. Email: Saligheh@khu.ac.ir

۳- گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. Email: mehryakbary@khu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

دانش آب‌وهواشناسی از طریق شناخت وضعیت جوی و تأثیر آن بر حمل‌ونقل هوایی کاربرد دارد. رود بادهای وردسپهری بستر ساز پدیده‌های تلاطم هوای صاف (CAT) و چینش قائم باد، هستند؛ لذا در این پژوهش اثرات آن‌ها بر پرواز هواپیماها بررسی شد. منطقه مورد مطالعه، کشور ایران و مسیرهای پروازی کرمانشاه، اهواز و زاهدان به تهران است. داده‌های پژوهش شامل نقشه‌های برش مقطع عمودی (نمایه) رود باد، میانگین روزانه مؤلفه‌های مداری (U-Wind) و نصف‌النهاری باد (V-Wind) برای بازه زمانی زمستان ۱۳۹۸ شمسی از طریق پایگاه‌های داده محیطی NOAA/NCEP اخذ شد. همچنین اطلاعات مسیر پروازی از سامانه‌های Flightaware و FlightRadar24 دریافت شدند. ابتدا با استفاده از نقشه‌های برش مقطعی عمودی، روزهای حاوی رود باد مداری قوی استخراج و میانگین موقعیت قرارگیری هسته رود باد، در مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری، سطح نیواری ۲۰۰ هکتوپاسکال تشخیص داده شد. لیست پروازها تهیه و نقشه‌های مؤلفه مداری باد تولید گردیدند. در نهایت ارتفاع پروازها با تراز جریان‌ات رود بادها مقایسه و تأثیر یا عدم تأثیر رود باد بر پروازها مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج پژوهش تمامی رود بادها باعث ایجاد تلاطم برای همه پروازها شدند و کاهش سرعت برای پروازهای مسیرهای اهواز، زاهدان و بندرعباس به تهران و افزایش سرعت پروازهای مسیر کرمانشاه - تهران را متناسب با جهت و نوع وزش رود بادها، در پی داشتند. همچنین مشخص گردید که همه رود بادها دارای سرعتی بیشتر از ۹۰ نات بوده‌اند، لذا ظرفیت ایجاد تنش و تلاطم‌هایی همچون CAT در آن‌ها دیده شد.

واژگان کلیدی:

پرواز،
رود باد،
وردایست،
وردسپهر،
هواپیما.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۶/۰۱

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۱۰/۰۶

تاریخ چاپ:

۱۴۰۲/۱۱/۰۸

صص. ۶۰-۴۱

استناد: رفیقی، محمد رضا؛ سلیقه، محمد و اکبری، مهتری. (۱۴۰۲). بررسی تأثیرات رود بادهای وردسپهری بر پرواز هواپیماها. *مجله آمایش جغرافیایی*

فضا، ۱۳ (۴)، ۶۰-۴۱.

<http://doi.org/10.30488/GPS.2023.381718.3611>



مقدمه

دانش آب‌وهواشناسی در مورد مسائل مربوط به هوانوردی از طریق شناخت وضعیت جوی و تأثیر آن بر حمل‌ونقل هوایی کاربرد دارد. این تأثیر به‌اندازه‌ای است که درصد بالایی از برنامه‌های خطوط هوایی کشورهای مختلف به دلیل شرایط نامناسب جوی و پیش‌بینی دقیق با تأخیر انجام، یا لغو می‌شود (خالدی، ۱۳۷۳: ۹۷). در صورت آگاهی از عوامل جوی و اقلیمی می‌توان کمک ارزنده‌ای به ایمنی حمل‌ونقل هوایی کرد و همچنین خسارت‌های ناشی از حوادث جوی و پروازی را کاهش داد (محمدی، ۱۳۸۵: ۱۹۱). از عمده‌ترین مخاطرات جوی که ممکن است برای یک پرواز رخ دهد، قیچی باد، رود باده‌ا و تلاطم در هوای صاف (CAT) می‌باشد. در این میان رود باده‌ا نقش مهم‌تری دارند. این پژوهش درصدد است به بررسی تأثیرات رود باده‌ا بر پرواز هواپیماها بپردازد.

برای نخستین بار پدیده رود باد در دهه ۱۹۲۰ به‌وسیله واسابورو اوئیشی^۱ یک هواشناس ژاپنی کشف شد. شناخت بیشتر از رود باده‌ا سال ۱۹۳۴ به دست آمد، زمانی که یک خلبان آمریکایی به نام ویلی پست^۲ در خلال پروازهای خود متوجه تغییرات ناگهانی سرعت، حاکی از قرار گرفتن وی در یک جریان کاملاً متفاوت از توده‌هوا بود. بعدها در طول جنگ جهانی دوم خلبانانی که مسیر میان اروپا و آمریکای شمالی را طی می‌کردند، متوجه تغییرات فاحش سرعت باد شدند و همه این‌ها کم‌کم بر میزان اطلاعات هواشناسان و دانشمندان جهان افزود (Briney, 2021). در همین راستا (Baughman, 1946: 459-462) طی مطالعه موردی بر فراز اقیانوس اطلس شمالی نشان داد، تلاطم هوای صاف در نواحی با تقابل شدید توده‌های هوا و چینش باد امکان‌پذیر خواهد بود. حدوداً یک دهه بعد (Chambers E, 1955: 613-628) چندین مورد آشفتگی متوسط تا شدید را بر فراز اقیانوس اطلس شمالی به ثبت رساند و متوجه شد تعداد زیادی از تلاطم‌های جوی در مناطقی با تغییرات شدید سرعت باد رخ داده است. چند سال بعد، (Panofsky, 1970: 937-944) گزارش دادند تلاطم هوای صاف به‌احتمال زیاد در مناطقی که چینش قائم باد و گرادیان افقی شدید دما وجود داشته باشد، اتفاق خواهد افتاد. (Mancuso & Endlich, 1966: 581-585) نیز از روش‌های آماری برای نشان دادن تلاطم جوی در مناطقی با مقادیر زیاد چینش قائم باد و تغییر شکل بهره بردند. سپس (Roach, 1970: 413-429) دریافت تغییر شکل و چینش قائم باد نقش مهمی در تولید تلاطم جوی ایفا می‌کند. از طرفی مطالعات دیگری همچون (Anderson et al, 1982: 227-234)، (Ellrod, 1985: 28) و (Ellrod & Knapp, 1992: 150-165) که با استفاده از مقایسه تصاویر ماهواره‌ای و گزارش‌های خلبانان انجام شد، فرضیه تغییر شکل و ایجاد تلاطم جوی را تأیید کرد [به‌طور مثال، (Ellrod & Knapp, 1992: 150-165) و (Peterson, 1956)]. (Mohapatra, 1995) اختلاف سرعت باد، تلاطم و قابلیت دید ضعیف و عوامل به وجود آورنده و خطرات ناشی از آن‌ها را مورد بحث و بررسی قرار داده است.

علیرغم پیشرفت‌های قابل توجه کماکان پیش‌بینی تلاطم هوای صاف در محیطی که با امواج گرانی توسط رود باده‌ا تولید شده است، دشوار است (Sharman & Lane, 2016). تحقیقاتی نیز در خصوص نحوه انتشار امواج گرانی حاصل از رود باده‌ا و جبهه‌ها طی چند دهه گذشته (به‌طور مثال [Plougonven & Zhang, 2014]) و منابع موجود در آن [انجام شده است که نشان می‌دهد امواج گرانی حاصل از جبهه‌ها با تغییراتی در چینش باد و پایداری جو در مقیاس کوچک

1. Wind Shear
2. Jet Stream
3. Clear Air Turbulence
4. Wasaburo Ooishi
5. Wiley Rst

سبب تلاطم هوای صاف می‌شوند (Knox, 1977) و (Mancuso & Endlich, 1966). به لحاظ نظری یک دلیل مهم دشواری توصیف امواج گرانی حاصل از رود بادهای و جبهه‌ها به علت ساده‌سازی و فیلتر شدن این امواج در مدل‌ها است [(Plougonven & Zhang, 2014)، (Mirzaei et al, 2014) و (Wei & Zhang, 2014)]. (Stefan et al, 2020) در مقاله‌ای با عنوان «مطالعه آشفته‌گی هوای صاف مربوط به جریان‌ات وردایست بر روی فضای هوایی رومانی» بیان داشتند که تلاطم هوای صاف (CAT) تهدید قابل‌توجهی برای هواپیمایی است. نتایج نشان داد که از ۴۲۰ مورد اعلام‌شده توسط خلبانان، تلاطم شدید در ۸۰ مورد گزارش‌شده است که ۱۳ مورد آن با چین وردایست مرتبط است. (آریامنش، ۱۳۹۹: ۱) در رساله دکتری خود با مضمون: «مطالعه تلاطم هوای صاف در منطقه ایران با استفاده از یک مدل عددی میان‌مقیاس (WRF) پیش‌بینی وضع هوا» برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی میدان‌های باد، دما و تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیلی در محدوده ایران، از شاخص‌های CAT مانند عدد ریچاردسون، چپش قائم باد و شاخص داتن استفاده نمود. همچنین (تاجبخش و همکار، ۱۳۸۶: ۱) در مقاله‌ای با عنوان: «عوامل مؤثر جوی در رخداد برخی از مهم‌ترین مخاطرات پرواز با ارائه یک مطالعه موردی» دریافتند که عوامل زیر در وقوع انواع مختلف تلاطم که یکی از اجتناب‌ناپذیرترین پدیده‌های جوی حین پرواز و هنگام نشست و برخاست هواپیماست، مؤثرند. موقعیت رود بادهای، شکل ناوه و پشته سطوح فوقانی، حرکت هواپیما در منطقه CoI از جمله این عوامل هستند.

مبانی نظری

پایین‌ترین لایه جو که در برگرفته بیشترین جرم هواست وردسپهر^۱ می‌باشد. ضخامت متوسط لایه وردسپهر ۱۱ کیلومتر می‌باشد، ضخامت این لایه در قطب به حداقل (صفر کیلومتر) و در استوا به مقدار حداکثر ۲۰ کیلومتر می‌رسد (قیصری، ۱۳۹۵). رود باد آیا جت باد، یک جریان هوای با سرعت بالا می‌باشد که به صورت یک تونل باد فرضی در ارتفاعات بالای هوا کره زمین در لایه وردایست، قرار گرفته است (علیمحمدی نافچی، ۱۳۹۸: ۱). بنا بر تعریف سازمان هواشناسی جهانی، این رود باد تمرکز شبه افقی باد قوی نسبی با سرعت بیش از ۳۰ متر بر ثانیه (۶۰ نات) در درون جریان باریکی در جو است (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۳۵).

