

## شناسایی فرودگاه‌های پرخطر ایران از نظر قرارگیری در معرض رخدادهای گردوخاک

نوشین خدام<sup>۱</sup>، فائزه نوری<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشگر، مرکز بین‌المللی مطالعات توفان ماسه و گردوخاک، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو

<sup>۲</sup> پژوهشگر، مرکز بین‌المللی مطالعات توفان ماسه و گردوخاک، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵

### چکیده

این مطالعه به شناسایی فرودگاه‌های پرخطر در کشور از نظر مواجهه با رخدادهای گردوخاک، که یکی از چالش‌های بزرگ ایمنی و کارایی در حمل‌ونقل هوایی است، پرداخته است. گردوخاک می‌تواند به کاهش شدید دید افقی، اختلال در دستگاه‌های ناوبری و تأخیر یا لغو پروازها منجر شود؛ عواملی که هم ایمنی و هم بهره‌وری صنعت هوایی را تهدید می‌کند و اثرات اقتصادی و اجتماعی چشمگیری به دنبال دارد. در این پژوهش، با بهره‌گیری از داده‌های هواشناسی و محصولات ماهواره، فرودگاه‌های پرخطر کشور از نظر قرارگیری در معرض رخدادهای گردوخاک در طول پنج سال (۲۰۱۹-۲۰۲۳) و به تفکیک فصل شناسایی شدند. بدین منظور، از عمق نوری هواویزها، تعداد روزهای با دید افقی کم و نیز محاسبه شاخص توفان گردوخاک برای تمام فرودگاه‌های کشور استفاده شد. نتایج نشان داد، که در فصل بهار، فرودگاه‌های زابل، قشم، زاهدان، شیراز، یزد، در فصل تابستان فرودگاه‌های زابل، بجنورد، زاهدان، بیرجند، پیام، قشم، در پاییز فرودگاه‌های زابل، اردبیل، بندرعباس و در زمستان فرودگاه‌های زابل، زاهدان و بیرجند تحت تأثیر رخدادهای نسبتاً شدید گردوخاک قرار دارند. این رخدادهای علاوه بر احتمال اختلال در پرواز، موجب آسیب به بدنه و موتور هواپیماها نیز می‌شوند. بررسی جهت باد غالب در ایستگاه‌های همدیدی نشان می‌دهد؛ که، بادهای شمالی و شمال‌غربی در زابل و زاهدان و بادهای جنوب‌غربی در قشم و بادهای شمالی غربی در بجنورد گردوخاک را از چشمه‌های فعال گردوخاک مجاور به این مناطق منتقل می‌کنند.

کلمات کلیدی: ایران، دید افقی، شاخص توفان گردوخاک، عمق نوری هواویزها، فرودگاه، گردوخاک،

هواپیما.

توفان گردوخاک، یک مخاطره جوی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا هست. ابعاد رخداد‌های گردوخاک از ده‌ها متر در تنوره دیو تا صدها هزار کیلومتر در توفان‌های گردوخاک تخمین زده شده است (میدلتون<sup>۱</sup>، ۱۹۸۶). ذرات گردوخاک، که در حدود ۹۰ درصد آن از بیابان‌های شمال آفریقا و آسیا وارد جو می‌شوند، دارای اثرات مهم آب‌وهوایی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی هستند (زیتیس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۲؛ کوک<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). سطوح فرسایش پذیر در منطقه خاورمیانه به دلیل افزایش بیابان‌زایی، خشکسالی در دهه‌های اخیر به ویژه در عراق (حمید<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) و سوریه (مبوت<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) افزایش یافته است، طوری که، در دو دوره شدید خشکسالی در ۲۰۰۰-۲۰۰۱ و ۲۰۱۲-۲۰۰۷ در حدود ۵۲ درصد آب‌های منطقه کاهش یافته و ۳۷-۱۴٪ بر میزان انتشار گردوخاک در منطقه خاورمیانه افزوده شده است (پاپی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۲) که این افزایش بیشتر در عراق و سوریه و بخش‌هایی از ایران و ترکیه مشاهده شده است. از آنجاکه ذرات گردوخاک گسیل شده توسط بادهای غالب در منطقه به نواحی دوردست از چشمه منتقل می‌شوند، قادرند مناطق بسیار گسترده‌ای را تحت تأثیر قرار دهند (فرانسیس<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۰b). برای مثال، برای مثال، گردوخاک برخاسته از سوریه و عراق توسط بادهای شمال‌غربی به شهرهای ابوظبی، دویی و مسقط می‌رسند (گندهام<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). ترکیبات شیمیایی گردوخاک‌های معدنی به نوع و ویژگی‌های خاک در محل چشمه گردوخاک مرتبط است. برای مثال، در نقاط مختلف عربستان در بالگردهایی با

