

مطالعه اقلیمی رخداد مه در فرودگاه رشت

راضیه پهلوان*

۱- کارشناس پژوهشی پژوهشگاه هواشناسی و علوم

چکیده

کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر در اثر قطرات معلق آب در نزدیکی سطح زمین مه نامیده می‌شود. مه باعث ایجاد اختلال در حمل و نقل هوایی می‌شود و نشست و برخاست هواپیما را دچار مشکل می‌کند. با توجه به اهمیت مه در ایمنی صنعت حمل و نقل هوایی، شناخت اقلیم مه می‌تواند نقش مهمی در تشخیص و پیش‌بینی بهتر آن داشته باشد. در این مطالعه، از داده‌های متار (METAR) فرودگاه رشت طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ برای تشخیص و جداسازی انواع مه استفاده شد. انواع مه در این فرودگاه بر اساس الگوریتم تردیف و راسموسن (۲۰۰۷) مشخص شدند. سپس به بررسی اقلیم مه پرداخته شد. نتایج نشان داد که در طول مدت مورد مطالعه رایج‌ترین نوع مه، مه تابشی و پس از آن مه ناشی از کاهش ارتفاع پایه ابر (CBL) است. مه بارشی طولانی‌ترین رخداد مه از نظر مدت زمان رخداد و مه CBL کوتاه‌ترین رخداد مه بوده است. در طول سال‌های مورد مطالعه بیش‌ترین رخداد مه در ساعت ۰۰ گرینویچ اتفاق افتاده است. توزیع ماهانه مه بارشی که بیشتر از انواع دیگر در ایستگاه رشت رخ داده است، بیشتر در ماه‌های ژانویه و فوریه رخ داده است. از نظر تغییرات سالانه رخداد مه، روند مشخصی در تعداد ساعات مه در طول سال‌های مورد مطالعه دیده نشد.

کلید واژه‌ها: اقلیم‌شناسی مه، نوع مه، مه تابشی، مه فرارفتی، مه CBL.

مقدمه

دید افقی کم به دلیل وجود مه، حمل و نقل هوایی، دریایی و جاده‌ای را دچار مشکل می‌کند. مه پدیده‌ای جوی است که با کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر به دلیل وجود قطره‌های معلق آب در نزدیکی سطح زمین، رخ می‌دهد (اداره ملی اقیانوس و جو، ۱۹۹۵؛ سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۱۱). مه یک پدیده محلی است که شرایط لازم برای تشکیل آن به‌طور معمول به ویژگی‌های جغرافیایی محل تشکیل مه بستگی دارد (پیس، ۱۹۶۹). دانشمندان علم هواشناسی برای بهبود پیش‌بینی مه، خردفیزیک مه و همچنین فراوانی مکانی و زمانی مه را مطالعه کرده‌اند. علاوه بر این، روش‌هایی برای شناسایی و طبقه‌بندی مه ارائه شده است. بنابراین تحقیقات اقلیمی مه در یک منطقه، یکی از رویکردهای اصلی مطالعات مه برای درک بهتر و پیش‌بینی مه در آن منطقه است. متداول‌ترین روش برای انجام مطالعه اقلیمی مه، تحلیل میانگین سالانه یا ماهانه روزهای مه‌آلود است (مانند هاردویک، ۱۹۷۳؛ پیس، ۱۹۶۹؛ یوشینو، ۱۹۷۵؛ لادوچی، ۲۰۰۵). اولین کار برای بررسی اقلیمی رخداد مه، شناسایی و جداسازی رخداد مه و سپس تشخیص نوع رخداد مه است. تردیف و راسموسن (۲۰۰۷) رخداد‌های مه را از داده‌های دید افقی در شهر نیویورک شناسایی کردند و هر یک از رخدادها را بر اساس سازوکارهای مؤثر برای تشکیل مه دسته‌بندی کردند. هافلین و همکاران (۲۰۱۰) نیز رخداد‌های مه در شهر پاریس را با استفاده از الگوریتم پیشنهادی تردیف و راسموسن (۲۰۰۷) دسته‌بندی کرد. آکیموتو و کوزاکا (۲۰۱۴) الگوریتم تردیف و راسموسن (۲۰۰۷) را ساده‌سازی کرده و به بررسی اقلیم مه در مناطق مختلف ژاپن پرداختند. پدیده مه که با نم نسبی بالا همراه است، نقش مهمی در سلامت اکوسیستم‌ها و انسان دارد (لانگ و همکاران، ۲۰۰۳؛ ساچویو و کوپکه، ۱۹۹۷؛ سرسدا و همکاران، ۲۰۰۲؛ اوبرین و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین مه باعث حفظ تعادل تابش می‌شود (بندیکس، ۲۰۰۲). وقوع مه هم‌چنین به گردش هوا و ویژگی‌های جغرافیایی منطقه بستگی دارد، بنابراین فراوانی این رخداد در مکان‌ها و زمان‌های مختلف، متفاوت است (سرسدا و همکاران، ۲۰۰۲). برای مثال، کم‌ترین میزان فراوانی رخداد مه در مکزیک و بیش‌ترین فراوانی رخداد مه

