

## پایش و تحلیل رخداد مه به کمک داده‌های زمینی و سنجش از دور (مطالعه موردی: ۴ فروردین ۱۳۹۶)

### سحر تاج بخش<sup>۱\*</sup>، مهدی رهنما<sup>۲</sup>

۱ و ۲- استادیار پژوهشکده هواشناسی و علوم جو

(دریافت: ۹۶/۱۱/۱۶، پذیرش: ۹۷/۰۲/۰۸)

#### چکیده

این مقاله با هدف مطالعه، پایش و شناسایی علت رخداد مه در جاده‌های کشور که دسترسی به ایستگاه‌های دیدبانی وجود ندارد، انجام شده است. به همین منظور، مطالعه موردی ۴ فروردین ۱۳۹۴ جاده مشهد - باغچه که رخداد مه منجر به تصادف بیش از یکصد خودرو، کشته شدن یک نفر و مصدوم شدن بیش از ۶۰ نفر انجامید، در نظر گرفته شده است. با توجه به عدم وجود ابزارهای دیدبانی در جاده مذکور، از تصاویر دریافتی از ماهواره MSG در ساعات رخداد مه به منظور پایش پدیده، بررسی و تحلیل مهمترین فراسنج‌های جوی مرتبط با مه شامل دما، باد، فشار، دمای نقطه شبنم، ابر پایین در سطح زمین و ارتفاع ژئوپتانسیل متر، دما، رطوبت نسبی و سرعت حرکت قائم هوا در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ میلی‌بار استفاده شد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که حداکثر ۱۵ دقیقه پس از رخداد پدیده پایش تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر است که در این صورت این اطلاعات برای پیش‌بینی‌های بسیار کوتاه مدت، ابزار مناسبی به شمار می‌آید. موقعیت جغرافیایی منطقه همراه با وزش باد کوه دشت منجر به رخداد پدیده مه در این منطقه شده است که با وجود کاهش فشار، پایداری ستون هوا تقویت شده به گونه‌ای که سرعت‌های قائم جریان‌های بالاسو را نشان نمی‌دهند. همچنین کمبود دمای نقطه شبنم در سطح زمین حدود ۳°C می‌باشد. ضمن اینکه دیدبانی‌های ماهواره‌ای در پیش‌بینی‌های بسیار کوتاه مدت مخاطرات وضع هوا از جمله رخداد مه، از ابزارهای بسیار سودمند در این خصوص می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** ماهواره MSG، ایستگاه هواشناسی، باد محلی، تحلیل همدیدی

#### مقدمه

از ۹۵ درصد نیازمند است (سند شماره ۷۸۲ سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۰۸؛ اداره فدرال هواشناسی آمریکا، ۲۰۱۰) و در ایجاد دمه، رطوبت نسبی باید ۷۰ درصد یا بیشتر باشد. با رطوبت نسبی کمتر از ۷۰ درصد، غبار گزارش می‌شود (انکس ۳، ۲۰۱۰). مه انواع گوناگونی دارد که شناخته شده‌ترین آنها شامل مه تابشی، مه جبهه‌ای، مه فرارفتی و بخار مه است. مطالعات زیادی در خصوص بررسی انواع مه با توجه به شرایط مختلف جوی در کشورهای مختلف دنیا صورت گرفته است. گالتب و همکاران (۲۰۱۷) در باره مه یخی، چالش‌ها و مشکلات پیش‌رو برای پایش و پیش‌بینی آن مطالعه کردند. اقلیم‌شناسی مه در فرودگاه کیپ تاون نیز توسط ون و همکاران در ۲۰۱۳ انجام شده است. ناردیف و راسموسن (۲۰۱۴) نیز به بررسی سازوکار تشکیل مه ناشی از تبخیر نامتعادل قطرات آب پرداخته‌اند. در سال ۲۰۱۵ نیز هوانگ و همکاران ساختار لایه مرزی جو و تلاطم را برای رخداد مه در جنوب دریای چین بررسی کردند.

کاهش دید به غلظت و بزرگی ذرات آبدار یا مقدار رطوبت جوی و همچنین زمان شبانه روز بستگی دارد. عوامل جوی متعددی باعث کاهش دید افقی می‌شوند که مهمترین آنها عبارتند از مه، دمه، گرد و غبار، گرد و خاک، شن و ماسه، انواع بارش (باران، برف و ...)، توفان‌های گرد و خاک، ابرهای قیفی شکل و غیره. مه، از طرف سازمان هواشناسی جهانی، به عنوان یکی از مهمترین مخاطرات وضع هوا شناخته شده است (سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۰۷) که موجب کاهش دید افقی و قائم می‌شود. از این رو پایش و پیش‌بینی آن برای کاربری در حوزه‌های مختلف به ویژه حمل و نقل نقش بسزایی دارد. اگر دید افقی به ۱۰۰۰ متر یا کمتر از آن برسد، مه و چنانچه دید افقی بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر باشد، دمه تشکیل می‌شود (سند ۳۰۶ سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۱۰؛ سند ۴۰۷ سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۱۲). شکل‌گیری مه به رطوبت نسبی بیشتر