موتورهای توربینی گازی مشابه، سطوح مختلفی از تخریب را گزارش کرده‌اند (کریساک<sup>۹</sup>، ۲۰۱۵)؛ بنابراین پیش‌بینی هزینه تعمیر و نگهداری اضافی یک پرواز از به سمت فرودگاه‌های پرمخاطره به‌سادگی با تعیین نوع سطح محل امکان‌پذیر نیست (بودجو<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). هواپیماهایی که مبدأ یا مقصد آن‌ها در منطقه خاورمیانه است به دلیل تنوع سالانه فراوانی رخداد‌های گردوخاک همواره با این پدیده مواجه خواهند شد. در مطالعه دیگری (الدوساری و الودحی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۲) که با استفاده از داده‌های هواشناسی در بازه ۱۰ ساله در کشور کویت انجام شد، نتایج نشان داد، که بیشترین فراوانی مربوط به ماه ژوئیه و کمترین آن مربوط به ماه نوامبر است. توفان‌های گردوخاک می‌توانند سبب لغو پروازها شوند، زیرا علاوه بر آسیب ذرات گردوخاک به موتور، کاهش دید افقی به کمتر از ۵۰۰ متر باعث به خطر افتادن ایمنی خدمه پروازی می‌شود (شائو و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۳). در این شرایط عملیات پرواز در فرودگاه مختل یا لغو می‌شود، زیرا کاهش دید نیازمند افزایش فاصله بین هواپیماها بوده که سبب کاهش ظرفیت فرودگاه می‌شود (ایکائو<sup>۱۳</sup>، ۲۰۲۳). به نظر می‌رسد غلظت بیشتر از ۲ میلی-گرم بر مترمکعب ایمنی موتور هواپیما را تهدید می‌کند (بودجو و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات دیگری به‌جای میزان غلظت، این آستانه را بر اساس مدت‌زمان در معرض گردوخاک قرار گرفتن، در نظر گرفتند و با ضرب آن در میزان غلظت محدودیتی در حدود ۱۴/۴ میلی‌گرم ثانیه بر مترمکعب را به دست آوردند (کلارکسون<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۶، کلارکسون و سیمپسون<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۷). افزایش این آستانه سبب افزایش غیرخطی آسیب را نشان می‌دهد. براین اساس شدت آسیب ثبت‌شده را به سه گروه ناچیز،

<sup>9</sup> Krisak

<sup>10</sup> Bodjo

<sup>11</sup> Al-Dousari & Al-Awadhi

<sup>12</sup> Shao

<sup>13</sup> ICAO

<sup>14</sup> Clarkson

<sup>15</sup> Clarkson & Simpson

<sup>1</sup> Middleton

<sup>2</sup> Zittis

<sup>3</sup> Kok

<sup>4</sup> Hameed

<sup>5</sup> Mathbout

<sup>6</sup> Papi

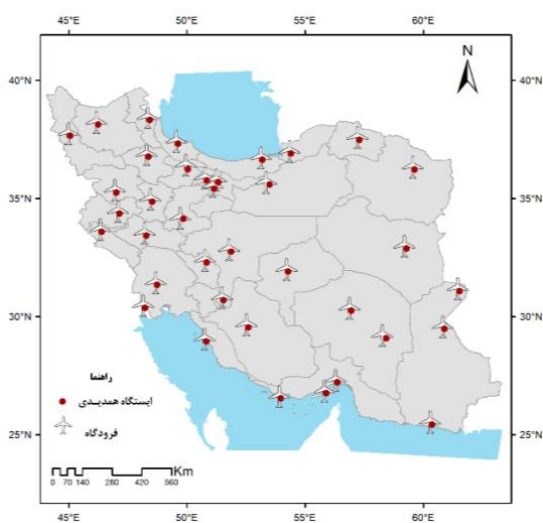
<sup>7</sup> Francis

<sup>8</sup> Gandham

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این مقاله کشور ایران است. نخست موقعیت فرودگاه‌های کشور و ایستگاه هواشناسی همدیدی فرودگاهی تعیین شد (شکل ۱). مختصات جغرافیایی فرودگاه‌ها و ایستگاه‌های همدیدی در جدول ۱ آمده است. بازه زمانی مورد مطالعه در این مقاله سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ است که میانگین بلندمدت فصلی کمیت‌ها محاسبه و تحلیل شد.



شکل ۱. توزیع مکانی ایستگاه‌های همدیدی در فرودگاه‌ها و موقعیت فرودگاه‌ها.

جدول ۱. مشخصات فرودگاه‌ها و ایستگاه‌های همدیدی منتخب

ارتفاع	طول [جغرافیایی]	عرض [جغرافیایی]	نام ایستگاه همدیدی	نام فرودگاه
۱۷۰۲۸۰	۴۹.۸۴۰	۳۴.۱۳۰	اراک	اراک
۱۳۱۴۳۰	۴۸.۴۲۰	۳۸.۳۲۰	اردبیل	اردبیل
۱۳۲۸۰	۴۵.۰۵۰	۳۷.۶۶۰	ارومیه	ارومیه
۱۵۵۰۰	۵۱.۸۷۰	۳۲.۷۴۰	اصفهان	اصفهان
۲۲.۵۰	۴۸.۷۴۰	۳۱.۳۴۰	اهواز	اهواز
۱۳۳۷۰	۴۶.۳۹۰	۳۳.۵۸۰	ایلام	ایلام
۶۶۰	۴۸.۲۲۰	۳۰.۳۶۰	آبادان	آبادان
۱۰۶۵۰	۵۷.۳۰	۳۷.۴۸۰	بجنورد	بجنورد
۱۰۶۷۰	۵۸.۴۴۰	۲۹.۰۸۰	بم	بم
۹۸۰	۵۶.۳۶۰	۲۷.۲۱۰	بندرعباس	بندرعباس