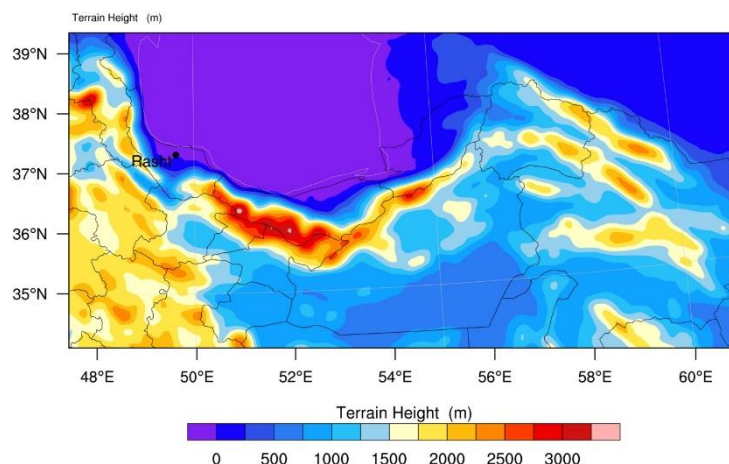
در تاییه در ماه مارس رخ می‌دهد (گارسیا-گارسیا و زارالوکی، ۲۰۰۸؛ تسای و همکاران، ۲۰۰۷). مه می‌تواند در اثر فرارفت، سرمایش تابشی یا حرکت جبهه هوا در یک منطقه رخ دهد. فراوانی و توزیع مکانی مه به نزدیکی منطقه به دریا و وجود کوهستان ارتباط دارد (اوبرین و همکاران، ۲۰۱۲؛ بلاس و همکاران، ۲۰۰۲؛ ویتبو و لادوچی، ۲۰۰۸؛ سید و همکاران، ۲۰۱۲). فراوانی بیشتر رخداد مه در ارتفاعات معمولاً نتیجه سرمایش ناشی از اثر کوه‌نگاری است (لانگ و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین براساس مطالعات پیشین، بیشینه وقوع مه بین ساعات ۴ تا ۶ صبح و کمینه آن در ساعات ۱ تا ۳ بعد از ظهر محلی دیده شده است. این امر به دلیل تغییرات روزانه دمای هوا است. در طول روز و ساعات بعد از ظهر که دمای هوا به بیش‌ترین مقدار روزانه خود می‌رسد، اختلاف دما و دمای نقطه شبنم افزایش یافته و فراوانی رخداد مه کاهش می‌یابد، همچنین در آخرین ساعات شب، قبل از طلوع آفتاب که دمای هوا به کم‌ترین مقدار روزانه خود می‌رسد، اختلاف دما و دمای نقطه شبنم کاهش یافته و فراوانی رخداد مه افزایش می‌یابد. تاجبخش (۱۳۹۵) به مطالعه آماری رخداد مه در فرودگاه‌های مهرآباد، مشهد، رشت، تبریز، اهواز، کرمانشاه و بندرعباس، پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشتر گزارش‌های مه قبل از طلوع و بعد از غروب خورشید و به ترتیب در ساعات ۰۰، ۰۳ و ۲۱ گریونچ بوده است. همچنین بیش‌ترین آمار رخداد مه در فرودگاه رشت نیز مربوط به مه تابشی نوع دوم (وزش باد ملایم و ارتفاع کف ابر ۳۰۰ پا یا کمتر) می‌باشد. شهر رشت به دلیل نزدیکی به دریای خزر در شمال و رشته کوه البرز در جنوب، شرایط مساعدی برای تشکیل مه دارد. پدیده مه در فرودگاه رشت می‌تواند باعث تأخیر یا لغو پروازا شود و علاوه بر خسارت مالی و جانی، صنعت توریسم منطقه را نیز تحت تأثیر قرار دهد. در این مطالعه با توجه به اهمیت رخداد مه در فرودگاه رشت، خصوصیات اقلیمی رخداد مه در این فرودگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. به دلیل تعدد رخداد‌های مه در فرودگاه رشت، شناخت اقلیم مه در این فرودگاه باعث بهبود پیش‌بینی مه و کاهش خطرات جانی و مالی ناشی از آن می‌شود. این مقاله به این صورت طراحی شده است: مواد و روش کار در بخش ۲ شرح داده

بررسی قرار گرفت. فرودگاه بین‌المللی سردار جنگل رشت در ارتفاع ۸/۶- متری از سطح دریا و در فاصله ۷ کیلومتری از شهر رشت در ۴۹/۶۲ درجه طول جغرافیایی و ۳۷/۳۲ درجه عرض جغرافیایی واقع شده است. شکل ۱ ناهمواری اطراف شهر رشت را نشان می‌دهد. فرودگاه رشت در شکل مشخص شده است.

شده است، بحث و نتایج مربوطه در بخش ۳ ارائه شده است و در نهایت، نتیجه‌گیری در بخش ۴ آمده است.

مواد و روش‌ها

با استفاده از داده‌های دیدبانی ساعتی در مدت ۱۶ سال (از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰)، رخداد مه در فرودگاه رشت مورد



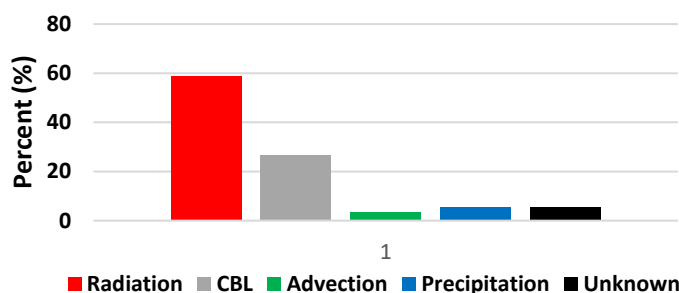
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، استان یزد

فراوانی انواع مه

الگوریتم تردیف و راسموسن (۲۰۰۷) جهت طبقه‌بندی نوع هر رخداد مه در ایستگاه فرودگاه رشت به کار رفت. بر این اساس و آنچه که در شکل ۳ نشان داده شده است، در مجموع ۹۴/۴۲٪ از تمام رخدادهای مه در یکی از چهار نوع مه (تابشی، CBL، فرارفتی و بارشی) دسته بندی شدند و تنها ۵/۵۸٪ از آنها ناشناخته باقی ماند.

