نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی | سال هفتم | شماره بیست و هفتم و بیست و هشتم | پاییز و زمستان ۱۳۹۵

مطالعه ی آماری و شناسایی نوع مه به کمک یک الگوریتم در مهمترین فرودگاه های کشور

سحر تاج بخش
عضو هیات علمی پژوهشکده هواشناسی و علوم جو

چکیده

نظر به اهمیت کاهش دید افقی ناشی از وقوع مه برای عملیات فرود هواپیما در یک فرودگاه ، در این مطالعه کوشش شده است ضمن بررسی آماری باد، ارتفاع کف ابر و دید افقی کمتر از حداقل دید فرودگاه در موارد فرودگاه های مهم و پرترافیک کشور شامل مهرآباد تهران، مشهد، رشت، تبریز، اهواز، کرماشاه و بندر عباس، الگوی میانگین جوی شاخص های فشار تراز دریا، باد و مقدار ابر تعیین و با استفاده از الگوریتم شناسایی مه، انواع مه ایجاد شده در فرودگاه های منتخب و در دوره ی ۱۹۹۵-۲۰۱٤ (۲۰ سال) شناسایی شوند. مهمترین نتایج این بررسی نشان می دهد در ماه های سرد سال (دسامبر، ژانویه و فوریه) بیشترین رخداد مه در کل کشور گزارش شده است. غالب گزارش ها قبل از طلوع و بعد از غروب خورشید و به ترتیب در ساعت های ۰۳، ۰۰ و ۲۱UTC دیدبانی شده اند. الگوی میانگین سمت وسرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری نشان دهنده ی هوای آرام در غرب کشور و بادهای غربی با سرعت میانگین ۵ تا ۱۰ نات در نواحی مرکزی و شرق کشور دیده می شوند که در حاشیه شمال شرق ایران گردش چرخندی کوچکی را نشان می دهند. بیشترین آمار رخداد مه در فرودگاه های اصفهان، کرمانشاه و رشت مربوط به مه تابشی نوع دوم (وزش باد ملایم و ارتفاع کف ابر ۳۰۰ پا یا کمتر) می باشد. مه تابشی نوع یک (وزش ملایم باد و آسمان بدون ابر) بیشترین هوای مه آلود را در فرودگاه های به خود اختصاص داده است. در فرودگاه های مهرآباد تهران و تبریز ضمن اینکه تعداد رخداد ها کمتر از سایر فرودگاه ها می باشد، بیشترین رخداد به مه ناشی از پایین آمدن ارتفاع کف ابر برمی گردد. این امر می تواند در اثر وقوع بارش جبهه ای ایجاد شود. مه فرارفتی تنها در فرودگاه مشهد قابل بررسی و توجه می باشد. به نظر میر سد گردش چرخندی در الگوهای میانگین باد موجب شده شکل گیری مه فرارفتی که نیازمند وزش بادهای حداقل ٦ ناتی می باشد، در فرودگاه مشهد بیشتر از دیگر فرودگاه ها باشد که نیازمند بررسی های موردی سایر عوامل در این فرودگاه می باشد.

کلید واژه ها: مه، دمه، حداقل دید فرودگاه و ارتفاع کف ابر

*Email:sahartajbakhsh@gmail.com

مقدمه

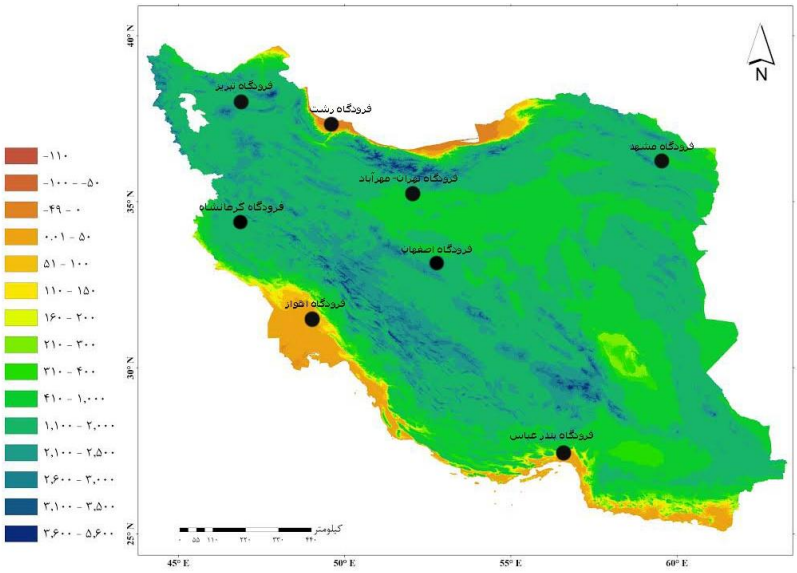
مخاطرات وضع هوا یکی از مهمترین علل وقوع سوانح هوایی می‌باشند. مطالعات اداره هوانوردی فدرال آمریکا در سال ۲۰۱۰ نشان داد که دید کم و ابر پایین دومین عامل سوانح هوایی مرتبط با وضع هوا در ایالات متحده طی سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ می‌باشد. با توجه به رشد ترافیک هوایی طی سالهای اخیر، دید کم، یکی از مهمترین مخاطراتی است که حین نشستن و برخاستن هواپیما می‌تواند سلامت و ایمنی پرواز را به خطر اندازد. بر اساس استانداردهای بین‌المللی خلبان پرواز موظف است دید مناسب برای فرود را بر اساس دید افقی که ایستگاه هواشناسی فرودگاهی اعلام می‌کند، در نظر داشته باشد. از این رو پیش‌بینی صحیح دید افقی برای عملیات فرود هواپیما بسیار اهمیت دارد.

مه، تعلیق قطرات بسیار ریز و معمولا میکروسکپی آب در هوا می‌باشند که دید افقی را در سطح زمین کاهش می‌دهند. با این شرایط اگر دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر برسد، مه تشکیل می‌شود و اگر دید افقی بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر باشد، دمه یا مه رقیق شکل می‌گیرد. شکل‌گیری مه به رطوبت نسبی بیشتر از ۹۵ درصد نیازمند است. توسعه مه نیازمند وقوع همزمان سه عامل کلیدی است: سرمایش سریع در لایه های جو نزدیک سطح زمین، رطوبت کافی و هوای آرام یا باد ملایم. برای تشکیل مه در زمان و مکان های مختلف، شرایط شکل گیری متفاوتی برقرار است. ۱۷ کشور اروپایی در مستندی روش‌های پیش‌بینی مه را در کشورهای مختلف بررسی نمودند و نشان دادند که پیش‌بینی زمان وقوع و پاک شدن مه بسیار مشکل است. فرایند تقرب و انجام عملیات فرود در هوای مه آلود در مقایسه با رخداد پدیده‌های جوی دیگر مانند بارندگی، تگرگ، رعدوبرق و غیره برای خلبان پرواز مشکل تر است. جهانبخش و زینی (۱۳۸۲) با استفاده از داده‌های اقلیمی در یک دوره یازده ساله، علاوه بر تحلیل آماری و محاسبه دوره برگشت دما با توزیع نرمال، دمای مرجع فرودگاه میانه را بر اساس میانگین‌های بیشینه‌ی روزانه دما تعیین نمودند (۲۰۰۳). خدابخش (۱۳۸۳) خداد مه، نحوه آثار سامانه‌های جوی بر این پدیده و دسته بندی انواع مه در فرودگاه شهید بهشتی اصفهان را طی دوره ده ساله (۱۹۹۲–۲۰۰۱) بررسی کرده و به این نتیجه رسیده است که در این فرودگاه، حدود ٦۰ درصد از انواع مه‌ها، مربوط به مه تابشی، ۱۲ درصد مربوط به مه بارشی یا جبهه ای، ۱۵ درصد مربوط به مه فرارفتی و ۱۱ درصد مربوط به سرمایش ناشی از حضور پرفشار است (۲۰۰٤). صلاحی و همکاران نیز با مطالعه آمار ۵ ساله اطلاعات مرتبط با مه در فرودگاه اردبیل نشان دادند که بهترین ساعات برای عملیات پرواز طی ماه‌های آوریل، می، سپتامبر و اکتبر ۸ تا ١٤ UTC و در ماه های زمستان (نوامبر تا مارس) ۰۹ تا ۱۲ UTC می‌باشد. جهانبخش و همکاران (۱۳۸۵) نیز با استفاده از آمار هفده ساله، سمت و سرعت بادهای ایستگاه همدیدی اردبیل را در امتداد باند پرواز فرودگاه اردبیل ارزیابی کرده‌اند. فرایدلین در سال ۲۰۰٤ خرداقلیم های فرودگاه شیکاگو را بررسی و انواع مه غلیظ را تقسیم بندی نموده است. کاستا نیز در سال ۲۰۰٦ به کمک مدل های آماری انواع مه را در فرودگاه ماکیو برزیل بررسی و احتمال رخداد آن را ارائه نموده است. استولاکی (۲۰۰۹) با استفاده از آمار ۳۵ ساله در فرودگاه تسالونیکی یونان، دریافت که ٦٤ درصد مه های این فرودگاه در زمستان و حدود ۲۰ درصد در اواخر پاییز رخ می‌دهند. این رخداد معمولا ۱ تا ۲ ساعت پیش از طلوع آفتاب می‌باشد. به این ترتیب به نظر می‌رسد شناسایی نوع مه در تعیین موقعیت فرودگاه ها و زمان‌بندی نشست و برخاست هواپیما ها به عنوان حدس اولیه نقش کلیدی دارد. از این رو در ادامه این مقاله ابتدا داده‌ها و روش انجام کار به منظور بررسی آماری مهمترین فراسنج‌های جوی در رخداد مه و ترسیم الگوهای میانگین بلند مدت برای یک دوره بلند مدت ۲۰ ساله معرفی می‌شود. سپس در بخش سوم به بررسی نتایج این مطالعه پرداخته می‌شود. در بخش نتیجه گیری، نتایج و کاربردهای حاصل از این تحقیق ارائه می‌گردد.