اطلاعات دریافتی از ماهواره NOAA-AVHRR، رابطه‌ای برای دید افقی در هوای مه آلود در منطقه اروپا برآورد کردند. در این پژوهش نیز با هدف شناسایی، پایش و پیش‌بینی مخاطرات جوی در حوزه حمل و نقل، به بررسی موردی رخداد مه در یکی از جاده‌های کشور پرداخته می‌شود که به کمک ابزارهای سنجش از دور قابل شناسایی و پایش است. از این رو، پس از بخش مقدمه و بررسی مطالعات مرتبط، به معرفی داده و روش‌های استفاده شده در بخش دوم مقاله پرداخته می‌شود. سپس نتایج حاصل از بررسی‌ها در بخش سوم، تحلیل و بحث می‌شود و در نهایت نتیجه‌ها در بخش چهارم ارائه می‌شود.

## داده‌ها و روش کار

### منطقه مطالعه

محدوده رخداد مه در مطالعه موردی نظر در شکل ۱ آمده است. میانگین ارتفاع منطقه مورد مطالعه حدود ۳۷۰۰ پا از تراز دریا است و در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه شمالی و ۵۹ درجه شرقی قرار دارد. منطقه مطالعه از شمال غرب به کوه‌سپاه منتهی می‌شود.



شکل ۱- محدوده مطالعه موردی رخداد مه در جاده مشهد- باغچه. ۲۴ مارس ۲۰۱۶. موقعیت شهرهای مشهد و نیشابور و باغچه روی شکل مشخص شده‌اند.

تراویس و فوول (۲۰۱۷) در خصوص ارزیابی و بررسی چرخه عمر مه تابشی مطالعه کردند. پایش مه در ایستگاه‌های جوی به کمک دیدبان یا ابزارهای خودکار اندازه‌گیری دید انجام می‌شود اما تعیین رخداد مه در جاده‌ها و مناطقی که پوشش دیدبانی ایستگاهی نداشته باشند، تنها به کمک ابزارهای سنجش از دور انجام می‌شود که امروزه استفاده از این ابزار بسیار متداول است. برای نمونه زانگ و همکاران (۲۰۱۴)، مطالعه‌ای روی تعداد و غلظت ذرات داخل ابرهای نزدیک به زمین برای شناسایی مه در مقیاس جهانی با استفاده از ماهواره‌های A\_Train انجام دادند. فیساک و همکاران (۲۰۰۵)، اندازه ذرات آب مایع را در هوای صاف و آلوده اندازه‌گیری کردند. این ذرات نقش مهمی در شناسایی مه به کمک روش‌های سنجش از دور دارند. بندیکس (۲۰۰۵) در یک مطالعه موردی به کمک ماهواره AVHARR، رخداد مه را آشکارسازی نموده و ارتباط آن را با دید افقی تعیین کرده است. همچنین در مطالعه دیگر، سرماک و بندیکس (۲۰۰۶) به کمک داده‌های سنجش از دور، رخداد مه و ابر پایین را برای پیش‌بینی‌های بسیار کوتاه مدت، شناسایی کردند. بندیکس و همکاران (۲۰۰۶) به کمک

مارس (۲۰۱۷) است که به مصدوم شدن تعداد زیادی از هموطنان و کشته شدن یک نفر منجر شد. (شکل ۲).

رخداد مورد مطالعه، مربوط به تصادف حداقل ۱۱۰ خودرو در جاده مشهد-باغچه مورخ ۴ فروردین ۱۳۹۶ (۲۴)



شکل ۲- تصادف زنجیره‌ای در محور مشهد-باغچه. ۴ فروردین ۱۳۹۶ (۲۴ مارس ۲۰۱۷).

## داده‌های دیدبانی

هیچ ایستگاه دیدبانی در محل رخداد مه در جاده موجود نیست و نزدیک‌ترین ایستگاه‌های دیدبانی مربوط به مشهد و نیشابور هستند که اطلاعات آن‌ها در ساعات دیدبانی نزدیک به وقوع تصادف زمان رخداد مه جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- اطلاعات دیدبانی در نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها نسبت به محل وقوع سانحه تصادف در هوای مه‌آلود مورخ ۱۳۹۶/۱/۴.