بحث و نتایج

به منظور بررسی مه در فرودگاه رشت، پس از جداسازی رخدادهای مه از داده‌های متار، انواع مه بر اساس الگوریتم تشخیص مه تردیف و راسموسن (۲۰۰۷) مشخص شد و سپس از نظر فراوانی انواع مه، تراکم مه و مدت زمان رخداد مه، تنوع فصلی و روزانه مه، تغییرات سالانه رخداد مه و غلظت مه مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۳- فراوانی انواع مه در ایستگاه رشت در دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰

۳). مه CBL با فراوانی ۲۶/۷۴٪ از کل رخدادهای در ایستگاه رشت مشاهده شد. مه بارشی دارای فراوانی ۵/۳۵٪

نتایج نشان می‌دهد که مه تابشی رایج‌ترین نوع مه در ایستگاه رشت با ۵۸/۸۴٪ از کل رخدادهای مه است (شکل

دید در رده مه غلیظ (کمینه دید کمتر از ۱۰۰ متر) برای ۵۰٪ از رخدادها بودند. مه CBL نیز با کمینه دید کمتر از ۲۰۰ متر برای ۵۰٪ از رخدادها در رده بعدی از نظر غلظت نوع مه در این ایستگاه قرار می‌گیرد. مه بارشی دارای غلظت کمتری به نسبت انواع مه دیگر است، به طوری که فقط ۵۰٪ از رخدادهای مه بارشی دارای دید کمتر از ۴۰۰ متر بوده و نیمی از آن دارای دید بیش از ۴۰۰ متر و ۲۵٪ از رخدادهای این نوع مه دارای دید بیش از ۵۰۰ متر بودند. این مورد با نتایج مطالعه تردیف و راسموسن (۲۰۰۷) در ایالت نیویورک که دریافتند که مه بارشی دارای غلظت کمتری نسبت به انواع مه دیگر است، مطابقت دارد.

تنوع فصلی و روزانه مه

تعداد رخداد مه ثبت شده در ساعات مختلف شبانه روز در طول دوره آماری در ایستگاه رشت در شکل ۵ آمده است. با توجه به شکل ۵، بیش‌ترین گزارش رخداد مه در ساعت ۰۰ گرینوچ بوده است که می‌تواند به علت سرمای تابشی در ساعات شب باشد. زیرا کاهش دمای شدید باعث افزایش نم نسبی تا ۱۰۰ درصد و تشکیل مه می‌شود. در ساعات شب با کاهش دمای هوا، تعداد رخدادهای مه تابشی افزایش یافته و با طلوع خورشید و افزایش دمای هوا، مه تابشی که در اثر سرمای تابشی تشکیل شده بود از بین می‌رود و فراوانی رخداد مه در بعد از ساعت ۳ گرینوچ به سرعت کاهش می‌یابد. رخدادهای مه که با تعداد کم پس از طلوع خورشید در شکل دیده می‌شود، ناشی از انواع دیگر مه است (تردیف و راسموسن، ۲۰۰۷؛ هافلین و همکاران، ۲۰۱۰). هم‌چنین افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی در ساعات ظهر و بعدازظهر علت اصلی کاهش تعداد رخداد مه در این ساعات است (سیپلو و همکاران، ۲۰۱۹). تعداد بیشتر رخداد مه پس از غروب آفتاب و طی شب (از ساعت ۱۵ تا ۴ گرینوچ) نشان دهنده این است که نوع قالب مه از نوع تابشی است (سیپلو و همکاران، ۲۰۱۹). روند تعداد رخدادهای مه در ساعات مختلف شبانه روز در این پژوهش با مطالعه تاجبخش (۱۳۹۵) همخوانی دارد.

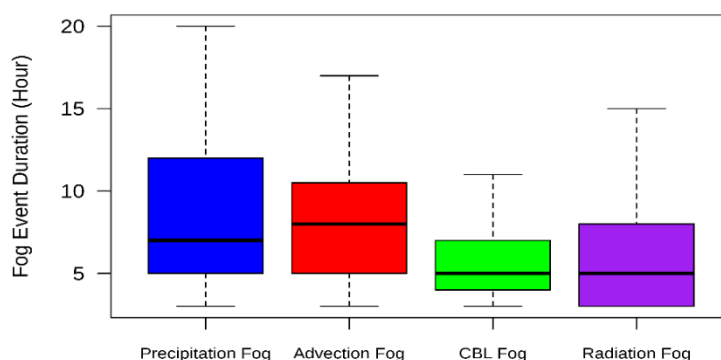
از کل رخدادهای مه در ایستگاه رشت است. مه فرارفتی نیز با ۳/۴۹٪ از کل رخدادهای مه، نادرترین نوع مه در این ایستگاه طی ۱۶ سال مطالعه بوده است. هم‌چنین ۵/۵۸٪ از رخدادهای مه طبق الگوریتم تردیف و راسموسن (۲۰۰۷) ناشناخته باقی ماندند. نتایج مطالعه تاجبخش (۱۳۹۵) نیز نشان داد که تعداد رخدادهای مه تابشی و CBL بیشتر از بقیه انواع مه در فرودگاه رشت است.