داده ها و روش کار

در این مطالعه با توجه دید کم ناشی از وقوع مه یا ترافیک زیاد پروازهای نشست و برخاستی، فرودگاه های تهران (مهرآباد)، مشهد، رشت، تبریز، کرمانشاه، بندرعباس، اصفهان و اهواز انتخاب شده‌اند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی این فرودگاه‌ها را روی کشور نشان می‌دهد.

عملیات نشست و برخاست هواپیما در دید کم، با توجه به دستگاه‌های کمک ناوبری هر فرودگاه، بر اساس حداقل دید فرودگاه انجام می‌شوند و چنانچه دید افقی در یک فرودگاه به هر دلیلی کمتر از حداقل دید باشد، فرود هواپیما در آن فرودگاه مجاز نیست. بر اساس کتاب اطلاعات هوانوردی شرکت فرودگاه‌های کشور، حداقل دید افقی فرودگاههای مورد مطالعه در این بررسی به شرح جدول (۱) می‌باشد. بنابراین محدوده گزارش یا پیش بینی دید ناشی از مه برای لغو یا تاخیر در پروازها بر اساس جدول (۱) مشخص می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی فرودگاه های تهران-مهرابد، مشهد، تبریز، کرمانشاه، اهواز، اصفهان و رشت

جدول ۱- حداقل دید افقی برای عملیات نشست و برخاست هواپیماها در فرودگاه های پر ترافیک کشور

فرودگاه	حداقل دید افقی فرودگاه (متر)	ارتفاع فرودگاه از تراز میانگین دریا (پا)	جهت باند (درجه)
مهر آباد	۸۰۰	۳۹۶۲	۱۱۰-۲۹۰
مشهد	۸۰۰	۳۲۶۶	۱۳۰-۳۱۰
اصفهان	۸۰۰	۵۰۴۴	۰۸۰-۲۶۰
تبریز	۸۰۰	۴۴۵۹	۲۱۰-۳۰۰
کرمانشاه	۸۰۰	۴۳۰۱	۱۱۰-۲۹۰
بندر عباس	۸۰۰	۲۲	۰۱۰-۲۱۰
اهواز	۱۰۰۰	۵۹	۲۱۰-۰۳۰
رشت	۱۲۰۰	-۴۰	۰۹۰-۲۷۰

داده‌ها و اطلاعات دیدبانی مه در فرودگاه‌های جدول (۱) طی دوره ۲۰ ساله ۱۹۹۵-۲۰۱٤ از مرکز سازمان هواشناسی کشور شامل اطلاعات ساعت وقوع و هوای حاضر پدیده مه با کد های ۲۸، ۱۰، ۱۱ و ٤۰-٤۹ (بر اساس جدول اطلاعات همدیدی)، دید افقی در کمتر از حداقل دید فرودگاه (طبق جدول ۱)، ارتفاع کف ابر و همچنین سرعت باد برای روزهای همراه با پدیده مه در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر الگوهای میانگین سمت و سرعت باد ۱۰ متری، میزان ابرناکی و فشار تراز میانگین دریا به عنوان شرایط میانگین برای همین دوره آماری به کمک داده‌های بازتحلیل از مرکز NCEP/NCAR دریافت و ترسیم شده‌اند این الگوها کمک می‌کنند تا ضمن بررسی شرایط بلند مدت میانگین روزهای همراه با مه، نوع مه شکل گرفته در فرودگاه‌ها شناسایی شوند. به منظور بررسی شاخص‌های مرتبط با هر نوع مه، ابتدا انواع مه‌ها و عوامل موثر در شکل‌گیری آنها به شرح زیر و به اختصار تعریف می‌شوند تا بر اساس این تعارف، نوع مه ایجاد شده در فرودگاه های مورد نظر شناسایی شوند. ویلت در سال ۱۹۲۸ یازده نوع مه تعریف نموده است (١٦) اما برخی از مهمترین متداول ترین انواع مه شامل مه تابشی، مه فرارفتی و مه جبهه ای می باشند. مه تابشی در اثر سرمایش شبانه زمین به موجب تابش گرمایی در هوای آرام(بدون وزش باد) و آسمان بدون ابر تشکیل می شود. زمین سرد به تراکم هوای نزدیک به آن منجر می شود. در هوای آرام، عمق لایه های مه کمتر از چندین متر است اما تلاطم می تواند لایه های ضخیم تری را ایجاد نماید. مه تابشی شب ها ایجاد می شود و معمولا بعد از طلوع خورشید از بین می رود. مه تابشی هر زمان از سال می تواند ایجاد شود اما در فصول پاییز و زمستان متداول تر است. عوامل مناسب برای تشکیل مه، آسمان صاف، رطوبت بالای هوا در ارتفاع کمتر از ۱۰۰ متر و زمین مرطوب(یعنی بعد از باران یا روی باتلاق ها) می باشند. مه فرارفتی هنگامی رخ می دهد که هوای مرطوب در اثر فرارفت، از روی سطوح سرد عبور نموده و سرد شود(۱). شکل گیری این شرایط هنگام عبور جبهه گرم روی مناطقی با برف قابل ملاحظه متداول است. این نوع مه غالبا روی دریاها که هوای مرطوب به آبهای سرد برخورد می کند ایجاد می شود. نزدیک بودن آهنگ کاهش دمای هوا به آهنگ کاهش مرطوب در لایه های زیرین و سرعت باد بیشتر از ٦ نات و در جهت مناسب به شکل گیری ابرهای پوشنی پایین با ارتفاع بیشتر از ٦۰۰ پا منجر می شود. مه جبهه ای با ریزش باران در هوای خشک زیر ابر تشکیل می شود. در این حالت قطرات مایع آب باران، تبخیر و بخار آب، سرد می شود تا در دمای نقطه شبنم متراکم و مه بارشی شکل گیرد و در مناطق مرتفع مه تشکیل می شود . مه جبهه ای جلوی یک جبهه گرم یا یک جبهه مخلوط گرم، روی زمین های بسیار سرد(پوشیده شده با برف) و با اختلاف شدید دما بین توده هواهای سرد و گرم در بادهای ملایم در سطح زمین تشکیل می شود. البته تاردیف و راسموسن در سال ۲۰۰۷ نشان دادند که فرارفت دما و رطوبت هم در برخی موارد می تواند به تشکیل مه تابشی منجر شود. همچنین سرمایش تابشی نیز می تواند در ایجاد انواع دیگر مه دخیل باشد(١٤). ون و همکاران در سال ۲۰۱۳ طبقه بندی مه را در آفریقای جنوبی به روشی انجام داد که تاردیف و راسموسن در سال ۲۰۰۷ برای فرودگاه های شرق آمریکا ارائه نمودند(۱۵). گام اول الگوریتم طبقه بندی مه، بر اساس سرعت باد انجام می شود. در این روش سرعت باد آستانه ۳ متر بر ثانیه در ارتفاع ۲ متری است. مه هایی که سرعت باد در آنها ۳ متر یا بیشتر است در طبقه بندی مه فرارفتی و گزارش هایی که سرعت باد کمتر از ۳ متر بر ثانیه باشد، در گروه مه تابشی قرار دارند. در مقاله آنها پیشنهاد شده برای سرعت های باد در ارتفاع ۱۰ متری می تئان آستانه را افزایش داد. در تحقیق حاضر مطالعه با داده های باد در ارتفاع ۱۰ متری و آستانه ی ۳ متر انجام شده است. چون تعداد گزارش های هوای مه آلود با بادهای بیشتر از ۳ متر بر ثانیه نسبت به تعداد کل گزارش ها قابل توجه نمی باشد و اساسا تفاوت محسوسی در نتایج یجاد نمی شود. بعد از این تقسیم بندی، گروه ارتفاع پایه ی ابر لحاظ می شود. در