بلندمدت و بحرانی طبقه‌بندی کردند؛ بنابراین هواپیمایی، که به‌طور مکرر در معرض گردوخاک معدنی قرار می‌گیرد، دچار آسیب‌های ناشی از نهشت گردوخاک روی سطوح موتور می‌شود؛ که، از آن جمله به پوسته‌شدن پوشش سد گرمایی و خوردگی ناشی از سولفیداسیون می‌توان اشاره کرد (بودجو و همکاران، ۲۰۲۰). موتورهای توربینی گازی هواپیما علاوه بر هوا، گازهای جوی و ذرات هوا را نیز به درون خود می‌بلعد و به همین دلیل بسیاری از اجزای داخلی موتورها بر اثر نهشت این ترکیبات جوی دچار آسیب‌هایی از جمله فرسایش خوردگی و رسوب می‌شوند (کلارکسون، ۲۰۱۹). این امر سبب می‌شود اجزای موتور با سرعت بیشتری از بین بروند و بر کارایی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری هواپیما تأثیرگذار است. همچنین یخ‌زدگی ناشی از حضور ذرات گردوخاک به‌عنوان هسته‌های یخ، تهدیدی جدی در هوانوردی به‌شمار می‌رود (نیکویچ<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). در سال‌های اخیر به دلیل افزایش فراوانی و شدت رخداد‌های گردوخاک، ظرفیت آسیب‌پذیری موتورهای پرواز در ارتباط با گردوخاک افزایش یافته است. همچنین ترافیک هوایی در منطقه خاورمیانه به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته که در نتیجه قرار گرفتن هواپیما در معرض گردوخاک نیز افزایش یافته است (اوکنل و بوئنو<sup>۱۷</sup>، ۲۰۱۸). مقدار گردوخاک جذب‌شده توسط موتور هواپیما به عوامل مختلفی، از جمله، غلظت کل گردوخاک، توزیع عمودی گردوخاک، تغییرات مکانی و زمانی گردوخاک و همچنین قدرت موتور هواپیما، که با زمان و ارتفاع تغییر می‌کند، بستگی دارد (رایدر و همکاران، ۲۰۲۴). با توجه به این‌که شرایط جوی همراه با پدیده گردوخاک می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر عملکرد و ایمنی هواپیماها داشته باشد، هدف این تحقیق بررسی شرایط تأثیر گردوخاک بر فرودگاه‌های کشور تعیین شده است.

<sup>۱۶</sup> Nikovic

<sup>۱۷</sup> O'Connell & Bueno

۵۵۰ نانومتر از ترکیب دو الگوریتم  $DT^{19}$  و  $DB^{20}$  به ترتیب برای اراضی کشاورزی و سطوح روشن استخراج می‌شود (لیو<sup>۲۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ هسو<sup>۲۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ شی<sup>۲۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳) که می‌تواند نماینده حضور ذرات گردو خاک در ستون جو باشد. همچنین شاخص توفان گردو خاک DSI برای ایستگاه‌های همدیدی متناظر با ایستگاه‌ها محاسبه و به صورت فصلی مورد تفکیک قرار گرفت. این شاخص فراوانی و شدت رخداد گردو خاک را با استفاده از کدهای وضع هوا تعیین می‌کند که از سه جمله تعداد روزهای همراه با گردو خاک شدید ( $SDS^{24}$ )، متوسط ( $MDS^{25}$ ) و رخداد‌های محلی ( $LDE^{26}$ ) مطابق با رابطه ۱ تشکیل شده است:

$$DSi = \sum_{i=1}^n [(5 \times SDS) + MDS + (0.05 \times LDE)] \quad (1)$$

که در آن DSI شاخص توفان گردو خاک در n ایستگاه همدیدی منتخب است که در آن‌ها رخداد‌های گردو خاک در یک بازه زمانی مشخص ثبت شده باشد. رخداد‌های شدید از تعداد روزهای همراه با گزارش کد ۳۳ تا ۳۵، رخداد‌های متوسط همراه با گزارش کد ۳۰ تا ۳۲ و رخداد‌های محلی همراه با گزارش کد ۰۷ و ۰۹ تعیین می‌شوند.

#### روش پژوهش

در این مقاله نخست وضعیت AOD به طور فصلی در بازه زمانی ۲۰۲۳-۲۰۱۹ برای کشور ایران تعیین شد و مناطقی با بیشترین میزان AOD در هر فصل تعیین شد. سپس شاخص DSI برای