۲-۳- تراکم مه و مدت زمان رخداد مه

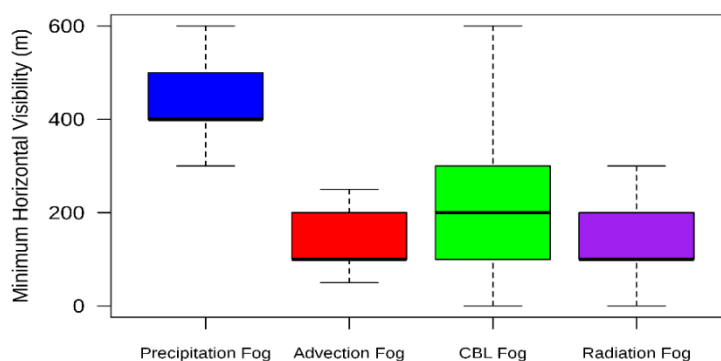
توزیع مدت زمان رخدادهای مه برای هر نوع مه در ایستگاه فرودگاه رشت طی دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ در شکل ۴-الف نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴-الف در طول دوره مورد مطالعه در ایستگاه فرودگاه رشت، مه بارشی طولانی‌ترین نوع مه از نظر ماندگاری بوده است. ۵۰٪ از رخدادها بیش از ۷ ساعت و ۲۵٪ رخدادهای این نوع مه بیش از ۱۲ ساعت به طول انجامیده است. دلیل طولانی بودن مدت زمان ماندگاری این نوع مه در فرودگاه رشت می‌تواند به علت بارش‌های زیاد و طولانی در این ایستگاه باشد. مدت زمان رخداد مه CBL در مقایسه با انواع دیگر مه کوتاهتر بوده است به طوری که ۵۰ درصد رخدادها کمتر از ۵ ساعت طول کشیده است و تنها ۲۵٪ از رخدادهای مه CBL بیشتر از ۷ ساعت به طول انجامیده است. مه تابشی تمایل به ماندگاری بیشتر دارد به طوری که ۲۵٪ از رخدادهای مه تابشی بیش از ۸ ساعت طول کشیده است. با توجه به اینکه مه تابشی معمولاً در شب ایجاد می‌شود و معمولاً پس از طلوع آفتاب از بین می‌رود، زمان رخداد این نوع مه نسبت به مه CBL طولانی‌تر بوده است. میانگین طول مدت رخداد مه فرارفتی نیز به نسبت مه بارشی بیشتر بوده است، طوری که نیمی از رخدادها بیش از ۸ ساعت و ۲۵٪ از رخدادهای این نوع مه بیش از ۱۰/۵ ساعت به طول انجامیده است. حرکت کند سامانه همدیدی وضع هوا برای انتقال هوای مرطوب دریا به سمت خشکی یکی از عوامل طولانی بودن مدت زمان رخداد مه فرارفتی است (تردیف و راسموسن، ۲۰۰۷).

توزیع کمینه دید ثبت شده در طول هر نوع رخداد مه در ایستگاه فرودگاه رشت در دوره زمانی مورد بررسی در شکل ۴-ب آمده است. دو نوع مه فرارفتی و تابشی دارای کمینه

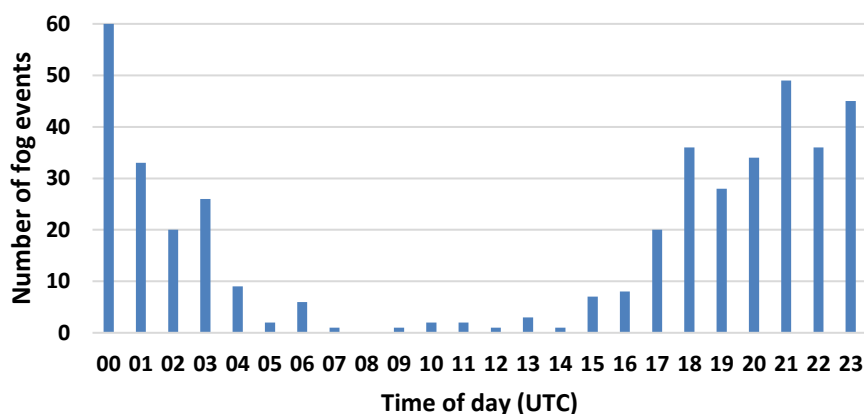
الف) مدت زمان رخداد مه



ب) کمینه دید افقی



شکل ۴- الف- توزیع مدت زمان رخدادهای مه برای هر نوع مه و ب- توزیع کمینه دید افقی ثبت شده در طول هر نوع رخداد مه- در ایستگاه رشت و در دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰.



شکل ۵- تعداد رخدادهای مه ثبت شده در ساعات مختلف شبانه روز در طول دوره آماری در ایستگاه رشت