گروه باد های کمتر از ۳ متر بر ثانیه، چنانچه آسمان صاف یا ارتفاع پایه ی ابر ۳۰۰ پا یا کمتر باشد، به ترتیب مه تابشی نوع ۱ و ۲ شکل می گیرد. همچنین اگر ارتفاع کف ابر در گزارش قبل از دیدبانی مه بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ پا باشد و نسبت به زمان افزایش یابد، مه تابشی نوع ۳ شکل می گیرد. همچنین، چنانچه در گزارش قبلی رخداد مه، ارتفاع کف ابر بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ پا باشد و نسبت به زمان کاهش یابد، مه ناشی از پایین آمدن ارتفاع کف ابر تشکیل می شود(CBL) . در گروه باد های بیشتر از ۳ متر بر ثانیه، چنانچه آسمان صاف باشد یا ابر با ارتفاع ۶۰۰ پا یا کمتر وجود داشته باشد) به ترتیب مه فرارفتی نوع ۱ و ۲ تشکیل می شود. در مه فرارفتی نوع ۲، در زمان رخداد مه، سرمایش در سطح زمین مشاهده می شود. در این گروه، نیز مشابه گروه تابشی، چنانچه در گزارش قبلی رخداد مه، ارتفاع کف ابر بین ۶۰۰ تا ۳۰۰۰ پا باشد و نسبت به زمان کاهش یابد، مه ناشی از پایین آمدن ارتفاع کف ابر تشکیل می شود(CBL). به این ترتیب انواع مه به کمک این الگوریتم و بر اساس جدول ۲ اساسا در سه گروه مه تابشی، مه فرارفتی و مه ناشی از پایین آمدن ارتفاع کف ابر تقسیم بندی می شوند. به نظر می رسد مه CBL در نتیجه ی بارش ایجاد شود که می تواند با جبهه همراهی گردد.

جدول ۲ طبقه بندی انواع مه بر اساس سرعت باد و میزان ارتفاع کف ابر(تاردیف و راسموسن، ۲۰۰۷)

ردیف	سرعت باد (۲ متری)	ابرناکی	نوع مه
۱	کمتر از ۳ متر بر ثانیه	آسمان صاف	تابشی
۲		۳۰۰ پا >= ارتفاع کف پایین ترین لایه ی ابر همراه با سرمایش در سطح زمین	تابشی
۳		۳۰۰۰پا>=ارتفاع کف پایین ترین لایه ی ابر در گزارش قبلی رخداد مه همراه با افزایش ارتفاع پایه ی ابر و گرمایش کم در سطح زمین	تابشی
٤		۳۰۰۰پا>=ارتفاع کف پایین ترین لایه ی ابر کف ابر در گزارش قبل از مه و در حال کم شدن ارتفاع	مه CBL
۵	بیشتر از ۳ متر بر ثانیه	آسمان صاف	فرارفتی
٦		۶۰۰ پا >=ارتفاع کف پایین ترین لایه ی ابر همراه با سرمایش در سطح زمین	فرارفتی
۷		۳۰۰۰پا>=ارتفاع کف پایین ترین لایه ی ابر کف ابر۳ ساعت قبل از شروع مه و در حال کم شدن ارتفاع	مه CBL

در این تحقیق با استفاده از الگوریتم تاردیف و راسموسن، که در جدول ۲ معرفی شد، انواع مه های شکل گرفته در بازه ی زمانی ۲۰ ساله ی ۱۹۹۵-۲۰۱٤ برای کاهش دید افقی ایستگاه فرودگاهی به کمتر از حداقل دید فرودگاه بررسی و با در نظر گرفتن الگوهای میانگین جوی در بازه های فصلی تقسیم بندی شده اند.

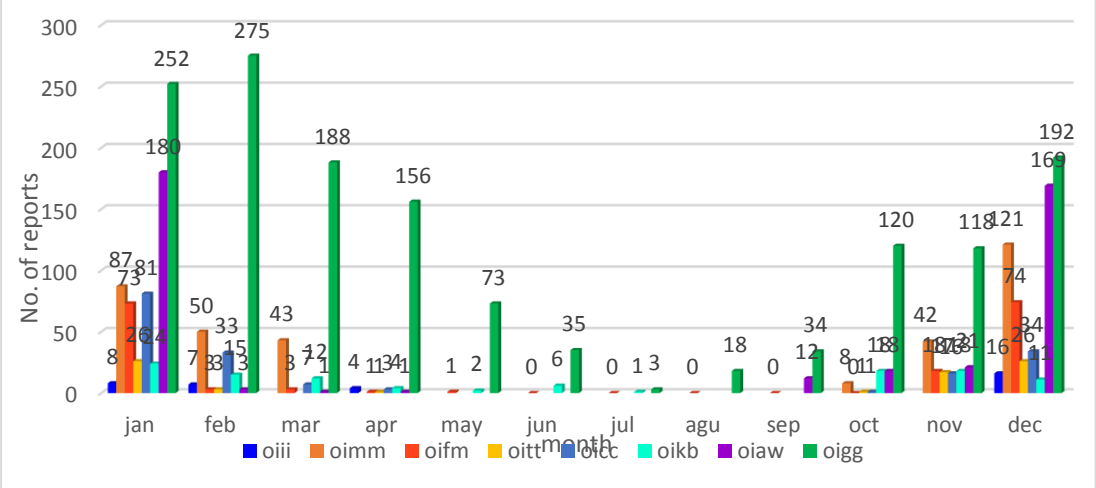
بحث و نتایج

در این بخش ابتدا آمار اطلاعات تعداد موارد رخداد مه بر حسب ماه های مختلف و ساعت وقوع آن برای فرودگاه های جدول ۱ برای بازه زمانی ۱۹۹۵-۲۰۱٤ بررسی می شود. سپس الگو های میانگین شرایط همدید شامل فشارتراز دریا، باد، دما و ابرناکی در نزدیکی سطح زمین برای دوره ای که بیشترین رخداد مه در کشور اتفاق افتاده است در بازه زمانی مورد نظر ارائه می شود. در خاتمه نیز بر اساس تعاریف نوع مه در بند بالا این رخداد ها طبقه بندی می شوند.