بو شهر	بو شهر	۲۸.۹۵	۵۰.۸۲	۶۰
بیرجند	بیرجند	۳۲.۸۸	۵۹.۲۹	۱۱۱۷.۴۰
پیام	پیام	۳۵.۷۶	۵۰.۸۳	۱۲۵۹.۸۰
تبریز	تبریز	۳۸.۱۲	۴۶.۲۴	۱۳۶۱۰
امام خمینی	امام خمینی	۳۵.۴۰	۵۱.۱۵	۹۹۰.۲۰
مهرآباد	مهرآباد	۳۵.۶۸	۵۱.۳۲	۱۱۹۱۰
چابهار	چابهار	۲۵.۴۳	۶۰.۳۷	۸۰
خرم‌آباد	خرم‌آباد	۳۳.۴۳	۴۸.۲۸	۱۱۴۷.۸۰
سمنان	سمنان	۳۵.۵۹	۵۳.۴۹	۱۱۲۷
سندج	سندج	۳۵.۲۵	۴۷.۰۱	۱۳۷۳.۴
شهرکرد	شهرکرد	۳۲.۲۹	۵۰.۸۳	۲۰۵۰
شیراز	شیراز	۲۹.۵۴	۵۲.۵۹	۱۴۸۸
قزوین	قزوین	۳۶.۲۴	۵۰.۰۴	۱۲۷۹.۱
قشم	قشم	۲۶.۷۵	۵۵.۸۹	۶
کرمان	کرمان	۳۰.۲۵	۵۶.۹۶	۱۷۵۴
کرمانشاه	کرمانشاه	۳۴.۳۵	۴۷.۱۴	۱۳۱۸.۵
کیش	کیش	۲۶.۵۳	۵۳.۹۷	۳۰
گرگان	گرگان	۳۶.۹	۵۴.۴	۰
مشهد	مشهد	۳۶.۲۲	۵۹.۶۴	۹۹۹
همدان	فرودگاه	۳۴.۸۶	۴۸.۵۳	۱۷۴۰.۸
یاسوج	یاسوج	۳۰.۶۹	۵۱.۵۵	۱۸۱۶.۳
یزد	یزد	۳۱.۹۰	۵۴.۲۸	۱۲۳۰.۲
رشت	رشت	۳۷.۳۲	۴۹.۶۲	-۸.۶
زابل	زابل	۳۱.۰۸	۶۱.۵۴	۴۸۹.۲
زاهدان	زاهدان	۲۹.۴۷	۶۰.۹۰	۱۳۷۰
زنجان	فرودگاه	۳۶.۷۷	۴۸.۳۶	۱۶۵۹.۴

داده‌ها

در این مطالعه داده‌های دیدبانی ایستگاه‌های همدیدی برای بررسی وضعیت دید افقی در هر ایستگاه مورداستفاده قرار گرفت. همچنین محصول سنجنده MODIS بر روی ماهواره TERRA شامل عمق نوری ذرات معلق<sup>۱۸</sup> برای کل کشور ایران از سایت GIOVANNI (بیودینگ و رودل، ۲۰۲۰) استخراج شد. این کمیت بدون بُعد در طول موج

<sup>23</sup> Shi

<sup>24</sup> Severe dust storms

<sup>25</sup> Moderate dust storms

<sup>26</sup> Local dust events

<sup>18</sup> Aerosol Optical Depth (AOD)

<sup>19</sup> Dark Target

<sup>20</sup> Deep Blue

<sup>21</sup> Liu

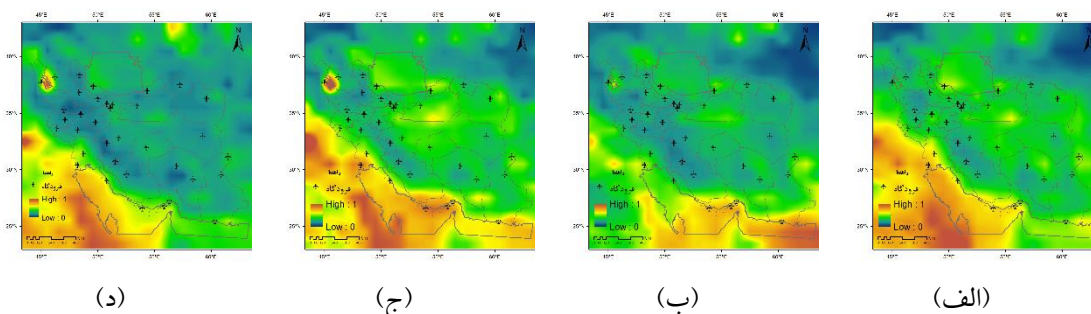
<sup>22</sup> Hsu

این مناطق شامل زابل، زاهدان، چابهار، بندرعباس، قشم، کیش هستند که در فصل تابستان تحت تأثیر رخدادهای گردوخاک قرار خواهند گرفت. همچنین در گرگان و ارومیه مقادیر قابل توجه AOD در این فصل مشاهده می‌شود. در فصل پاییز، مطابق با شکل ۲ ج، مقادیر AOD نسبت به فصول بهار و تابستان کاهش یافته و بیشترین مقادیر در فرودگاه گرگان در شمال شرق، فرودگاه ارومیه در شمال غرب، فرودگاه زابل در شرق، فرودگاه چابهار در جنوب شرق، فرودگاه بندرعباس و قشم و کیش در جنوب، فرودگاه آبادان در جنوب غرب مشاهده می‌شوند. فرودگاه‌های مذکور ممکن است در معرض رخدادهای گردوخاک در این فصل قرار بگیرند. در فصل پاییز، مطابق با شکل ۲ ج، فرودگاه ارومیه در شمال غرب فرودگاه‌های کیش و قشم در جنوب می‌توانند وقوع رخدادهای گردوخاک را در این فصل تجربه کنند. شکل ۲ د توزیع مقادیر AOD در فصل زمستان را نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر در این فصل در مناطق شمال غرب و جنوب غرب قرار خواهد گرفت. در این نواحی فرودگاه‌های ارومیه و اهواز و آبادان قرار دارند که می‌توانند تحت تأثیر رخدادهای گردوخاک در این فصل قرار بگیرند.