در نقطه انتقال بین وردسپهر (همان‌جایی که درجه حرارت جو با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد) و پوشش سپهر (همان‌جایی از هوا کره که با افزایش ارتفاع، درجه حرارت نیز افزایش می‌یابد) معمولاً رود بادهای به وجود می‌آیند و علت به وجود آمدن رود باد در این نقطه، ترکیب شدن گرمای هوا کره می‌باشد. تعیین محل دقیق رود بادهای برای پیش‌بینی وضع هوا ضروری است. پر قدرت‌ترین رود بادهای، معمولاً در ارتفاعات ۹۱۴۴ متری از سطح زمین ردیابی شده است. سرعت چنین بادهایی بین ۲۴۱ تا ۴۸۲ کیلومتر در ساعت است (علیمحمدی نافچی، ۱۳۹۸، <http://waterresources.blogfa.com/post/1047>).

تلاطم بر فراز لایه‌مرزی سیاره‌ای (PBL) را که هیچ‌گونه پیوند مستقیمی با ابرها نداشته باشد را تلاطم در هوای صاف^۳ (CAT) می‌نامند. از علل به وجود آمدن CAT می‌توان به امواج گرانش، تغییرات در سمت و سرعت باد، رود بادهای بیش از ۹۰ نات و ابرهای سیروس اشاره کرد (هواشناسی هوانوردی، ریتالاک). تلاطم در هوای صاف در واقع همان تلاطم‌هایی است که باعث برخی تکان‌های شدید میان پرواز می‌شود.

1. Troposphere
2. Jet Stream
3. Clear Air Turbulance

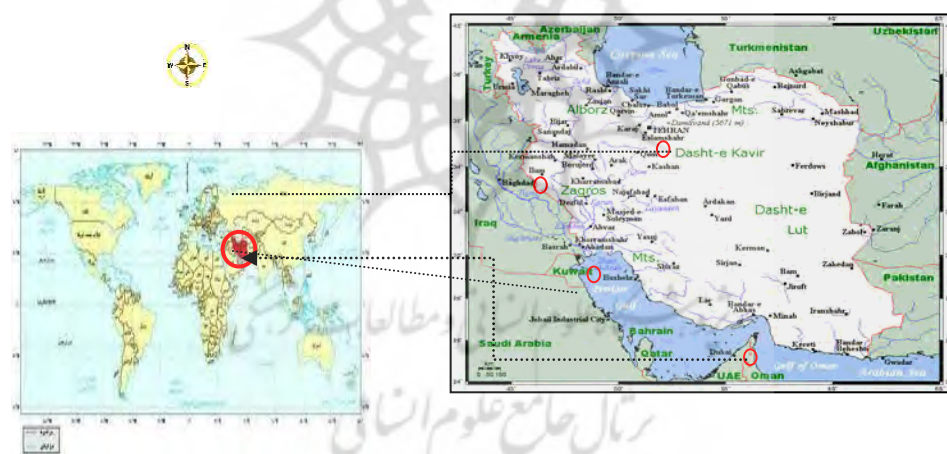
روش پژوهش

پژوهش کاربردی پیش رو با مراجعه به نوشتار و اسناد کتابخانه‌ای، تارنماها و داده‌های پایگاه داده‌های هواشناسی، آب‌وهواشناسی و سنجش‌ازدوری و مصاحبه و مشاوره با خلبانان و کارشناسان هواشناسی هوانوردی، به روش کمی و علمی، با رویکرد استقرائی، انجام پذیرفته است.

داده‌های مورد مطالعه در این پژوهش شامل نقشه‌های میانگین روزانه مؤلفه‌های مداری (U-Wind) و نصف‌النهاری باد (V-Wind) که از ۱ ژانویه سال ۱۹۴۸ تا آخر ماه دسامبر سال ۲۰۲۲ موجودند و برای بازه زمانی زمستان ۱۳۹۸ شمسی یعنی ۱ دی‌ماه ۱۳۹۸ (۲۲ دسامبر ۲۰۱۹) تا ۲۹ اسفند ۱۳۹۸ (۱۹ مارس ۲۰۲۰) از طریق پایگاه‌های داده محیطی NOAA/NCEP وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات‌متحده آمریکا اخذ گردیده است. همچنین اطلاعات مسیر پروازی شامل نقشه EN Route، نام و نوع پرواز، ارتفاع و سرعت هواپیما و ... از سامانه‌های Flightaware و Flightradar24 دریافت شد.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه محدوده کشور جمهوری اسلامی ایران بین طول ۴۳ درجه تا ۶۵ درجه شرقی و عرض ۲۵ درجه تا ۴۵ درجه شمالی قرار گرفته است. فرودگاه‌هایی که مسیر پروازی آن‌ها مورد بررسی شده عبارت‌اند از: فرودگاه شهید اشرفی اصفهانی کرمانشاه، فرودگاه اهواز، فرودگاه زاهدان و فرودگاه بندرعباس. همچنین فرودگاه مهرآباد تهران به‌عنوان مقصد کلیه پروازها در نظر گرفته شده است.



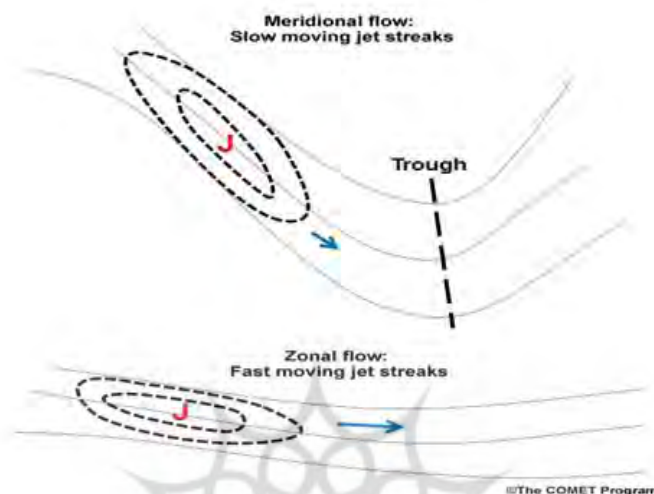
شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

یافته‌ها

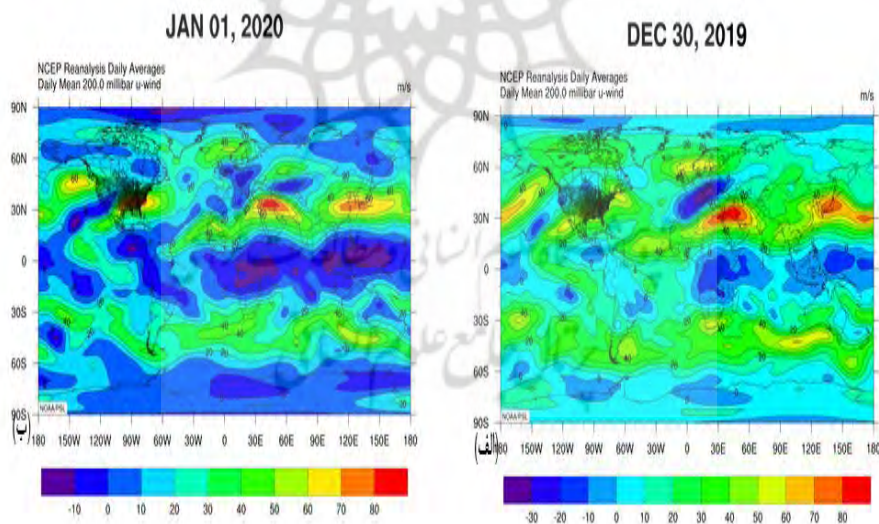
بررسی موقعیت هسته‌های سرعت رود باد

حداکثر سرعت باد که در یک جریان رود باد تعبیه شده است را هسته سرعت رود باد گویند. هسته‌های سرعت معمولاً به‌عنوان حداکثر فرم بیضی در تحلیل خطوط جریان هم سرعت تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال شناخته می‌شوند (شهبازی، ۱۳۹۲، <http://irmancy.ir>)، به‌عنوان مثال، نواحی قرمز رنگ بر فراز ایران در شکل شماره (۳)، (الف) و (ب). مطابق همین اشکال و همین‌طور شکل شماره (۲) هنگامی که رود باد مداری است، اغتشاشات موج‌کوتاه و هسته‌های سرعت، تقریباً

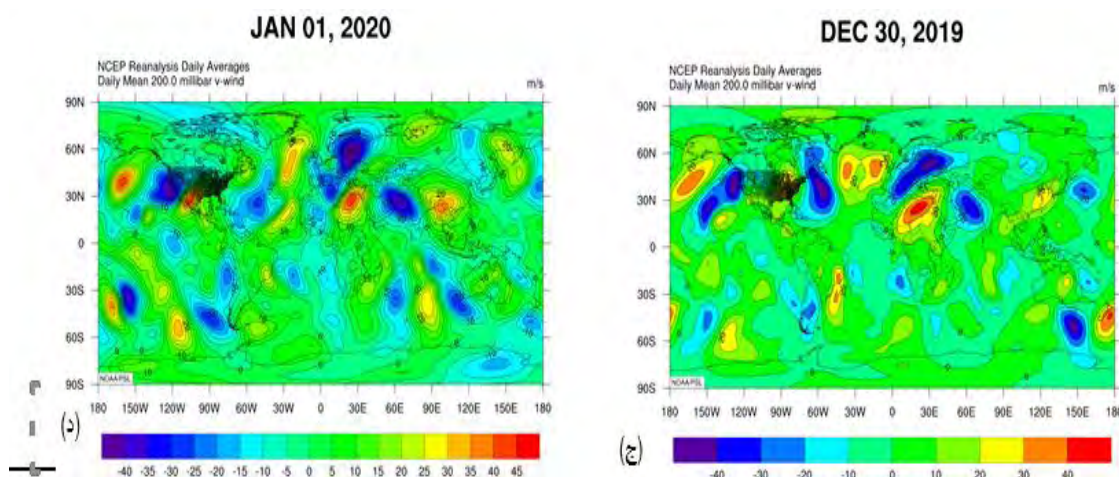
به‌طور مستقیم از غرب به شرق، سریعاً در طول مسیر رود باد حرکت می‌کنند. در مقابل، زمانی که الگوی رود باد نصف‌النهاری است مطابق شکل شماره (۴)، (الف) و (ب) موجی از فرازها و فرودها تراز فوقانی معمول هستند، هوای گرم به سمت قطب و هوای سرد به سمت استوا جریان یافته و حرکت اغتشاشات معمولاً آهسته‌تر است. گرادیان قوی دما در گستره طول جغرافیایی محدودی گسترش یافته و به سیستم‌های کم‌فشار (فروبار) و سیستم‌های پرفشار (فرابار) منتج می‌شود که به ترتیب باعث تداوم شرایط مرطوب و خشک می‌شوند.