رخداد مه بر حسب ماه وساعت وقوع در فرودگاه های منتخب

اطلاعات دیدبانی ایستگاه مهر آباد تهران در دوره ده ساله ۱۹۹۵-۲۰۱٤ نشان می دهد که ماههای دسامبر و ژانویه به ترتیب بیشترین وقوع مه را در طول دوره ۲۰ ساله داشته اند. ماه دسامبر ۱٦ مورد و در ماه ژانویه ۱۰ مورد از مجموع ۳۵ گزارش هوای مه آلود در فرودگاه با دید کمتر از ۸۰۰ متر را به خود اختصاص داده اند. همچنین در ماه های می تا نوامبر هیچ روز مه آلودی در فرودگاه گزارش نشده است. از این رو به نظر می رسد موضوع مه در فرودگاه مهرآباد مخاطره ی پر تعدادی نمی باشد اما به سبب ترافیک زیاد این فرودگاه، لغو پروازها برای چند ساعت هم مشکلات زیادی ایجاد می نماید. بر اساس اطلاعات دریافتی از دیدبانی ها انجام شده در ایستگاه مشهد طی دوره ده ساله ۱۹۹۵-۲۰۱٤ دیده می شود که در ماههای ژانویه و دسامبر بیشترینخداد مه در طول دوره ۲۰ ساله دیدبانی شده است. در ماه دسامبر ۱۲۱ مورد، ماه ژانویه ۸۷ مورد مه گزارش شده است. همچنین در ماه های آوریل تا سپتامبر هیچ روز مه آلودی در فرودگاه گزارش نشده است.

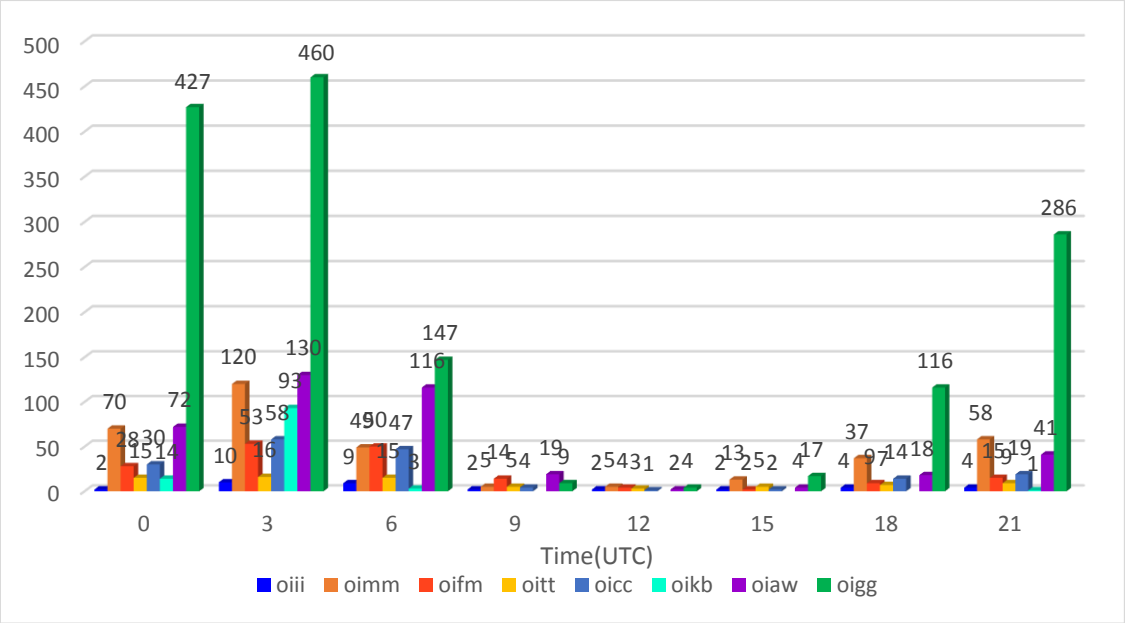
در فرودگاه اصفهان از مجموع ۱۷۵ گزارش برای هوای مه آلود با دید کمتر از ۸۰۰ متر، بیش از ۱٤۰ گزارش مربوط به ماه های دسامبر و ژانویه می باشد. ماه های ژانویه و دسامبر، در فرودگاه تبریز نیز بیشترین رخداد مه ثبت شده است. از مجموع ۷۵ مورد گزارش شده، ۲٦ مورد برای هرکدام از این ماه ها گزارش مه دیدبانی شده است. در فرودگاه کرمانشاه جمعا در ۱۷۵ گزارش دید افقی کمتر از حداقل دید فرودگاه می باشد. از این تعداد ۱۱٤ مورد در ماه های ژانویه و دسامبر رخ داده است. تعداد گزارش های رخداد مه با حداقل دید ۸۰۰ متر در فرودگاه بندرعباس ۱۱۱ مورد می باشد. توزیع این رخداد با توجه به شرایط اقلیمی دمای این شهر تقریبا بین تمامی ماه ها توزیع شده است. با این وجود ماه های ژانویه، فوریه ، اکتبر و نوامبر بیشترین تعداد گزارش را دارا می باشند. اما ساعت های دیدبانی عمدتا به ساعت UTC۰۳ محدود می شود که نشان از رخداد مه در ساعات سرد شبانه روز دارد. حداقل دید در فرودگاه اهواز ۱۰۰۰ متر می باشد. از این رو علاوه بر کد های همدیدی مه، کدهای دمه را نیز شامل می شود و به همین دلیل تعداد دیدبانی ها با این شرایط، بیشتر از فرودگاه های قبلی است و به ٤۰۵ گزارش مه یا دمه رسیده است. اما روند زمان شکل گیری مه تقریبا با فرودگاه های قبلی مشابه است به گونه ای که بیشترین رخداد مه در ماه های ژانویه و دسامبر به ترتیب با ۱۸۰ و ۱٦۹ گزارش می باشند. در فرودگاه رشت، با توجه به ابزارهای ناوبری هوایی در فرودگاه، دیدهای کمتر از ۱۲۰۰ متر لحاظ شده است. با توجه به اقلیم مرطوب این استان، ۱٤٦٦ گزارش هوای مه آلود با دید متر از ۱۲۰۰ متر دیدبانی شده است. در این فرودگاه ماه های فوریه و ژانویه به ترتیب ۲۷۵ و ۲۵۲ گزارش دید کم در اثر مه اطلاعات این گزارش ها در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲ گزارش رخداد مه بر اساس ماه در فرودگاه های مهرآباد(oiii)، مشهد(oimm)، اصفهان(oifm)، تبریز(oitt)، کرمانشاه(oicc)، بندرعباس(oikb)، اهواز(oiaw) و رشت (oigg)برای بازه ی زمانی ۱۹۹۵-۲۰۱٤

به این ترتیب دیده می شود که رخداد مه در ماه های سرد سال بیشتر گزارش می شوند. و به ترتیب ماه های ژانویه ۷۳۱،دسامبر با ٦٤۳، فوریه ۳۸٤ و نوامبر و مارس با ۲۵۰ گزارش را به خود اختصاص داده اند. این نتیجه نشان از وقوع مه هایی است که غالبا در هوای سرد ایجاد می شوند که مه تابشی از متداول ترین نوع از این دست می باشد.