هر ایستگاه محاسبه شد و ایستگاه‌هایی که بیشترین مقدار DSI را داشتند در هر فصل تعیین شد و با وضعیت AOD مقایسه شد و ایستگاه‌های در معرض خطر شناسایی شد. در ادامه تعداد روزهای گردوخاکی و دید افقی در ایستگاه‌های در معرض خطر به طور فصلی نیز به دست آمد. همچنین با تهیه گلباد با استفاده از سمت و سرعت باد دیدبانی شده در فرودگاه‌های پرخطر، منشأ ورود گردوخاک به آن‌ها نیز تعیین شد.

### بحث و نتایج

با توجه به شکل ۲ الف، در فصل بهار بیشترین مقادیر AOD به‌طور میانگین در نیمه شرقی کشور و در سواحل دریای خزر، در جنوب کشور و در سواحل شمالی خلیج فارس و نیز در جنوب غرب کشور دیده می‌شود. علاوه بر این در نواحی شرقی استان خراسان رضوی و نیز در شمال سیستان و بلوچستان مقادیر AOD نسبت به سایر مناطق بیشتر است؛ بنابراین در این فصل فرودگاه‌های واقع در این نواحی در معرض خطر رخدادهای گردوخاک هستند که شامل فرودگاه گرگان، زابل، مشهد، کیش، اهواز، آبادان می‌شوند. شکل ۲ ب نیز نشان می‌دهد که در فصل تابستان بیشترین مقادیر AOD در نواحی مرکزی، شمال شرقی، شرق، جنوب غربی و نوار ساحلی جنوب کشور وجود خواهد داشت. فرودگاه‌های واقع در



نتایج در جدول ۲ ارائه شده است (فقط مقادیر بیش از ۰/۲ در جدول آمده است). نتایج نشان

در ادامه مقادیر DSI برای هر یک از ایستگاه‌های همدیدی منتخب محاسبه شد و

فرودگاه‌هایی که در فصول مختلف در معرض رخداد گردوخاک قرار می‌گیرند، تعیین شدند. در جدول ۲ نام فرودگاه‌های پرخطر به تفکیک فصل آمده است.

می‌دهد بیشترین مقدار DSI برای ایستگاه همدیدی زابل و در فصل تابستان بوده است. همچنین ایستگاه زابل در فصل بهار و زابل و زاهدان در فصل زمستان و زابل در فصل پاییز در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و مقادیر بزرگ‌تر از ۱ را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین با توجه به توزیع فصلی و مکانی AOD و بررسی مقادیر DSI در هر ایستگاه همدیدی متناظر با فرودگاه،

جدول ۲. مقادیر DSI برای ایستگاه‌های همدیدی به تفکیک فصل

فصل	نام استان	نام ایستگاه همدیدی	DSI	فصل	نام استان	نام ایستگاه همدیدی	DSI
فصل بهار	سیستان و بلوچستان	زابل	۲/۰۶	فصل تابستان	سیستان و بلوچستان	زابل	۵/۳۷
	اردبیل	اردبیل	۰/۸۳		خراسان شمالی	بجنورد	۰/۳۸
	فارس	شیراز	۰/۵۹		سیستان و بلوچستان	زاهدان	۰/۳۷
	سیستان و بلوچستان	زاهدان	۰/۳۳		خراسان جنوبی	بیرجند	۰/۳۴
	هرمزگان	قشم	۰/۳۲		البرز	پیام	۰/۲۶
				هرمزگان	قشم	۰/۲	
فصل پاییز	سیستان و بلوچستان	زابل	۱/۵۷	فصل زمستان	سیستان و بلوچستان	زابل	۱/۸۷
	اردبیل	اردبیل	۰/۲۴۸		سیستان و بلوچستان	زاهدان	۱/۳۶
	هرمزگان	بندرعباس	۰/۲۲		خراسان جنوبی	بیرجند	۰/۲۲

تابستان در معرض گردوخاک قرار می‌گیرد. همچنین ایستگاه زابل در حدود ۳۸ درصد از روزهای فصل پاییز و ۳۷ درصد از روزهای فصل بهار تحت تأثیر رخداد‌های گردوخاک بوده است؛ بنابراین فرودگاه‌های متناظر با ایستگاه‌های همدیدی یادشده در فصول مختلف می‌توانند در معرض رخداد‌های شدید تا محلی گردوخاک قرار بگیرند.

در ادامه تعداد روزهای گردوخاکی برای ایستگاه‌های پرخطر به تفکیک فصول بررسی شد و نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین تعداد روز گردوخاکی متعلق به ایستگاه زابل در فصل تابستان است که در حدود ۸۵ درصد روزهای فصل تابستان در بازه زمانی مورد مطالعه را شامل می‌شود. پس‌از آن ایستگاه زاهدان نیز در فصل تابستان دارای بیشترین تعداد روزهای گردوخاکی است، که در حدود ۴۶ درصد روزهای فصل

جدول ۳. فرودگاه‌های پرخطر از نظر قرارگیری در معرض رخدادهای گردوخاک.

فصل	نام فرودگاه
بهار	زابل، اردبیل، شیراز، زاهدان، قشم، یزد
تابستان	زابل، بجنورد، زاهدان، بیرجند، پیام، قشم
پاییز	زابل، اردبیل، بندرعباس
زمستان	زابل، زاهدان، بیرجند

جدول ۴. تعداد روزهای گردوخاکی و کمینه دید افقی در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۳ در ایستگاه‌های پرخطر.