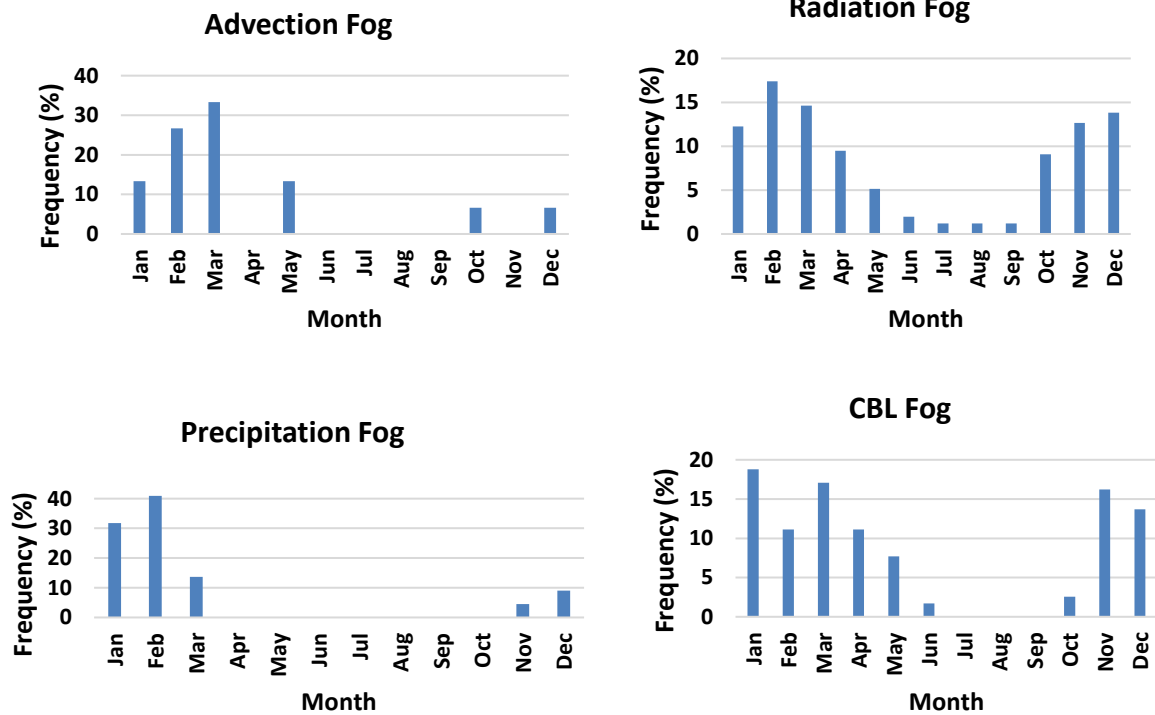
اوایل بهار (اکتبر تا آوریل) بوده است. کمینه بسامد رخداد مه تابشی نیز در ماه‌های می تا سپتامبر دیده می‌شود. بیشینه بسامد ماهانه مه فرارفتی (شکل ۶- ب) در اوایل بهار (ماه

بسامد مه در ماه‌های مختلف سال برای هر نوع مه در شکل ۶ آمده است. توزیع زمانی مه تابشی (شکل ۶- الف) نشان می‌دهد که رخدادهای مه اغلب در فصل پاییز و زمستان تا

رشت از اواخر پاییز شروع شده و تا اواسط بهار ادامه می‌یابد. سرمایش لایه مرزی مهم‌ترین فرآیندی است که باعث ایجاد مه در فصل بهار می‌شود، در حالی که رخدادهای فصل زمستان می‌تواند به سامانه‌های جوی بزرگ مقیاس مرتبط باشد (تردیف و راسموسن، ۲۰۰۷). بسامد ماهانه مه بارشی در شکل ۶-د نشان داده شده است. بیشینه رخدادها در فصل زمستان (ژانویه و فوریه) دیده می‌شود. در ماه‌های آوریل تا اکتبر رخداد مه بارشی مشاهده نمی‌شود. از آنجا که مه بارشی به عوامل بزرگ مقیاس بستگی دارد (تردیف و راسموسن، ۲۰۰۷)، این نوع مه در پاییز و زمستان دیده می‌شود.

مارس) دیده می‌شود. در ماه‌های آوریل، ژوئن تا سپتامبر و نوامبر، کمینه رخداد مه فرارفتی مشاهده می‌شود. مطالعات پیشین نشان داده است که در اوایل فصل بهار با افزایش دمای هوا در خشکی و کمتر بودن دمای آب دریا به نسبت دمای هوا در خشکی، شرایط برای ایجاد مه فرارفتی فراهم است (روچ، ۱۹۹۵؛ چو و همکاران، ۲۰۰۰؛ تیلور، ۱۹۱۷؛ کلین و هارتمن، ۱۹۹۳).

توزیع ماهانه مه CBL (شکل ۶-ج) نشان می‌دهد که کمینه بسامد ماهانه در ماه‌های ژوئن و اکتبر رخ داده است. در دوره مورد مطالعه، در ماه‌های ژوئیه تا سپتامبر رخداد مه CBL وجود نداشت. رخداد مه CBL در ایستگاه فرودگاه



شکل ۶- بسامد مه در ماه‌های مختلف سال برای هر نوع مه

غلظت مه

انواع مه از نظر غلظت نیز در فرودگاه رشت مورد بررسی قرار گرفت. همه رخدادهای مه در فرودگاه رشت در طول دوره مورد مطالعه، بر اساس کمینه دید دسته‌بندی شدند. بر اساس تعریف آکیموتو و کوزاکا (۲۰۱۴)، مه غلیظ رخدادهایی هستند که کمینه دید کمتر از ۱۰۰ متر داشته باشند. مه شبه غلیظ و مه نیز به ترتیب به رخدادهای مهی

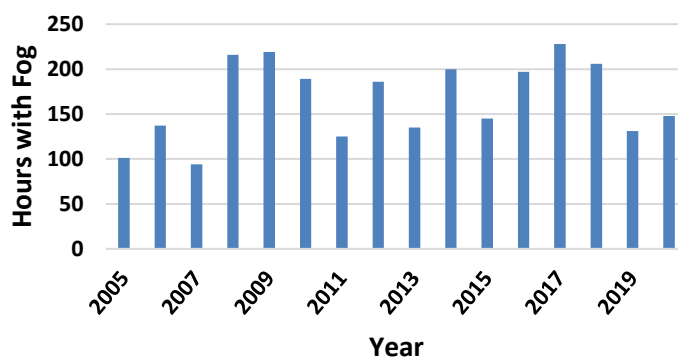
تغییرات سالانه رخداد مه

تغییرات فراوانی ساعت‌های همراه با مه در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که در سال‌های مورد مطالعه روند مشخصی در تعداد ساعات همراه با مه دیده نمی‌شود. سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ نیز که تعداد ساعات‌های همراه با مه کمتر است می‌تواند به دلیل زیاد بودن کاف داده‌های ساعتی در این سال‌ها باشد.