شکل ۳ ساعت رخداد مه را برای فرودگاه های مورد مطالعه در این تحقیق نشان می دهد. همان گونه که در این شکل دیده می شود بیشترین رخداد ها در غالب فرودگاه ها در ساعت هایی رخ داده اند که سطح زمین سرد و خورشید طلوع نکرده است. در مجموع این گزارش ها فرودگاه های رشت(۱٤٦٤) و اهواز(٤۰۵) بیشرین هوای مه آلود را برای دید های کمتر از حداقل فرودگاه دارند. فرودگاه مشهد با ۳٤۹ گزارش مه در رتبه ی سوم است. فرودگاه های اصفهان و کرمانشاه نیز حدود ۱۷۵ گزارش هوای مه آلود را دیدبانی نمودها اند. فرودگاه های بندر عباس و تبریز نیز در جایگاه های بعدی قرار دارند. فرودگاه مهرآباد تهران نیز با مجموع ۳۵ گزارش دید افقی کمتر از حداقل دید فرودگاه، در جایگاه آخر این گروه قرار گرفته است. ساعت های ۰۳و UTC ۰٦ مناسب ترین زمان برای وقوع مه در فرودگاه مهرآباد می باشد که به ترتیب تعداد ۱۰ و ۹ گزارش در این ساعت ها از مجموع۳۵ گزارش در ایستگاه ثبت شده است. در ساعت های۰۳، ۰۰و UTC۲۱ به ترتیب بیشترین رخداد مه در فرودگاه مشهد گزارش شده است. بیش از ۱۰۰ گزارش مه در ساعت های۰۳ و UTC ۰٦ از مجموع ۱۷۵ گزارش مه برای فرودگاه اصفهان اتفاق افتاده اند. بیشترین رخداد مه در فرودگاه تبریز نیز در ساعت های ۰۳، ۰۰ و UTC ۰٦ دیدبانی شده است. ساعت های ۰۳، ۰٦ و UTC۰۰ بیشترین ساعت رخداد مه در فرودگاه کرمانشاه می باشند. در فرودگاه بندر عباس نیز از مجموع ۱۱۱ مورد دیدبانی ۹۳ مورد رخداد مه در ساعت UTC۰۳ گزارش شده است. ساعت های ۰۳، ۰٦ و UTC ۰۰ بیشترین تعداد وقوه مه برای فرودگاه اهواز گزارش شده است. فرودگاه رشت با توجه به حداقل دید فرودگاه(۱۲۰۰ متر) تعداد گزارش های دریافی برای این پدیده افزایش یافته است ضمن اینکه شرایط محیطی مرطوب نیز به شکل گیری مه در فرودگاه رشت کمک می کند. در این فرودگاه نیز ساعت های ۰۳، ۰۰ و UTC ۲۱ بیشترین گزارش های مه اتفاق افتاده اند.



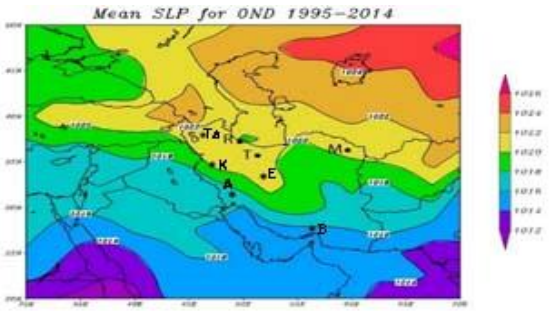
شگل ۳ گزارش رخداد مه بر اساس ساعت دیدبانی در فرودگاه های مهرآباد(oiii)، مشهد(oimm)، اصفهان(oifm)، تبریز(oitt)، کرمانشاه(oicc)، بندرعباس(oikb)، اهواز(oiaw) و رشت (oigg)برای بازه ی زمانی ۱۹۹۵-۲۰۱٤

الگوهای میانگین فراسنج های جوی

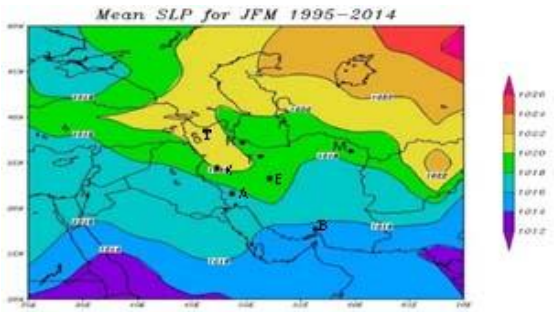
با توجه به نقش ابر، باد و همچنین فشار تراز دریا در شکل گیری انواع مه ، در این بخش الگوهای میانگین جوی در منطقه مورد مطالعه بررسی می شوند. بر اساس نتایج آماری بدست آمده دیده شده که غالب رخداد مه در فصل زمستان و سپس پاییز می باشد از این رو در این بخش الگوهای میانگین فصل های پاییز و زمستان در منطقه مورد مطالعه بررسی می شوند.

الگوهای میانگین فشار تراز دریا

الگوی میانگین فشار تراز دریا در فصل پاییز معرف گذر هم فشار ۱۰۲۰ هکتو پاسکال از نیمه ی شمالی کشور می باشد که فرودگاه های تهران، رشت، تبریز، اصفهان و مشهد در دامنه ی زبانه ی این پرفشار قرار دارندو در سایر مناطق فشار کمتر از ۱۰۲۰ هکتو پاسکال می باشد اما همچنان زبانه فشار زیاد حاکم است(شکل ٤). در فصل زمستان به جز در شمال غرب ایران(محدوده ی فرودگاه تبریز) که همچنان در دامنه ی فشار ۱۰۲۰ هکتو پاسکال قرار دارد، درسایر مناطق نیمه ی شمالی فشار بین ۱۰۱۸ تا ۱۰۲۰ کاهش یافته است که در شکل ۵ دیده می شود.

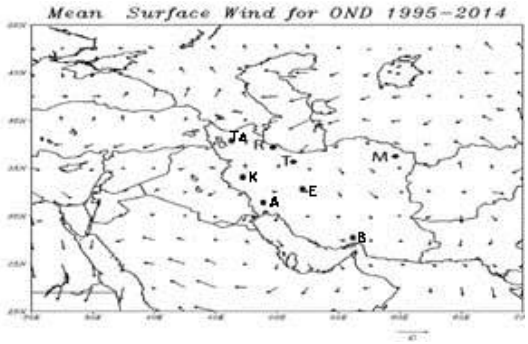


شکل ٤ میانگین فشار تراز دریا (hPa)پاییز ۱۹۹۵-۲۰۱٤. حروف R ، M و Ta، T ، K ، A ، B و E به ترتیب معرف فرودگاه‌های رشت، مشهد، ترمانشاه، اهواز، بندرعباس و اصفهان میباشند..

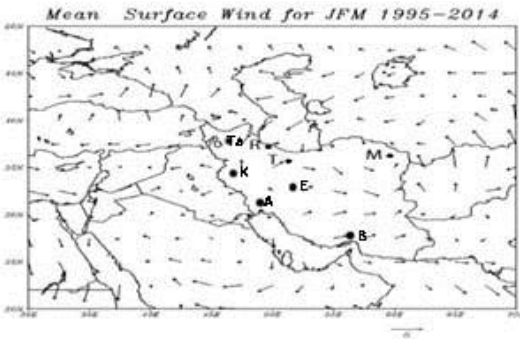


شکل ۵ میانگین فشار تراز دریا(hPa) زمستان ۱۹۹۵-۲۰۱٤. حروف R ، M و Ta، T ، K ، A ، B و E به ترتیب معرف فرودگاه های رشت، مشهد، ترمانشاه، اهواز، بندرعباس و اصفهان می باشند..