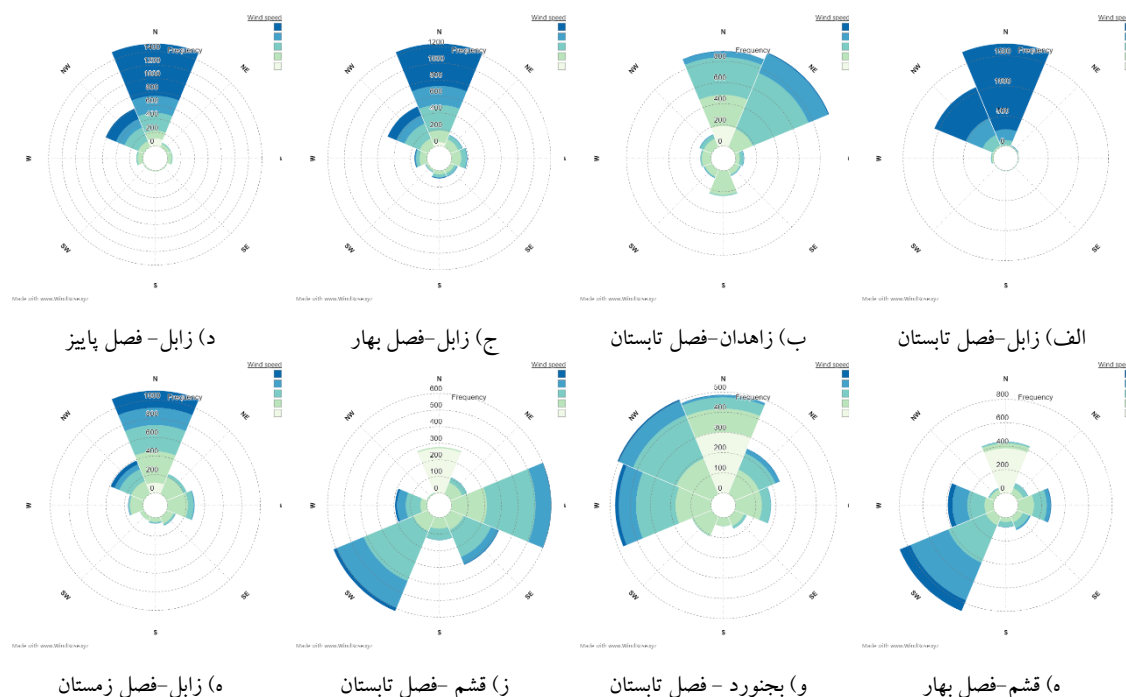
فصل	نام استان	نام ایستگاه همدیدی	تعداد روزهای گردوخاک	کمینه دید افقی (متر)
تابستان	سیستان و بلوچستان	زابل	۳۹۵	۲۰۰
تابستان	سیستان و بلوچستان	زاهدان	۲۱۳	۴۰۰
بهار	سیستان و بلوچستان	زابل	۱۷۳	۱۰۰
پاییز	سیستان و بلوچستان	زابل	۱۷۳	۱۰۰
بهار	هرمزگان	قشم	۱۵۱	۱۲۰۰
تابستان	خراسان شمالی	بجنورد	۱۲۲	۵۰۰
تابستان	هرمزگان	قشم	۱۰۸	۵۰۰
زمستان	سیستان و بلوچستان	زابل	۱۰۰	۳۰۰
بهار	فارس	شیراز	۹۲	۸۰۰
بهار	سیستان و بلوچستان	زاهدان	۹۱	۰
تابستان	خراسان جنوبی	بیرجند	۷۸	۵۰۰
زمستان	سیستان و بلوچستان	زاهدان	۶۲	۵۰۰
بهار	یزد	یزد	۵۶	۷۰۰
تابستان	البرز	پیام	۴۶	۸۰۰
زمستان	خراسان جنوبی	بیرجند	۲۳	۳۰۰
بهار	اردبیل	اردبیل	۱۸	۰
پاییز	هرمزگان	بندرعباس	۱۳	۵۰۰
پاییز	اردبیل	اردبیل	۱۱	۵۰۰

تکرار شده است. برای فرودگاه زاهدان باد غالب در فصل تابستان شمال شرقی و تا حدودی شمالی است، که مشابه ایستگاه زابل می‌توانند توده‌های گردوخاک را از نواحی خشک شده دریاچه هامون و جنوب غرب افغانستان به این منطقه منتقل کند. ایستگاه قشم در فصل بهار تحت تأثیر بادهای جنوب غربی است که در فصل تابستان وزش بادهای نسبتاً شدید از این جهت مشاهده می‌شود و می‌تواند نشان‌دهنده آن باشد که ورود گردوغبار به این ایستگاه از سمت کشورهای جنوب خلیج فارس است که

در نهایت گلباد برای فرودگاه‌های در معرض خطر (با بیش از ۱۰۰ روز گردوخاکی در فصل در بازه زمانی پنج ساله) به صورت فصلی تهیه شده است (شکل ۳). در فرودگاه زابل که در فصل تابستان در معرض بیشترین رخدادهای گردوخاک واقع می‌شود، باد غالب در این فصل شمالی و شمال غربی و با شدت نسبتاً زیاد است؛ بنابراین منشأ گردوخاک در این فرودگاه می‌تواند نواحی خشک شده دریاچه هامون و جنوب غرب افغانستان باشد. این وضعیت در فصل بهار و پاییز نیز برای این فرودگاه

در این فصول فعال می‌شوند. در فصل تابستان باد غالب در فرودگاه بجنورد باد غربی و شمال‌غربی است که می‌تواند سبب انتقال گردو خاک از صحرای قره قوم واقع در جنوب ترکمنستان به این منطقه شود. در فصل زمستان

باد غالب در فرودگاه زابل شمالی بوده و بادهای نسبتاً شدید شمال‌غربی نیز برای این ایستگاه مشاهده می‌شود که مشابه فصول دیگر برای این ایستگاه است.