شکل ۲. طرح رود باد در الگوهای مداری و نصف‌النهاری



شکل ۳. نقشه جهانی میانگین روزانه مؤلفه مداری باد (U-Wind) در سطح ۲۰۰ هکتو پاسکال زمستان نیمکره شمالی و تابستان نیمکره جنوبی روز ۳۰ دسامبر ۲۰۱۹ (الف) و ۱ ژانویه ۲۰۲۰ (ب) (منبع: NCEP/NCAR)

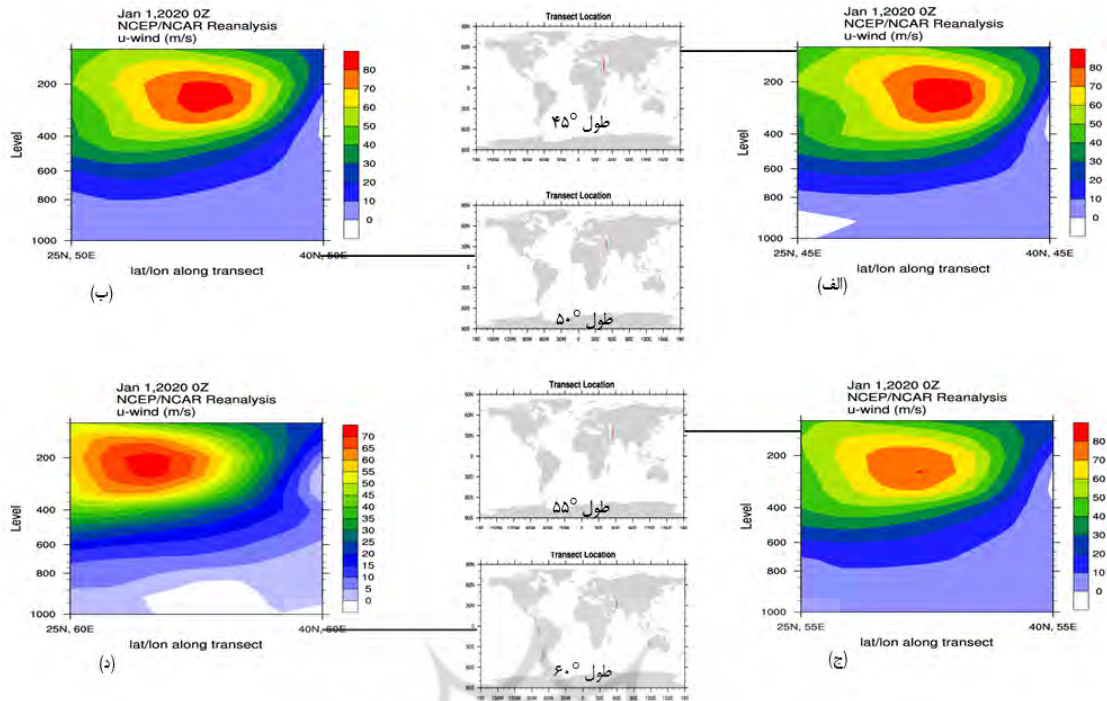


شکل ۴. نقشه جهانی میانگین روزانه مؤلفه نصف‌النهاری باد (V-Wind) در سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال زمستان نیمکره شمالی و تابستان نیمکره جنوبی روز ۳۰ دسامبر ۲۰۱۹ (الف) و ۱ ژانویه ۲۰۲۰ (ب) (منبع: NCEP/NCAR)

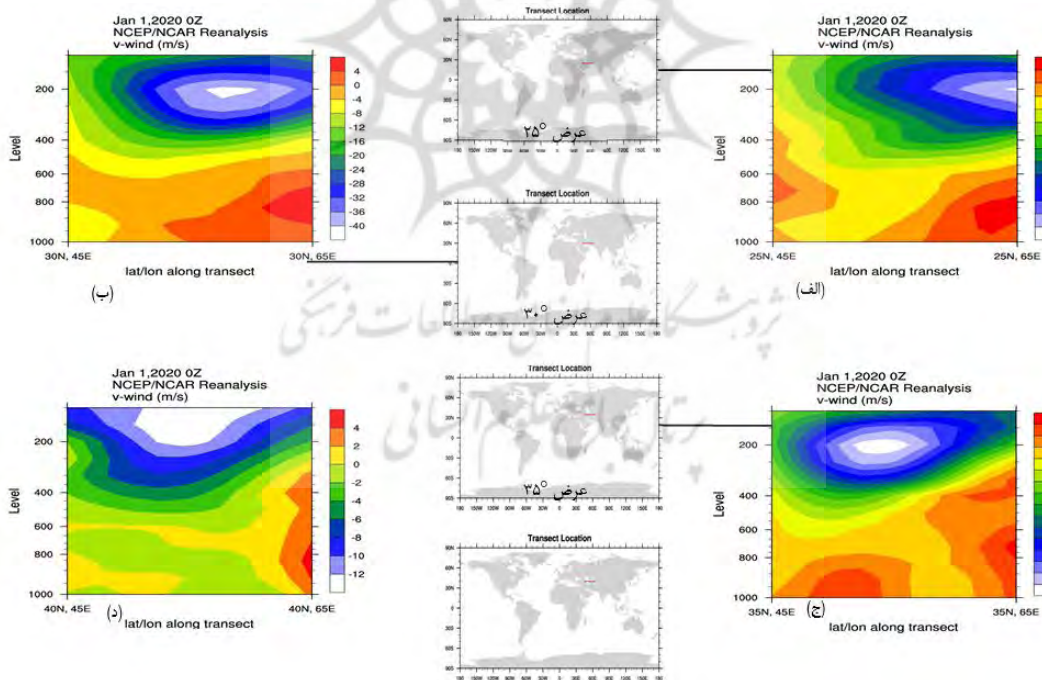
نیمرخ عمودی موقعیت رود باد در ترازهای جوی

برای مشخص کردن هسته رود بادهای و موقعیت قرارگیری آن در تراز جو می‌بایست برش مقطعی و نیمرخ عمودی ترسیم شود که این کار با استفاده از ابزار مقایسه متقابل تحلیل مجدد مبتنی بر وب (قسمت نمایه‌های عمودی مجموعه داده‌های تحلیل مجدد) صورت می‌گیرد. ابتدا نقشه برش مقطع عمودی^۴ و سپس متغیر باد مداری^۵ با انتخاب بالاترین سطح مورد تحلیل یعنی ۱۰۰ هکتوپاسکال انتخاب شد. در مرحله بعد مجموعه داده‌های شبکه‌بندی شده باز تحلیل ۱ (NCEP/NCAR R1) را در بازه مکانی و زمانی محدوده پژوهش انتخاب و در نهایت گزینه ایجاد نقشه انتخاب شد. از آنجایی که از بررسی جریانات باد مداری و نصف‌النهاری می‌توان به موقعیت هسته رود بادهای پی برد، نقشه‌های سطح مقطع عمودی این بادهای تولید گردیدند. چون رود بادهای عمده‌تاً در فصل زمستان شدیدترند و روبات قطبی در طی زمستان مواقعی که به مناطق حاره‌ای انتقال یافته و با روبات جنب‌حاره‌ای ادغام می‌شود، قوی‌ترین خواهد بود. لذا مبنای کار بازه زمستان ۱۳۹۸ (۲۲ دسامبر ۲۰۱۹ تا ۱۹ مارس ۲۰۲۰) قرار داده شد و نقشه‌های آن تولید گردید. مطابق شکل‌های شماره (۵) و (۶) میانگین نرمال موقعیت‌ها یا سطح قرارگیری هسته رود باد در روز اول ژانویه ۲۰۲۰ (۱۱ دی ۱۳۹۸)، هم در باد مداری و هم در باد نصف‌النهاری، سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. لذا نقشه‌های باد مداری و نصف‌النهاری برای تعیین هسته و مسیر عبور رود باد از روی منطقه ایران برای سطح ۲۰۰ هکتوپاسکالی تولید گردیدند. خط برش مؤلفه باد از عرض ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی به صورت یک خط راست ثابت در همه برش‌های مقطعی در نظر گرفته شده و نقشه‌های نمایه عمودی برای طول‌های ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ درجه شرقی تولید شده‌اند. همچنین خط برش مؤلفه نصف‌النهاری باد از طول ۴۵ تا ۶۰ درجه شرقی به صورت یک خط راست ثابت در همه برش‌ها بارز بوده و نقشه‌های نمایه عمودی برای عرض‌های ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه شمالی تولید گردیده‌اند.

1. Vertical Profile
2. Web-based Reanalysis Intercomparison Tool
3. Vertical Profiles of Reanalysis Datasets
4. Vertical Transect
5. Zonal Wind(U-Wind)



شکل ۵. نقشه‌های برش مقطعی عمودی مؤلفه مداری باد از تراز ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ژانویه ۲۰۲۰ منطقه ایران



شکل ۶. نقشه‌های برش مقطعی مؤلفه نصف‌النهاری باد از تراز ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ژانویه ۲۰۲۰ منطقه ایران

چون در روزهای منتخب، رود بادهای تقریباً به‌طور مستقیم از غرب به شرق، می‌وزند و دارای اغتشاشات موج‌کوتاه و هسته‌های سرعت بالای ۸۰ متر بر ثانیه هستند، لذا الگوی رود بادهای کاملاً مداری است. بدین جهت فقط نقشه‌های مؤلفه مداری باد برای سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال و بازه زمانی زمستان ۱۳۹۸ شمسی تولید گشت. روزهای دارای رود باد مداری

قوی (سرعت بیش از ۸۰ متر بر ثانیه) در سامانه NCEP/NCAR احصاء و طبق جدول شماره (۱) دسته‌بندی و سپس نقشه‌های میانگین روزانه آن مؤلفه تولید گردید. همچنین بررسی شد که میانگین نمای واقعی از داده‌های ۶ ساعته (مشاهداتی) باشد. این امر صادق بود و نقشه‌های میانگین روزانه این مؤلفه، نسبت به داده‌های ۶ ساعته، تغییر خاصی نداشتند.

جدول ۱. لیست روزهای دارای رود بادهای مداری قوی (سرعت بیش از ۷۰ متر بر ثانیه) و محدوده جریان رود باد

ردیف	روز وقوع رود باد (میلادی)	روز وقوع رود باد (شمسی)	سرعت رود باد مداری (U-) بر حسب m/s (Wind)	محدوده جریان رود باد
۱	۲۰۱۹/۱۲/۳۰	۱۳۹۸/۱۰/۰۹	۸۰	کرمانشاه
۲	۲۰۱۹/۱۲/۳۱	۱۳۹۸/۱۰/۱۰	۸۰	کرمانشاه
۳	۲۰۲۰/۰۱/۰۱	۱۳۹۸/۱۰/۱۱	۸۰	کرمانشاه
۴	۲۰۲۰/۰۱/۰۲	۱۳۹۸/۱۰/۱۲	۸۰	کرمانشاه
۵	۲۰۲۰/۰۱/۰۳	۱۳۹۸/۱۰/۱۳	۷۰	کرمانشاه
۶	۲۰۲۰/۰۱/۰۴	۱۳۹۸/۱۰/۱۴	۸۰	خوزستان
۷	۲۰۲۰/۰۱/۱۹	۱۳۹۸/۱۰/۲۹	۸۰	خوزستان
۸	۲۰۲۰/۰۱/۲۰	۱۳۹۸/۱۰/۳۰	۸۰	هرمزگان
۹	۲۰۲۰/۰۲/۰۸	۱۳۹۸/۱۱/۱۹	۷۰	کرمانشاه

انتخاب فرودگاه‌هایی که در مسیر این رود بادهای قوی بودند، اقدام بعدی در این فرآیند بود. بدین ترتیب ۱۴ شیت نقشه مؤلفه مداری باد که در آن سرعت‌های بیش از ۸۰ متر بر ثانیه رؤیت گردیده بود، تولید شد. در این میان، در منطقه غرب کشور در محدوده فرودگاه کرمانشاه ۶ رویداد، منطقه جنوب غرب در محدوده فرودگاه اهواز ۲ رویداد و در نهایت منطقه جنوب در محدوده فرودگاه بندرعباس ۱ رویداد ثبت و نقشه‌های آن تولید گردید.