الگوهای میانگین باد ۱۰ متری برای فصول پاییز و زمستان به ترتیب در شکل های ٦ و ۷ دیده می شوند. در الگوی فصل پاییز، باد ۵ نات با جهت شمال شرقی(دریا به خشکی) و بادهای ضعیف جنوبی، محدوده ی فرودگاه رشت را تحت تاثیر قرار می دهد. در شمال شرق ایران(فرودگاه مشهد) اگرچه سرعت باد چندان زیاد نیست (حدود ۲ تا ۵ نات) اما جهت بادها بسیار متغیر است و بنظر می رسد چرخش پاد ساعتگرد کوچکی در این منطقه شکل گرفته است. بادها در نواحی شمال غرب، غرب، مرکزی و جنوب ایران(محدوده ی فرودگاه های تبریز، کرمانشاه، اهواز، اصفهان و بندر عباس) بسیار ضعیف می باشند(شکل ٦) الگوی فصل زمستان معرف بادهای شدیدتری روی کشور می باشد که به ویژه در نیمه ی شرقی کشور تقویت شده اند. در محدوده ی فرودگاه بندرعباس بادهای غربی شدت گرفته اند و در مناطق شمال شرق ایران گردش چرخندی مشهودتر است. در سواحل غربی دریای خزر(محدوده ی فرودگاه رشت) بادهای جنوب غربی قوی تر شده اند. سرعت باد در بخش های غرب و جنوب غرب ایارن قابل توجه نمی باشد(شکل ۷) با این تفاوت که سرعت بادهای تاثیر گذار زمستانی در فرودگاه مشهد به ۵ تا ۷ نات افزایش یافته است و در فرودگاه رشت بادهای جنوب غربی(خشکی به دریا) تقویت شده(۵ تا ۷ نات) و سرعت بادهای شمال شرقی روی دریای خزر در مقایسه با فصل پاییز اندکی کاهش یافته است. این الگو با توجه به تقویت تدریجی پرفشار سیبری در سطح زمین و حرکت شرق سوی آن در فصل زمستان توجیه پذیر می باشد. در حاشیه ی غرب و جنوب غرب(محدوده ی فرودگاه های کرمانشاه و اهواز) ایران سرعت بادها قابل ملاحظه نمی باشد اما جهت آنها در هر دو فصل شرقی و شمال شرقی نشان داده شده است (شکل ۷)

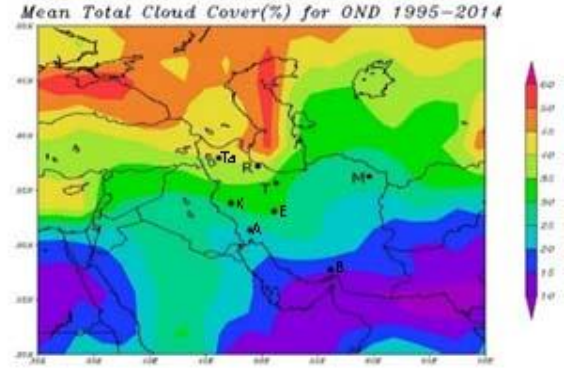


شکل ٦ میانگین باد ۱۰ متری(m/s) پاییز- ۱۹۹۵-۲۰۱٤. حروف R ، M و Ta، T ، K ، A ، B و E به ترتیب معرف فرودگاه های رشت، مشهد، ترمانشاه، اهواز، بندرعباس و اصفهان می باشند..

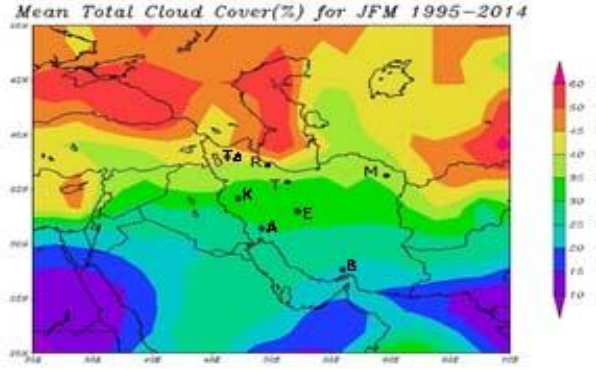


شکل ۷ میانگین باد ۱۰ متری (m/s) زمستان- ۱۹۹۵-۲۰۱٤. حروف R ، M و Ta، T ، K ، A ، B و E به ترتیب معرف فرودگاه های رشت، مشهد، ترمانشاه، اهواز، بندرعباس و اصفهان می باشند..

از نقطه نظر میزان ابرناکی، فرودگاه های واقع در نوار شمالی ایران (فرودگاه های رشت، تهران و تبریز)در فصل پاییز، ابرناکی ۳۵ تا ٤۵ درصد را به صورت میانگین تجربه می‌کنند و میزان ابرناکی برای نیمه جنوبی ایران در این فصل بین ۱۰ تا ۳۵ درصد متغیر است(شکل ۸). در فصل زمستان مقدار ابرناکی افزایش می یابد به گونه ای که در نیمه ی جنوبی کشور(در برگیرنده ی فرودگاه های اصفهان، بندر عباس، اهواز و کرمانشاه) تا ۳۵ درصد افزایش می یابد(شکل ۹). از این رو دیده می شود که در الگوی میانگین، مقدار ابرناکی کمتر از نیمی از آسمان است و بنظر می رسد با توجه به تعاریف مه تابشی این مقدار پوشش ابر می تواند به شکل گیری این نوع مه کمک کند. به این ترتیب در یک نگرش کلی فشار جوی بالا، وزش ملایم باد، ابرناکی کمتر از ۵۰٪ در غالب نقاط کشور حاکم می باشد.



شکل ۸ میانگین پوشش تمامی لایه های ابر (٪) پاییز ۱۹۹۵-۲۰۱٤. حروف R، M و TB، TE ، K ، A ، B و E به ترتیب معرف فرودگاه های رشت، مشهد، ترمانشاه، اهواز، بندرعباس و اصفهان می باشند.



شکل ۹ میانگین پوشش تمامی لایه های ابر (٪) زمستان ۱۹۹۵-۲۰۱٤. حروف R، M و TB، TE ، K ، A ، B و E به ترتیب معرف فرودگاه های رشت، مشهد، ترمانشاه، اهواز، بندرعباس و اصفهان می باشند.

شناسایی نوع مه در فرودگاه های منتخب

در این بخش، بر اساس تعاریف انواع مه، که در بخش روش کار معرفی شده است، رخدادهای مه تقسیم بندی شده اند. نتایج این تقسیم بندی در شکل ۱۰ آمده است. در این شکل، ۷ نوع مه با توجه به دیدبانی های باد ۱۰ متری و ارتفاع پایه ابر ، براساس جدول ۲ تقسیم بندی شده اند که نوع مه تشکیل شده بر اساس شماره ی ردیف آنها در جدول ۲ بیان شده است. شرح نتایج بدست آمده به صورت زیر است:

فرودگاه مهر آباد

بیشترین رخداد مه در فرودگاه مهر آباد از نوع CBL می باشد که ارتفاع کف ابر نسبت به ساعت گذشته کاهش یافته است. از مجموع ۳۵ مورد دیدبانی، ۲۶ مورد مربوط به این نوع مه است. مه فرارفتی در فرودگاه مهر آباد برای دیدهای کمتر از ۸۰۰ متر نوع ۱ و ۲ گزارش نشده است و سه مورد CBL دیده دیدبانی شده است که با بادهای بیشتر از ۳ متر بر ثانیه همراه است. به این ترتیب با وجود اینکه تعدا گزارش های هوای مه آلود کم است اما غالب موارد به مه تابشی و فرارفتی مربوط نمی شود و مه ها ناشی از کاهش ارتفاع کف ابر می باشد. این شرایط احتمالا می تواند با عبور جبهه های جوی همراه باشد.

فرودگاه مشهد

تنوع رخدا مه در فرودگاه مشهد بیشتراز فرودگاه مهر آباد است. در این فرودگاه بیشترین تعداد گزارش مربوط به مه تابشی نوع ۱ و ۲ می باشد که به ترتیب از مجموع ۳۴۹ گزارش، ۱۱۰ و ۱۰۵ گزارش را به خود اختصاص داده اند. پس از آنها مه فرارفتی نوع دوم با ۶۱ گزارش و سپس مه CBL با بادهای کمتر از ۳ متر بر ثانیه قراردارند. بر این اساس مه تابشی مه غالب در فرودگاه مشهد است.

فرودگاه اصفهان

در فرودگاه اصفهان ۱۷۵ مورد مه با دید کمتر از ۸۰۰ متر گزارش شده اند که د ر ۶۹ مورد رخداد مه در فرودگاه اصفهان، مه تابشی نوع ۲ ، ۵۱ مورد مه CBL بدون وزش باد و ۴۱ مورد مه تابشی نوع ۱ گزارش شده است. بنا بر این در این فرودگاه نیز مه تابشی مه متداول نسبت به سایر موارد (فرارفتی و CBL) می باشد.