شکل ۳. گلابد برای ایستگاه همدیدی فرودگاه‌های پرخطر در هر فصل

### نتیجه گیری

با توجه به تأثیر گردو خاک و بروز خسارت بر بدنه هواپیما علاوه بر خسارات ناشی از اختلال یا لغو پروازها، در این مقاله با بررسی عمق نوری هواویزها، محاسبه شاخص توفان گردو خاک و تعیین تعداد روزهای گردو خاکی با توجه به کمینه دید افقی ایستگاه‌های همدیدی کشور، فرودگاه‌های پرخطر از نظر قرارگیری در معرض گردو خاک به تفکیک فصل برای بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۳ شناسایی شد. نتایج به دست آمده بر اساس میانگین‌گیری بلندمدت ۵ ساله است و شدت و ضعف رخدادهای گردو خاک در سال‌های مختلف متفاوت می‌باشد.

نتایج نشان داد در فصل بهار فرودگاه‌های زابل، قشم، زاهدان، اردبیل، شیراز، یزد، در فصل تابستان فرودگاه‌های زابل، بجنورد، زاهدان، بیرجند، پیام، قشم، در فصل پاییز فرودگاه‌های زابل، اردبیل، بندرعباس و در فصل زمستان فرودگاه‌های زابل، زاهدان و بیرجند تحت تأثیر رخدادهای گردو خاک قرار می‌گیرند که می‌تواند سبب اختلال پروازهای و همچنین آسیب به بدنه و موتور هواپیماهای موجود در فرودگاه شود. علاوه بر این، بررسی گلابد ایستگاه‌های همدیدی متناظر با فرودگاه‌های پرخطر نشان داد که جهت باد غالب در هر فرودگاه در فصول مختلف سبب انتقال گردو خاک از چشمه‌های گردو خاک داخلی یا خارجی به این مناطق شده است. در فرودگاه زابل و زاهدان بادهای شمالی و شمال‌غربی در

تمام فصول سبب انتقال گردوخاک می‌شود. در فرودگاه بجنورد بادهای غربی و شمال غربی و در فرودگاه قشم بادهای جنوب غربی تا غربی مسبب انتقال گردوخاک از چشمه‌های فعال گردوخاک مجاور به این نواحی هستند.