برنامه پرواز فرودگاه‌های منتخب

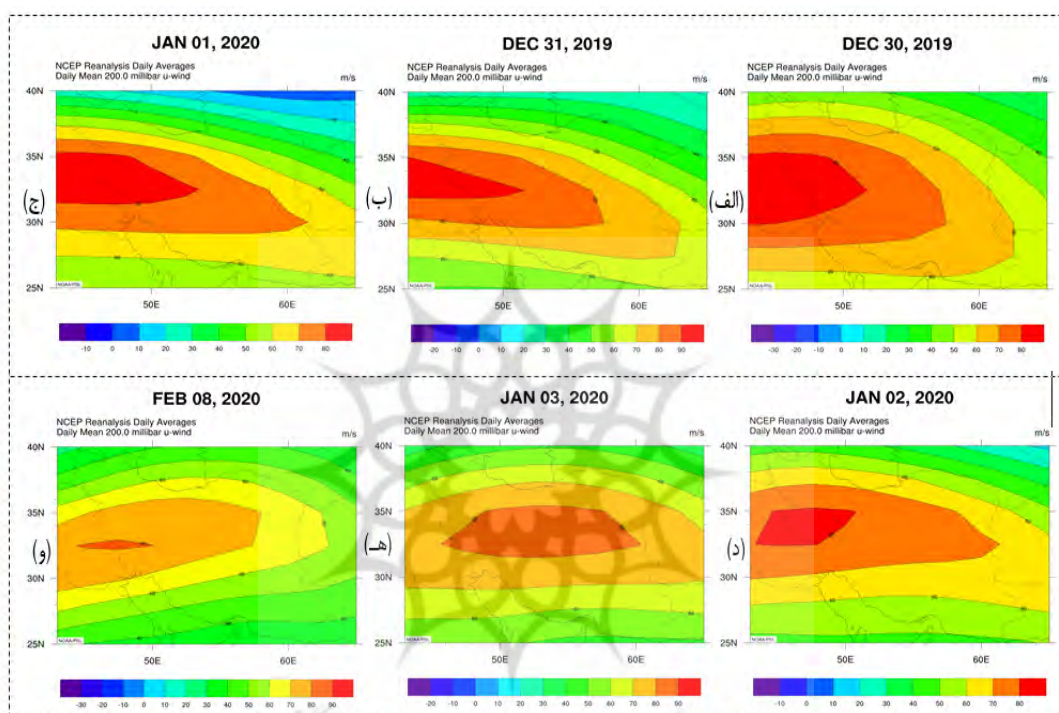
مطابق جدول شماره (۲) لیست پروازهای فرودگاه‌های مسیر عبور رود بادهای تهیه، تا بررسی شود که اثرات رود بادهای بر این پروازها چگونه بوده است. به دلیل فراوانی پروازها به مقصد تهران، فرودگاه مهرآباد تهران به‌عنوان مقصد کلیه پروازها در نظر گرفته شده است. آن‌طور که USA Today می‌گوید، شایع‌ترین ارتفاع پرواز هواپیماهای تجاری، رقمی در میان ۱۰ هزار تا ۱۳ هزار متر، برابر با (تقریباً) ۶ تا هشت مایل بالاتر از سطح دریا است. سایر هواپیماها در ارتفاع ۱۰ هزار و پانصد تا ۱۱ هزار متری پرواز می‌کنند.

جدول ۲. لیست پروازهای فرودگاه‌های مسیر عبور رود باد

ردیف	فرودگاه مبدأ	فرودگاه مقصد	تاریخ پرواز (شمسی)	تاریخ پرواز (میلادی)	تعداد پرواز
۱	کرمانشاه	تهران	۱۳۹۸/۱۰/۰۹	۲۰۱۹/۱۲/۳۰	۳
۲	کرمانشاه	تهران	۱۳۹۸/۱۰/۱۰	۲۰۱۹/۱۲/۳۱	۳
۳	کرمانشاه	تهران	۱۳۹۸/۱۰/۱۱	۲۰۲۰/۰۱/۰۱	۳
۴	کرمانشاه	تهران	۱۳۹۸/۱۰/۱۲	۲۰۲۰/۰۱/۰۲	۳
۵	کرمانشاه	تهران	۱۳۹۸/۱۰/۱۳	۲۰۲۰/۰۱/۰۳	۳
۶	اهواز	تهران	۱۳۹۸/۱۰/۱۴	۲۰۲۰/۰۱/۰۴	۱۷
۸	اهواز	تهران	۱۳۹۸/۱۰/۲۹	۲۰۲۰/۰۱/۱۹	۱
۸	بندرعباس	تهران	۱۳۹۸/۱۰/۳۰	۲۰۲۰/۰۱/۲۰	۶
۹	کرمانشاه	تهران	۱۳۹۸/۱۱/۱۹	۲۰۲۰/۰۲/۰۸	۳

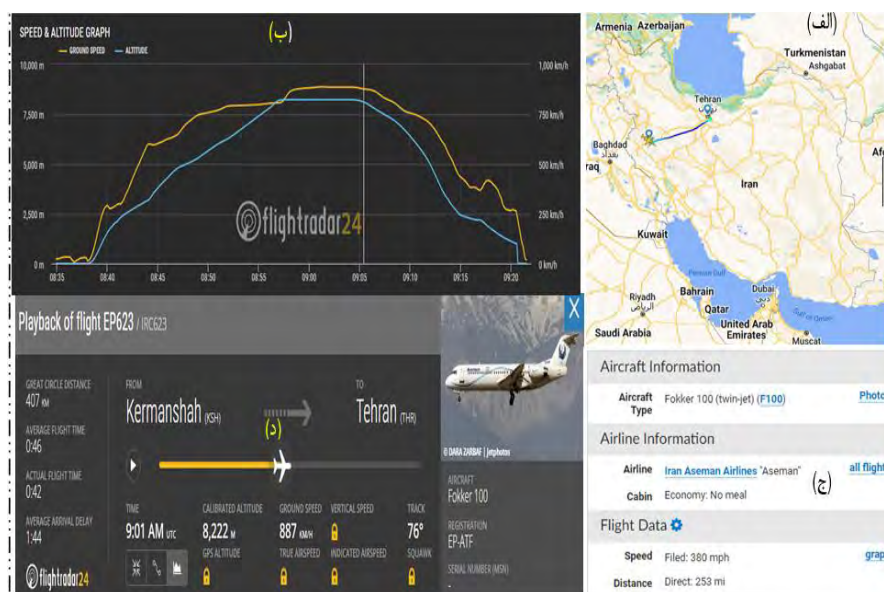
رود بادهای محدوده پروازی فرودگاه کرمانشاه

این رود بادهای به دلیل اینکه در ارتفاع بالا جریان دارند، از نوع جنب حاره می‌باشند. شکل شماره (۷) (الف) تا (و) نقشه‌های میانگین روزانه سرعت باد مداری در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهند. هسته رود باد با رنگ قرمز کاملاً مشهود می‌باشد. مطابق شکل اشاره شده، رود بادهای به وقوع پیوسته در این مسیر (روزهای ۳۰ و ۳۱ دسامبر ۲۰۱۹ - ۱ و ۲ ژانویه ۲۰۲۰) بیش از ۸۰ متر بر ثانیه، معادل ۲۸۸ کیلومتر بر ساعت و روزهای ۳ ژانویه و ۸ فوریه ۲۰۲۰ بیش از ۷۰ متر بر ثانیه سرعت دارند.



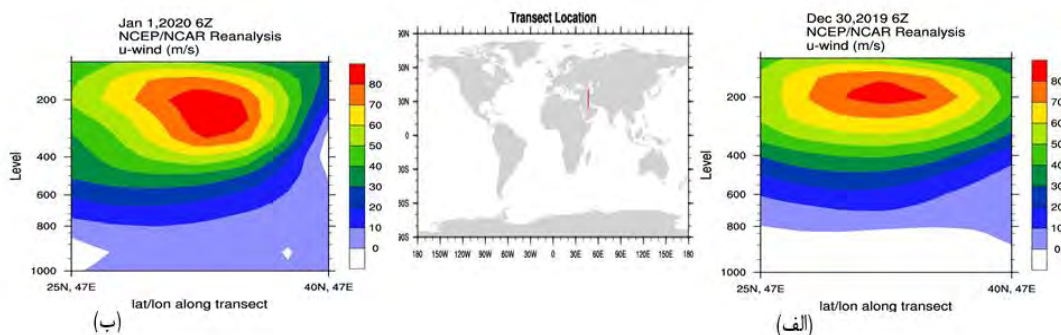
شکل ۷. نقشه‌های مؤلفه مداری در تراز ۲۰۰ hp روزهای ۳۰ و ۳۱ دسامبر ۲۰۱۹ - ۱ و ۲ ژانویه - ۸ فوریه ۲۰۲۰ ایران

شکل شماره (۸)، (الف) مسیر پروازی کرمانشاه - تهران را در بستر نقشه EN Route نشان می‌دهد. در شکل شماره (۸)، (ب) دو نمودار زرد رنگ معرف سرعت هواپیما و آبی رنگ نشانگر ارتفاع پرواز می‌باشد. در شکل شماره (۸)، (ج) اطلاعات پروازی توضیح داده شده است. مطابق شکل شماره (۸)، (د) ارتفاع نهایی (سقف پرواز) فوکر ۱۰۰ در این مسیر ۸۲۲۲ متر معادل ۲۷۰۰۰ پا از سطح دریا می‌باشد. بدین ترتیب حداکثر سرعت این هواپیما در مسیر پروازی فوق، معادل ۸۸۷ کیلومتر بر ساعت است. رود بادهای جریان داشته در روزهای منتخب، دارای سرعتی معادل ۸۰ متر بر ثانیه (+) در جهت موافق مسیر پروازی بودند، لذا باعث افزایش سرعت هواپیماها تا حدود ۱۰۰۰ کیلومتر بر ساعت شدند.