فرودگاه تبریز

در فرودگاه تبریز نیز رخداد مه با دید کمتر از ۸۰۰ متر طی دوره ی ۲۰ ساله ی ۱۹۹۵-۲۰۱۴ ، ۷۵ مورد می باشد. از این رو به نظر می رسد رخداد پدیده ی مه، از لحاظ آماری ، چندان متداول نمی باشد. از این تعداد بیش از ۳۰ گزارش مه تابشی نوع ۱ و ۲ و ۳۷ گزارش مربوط به مه CBL با بادهای کمتر از ۳ متر بر ثانیه می باشد.

فرودگاه کرمانشاه

نمودار شناسایی نوع مه در فرودگاه کرمانشاه نشان دهنده ی رخداد بیشترین تعداد مه از نوع تابشی می باشد که ارتفاع کف ابر کمتر از ۶۰۰ پا است(۸۹ مورد) و ۴۳ گزارش در هوای صاف می باشد. ۲۶ مورد نیز مربوط به هوای آرام همراه با مه CBL می باشد.

فرودگاه بندرعباس

برای فرودگاه بندرعباس بیشترین تعداد رخداد مه با دید حداکثر ۸۰۰ متر مربوط به مه تابشی در هوای صاف می باشد(۶۲ مورد). و بعد از آن، مه CBL در وزش ملایم باد(کمتر از ۳ متر بر ثانیه) می باشد که ۲۷ گزارش را به خود اختصاص داده است.

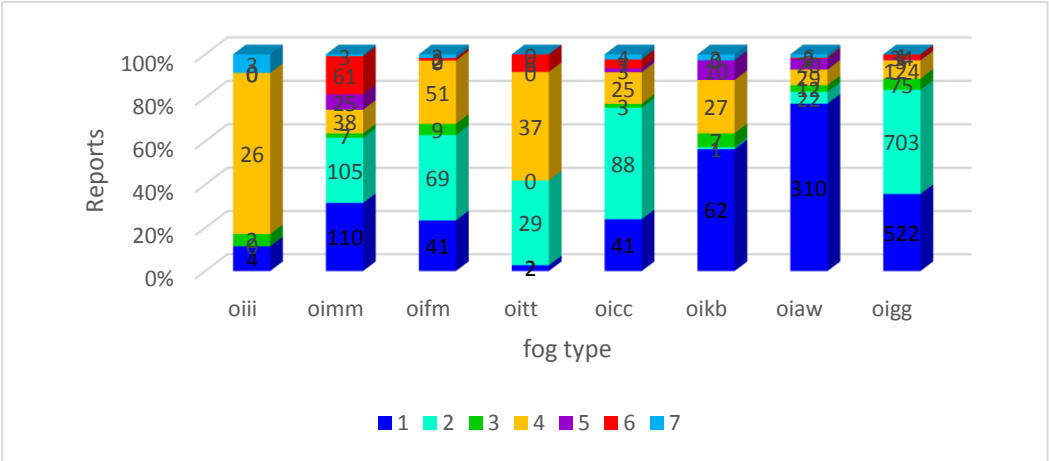
فرودگاه اهواز

در فرودگاه اهواز مه غالب، مه تابشی می باشد که بیش از ۳۴۸ مورد گزارش را به خود اختصاص داده است. پس از آن مه تابشی با ارتفاع کف ابر کمتر از ۶۰۰ پا در رتبه دوم است. ۲۳ گزارش از مجموع ۳۱۲ مورد، در هوای صاف، ۲۳ مورد با ابرهای زیر ۳۰۰ پا و ۱۳ گزارش با ابرهای بلند تر از ۳۰۰۰ پا می باشد. از مجموع ۴۰۳ گزارش فرودگاه اهواز، تنها ۲۲ گزارش مربوط به مه های) همرفتی است.

فرودگاه رشت

فرودگاه رشت نیز بیشترین گزارش هوای مه آلود را مه تابی نوع ۲ شامل می شود. ۷۰۳ گزارش از مجموع ۱۴۶۴ گزارش این فرودگاه به این نوع مه تعلق دارد. سپس مه تابشی نوع

۱ با ۵۲۲ گزارش و مه CBL در هوای آرام با ۱۲٤ مورد قرار دارند. این توضیحات بر اساس نتایج بدست آمده از بررسی گزارش های هوای مه آلود با دید کمتر از حداقل فرودگاه برای ۸ فرودگاه مهم کشور در شکل ۱۰ آمده است. به این ترتیب در این بررسی، مجموعا، ۲۷۸۷ گزارش رخداد مه با دید افقی کمتر از حداقل دید فرودگاه در ۸ فرودگاه مهم کشور به شرح جدول ۱ بررسی شده اند که علاوه بر بررسی ساعت دیدبانی، گزارش های قبلی آنها با هدف بررسی کاهش یا افزایش ارتفاع کف ابر مطالعه شده اند. نتایج این بررسی نشان می هد که مه های تابشی (نوع ۱، ۲ و ۳) در مقایسه با مه های فرارفتی و مه های CBL در فرودگاه های ایران متداول تر می باشند. فرودگاه های رشت، اهواز و مشهد بیشترین رخداد مه را در فرودگاه های مورد مطالعه شامل می شوند.



شکل ۱۰ انواع مه در فرودگاه های مهرآباد(oiii)، مشهد(oimm)، اصفهان(oifm)، تبریز(oitt)، کرمانشاه(oicc)، بندرعباس(oikb)، اهواز(oiaw) و رشت (oigg)برای بازه ی زمانی ۱۹۹۵-۲۰۱٤

نتیجه گیری

دید کم، یکی از مهمترین علل وقوع سوانح هوایی حین نشست و برخاست هواپیما است و می تواند سلامت و ایمنی پرواز را به خطر اندازد. عوامل متعددی از جمله مه، دمه، گرد وخاک، توفان های شن وخاک، دود، ارتفاع پایین کف ابر و غیره می توانند در کاهش دید افقی موثر باشند. از مهمترین عوامل کاهنده ی دید افقی مه، دمه و ارتفاع پایین کف ابر می باشند که انواع گوناگونی دارند و در این مقاله با توجه به اهمیت پیش بینی مه برای دید هواپیماها حین فرود روی باند، بررسی آماری به منظور شناسایی نوع مه شکل گرفته در مهمترین فرودگاه های کشور صورت گرفته است. هشت فرودگاه کشور که از لحاظ رخداد مه یا ترافیک پرواز در اولویت می باشند، انتخاب شدند و شامل فرودگاه های مشهد، رشت، تبریز، کرمانشاه، اهواز، بندر عباس، اصفهان و تهران – مهرآباد می باشند. با توجه به ابزارهای ناوبری موجود در هر فرودگاه آستانه حداقل دید فرودگاه های منتخب از ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متر متغیر است که این آستانه برای هر فرودگاه در جدول ۱ آمده است. بررسی آماری داده های دیدبانی در دوره ی ۲۰ ساله ی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱٤ انجام شد. گزارش هایی در نظر گرفته شد که دید افقی در فرودگاه ناشی از وقوع مه کمتر از حداقل دید فرودگاه باشد. با این توضیح مجموع گزارش های دیدبانی در بازه ی زمانی مورد نظر ۲۷۸۷ مورد می باشد که فرودگاه رشت با ۱٤٦٤ مورد بیشترین رخداد ها و فرودگاه مهرآباد با ۳۵ مورد کمترین رخداد های مه را با دید کمتر از حداقل فرودگاه داشته اند. نتایج بررسی آماری دیدبانی رخدادهای مه در کل کشور

حکایت از آن دارد که در ماه های سرد سال(دسامبر، ژانویه و فوریه) بیشترین رخداد مه در کل کشور گزارش شده است و غالبا در شب اتفاق افتاده اند. ساعت های ۰۳، ۰۰ و ۲۱ utc به ترتیب با مقادیر ۹۴۰، ۶۵۸، ۴۳۶ و ۴۳۳ بیشترین دیدبانی مه را داشته اند. الگوهای میانگین مهمترین فراسنج های جوی نشان می دهند که در فصل زمستان(دسامبر، ژانویه و فوریه) زبانه های سامانه ی پرفشار سیبری روی ایران با فشار ۱۰۱۶ تا ۱۰۲۲ هکتو پاسکال مستقر می باشد. سمت وسرعت باد میانگین در ارتفاع ۱۰ متری نشان دهنده ی هوای آرام در غرب کشور و بادهای غربی با سرعت میانگین ۵ تا ۱۰ نات در نواحی مرکزی و شرق کشور دیده می شوند که در حاشیه شمال شرق ایران گردش چرخندی کوچکی را نشان می دهند.(شکل ۷). از این رو به نظر می رسد همین امر موجب شده شکل گیری مه فرارفتی که نیازمند وزش بادهای حداقل ۶ ناتی می باشد، در فرودگاه مشهد بیشتر باشد. پوشش ابرهای منطقه نیز در فصل زمستان در نیمه ی شمالی ایران بین ۳۵ تا ۴۵ و در نیمه جنوبی ایران بین ۲۵ تا ۳۵ درصد می باشد.