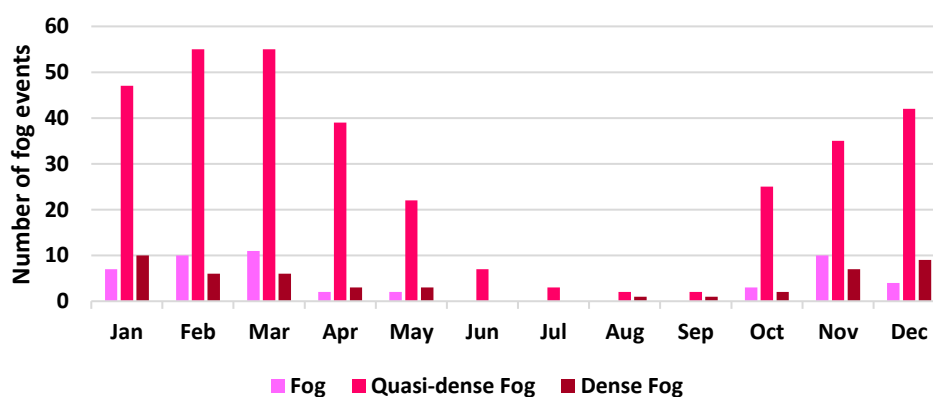
می‌دهد. با توجه به شکل ۹ رخدادهای مه با دید کمینه ۱۰۰ متر و سپس ۲۰۰ متر دارای بیشترین تعداد هستند. این قضیه اهمیت پدیده مه در این فرودگاه را از نظر ترافیک هوایی نشان می‌دهد، زیرا مه غلیظ نشست و برخاست هواپیما را دچار مشکل می‌کند.

گفته می‌شود که دارای کمینه دید کمتر از ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر هستند. شکل ۸ فراوانی رخداد انواع مه از نظر غلظت در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در همه ماه‌ها تعداد رخدادهای مه شبه غلیظ در فرودگاه رشت بیشتر از مه و مه غلیظ است.

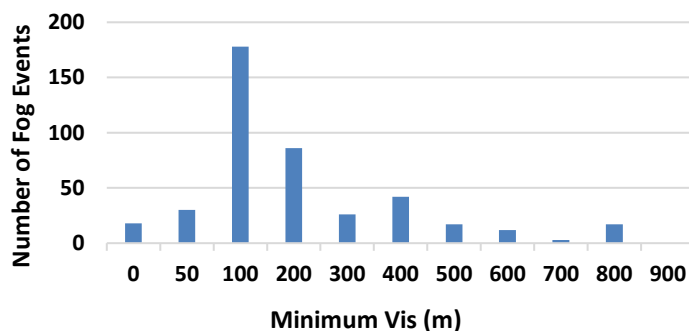
شکل ۹ توزیع فراوانی کمینه دید افقی در طول رخدادهای مه در ایستگاه رشت را در طول دوره مورد مطالعه نشان



شکل ۷- توزیع سالانه فراوانی ساعات همراه با مه در ایستگاه رشت در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰.



شکل ۸- فراوانی رخداد انواع مه از نظر غلظت در ماه‌های مختلف سال.



شکل ۹- توزیع فراوانی کمینه دید افقی در طول رخدادهای مه در ایستگاه رشت.

نتیجه گیری

در این پژوهش، اقلیم مه در فرودگاه رشت از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از داده‌های دیدبانی متار این فرودگاه استفاده شد و همه رخداد‌های مه در طول مدت مطالعه از داده‌های اصلی تفکیک شد. سپس طبق الگوریتم تردیف و راسموسن (۲۰۰۷) نوع رخداد‌های مه مشخص شد.

نتایج نشان داد که از نظر فراوانی، رایج‌ترین نوع مه در ایستگاه رشت مه تابشی با $58/84\%$ از کل رخداد‌های مه است. نادرترین نوع مه نیز مه فرارفتی با $3/49\%$ از کل رخداد‌ها در این ایستگاه طی ۱۶ سال مطالعه بوده است. این نتایج با مطالعه تاجبخش (۱۳۹۵) همخوانی دارد.

از نظر مدت زمان رخداد مه، با توجه به بارش‌های زیاد و طولانی در این ایستگاه، مه بارشی طولانی‌ترین نوع مه بوده است. همچنین مدت زمان رخداد مه CBL کوتاهتر از انواع دیگر مه بوده است. دومین نوع مه از نظر مدت زمان رخداد، مه فرارفتی بوده است که می‌تواند ناشی از حرکت کند سامانه همدیدی برای انتقال هوای مرطوب دریا به سمت خشکی باشد (تردیف و راسموسن، ۲۰۰۷). مه‌های فرارفتی و تابشی دارای کمینه دید کمتر از ۱۰۰ متر برای 50% از رخداد‌ها بودند. مه بارشی دارای کم‌ترین غلظت بود به طوری که فقط 50% از رخداد‌های مه بارشی دارای دید کمتر از ۴۰۰ متر بود.