شکل ۸. (الف) تا (د) اطلاعات پرواز خط هوایی کرمانشاه - تهران

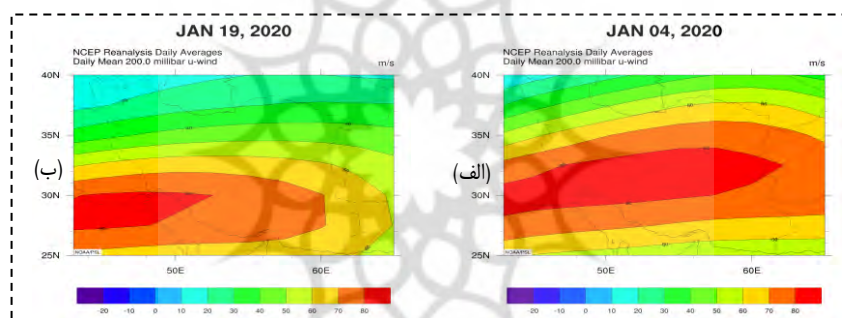
آنچه در شکل شماره (۹)، (الف) مشاهده می‌شود (نواحی با رنگ قرمز)، گویای این است که رود باد جریان داشته در این روز، در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی یعنی ۱۱۷۰۰ متری از سطح دریا یا ارتفاع ۳۹۰۰۰ پایی می‌وزد. با نگاهی به نمایه عمودی میانگین سرعت رود باد مداری در ساعت ۰۶:۰۰ UTC در شکل شماره (۹)، (الف) مشخص می‌شود که در روز ۳۰ دسامبر ۲۰۱۹ مسیر پروازی این هواپیما در هسته رود باد واقع نمی‌باشد، بلکه این هواپیما در سطح پایین‌تری (۳۰۰ هکتوپاسکالی) پرواز می‌کرد که سرعت رود باد در آنجا، ۷۰ متر بر ثانیه بود. جریان غربی - شرقی رود باد باعث شد که این هواپیما برای طی مسیر غربی - شرقی خود دچار مشکل نشود و فشار زیادی به موتورهای وارد نشود و نیرویی که توسط کناره‌های رود بادها از سمت غرب به عقب هواپیما وارد می‌شد، به کمک موتور پیشران هواپیما آمده و در نتیجه باعث افزایش سرعت زمینی شد. باید توجه داشت تا زمان رسیدن هواپیماها به اوج کامل و قرارگیری آنها در کریدور اصلی، آنها باید از سطوح پایین‌تر عبور می‌نمودند، لذا برخورد چندان با سرعت‌های بالای رود بادها نداشته و به هسته رود باد نزدیک نشوند؛ اما در انتهای مسیر منتهی به کریدور اصلی، به این رود بادها برخورد نمودند. این برخورد تا زمانی که هواپیما از منطقه تسلط رود باد خارج شود، ادامه داشته است. البته باید به اختلاف ۱۲۰۰۰ پایی سطح پرواز هواپیما و منطقه تسلط هسته جت نیز توجه داشت. درباره روز ۱ ژانویه ۲۰۲۰ اما مسئله کمی متفاوت به نظر می‌رسد. زیرا مطابق شکل شماره (۹)، (ب) هسته رود باد (نواحی با رنگ قرمز)، کمی گسترش یافته و علاوه بر تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال در تراز پایین‌تر یعنی ۳۰۰ هکتوپاسکال نیز حضور دارد. سقف پروازی هواپیمای فوکر ۱۰۰ این خط پروازی در حدود تراز ۳۵۰ هکتوپاسکال قرار دارد، یعنی با مرکز هسته رود باد تلاقی نداشته، اما با سپری شدن حدود ۲۵ دقیقه از زمان پرواز، با کناره‌های هسته رود باد در ارتفاع ۸۲۲۲ متری، برخورد داشته است. ولی به دلیل جهت غربی - شرقی این رود باد، قاعدتاً برخورد از قسمت عقب هواپیما صورت گرفته، فلذا مانند روز ۳۰ دسامبر ۲۰۱۹، باعث افزایش سرعت این پرواز شده است.



شکل ۹. برش مقطعی (نمایه) عمودی مؤلفه مداری باد از تراز ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال روزهای ۳۰ دسامبر ۲۰۱۹ و ۱ ژانویه ۲۰۲۰ منطقه کرمانشاه شکل (الف): ۳۰ دسامبر ۲۰۱۹ شکل (ب): ۱ ژانویه ۲۰۲۰

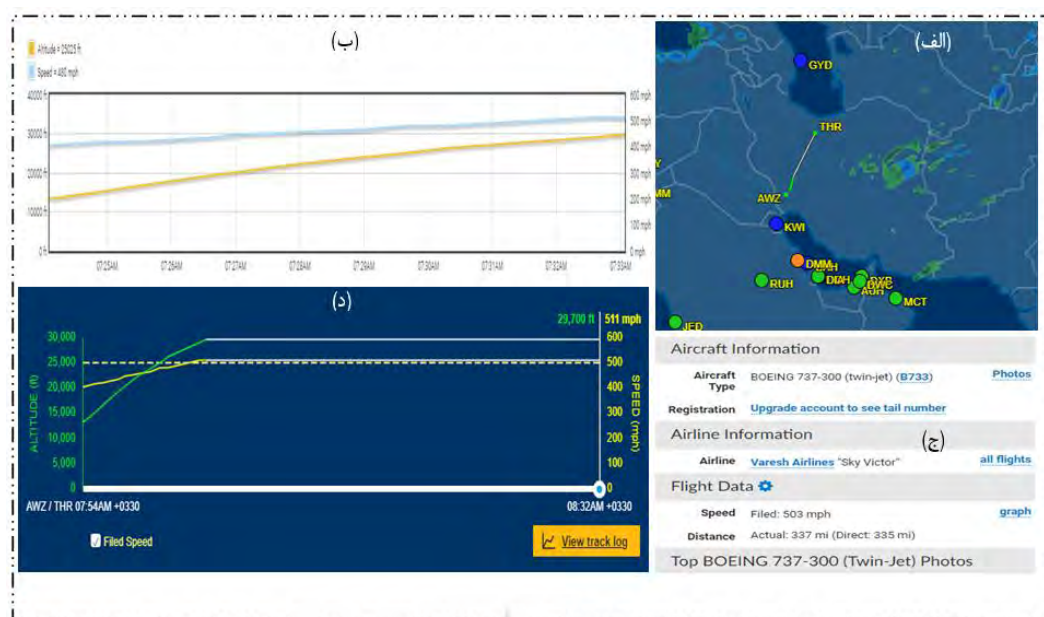
رود بادهای محدوده پروازی فرودگاه اهواز

این رود بادها از نوع جنب حاره می‌باشند. در روز ۴ ژانویه هسته رود باد بر روی منطقه اهواز قرار گرفته است، اما روز ۱۹ ژانویه رود بادی با سرعت ۷۰ متر بر ثانیه بر فراز این منطقه جریان دارد.



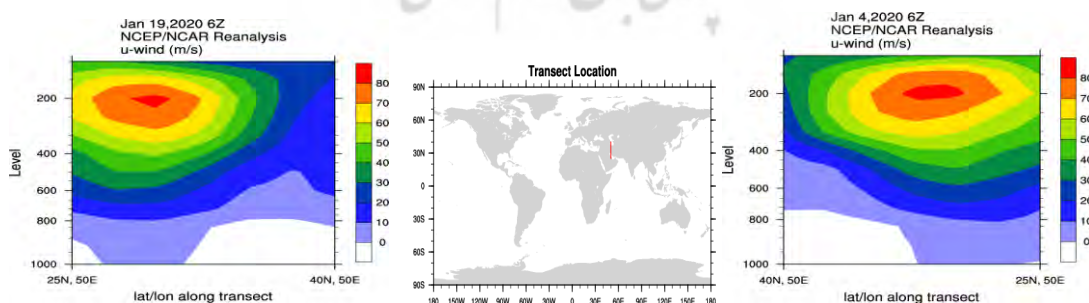
شکل ۱۰. نقشه‌های مؤلفه مداری باد در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، شکل (الف): ۴ ژانویه ۲۰۲۰ شکل (ب): ۱۹ ژانویه ۲۰۲۰

مطابق شکل شماره (۱۱)، (د) ارتفاع نهایی (سقف پرواز) هواپیمای بوئینگ ۷۳۷ در این مسیر ۲۹۷۰۰ پا می‌باشد. بدین ترتیب حداکثر سرعت این هواپیما در مسیر پروازی فوق، ۶۰۰ مایل بر ساعت، معادل ۹۶۶ کیلومتر بر ساعت است. اما در ارتفاع ۲۹۷۰۰ پایی از سطح دریا (به‌عنوان ارتفاع ثابت پرواز)، به سرعتی در حدود ۵۱۱ مایل بر ساعت معادل ۸۲۲ کیلومتر بر ساعت می‌رسد. رود باد به وقوع پیوسته در روز ۴ ژانویه ۲۰۲۰ تا ۸۰ متر بر ثانیه معادل ۲۸۸ کیلومتر بر ساعت سرعت داشت. خط پروازی فوق روزانه ۱۷ پرواز را به مقصد فرودگاه مهرآباد تهران در برنامه خود دارد.



شکل ۱۱. (الف) تا (د) اطلاعات پرواز خط هوایی اموای اهواز - تهران

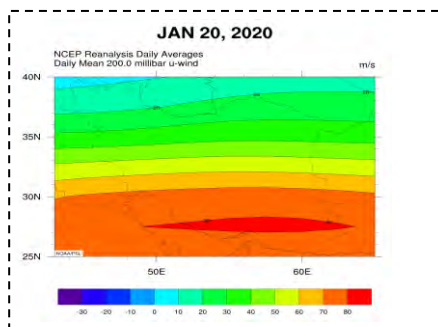
این رود بادهای در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی یعنی ۱۱۷۰۰ متری از سطح دریا یا ارتفاع ۳۹۰۰۰ پایی می‌وزند؛ درحالی‌که سقف پروازی این هواپیما در مسیر ذکرشده، حداکثر حدود ۳۰۰۰۰ پا، یعنی در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال واقع هست. با مشاهده نواحی با رنگ قرمز در شکل شماره (۱۲)، نقشه‌های (الف) و (ب) که معرف نمایه عمودی میانگین سرعت رود باد مداری در ساعت UTC ۰۶:۰۰ روزهای ۴ و ۱۹ ژانویه ۲۰۲۰ هستند، مشخص شد که مسیر پروازی این هواپیما در هسته رود بادهای واقع نمی‌باشد، بلکه هواپیما در سطح پایین‌تری پرواز می‌کرد که رود بادهایی با سرعت ۷۰ متر بر ثانیه در آن جریان داشتند. جریان غربی - شرقی رود باد باعث شد که این هواپیما برای طی مسیر جنوب غربی - شمال شرقی خود دچار مشکل شود و موتورهای متحمل فشار زیادی شده تا بر نیرویی که از سمت غرب به بدنه و بال سمت چپ هواپیما وارد می‌شد، فائق آید. در انتهای مسیر منتهی به کریدور اصلی به بخش‌هایی از رود باد با سرعت بیش از ۷۰ متر بر ثانیه برخورد نمود. این برخورد تا زمانی که هواپیما از منطقه تسلط رود باد خارج شود، ادامه داشته است.