پس از دستیابی به اطلاعات باد و ابرناکی به صورت نقطه ای و میانگین، به بررسی و شناسایی نوع مه شکل گرفته در فرودگاه ها پرداخته می شود. از مهمترین انواع مه که در منابع متعددی به آنها پرداخته شده است، می توان به مه تابشی، مه فرارفتی، و مه جبهه ای اشاره نمود که کدام شرایط ویژه ای دارند. اما مشخصا مه تابشی با وزش بادهای آرام(کمتر از ۶ نات)، مه فرارفتی با وزش بادهای حداقل ۶ نات قابل تشخیص می باشند و مه جبهه ای غالبا در حضور جبهه های گرم رخ می دهد. در این تحقیق به کمک الگوریتم تاردیف و راسموسن انواع مه های موجود در هفت گروه تقسیم بندی شدند که شامل سه نوع مه تابشی، دو نوع مه فرارفتی و دو نوع مه CBL می باشند که جزئیات آنها در جدول ۲ آمده است. بررسی های انجام شده نشان می دهند که ۷۴٪ مه فرودگاه مهرآباد از نوع مهCBL با باد آرام(کمتر از ۶ نات) می باشد و در در فرودگاه تبریز ۵۰٪ کل گزارش ها را پوشش داده است. در فرودگاه های اصفهان، کرمانشاه و رشت مه تابشی نوع دوم به ترتیب با مقادیر ۳۹/۴٪، ۵۰/۸٪ و ۴۸٪ بیشترین آمار را دارا می باشند. مه تابشی نوع یک نیز در فرودگاه های مشهد با ۳۱/۵٪، بندرعباس با ۵۵/۸٪ و اهواز با ۷۶/۵٪ بیشترین رخداد را به خود اختصاص داده اند. به کمک شکل ۱۰ می توان دید که در تمامی فرودگاه های منتخب ۷۹/۷٪ مه تابشی(مجموع نوع ۱،۲ و۳)، ۶۵ مه فرارفتی(مجموع نوع ۵و۶) و ۱۳/۶٪مه CBL (مجموع نوع ۴ و ۷) گزارش شده است. موارد باقیمانده مه های ناشناخته می باشد. مه های CBL به علت پایین آمده کف ابر از دیدبانی گذشته تا کنون می تواند ناشی از بارش جوی باشد که البته در این مقاله بررسی نشده است. به این ترتیب بیشترین رخداد مه در کشور ما، همان گونه که نتایج اولیه ی الگوهای جوی و زمان وقوع مه (فصل و ساعت) نشان می داد از نوع مه تابشی می باشند. مه فررفتی به ندرت در کشور رخ می دهد و تنها در فرودگاه مشهد رخداد آن قابل توجه است. بررسی بیشتر این فرایند خارج از بحث این مقاله می باشد اما الگوهای میانگین جوی گردش چرخندی مناسبی را در فصول پاییز و زمستان در شمال شرق ایران نشان می دهد که می تواند یکی از دلایل وقوع مه همرفتی باشد اما به بررسی های بیشتر نیاز دارد.

قدردانی

نویسنده ی این مقاله از سازمان هواشناسی کشور به علت در اختیار قرار دادن داده های گزارش مه در ایستگاه های سطح زمین و داده های جو بالا در روزهای مرتبط با بررسی های موردی در ایستگاه های فرودگاهی منتخب صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می نماید.

مراجع

1. Airport and Air Navigation Company, Iran Sky, 2015.
2. Bang, C.-H. (2007) A numerical simulation study of fog and visibility in local airports over the Korean Peninsula using the WRF model, Master thesis, Yonsei University, Seoul, Korea, pp. 84.

3. Costa ,Saulo B .and [other],2006,proceedings of 8 icshmo,foz do ,MACEIÓ, Brazil using artificial unreal network, lguacu,Brazil,April 24-28.
4. Federal Aviation Administration (FAA), 2010, WEATHER-RELATED AVIATION ACCIDENT STUDY 2003–2007.
5. Friedlein, M.T., 2004, Dense Fog Climatology, Chicago O'Hare International Airport, July
6. 1996–April 2002, Bulletin of the American Meteorological Society, 85, PP. 515–517.
7. ICAO, 2010: Technical specifications related to meteorological observations and reports: Appendix 3. Annex 3 to the Convention on nternational Civil Aviation: Meteorological Service for International Air Navigation, 17th ed. International Civil Aviation Organization, APP 3-1–APP 3-5.
8. Iran airports and air navigation companies, 2017, Aeronautical Information publications(AIP),
9. Jacobs, W., Vesa Nietosvaara, Andreas Bott, Jörg Bendix, Jan Cermak, Silas Chr. Michaelides, and Ismail Gultepe, 2007: COST Action 722, Earth System Science and Environmental Management, Final report on Short Range Forecasting Methods of Fog, Visibility and Low Clouds. Available from COST-722, European Science Foundation, 500 pp.
10. Jahanbakhsh, S., Zahedi, M., Hosseini, A., 2003, Analysis of Temperature & Frost in Relation to Airport Climate, Researches in Geography, No. 50, PP. 19-33.
11. Jahanbakhsh, S., Sari Sarraf, B., Hosseini, A., 2006, Evaluation of Flight Line xtension in Ardabil Airport by Analyzing the Wind Element, Research in Geography, No. 57, PP. 113-126.
12. Khodabakhsh, H., 2004, Investigation of Synoptic Condition of Fog Occurrence in Shahid-Beheshti Airport of Isfahan, Applied Research, Group of Physical Geography, Isfahan Meteorology Office.
13. Lee, J., W., Bang, Ch., H. and Hong, S., 2008, Predictability Experiments of Fog and Visibility in Local Airports over Korea using the WRF Model., Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 24, No. E 2 (2008) pp. 92~101.
14. Salahi, B. and S., mohammadi, 2000, Synoptical and statistical analysis of fog in Ardebil airport., Journal of natural Geography Research , No. 77, pp 69-92.
15. Stolaki, S. N., Kazadzis, S.A., Foris, D.V., Karacostas, T, S., 2009, Fog Characteristics at the Airport of Thessaloniki, Greece, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, PP. 1541–1549.
16. Tardif, R., and R. M. Rasmussen, 2007: Event-based climatology and typology of fog in the New York City region. J. Appl. Meteor. Climatol., 46, 1141–1168.
17. Van Schalkwyk L., and DYSON, L., L., 2013, Climatological Characteristics of Fog at Cape Town International Airport., J. Appl. Meteor. Climatol., vol28, pp 631-646.
18. Willet, H. C., 1928: Fog and haze, their causes, distribution, and forecasting. Mon. Wea. Rev., 56, 435–468.
19. WMO, No. 306,2014, Manual on Codes, International Codes, Volume I., Part A – Alphanumeric Codes
20. WMO/TD-No. 1292, 2005, Guidelines on integration severe weather warning into disaster risk management.
21. WMO, No. 782,2008, Aerodrome Reports and Forecasts
22. WMO, No. 407,2012, Manual on the observation of clouds and other meteors.