بیش‌ترین گزارش رخداد مه در طول سال‌های مورد مطالعه در ساعت ۰۰ گرینویچ بود. دلیل این امر می‌تواند سرمایش تابشی در ساعات قبل از طلوع آفتاب باشد که به بیش‌ترین حد خود می‌رسد (هوچ و همکاران، ۲۰۱۱، سیپلو و همکاران، ۲۰۱۹، زوزوآ و همکاران، ۲۰۲۱، ورستد و همکاران، ۲۰۱۷). این روند تغییرات تعداد ساعات همراه با مه در طول شبانه‌روز با نتایج مطالعات تاجبخش (۱۳۹۵) در فرودگاه رشت، سیپلو و همکاران (۲۰۱۹) در مجارستان و تردیف و راسموسن (۲۰۰۷) در نیویورک همخوانی دارد.

توزیع ماهانه مه تابشی نشان داد که این نوع رخداد مه اغلب در فصل پاییز و زمستان تا اوایل بهار (اکتبر تا آوریل) رخ داده است. کمینه بسامد رخداد مه تابشی نیز در ماه‌های می تا سپتامبر دیده شد. بیشینه بسامد ماهانه مه فرارفتی در اوایل

بهار (ماه مارس) و کمینه بسامد آن در ماه‌های آوریل، ژوئن تا سپتامبر و نوامبر دیده شد. توزیع ماهانه مه CBL نشان داد که در ماه‌های ژوئیه تا سپتامبر رخداد مه CBL وجود نداشته است. این نوع مه از اواخر پاییز شروع شده و تا اواسط بهار ادامه می‌یابد. سرمایش لایه مرزی مهم‌ترین فرآیندی است که باعث ایجاد مه در فصل بهار می‌شود، در حالی که رخداد‌های فصل زمستان می‌تواند به سامانه‌های جوی بزرگ مقیاس مرتبط باشد (تردیف و راسموسن، ۲۰۰۷). توزیع ماهانه مه بارشی نشان داد که بیشینه رخداد‌ها در فصل زمستان (ژانویه و فوریه) دیده می‌شود. در ماه‌های آوریل تا اکتبر رخداد مه بارشی مشاهده نشد. از آنجا که مه بارشی به عوامل بزرگ مقیاس بستگی دارد (تردیف و راسموسن، ۲۰۰۷)، این نوع مه بیشتر در پاییز و زمستان دیده می‌شود.

از نظر تغییرات سالانه رخداد مه، روند مشخصی در تعداد ساعات مه در طول سال‌های مورد مطالعه دیده نشد. از نظر غلظت مه، در همه ماه‌ها تعداد رخداد‌های مه شبه غلیظ در فرودگاه رشت بیشتر از مه و مه غلیظ بود. همچنین اغلب رخداد‌های مه دارای دید کمینه ۱۰۰ متر و سپس ۲۰۰ متر بودند.

منابع

- Ahrens, C. D., & Henson, R. (2018). *Meteorology today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, 12th Edition. Cengage Learning.
- Akimoto, Y., & Kusaka, H. (2014). A climatological study of fog in Japan based on event data. *Atmospheric Research*, 003. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres>.
- Bendix, J. (2002). A satellite-based climatology of fog and low-level stratus in Germany and adjacent areas. *Atmos Res*, 64:3–18.
- Błas, M., Sobik, M., Quiel, F., & Netzel, P. (2002). Temporal and spatial variations of fog in the Western Sudety Mts., Poland. *Atmos Res*, 64:19–28
- Cereceda, P., Osses, P., Larrain, H., Farias, M., Lagos, M., Pinto, R., & Schemenauer, R.S. (2002). Advective, orographic and