شکل ۱۲. نقشه‌های برش مقطعی عمودی مؤلفه مداری باد از تراز ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال روزهای ۴ (الف) و ۱۹ ژانویه ۲۰۲۰ منطقه جنوب غرب ایران (اهواز) شکل الف: ۴ ژانویه ۲۰۲۰ شکل (ب): ۱۹ ژانویه ۲۰۲۰

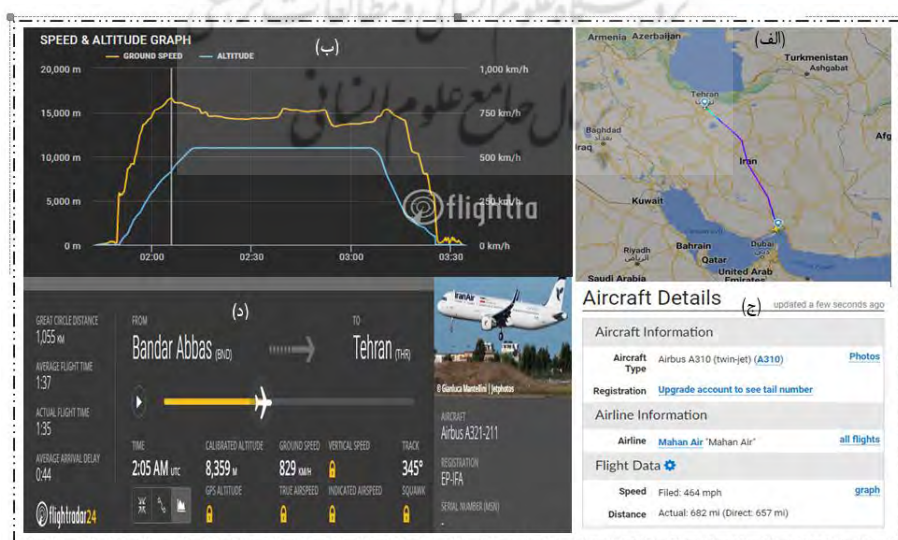
رود باد محدوده پروازی فرودگاه بندرعباس

این رود باد نیز از نوع جنب حاره می‌باشد. ۲۰ ژانویه ۲۰۲۰ روزی بود که مسیرهای پروازی فرودگاه بندرعباس درگیر پدیده رود باد قوی بیشتر از ۸۰ متر بر ثانیه بودند. شکل شماره (۱۳) نقشه میانگین روزانه سرعت باد مداری در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال را به نمایش درآورده است. هسته رود باد با رنگ قرمز کاملاً مشهود می‌باشد.



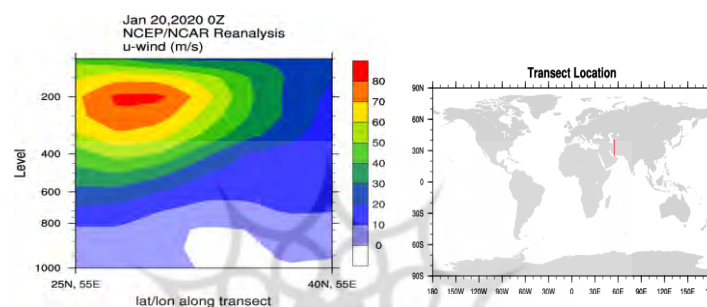
شکل ۱۳. نقشه مؤلفه مداری باد در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۰ ژانویه ۲۰۲۰ کشور ایران

مطابق شکل شماره (۱۴)، (ب) سقف پرواز هواپیمای ایرباس A-310 در این مسیر ۳۶۰۰۰ پا معادل ۱۱۰۰۰ متر می‌باشد این خط پروازی روزانه ۶ پرواز را در برنامه خود دارد. نمودار ترسیم‌شده در شکل شماره (۱۴)، (ب) حداکثر سرعت این هواپیما را در مسیر پروازی فوق، ۸۳۰ کیلومتر بر ساعت در ارتفاع ۸۳۵۹ متری یا ۲۷۴۲۴ پای یعنی قبل از رسیدن به ارتفاع ثابت پرواز، ثبت کرده و هواپیما پس از گذشت حدود ۱۵ دقیقه از زمان برخاست به این سرعت رسیده است. زمان پرواز بندرعباس تا تهران حدود ۱ ساعت و ۳۵ دقیقه می‌باشد، هواپیما پس از حدود ۱۵ دقیقه به این سرعت دست‌یافته است. علت این است که در ارتفاع ۲۷ هزار پای (تقریباً در تراز ۳۵۰ هکتوپاسکالی) حدود ۳۰ دقیقه پس از شروع پرواز در حال غلبه بر جریان غربی - شرقی رود باد با سرعت ۶۰ متر بر ثانیه (یعنی سرعت خارج از هسته رود باد) می‌باشد.



شکل ۱۴. (الف) تا (د) اطلاعات پرواز خط هواپیمایی بندرعباس - تهران

مناطق قرمز رنگ در شکل شماره (۱۵) آشکار نمود که این رود باد، در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی یعنی ۱۱۷۰۰ متری از سطح دریا یا ارتفاع ۳۹۰۰۰ پایی می‌وزد؛ همچنین سقف پروازی هواپیما این مسیر حداکثر حدود ۳۶۰۰۰ پا (۱۱۰۰۰ متر) و در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال واقع هست. در این ارتفاع رود بادی با سرعت بیش از ۷۰ متر بر ثانیه از سمت چپ به هواپیما برخورد نموده است. جریان غربی - شرقی رود باد باعث شد که این هواپیما برای طی مسیر جنوبی - شمالی خود دچار مشکل شود. اما از آنجایی که تا زمان رسیدن هواپیما به نقطه اوج، باید از سطوحی که سرعت رود باد در آن از ۶۰ تا ۷۰ متر بر ثانیه افزایش می‌یافت، عبور می‌نمود؛ لذا این برخوردها باعث ایجاد تنش در هواپیما شده است. هر چند تا رسیدن هواپیما به هسته رود باد حدود ۳۰ دقیقه از زمان پرواز هواپیما سپری شده بود و توان موتور هواپیما در زمان ذکر شده صرف غلبه بر دو نیروی جاذبه زمین و برخورد با کناره‌ها و رگه‌های رود باد می‌شود. این برخورد پس از رسیدن به نقطه اوج به حداکثر خود می‌رسد، زیرا در این نقطه به هسته رود باد نزدیک شده است. پس از طی حدود ۴۰ دقیقه از زمان آغاز پرواز، این هواپیما از منطقه تسلط رود باد خارج شده است.



شکل ۱۵. نقشه‌های برش مقطعی (نمایه) عمودی مؤلفه مداری باد از تراز ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۰ ژانویه ۲۰۲۰

بحث

پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیرات رود بادها بر پرواز هواپیماها انجام پذیرفت. در ابتدا نقشه‌های مؤلفه مداری باد برای سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال و بازه زمانی زمستان ۱۳۹۸ شمسی تولید گشت. اولین یافته‌ای که از پژوهش حاضر به دست آمد، این بود که رود بادهای مورد بررسی، از نوع جنب حاره و امتدادشان، غربی - شرقی بود، بنابراین کلیه پروازهای منتخب، درگیر مواجهه با آن‌ها بوده‌اند. در تمامی مسیرهای پروازی که در این پژوهش به آن پرداخته شده است (به جز پروازهای مسیر کرمانشاه - تهران) رود بادها، به عنوان عامل کاهش سرعت، ظاهر شدند. همچنین برخی از این رود بادها، دارای سرعتی بیشتر از ۹۰ نات (۴۶,۳ متر بر ثانیه) بوده‌اند، لذا ظرفیت ایجاد تنش و تلاطم‌هایی همچون CAT در آن‌ها دیده می‌شد.

هواپیماهای مسیر پروازی بندرعباس و اهواز که به هسته رود باد نزدیک نشدند، با تلاطم، مقاومت و اصطکاک کمتری مواجه شده و پرواز آرام‌تری را تجربه نمودند. زیرا در محور رود بادها سرعت باد بیشینه است. سرعت باد از مرکز رود باد به اطراف، کاهش می‌یابد (کاوینانی و علیجانی، ۱۳۷۹). رود بادهای جریان داشته در روزها و مسیرهای پروازی منتخب، به جز در مسیر کرمانشاه - تهران همگی در جهت مخالف پروازها جریان داشتند و به علت اینکه هسته‌های آن‌ها دارای حداکثر سرعتی معادل ۸۰ متر بر ثانیه ($-$) بودند، ظرفیت و توان لازم برای کاهش سرعت هواپیماها را دارا بودند و علاوه بر کاهش سرعتی محسوس، باعث بهره‌گیری بیشتر از قدرت موتورها شدند. بالعکس، رود بادهایی که در جهت موافق پرواز هواپیماها بودند (مانند مسیر کرمانشاه - تهران)، کمک قابل ملاحظه‌ای به موتور هواپیماهای این مسیر در ارتقاء سرعت نمودند. با مطالعه پروازهای مسیر کرمانشاه - تهران که جزو پروازهای رو به شرق یا از غرب به شرق

هستند. نشان داده شد که با انتخاب مسیر پرواز بهینه و استفاده از مزایای بادهای پشت قوی و اجتناب از بادهای روبرو می‌توان مدت این پرواز را کاهش داد (Irvine et al, 2013: 88). هسته‌های رود باد در بستر موج‌های کوتاه و بلند حرکت و همانند آن‌ها دارای مناطق همگرایی و واگرایی اند (علیچانی، ۱۳۸۱). تقریباً تمامی پروازها در مسیر خود با مراکز واگرایی و همگرایی رود بادهای برخورد داشته و این امر تأثیرات خود را بر آنان گذاشته است. پایین‌ترین و بالاترین سطح ارتفاعی پروازها، به ترتیب مربوط به: ۱- مسیر پروازی کرمانشاه - تهران با ۲۷۰۰۰ پا ۲- مسیر بندرعباس - تهران با سقف پروازی ۳۶۰۰۰ پا بود. از آنجاکه تراز نیواری ۲۰۰ هکتوپاسکال برای ترسیم نقشه‌های مؤلفه مداری در نظر گرفته شده بود و این تراز معادل ۳۳۰۰۰ پا می‌باشد، لذا پروازها به هسته مرکزی رود بادهای وارد نشدند، بلکه به کناره‌ها و رگه‌های آن برخورد نمودند. اما بیشینه برش در لبه رود بادهای، که تفاوت‌های سرعت در آنجا قابل توجه هستند، وجود دارد.