### منابع

1. Al-Dousari, A. M., & Al-Awadhi, J. (2012). Dust fallout in northern Kuwait: Major sources and characteristics. *Kuwait Journal of Science and Engineering*, 39(2A), 171–187.
2. Beaudoin, H., & Rodell, M. (2020). GLDAS Noah Land Surface Model L4 monthly 0.25 x 0.25 degree V2.1 [Data set]. NASA/GSFC/HSL. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). <https://doi.org/10.5067/SXAVCZFAQLNO>
3. Bodjo, N., Filippone, A., Parkes, B., & Clarkson, R. (2020). Aircraft engine dust ingestion following sandstorms. *Aerospace Science and Technology*, 106, 106072. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106072>
4. Clarkson, R. (2019). Atmospheric aerosols and gases – and how they damage aircraft gas turbine engines. Rolls-Royce plc.
5. Clarkson, R., & Simpson, H. (2017). Maximising airspace use during volcanic eruptions: Matching engine durability against ash cloud occurrence. In STO-MP-AVT-272 (pp. 1–20). NATO STO.
6. Clarkson, R. J., Majewicz, E. J. E., & Mack, P. (2016). A re-evaluation of the 2010 quantitative understanding of the effects volcanic ash has on gas turbine engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 230(12), 2274–2291. <https://doi.org/10.1177/0954410015623372>
7. Francis, D., Mattingly, K. S., Temimi, M., Massom, R., & Heil, P. (2020). On the crucial role of atmospheric rivers in the two major Weddell Polynya events in 1973 and 2017 in Antarctica. *Science Advances*, 6, eabc2695. <https://advances.sciencemag.org/content/6/46/eabc2695>
8. Gandham, H., Dasari, H. P., Langodan, S., Karamuri, R. K., & Hoteit, I. (2020). Major changes in extreme dust events dynamics over the Arabian Peninsula during 2003–2017 driven by atmospheric conditions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125, e2020JD032931. <https://doi.org/10.1029/2020JD032931>
9. Hameed, M., Ahmadalipour, A., & Moradkhani, H. (2018). Apprehensive drought characteristics over Iraq: Results of a multidecadal spatiotemporal assessment. *Geosciences*, 8(2), 58. <https://doi.org/10.3390/geosciences8020058>
10. Hsu, N. C., Tsay, S.-C., King, M. D., & Herman, J. R. (2004). Aerosol properties over bright-reflecting source regions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42.
11. International Civil Aviation Organization (ICAO). (2023). European guidance material on all weather operations at aerodromes (6th ed.). <https://www.icao.int/EURNAT/...>
12. Kok, J. F., Abediyi, A., Albani, S., Balkanski, Y., Checa-Garcia, R., Chin, M., ... & Lelieveld, J. (2021). Contribution of the world's main dust source regions to the global cycle of desert dust. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21, 8169–8193. <https://doi.org/10.5194/acp-21-8169-2021>
13. Krisak, M. B. (2015). Environmental degradation of nickel-based superalloys due to gypsiferous desert dusts (Doctoral dissertation). Air Force Institute of Technology WPAFB.
14. Liu, M., & Westphal, D. L. (2001). A study of the sensitivity of simulated mineral dust production to model resolution. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D16), 18099–18112.
15. Mathbout, S., Lopez-Bustins, J. A., Martin-Vide, J., Bech, J., & Rodrigo, F. S. (2018). Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961–2012. *Atmospheric Research*, 200, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.09.016>
16. Middleton, N. J. (1986). Dust storm in the Middle East. *Journal of Arid Environments*, 10(2), 83–96.
17. Nickovic, S., Cvetkovic, B., Petkovic, S., Amiridis, V., Pejanovic, G., Solomos, S., ... & Nikolic, J. (2021). Cloud icing by mineral dust and impacts to aviation safety. *Scientific Reports*, 11, 13219. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92428-0>
18. O'Connell, J. F., & Bueno, O. E. (2018). A study into the hub performance Emirates, Etihad Airways and Qatar Airways and their competitive position against the major European hubbing airlines. *Journal of Air Transport Management*, 69, 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.11.006>
19. Papi, R., Attarchi, S., Bolorani, A. D., & Samany, N. N. (2022). Characterization of hydrologic sand and dust storm sources in the Middle East. *Sustainability*, 14, 15352. <https://doi.org/10.3390/su142215352>
20. Ryder, C. L., Bézier, C., Dacre, H. F., Clarkson, R., Amiridis, V., Marinou, E., ... & Vaughan, M. (2024). Aircraft engine dust ingestion at global airports. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24, 2263–2284. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-2263-2024>
21. Shao, Y., Yang, Y., Wang, J., Song, Z., Leslie, L. M., Dong, C., ... & Chun, Y. (2003). Northeast Asian dust storms: Real-time numerical prediction and validation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22). <https://doi.org/10.1029/2003JD003667>
22. Shi, Y., Zhang, J., Reid, J. S., Hyer, E. J., & Hsu, N. C. (2013). Critical evaluation of the MODIS Deep Blue aerosol optical depth product for data assimilation over North Africa. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6, 949–969.
23. Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciaï, P., Cramer, W., Dahdal, Y., ... & Lelieveld, J. (2022). Climate change and weather extremes in the

Eastern Mediterranean and Middle East. Reviews of  
Geophysics, 60, e2021RG000762.  
<https://doi.org/10.1029/2021RG000762>

# Identifying High-Risk Airports in Iran Regarding Exposure to Dust Storm Events

Noushin Khoddam<sup>1</sup>, Faezeh Noori<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher, International Research Center of Sand & Dust Storm, Research Center of Meteorology and Atmospheric Science

<sup>2</sup>Researcher, International Research Center of Sand & Dust Storm, Research Center of Meteorology and Atmospheric Science

\*Corresponding Author Email: [faezeh.noori@gmail.com](mailto:faezeh.noori@gmail.com)

Received: 03 February 2025, Accepted: 26 May 2025

## ABSTRACT

The research seeks to determine the most vulnerable airports in Iran to dust events, which create a major threat to air safety and efficiency of operations. High dust concentration levels in the air, often lead to impaired visibility, disruptions in normal functioning of navigation systems, flight delays, and even flight cancellations, elements that create serious threats to aviation safety and efficiency, with massive economic and social implications. Satellite products and meteorological data have been used in this research to identify airports which are most prone to dust events. The impacts of the phenomenon on these airports are analyzed by calculating aerosol optical depth, dust storm index, and number of days with low visibility for the years 2019-2023. Airports at high risk have been identified for each season. The outcome of the analysis shows that during the spring season, the impacted airports are Zabol, Qeshm, Zahedan, Shiraz, Qeshm, and Yazd; for summer, the airports of concern are Zabol, Zahedan, Bojnord, Birjand, Payam and Qeshm; for autumn, the airports of concern are Zabol, Ardebil, and Bansarabbas, finally, during the winter season, the impacted airports are Zabol, Zahedan, and Birjand. Aside from generating flight disruptions, the phenomena also have the potential to inflict damage on aircraft engines and bodies. It is noted that the prevailing wind direction by the windrose data in synoptic stations, showed northerly and northwesterly winds in Zabol and Zahedan, Southwesterly in Qeshm and Northwesterly in Bojnord which bring dust from dust sources to these regions.

**Keywords:** Aircraft, Airport, AOD, DSI, Dust, Iran.

## HOW TO CITE THIS ARTICLE

Khoddam, N. , Noori, F. (2025). Identifying High-Risk Airports in Iran Regarding Exposure to Dust Storm Events. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science.*, 7(1): 75-85. Doi: 10.22034/jmas.2025.502600.1238

## COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