- DOI: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-083.1>.
- 15- Klein, S. A., and Hartmann, D. L. (1993). The seasonal cycle of low stratiform clouds. *J. Climate*, 6, 1587–1606.
 - 16- Kui, Chen., Yan, Yin., & Zhenhua, Hu. (2011). Influence Of Air Pollutants On Fog Formation In Urban Environment Of Nanjing, China. *International Conference on Advances in Engineering*, 654-657
 - 17- LaDochy, S. (2005). The disappearance of dense fog in Los Angeles: another urban impact? *Phys. Geogr.* 26 (3), 177–191.
 - 18- Lange, CA., Matschullat, J., Zimmermann, F., Sterzik, G., Wienhaus, O. (2003). Fog frequency and chemical composition of fog water—a relevant contribution to atmospheric deposition in the Eastern Erzgebirg, Germany. *Atmos Environ* 37:3731–3739.
 - 19- Lin, C. Y., Zhang, Z. F., Pu, Z. X., et al. (2017). Numerical simulations of an advection fog event over Shanghai Pudong International Airport with the WRF model. *J. Meteor. Res.*, 31(5), 874–889.
 - 20- Met Office. (2005). The Great Smog of 1952. <http://www.metoffice.gov.uk/education/teens/case-studies/great-smog> Accessed 23 March 2013
 - 21- Mohan, M., Payra, S. (2009). Influence of aerosol spectrum and air pollutants on fog formation in urban environment of megacity Delhi, India, *Environ Monit Assess.* 151(1-4):265-77. doi: 10.1007/s10661-008-0268-8.
 - 22- National Oceanic and Atmospheric Administration. (1995). Surface weather observations and reports.
 - 23- O'Brien, TA., Sloan, LC., Chuang, PY., Faloon, IC., & Johnstone, JA. (2012). Multidecadal simulation of coastal fog with regional climate model. *Clim Dyn.* doi:10.1007/s00382-012-1486-x
 - 24- Organization, Geneva Switzerland.
 - 25- Peace, R.L. Jr. (1969). Heavy-Fog Regions In The Conterminous United States. *Mon. Weather Rev.*, 97, 116–123. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1969\)097<0116:HRITCU>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1969)097<0116:HRITCU>2.3.CO;2)
 - radiation fog in the Tarapaca Region Chile. *Atmos Res*, 64: 261–271.
 - 6- Chen, K., Yin, Y., & Hu, Z. (2011). Influence of Air Pollutants On Fog Formation in Urban Environment of Nanjing, China, *Procedia Engineering*, 24, 654-657.
 - 7- Cho, Y. K., Kim, M. O. & Kim, B. C. (2000). Sea fog around the Korean peninsula. *J. Appl. Meteor.*, 39, 2473–2479.
 - 8- Cséplő, A., Sarkadi, N., & Horváth, Á., Schmeller, G., & Lemler, T. (2019). Fog climatology in Hungary. *Quarterly Journal Of The Hungarian Meteorological Service*, 123 (2), 241-264. <http://doi.org/10.28974/idojaras.2019.2.7>.
 - 9- Federal Meteorological Handbook No. 1.
 - 10- Garcia-Garcia, F., & Zarraluqui, V. (2008). A fog climatology for Mexico. *Erde*, 139:45–60.
 - 11- Gultepe, I., Milbrandt, J. A., & Zhou, B. (2017). Marine fog: A review on microphysics and visibility prediction (Chap. 7). In D. Koracin & C. E. Dorman (Eds.), *Marine fog: Challenges and advancements in observations, modeling and forecasting*. New York: Springer.
 - 12- Haeffelin, M., Bergot, T., Elias, T., Tardif, R., Carrer, D., Chazette, P., Colomb, M., Drobinski, P., Dupont, E., Dupont, J. C., Gomes, L., Musson-Genon, L., Pietras, C., Plana-Fattori, A., Protat, A., Rangognio, J., Raut, J.-C., Rémy, S., Richard, D., Sciare, J., & Zhang, X. (2010). PARISFOG: shedding new light on fog physical processes. *B. Am. Meteorol. Soc*, 91, 767–783, <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2671.1>.
 - 13- Hardwick, W.C. (1973). Monthly fog frequency in the continental United States. *Mon. Weather Rev.*, 101 (10), 763–766.
 - 14- Hoch, SW., Whiteman, DC., & Mayer, B. (2011). A systematic study of longwave radiative heating and cooling within valleys and basins using a three-dimensional radiative transfer model. *J Appl Meteorol Climatol*, 50:2473–2489,

- 34- Taylor, G. I., (1917). The formation of fog and mist. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 43, 241–268.
- 35- Tsai, YI., Kuo, SC., Lee, WJ., Chen, CL., & Chen, PT. (2007). Long-term visibility trends in one highly urbanized, one highly industrialized and two rural areas of Taiwan. *Sci Total Environ*, 382: 324–341.
- 36- Wærsted, E. G., Haeffelin, M., Dupont, J.-C., Delanoë, J., and Dubuisson, P. (2017). Radiation in fog: quantification of the impact on fog liquid water based on ground-based remote sensing. *Atmos. Chem. Phys.* 17, 10811–10835, <https://doi.org/10.5194/acp-17-10811-2017>.
- 37- Witiw, MR., & LaDochy, S. (2008). Trends in fog frequencies in the Los Angeles Basin. *Atmos Res*, 87:293–300.
- 38- WMO. (2011). Manual on codes, international codes. Technical Report, World Meteorological
- 39- Yoshino, M. (1975). *Climate in a Small Area: An introduction to Local Meteorology*. University of Tokyo Press, Tokyo pp. 549.
- 40- Zouzoua, M., Lohou, F., Assamoi, P., Lothon, M., Yoboue, V., Dione, C., Kalthoff, N., Adler, B., Babić, K., Pedruzo-Bagazgoitia, X., & Derrien, S. (2021). Breakup of nocturnal low-level stratiform clouds during the southern West African monsoon season. *Atmos. Chem. Phys.* 21, 2027–2051, <https://doi.org/10.5194/acp-21-2027-2021>
- 26- Roach, W., (1995). Back to basics: Fog: Part 3 – The formation and dissipation of sea fog. *Weather*, 50, 80–84.
- 27- Roman-Cascón, C., Yagiie, C., Steeneveld, G. J., Morales, G., Arrillaga, J.A., Sastre, M. & Maqueda, G. (2019). Radiation and cloud-base lowering fog events: Observational analysis and evaluation of WRF and HARMONIE. *Atmospheric Research*, 229, 190–207.
- 28- Sachweh, M., & Koepke, P. (1997). Fog dynamics in an urbanized area. *Theor Appl Climatol*, 58:87–93.
- 29- Shi, C., Roth, M., Zhang, H.,B & Li, Z. (2008). Impacts of urbanization on longterm fog variation in Anhui Province, China. *Atmos Environ*, 42: 8484–8492.
- 30- Singh A, Dey S (2012) Influence of aerosol composition on visibility in megacity Delhi. *Atmos Environ*, 62:367–373.
- 31- Syed, FS., Kornich, H., & Tjernstrom, M. (2012). On the fog variability over South Asia. *Clim Dyn*, 39:2993–3005.
- 32- Tajbakhsh, S., (2016).Forecasting fog using some experimental methods (Tehran and Mashhad airports),7(27),43-56.
- 33- Tardif, R., & Rasmussen, R.M. (2007). Event-based climatology and typology of fog in the NewYork City region. *J. Appl. Meteorol. Climatol*, 46 (8), 1141–1168.