گسترش کم‌فشار یا پرفشار تحت تأثیر موقعیت هسته‌های سرعت رود باد تعیین می‌شود. این موضع به دلیل حرکت صعودی (نزولی) ناشی از واگرایی و همگرایی در نواحی ورود و خروج هسته‌های سرعت رود باد می‌باشد (شهبازی، ۱۳۹۲، <http://irmancy.ir>). این خود می‌تواند یکی از عوامل به وجود آورنده تلاطم و برش در پروازهای مذکور به حساب بیاید. از آنجاکه در حوزه موضوع این پژوهش، نه در منابع خارجی و نه داخلی پژوهشی کاملاً مشابه یافت نشد و اکثر پژوهش‌ها حول موضوع تلاطم هوای صاف انجام پذیرفته، نمی‌توان بین یافته‌های این پژوهش و پژوهش‌های پیشین، مقایسه‌ای واقعی ارائه نمود. البته یافته‌های این پژوهش با پژوهش‌های هم‌راستای اشاره در پیشینه تحقیق، همخوانی داشته و مؤید آنان می‌باشد.

نتیجه‌گیری

اعلام وضعیت اضطراری یا تغییر مسیر به یک فرودگاه دیگر، در هیچ‌یک از پروازهای مورد اشاره در پژوهش، رخ نداده است. خلبانان پروازهای مسیر کرمانشاه - تهران که به شرق سفر می‌کنند، از جریان رود باد برای کاهش زمان سفر و افزایش سرعت استفاده می‌کنند. این مهم در پروازهای مسیره‌های بندرعباس، اهواز که غرب سو یا شمال سو هستند، نیز به‌عکس بوده و به‌صورت کاهش سرعت و افزایش زمان پرواز جلوه نموده است. هواپیماهای مورد بررسی در این پژوهش از نوع هواپیماهای Airbus A-310، Boeing 737 و Fokker 100 بوده که از بهترین هواپیماهای موجود در خطوط هوایی ایران که شرایط ایمن مواجهه با رود بادهای معمول را دارند. این هواپیماها در ارتفاع‌های همسان با ترازهای نیواری ۲۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال پرواز می‌نمودند. اگر چنانچه هواپیماها در ادامه مسیر با ابرهای کلمونیموس یا عوامل ایجاد تلاطم، مواجهه‌ای نداشتند، مسافران این پروازها از ناحیه این رود بادهای دچار گزند و آسیب خاصی نشده‌اند. دو رویکرد و تلقی کاملاً متفاوت و مرسوم در میان خلبانان، آشکار شد. برخی از خلبانان آن را پدیده‌ای رام و آرام و برخی دیگر آن را مخاطره‌آمیز می‌دانند. واقعیت این است که در حالت کلی و شرایط نرمال، این پدیده قابل مدیریت است. چنانچه شرایطی خاص و موردی، در مواجهه با این پدیده، مثلاً همراه شدن آن با یک توده‌های گرم و ... پیش آید، می‌تواند موجبات ایجاد مخاطراتی همچون CAT و ... را فراهم آورد. یعنی باعث ایجاد تلاطماتی از نوع چاله‌های هوایی گردد که برای مسافران خوشایند نیست و آمارهای آسیب سالانه از این دست قابل تأمل است.

مؤلفه‌های اغتشاشی در اندازه‌های هواپیما یا کوچک‌تر از آن، می‌توانند نیروهای قوی نایکناخت بر روی سطح هواپیما ایجاد کنند. این امر می‌تواند انحراف، افت‌وخیز، پیچش و هرگونه حرکات نامنظم دیگری را ایجاد نماید (حسینی و عطایی،

۱۳۹۵). همچنین نوع هواپیما و محتوای گزارش‌های و نقشه‌های پدیده‌های قابل ملاحظه هواشناسی هوانوردی (SIGXWX) در انتخاب ارتفاع پرواز، بسیار مؤثرند. اراده و اختیار خلبان در شرایط خاص و لحظه‌ای و ... نیز عامل دیگر در تغییر سطوح پروازی می‌باشد که این عمل ممکن است، هواپیما را در شرایط مواجهه یا عدم مواجهه با رود بادهای مذکور قرار دهد. لذا بررسی مواجهه واقعی این پروازها با رود بادهای نیازمند اطلاعات تکمیلی بسیاری می‌باشد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسنده از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

- آریامنش، محمدمهدی. (۱۳۹۹). مطالعه تلاطم هوای صاف در منطقه ایران با استفاده از یک مدل عددی میان مقیاس (*WRF*) پیش‌بینی وضع هوا. رساله دکتری هواشناسی، به راهنمایی دکتر سرمد قادر، دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک تهران.
- آریامنش، محمدمهدی؛ قادر، سرمد؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی و علیزاده، امید. (۱۳۹۸). مطالعه تلاطم هوای صاف در غرب ایران (مسیر پروازی تهران- اهواز و تهران - اردبیل) با استفاده از شبیه‌ساز مدل *WRF*. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۴ (۳)، ۱۴۳-۱۲۰. <https://doi.org/10.30499/ijg.2020.235239.1277>
- اینانلو، ر. (۱۳۷۷). نمونه‌هایی از سوانح هوایی ناشی از عوامل جوی، فصل‌نامه بازرسی و ایمنی نهجا، ۲۱ (۱۰).
- تاج‌بخش، سحر؛ آزادی، مجید و علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی. (۱۳۸۳). مطالعه شرایط هواشناختی تلاطم هوای صاف در منطقه ایران، نهمین کنفرانس دینامیک شارها، دانشگاه شیراز.
- تاج‌بخش، سحر. (۱۳۹۵). *هواشناسی هوانوردی ۱ و ۲*. چاپ اول، تهران، انتشارات آب‌وهوا.
- تاج‌بخش، سحر؛ آزادی، مجید؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی و عربلی، پروین. (۱۳۸۵). مطالعه موردی تلاطم صاف روی ایران به کمک برخی از شاخص‌های تلاطم در یک دوره ۵ ماهه (ژانویه - مه ۲۰۰۴). *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۲ (۱)، ۱۰۲-۸۵.
- جوان نژاد، رضا؛ صفر، محمود و قادر، سرمد. (۱۴۰۰). تحلیل تشخیصی و پیش‌بینی تلاطم هوای صاف منطقه خاورمیانه به‌ویژه ایران. *نشریه مهندسی مکانیک دانشگاه امیرکبیر تهران*، ۵۳ (۷)، ۴۲۲۰-۴۲۰۴. <https://doi.org/10.22060/mej.2021.18770.6886>
- حسینی، قاسم و عطایی، هوشمند. (۱۳۹۵). تأثیر مخاطرات آب‌وهوایی در حمل‌ونقل هوایی. سومین کنفرانس علمی - پژوهشی افق‌های نوین در علوم جغرافیا، برنامه‌ریزی معماری و شهرسازی ایران.
- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ عزیزی، قاسم؛ لشکری، حسن و ماهوتچی، محمدحسن. (۱۳۹۸). واکاوی الگوهای هم‌دید-پوشی بارش‌های آبرسنگین فراگیر تابستانه جنوب شرق ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۹ (۳۳)، ۲۰۲-۱۸۵.

- دکی زاده، میربهرز؛ سلیقه، محمد؛ ناصر زاده، محمدحسین و اکبری، مهری. (۱۳۹۷). تحلیل آماری و سینوپتیکی مؤثرترین الگوی رود باد ایجادکننده بارش‌های سنگین ایران. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۵ (۷)، ۴۸-۳۱. <https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3335>
- رحیمی، مجید. (۱۳۹۸). آشنایی با روبکس و بولتن‌های هواشناسی هوانوردی. اداره کل شبکه پیام‌های هوانوردی. رفیقی، محمدرضا. (۱۳۹۹). تأثیرات مؤلفه‌های مداری (U-Wind) و نصف‌النهاری باد (V-Wind) بر پرواز پهپاد ها. ریتالاک، بی. جی و نیلسن، آکسل وین. (۱۳۸۰). *هواشناسی هوانوردی*، ترجمه پرویز رضازاده، دوره کارشناسی هواشناسی. سبحان، ایرج. (۱۳۸۹). *هواشناسی در پرواز*، موسسه سینا. چاپ ۷.
- شرکت پرآرپاراس. (۱۳۸۶). علم هواشناسی، مرکز آموزش و خدمات هوایی سپهر.
- عابدینی، علی. (۱۳۸۵). *خدمات هواشناسی در زمینه هوانوردی*. مرکز پیش‌بینی سازمان هواشناسی کشور.
- علیجانی، بهلول. (۱۳۸۱). *اقلیم‌شناسی سینوپتیک*. تهران، انتشارات سمت.
- عزیزی، قاسم و صفرراد، طاهر. (۱۳۹۱). تحلیل ویژگی‌های رود باد طی فازهای ENSO مطالعه موردی سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰. *مجله پژوهش‌های اقلیمی*، ۳ (۹)، ۸۲-۶۹.
- کاظم‌زاده، م. (۱۳۷۶). سوانح پروازی ناشی از پدیده‌های جوی خطرناک و راه‌های پیشگیری از آن‌ها، فصلنامه بازرسی و ایمنی نه‌هاجا، شماره ۲۰.
- کاوایی، محمدرضا و علیجانی، بهلول. (۱۳۷۹). *مبانی آب‌وهواشناسی*. تهران، انتشارات سمت.
- کلانتری، بهاره؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی و مبارک حسن، الهام. (۱۳۹۵). بررسی شکل‌گیری امواج کوهستان (امواج بادپناه بر فراز رشته‌کوه‌های زاگرس و تلاطم هوای صاف CAT ناشی از آن). *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۲ (۴۳)، ۴۵۹-۴۵۱. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2017.60298>
- مجرد، فیروز؛ معصوم پور، جعفر؛ کوشکی، سمیرا؛ میری، مرتضی. (۱۳۹۸). تحلیل زمانی - مکانی توفان‌های تندی در ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۹ (۳۲)، ۲۳۲-۲۱۳. <https://doi.org/10.30488/gps.2019.91873>
- مرکز آموزش و خدمات هوایی سپهر. (۱۳۸۶). *علم هواشناسی*.
- سینایی، حسن؛ سلیقه، محمد و اکبری، مهری. (۱۴۰۰). بررسی بارش‌های حدی و نقش رود بادها در آن مطالعه موردی: جنوب غرب ایران. *مجله پژوهش‌های جغرافیایی ایران «سپهر»*، ۳۱ (۱۲۱)، ۱۸۹-۱۷۴. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2022.252777>
- مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۹۰). *آب‌وهوای ایران*، انتشارات دانشگاه اصفهان.

References

- Abedini, A. (2006). Meteorological services in the field of aviation. *Prediction Center of the National Meteorological Organization*. [In Persian].
- Anderson, A. D. (1957). Free-air turbulence. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 14 (6), 477-494. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1957\)014%3C0477:FAT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1957)014%3C0477:FAT%3E2.0.CO;2)
- Anderson, R., Gurka, J., & Steinmetz, S. (1982). *Application of VAS multispectral imagery to aviation forecasting*. in: Preprint., 9th Conf. on Weather Forecasting and Analysis, 227-234.
- Aryamanesh, M. M., Gadder, S., Aliakbari Bidokhti, A., & choobari, O. A. (2020). *Prediction of the clear air turbulence over western Iran (Tehran – Ahwaz & Tehran – Ardebil) using the WRF model simulations*. in: 19th Iranian Geophysics Conference, Tehran, Iran. [in Persian].
- Aryamnes, M. M. (2019). *A study of clear air turbulence in the Iranian region using a medium-scale numerical model (WRF) for weather forecasting*. Doctoral dissertation in meteorology, under the guidance of Dr. Sarmad Qadir, Tehran University, Tehran Institute of Geophysics. [In Persian].
- Aryamnes, M. M., Qader, Sarmad., AliAkbari-Bidokhti, A. A., & Alizadeh, Omid. (2018). Clear air turbulence study in western Iran (Tehran-Ahwaz and Tehran-Ardebil flight route) using the WRF model simulator. *Iranian Journal of Geophysics*, 14 (3), 120-143. [In

- Persian].
- Azizi, Q., & Safarrad, T. (2011). Analysis of Jet Stream characteristics during ENSO phases, a case study of 1997, 2008 and 2010, *Journal of Climate Research*, 9 (1), 69-81. [In Persian].
- Baughman, E. E. (1946). Turbulence with a stable lapse rate, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 27 (8), 459-462.
- Briney, A. (2021). The Jet Stream. *ThoughtCo*, ([thoughtco.com/the-jet-stream-1434437](https://www.thoughtco.com/the-jet-stream-1434437)).
- Chambers, E. (1955). Clear air turbulence and civil jet operations. *The Aeronautical Journal*, 59(537), 613-628. <https://doi.org/10.1017/S036839310011692X>.
- Dutton, J. A., & Panofsky, H. A. (1970). Clear air turbulence: A mystery may be unfolding. *Science*, 167 (3920), 937-944. <https://doi.org/10.1126/science.167.3920.937>.
- Dutton, M. J. O. (1980). Probability forecasts of clear-air turbulence based on numerical model output. *Meteorological Magazine*, 109, 293-310.
- Ellrod, G. P. (1985). Detection of high level turbulence using satellite imagery and upper air data, NOAA Technical Memorandum NESDIS 10. U.S. Department of Commerce, Washington, DC. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/32485>.
- Ellrod, G. P., & Knapp, D. I. (1992). An objective clear-air turbulence forecasting technique: Verification and operational use. *Weather and Forecasting*, 7 (1), 150-165. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0434\(1992\)007%3C0150:AOCATF%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0434(1992)007%3C0150:AOCATF%3E2.0.CO;2).
- Ellrod, G. P., & Knox, J. A. (2010). Improvements to an operational clear-air turbulence diagnostic index by addition of a divergence trend term. *Weather and forecasting*, 25(2), 789-798. <http://dx.doi.org/10.1175/2009WAF2222290.1>.
- Endlich, R. M. (1953). A study of vertical velocities in the vicinity of jet streams. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 10 (6), 407-415. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1953\)010%3C0407:ASOVVI%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1953)010%3C0407:ASOVVI%3E2.0.CO;2).
- Endlich, R. M., & Mclean, G. S. (1957). The structure of the jet stream core. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38 (5), 543-552. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1957\)014%3C0543:TSOTJS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1957)014%3C0543:TSOTJS%3E2.0.CO;2).
- Ghader, S., Safar, M., & JavanNezhad, R. (2018). *Forecasting of some meteorological fields using a developed ensemble for the WRF model: case study*, First International Conference on Numerical Weather and Climate Prediction, Tehran, Iran. [in Persian].
- Ghader, S., Safar, M., & JavanNezhad, R. (2020). *Evaluation of members of an ensemble forecasting system developed for the WRF model*, 19th Iranian Geophysics Conference, Tehran, Iran. [in Persian].
- Hasani, Q., & Ataei, H. (2015). *The impact of weather hazards on air transportation*. The third scientific-research conference of new horizons in the sciences of geography, architectural planning and urban planning in Iran. [In Persian].
- Inanlu, R. (1998). Examples of air accidents caused by atmospheric factors, *Nahaja Inspection and Safety Quarterly*, 21 (10). [In Persian].
- Irvine, E.A., Hoskins, B.J., Shine, K.P., Lunnon, R.W., & Froemming, C. (2013) Characterizing North Atlantic Weather Patterns for Climate-Optimal Aircraft Routing. *Meteorological Applications*, 20 (1), 80-93. <https://doi.org/10.1002/met.1291>.
- Javanejad, R., Safar, M., & Qader, S. (2021). Diagnostic analysis and prediction of clear air turbulence in the Middle East region, especially Iran. *Journal of Mechanical Engineering*, Amirkabir University of Tehran, 53 (7), 4203-4220. [In Persian].
- Kalantari, B., AliAkbari Bidakhti, A. A. & Mubarak Hassan, E. (2015). Investigating the formation of mountain waves (Wind waves over the Zagros mountains and clear CAT air turbulence caused by it). *Journal of Earth and Space Physics*, 2 (43), 451-459. [In Persian].
- Kaviani, M. R., & Alijani, B. (2000). *Basics of water and meteorology*. Tehran, Samit Publications. [In Persian].
- Kazemzadeh, M. (1997). Flight accidents caused by dangerous weather phenomena and ways to prevent them, *Nahaja Inspection and Safety Quarterly*, No. 20. [In Persian].
- Khoshakhlagh, F., Azizi, Q., Lashkari, H., & Mahotchi, M. H. (2018). Analyzing synoptic-scanning patterns of widespread heavy rains in the summer of southeastern Iran. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 9 (33), 202-185. [In Persian].

- Knox, J. A. (1997). Possible mechanisms of clear-air turbulence in strongly anticyclonic flows. *Monthly weather review*, 125 (6), 1251-1259. doi:10.1175/1520-0493(1997)125<1251:PMOCAT>2.0.CO;2.
- Lackmann, G. M. (2011). *Midlatitude Synoptic Meteorology: Dynamics, Analysis and Forecasting*, American Meteorological Society.
- Lackmann, G. M., Mapes, B.E., & Tyle, K.R. (2019). *Synoptic-Dynamic Meteorology Lab Manual Virsual Excercises to Complement Midlatitude Synoptic Meteorology*, American Meteorological Society, Clean Air Jornal. 29 (1), 13-13. <https://doi.org/10.17159/2410-972X/2019/v29n1a11>.
- Mancuso, R., & Endlich, R. (1966). Clear air turbulence frequency as a function of wind shear and deformation, *Monthly weather review*, 94 (9), 581-585. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1966\)094%3C0581:CATFAA%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1966)094%3C0581:CATFAA%3E2.3.CO;2).
- Masoudian, Abulfazl. (2011). *Climate of Iran*, Isfahan University Publications. [In Persian].
- Minaei, H., Saligheh, M., & Akbari, M. (2021). Investigating extreme rainfall and the role of Jet Streams in that case study: Southwest Iran. *Journal of Geographical Research of Iran "Sephar"*, 121 (31), 177-189. [In Persian].
- Mirzaei, M., Zülicke, C., Mohebalhojeh, A.R., Ahmadi-Givi, F., & Plougonven, R. (2014). Structure, energy, and parameterization of inertia-gravity waves in dry and moist simulations of a baroclinic wave life cycle. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 71 (7), 2390-2414. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-13-075.1>.
- Mohapatra, P. K. (1995). *Turbulence Modelling in Open Channel Flows*, Chapter 14, Lecture notes on Advances in Turbulence Modelling, Short term course, December 1995, ME, IIT, Kanpur.
- Mojarrad, F., Masoompour, J., Koshki, S., & Miri, M. (2018). Temporal-spatial analysis of thunderstorms in Iran. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 32 (9), 213-232. [In Persian].
- Petterssen, S. (1956). *Weather Analysis and Forecasting (volume 1 Motion and Motion Systems)*, McGraw-Hill, (1).
- Plougonven, R., & Zhang, F. (2014). Internal gravity waves from atmospheric jets and fronts. *Reviews of Geophysics*, 52 (1), 33-76. <https://doi.org/10.1002/2012RG000419>.
- Pravarpars company. (2007). *Meteorological Science*, Sepehr Aviation Training and Services Center. [In Persian].
- Rafiqhi, M. R. (2019). Effects of Zonal Wind (U-Wind) and meridional wind (V-Wind) components on UAV flight. [In Persian].
- Rahimi, M. (2018). Familiarization with rubex and aviation meteorological bulletins, General Directorate of Aviation Message Network. [In Persian].
- Ritalak, B. J., Nielsen, A. W. (2001). *Aviation Meteorology*, translated by Parviz Rezazadeh, Bachelor of Meteorology course. [In Persian].
- Roach, W. (1970). On the influence of synoptic development on the production of high level turbulence. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 96(409), 413-429. <https://doi.org/10.1002/qj.49709640906>.
- Sepehr Aviation Training and Services Center. (2007). *Meteorology*. [In Persian].
- Sharman, R., & Lane, T. (2016). *Aviation Turbulence: Processes, Detection, Prediction*, 1st ed, Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-23630-8>.
- Subhan, I. (2010). *Meteorology in Flight*, Sinai Institute. Print 7. [In Persian].
- TajBakhsh, S. (2015). *Aviation Meteorology 1 and 2*, first edition, Tehran, Air and Air Publications. [In Persian].
- Tajbakhsh, S., Aliakbari-Bidokhti, A. A., & Azadi, M. (2006). Study of Clear Air Turbulence over Iranian Plato. *Journal of Aerospace Science and Technology*, 3 (2), 87-95. [in Persian].
- TajBakhsh, S., Azadi, M., & AliAkbari-Bidokhti, A. A. (2004). *A study of meteorological conditions of clear air turbulence in the region of Iran*, 9th Fluid Dynamics Conference, Shiraz University. [In Persian].
- TajBakhsh, S., Azadi, M., AliAkbari-Bidokhti, A. A., & Arabali, P. (2006). A case study of smooth turbulence over Iran with the help of some turbulence indices in a period of 5 months

- (January-May 2004). *Journal of Earth and Space Physics*, 32 (1), 85-102. [In Persian].
- Wei, J., & Zhang, F. (2014). Mesoscale gravity waves in moist baroclinic jet-front systems, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 71 (3), 929-952. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-13-0171.1>.
- Zakizadeh, M., Saligheh, M., Naserzadeh, M. H., & Akbari, M. (2017). Statistical and synoptic analysis of the most effective Jet Stream pattern that causes heavy rains in Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 15 (7), 31-48. [In Persian].