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (ft)	ساعت دیدبانی (UTC)	باد (kt)	دید افقی (m)	دما (°C)	ابرناکی ابر پایین	رطوبت (%)
مشهد	۵۹/۶۱	۳۶/۲۶	۳۲۲۱	۰۶	۱۰۰/۰۶	۱۰۰۰۰	۱۱	۵/۸	۷۴
				۰۹	۰۴/۰۶	۱۰۰۰۰	۱۴	۵/۸	۷۰
				۱۲	۳۳۰/۰۶	۱۰۰۰۰	۱۶	۶/۸	۳۴
باغچه	۵۹/۵۹	۳۵/۹۸	۴۱۷۰	ایستگاه دیدبانی ندارد					
نیشابور	۵۸/۷۹	۳۶/۲۱	۳۹۳۶	۰۶	آرام	۱۲۰۰۰	۲	۰	۸۷
				۰۹	۲۸۰/۰۵	۱۲۰۰۰	۱۰	۲/۸	۵۲
				۱۲	۲۸۰/۰۳	۱۲۰۰۰	۱۳	۲/۸	۴۰

مکانی ۳ و ۶ کیلومتر است. سنجنده SEVIRI قادر است هر ۱۵ دقیقه یک تصویر از سطح کره زمین برداشت کند. لذا تصاویر این سنجنده قابلیت بالایی جهت بررسی پدیده‌های کم عمر هواشناسی دارد. جهت بررسی و مطالعه رخداد مه در این مطالعه از تصاویر Level 1.5 سنجنده SEVIRI با تصحیحات رادیومتر، تصحیحات هندسی و نیز کالیبراسیون باندهای مرئی و حرارتی استفاده شد.

## تصاویر سنجنده SEVIRI ماهواره متئوست نسل دوم (Meteosat Second Generation: MSG)

در این تحقیق از تصاویر سنجنده SEVIRI ماهواره متئوست نسل دوم (Meteosat Second Generation: MSG) مربوط به محدوده مطالعه در ساعت ۳ تا ۱۲ UTC استفاده شده است. سنجنده SEVIRI دارای قابلیت تصویربرداری در ۱۲ باند طیفی است. تصاویر این سنجنده دارای قدرت تفکیک‌های

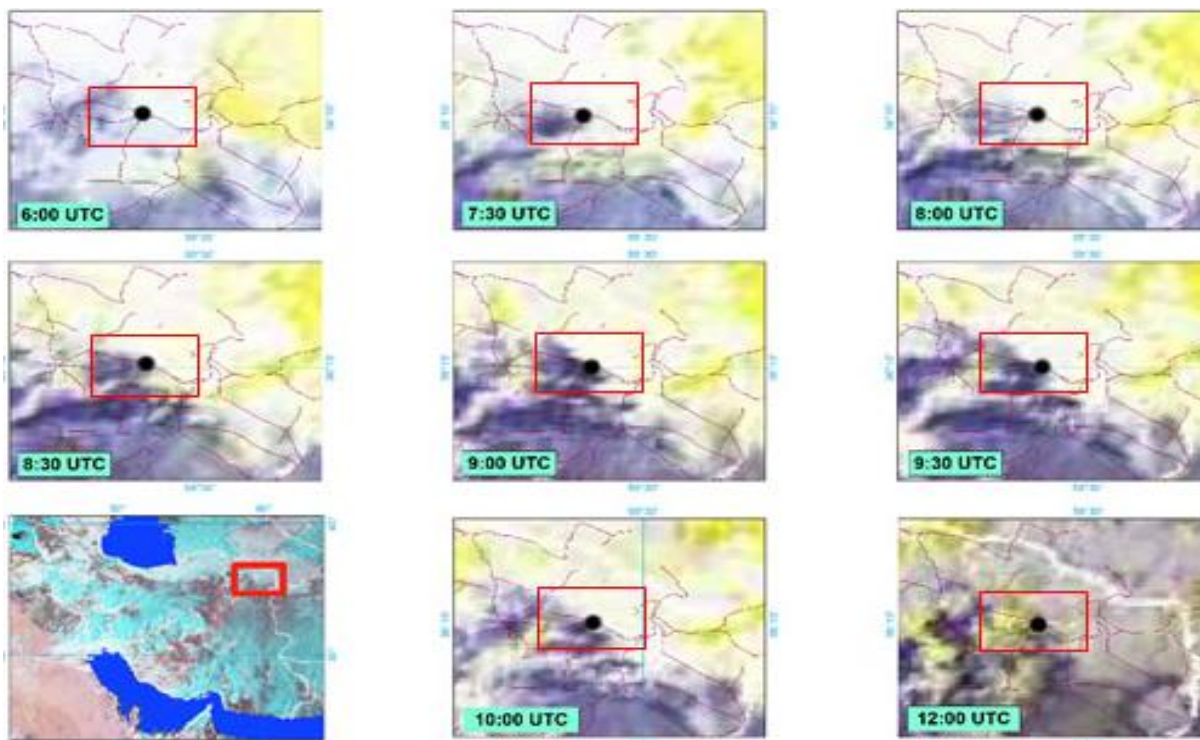
تنها برای اطلاعات سطح زمین در دسترس است. از این رو تحلیل‌های ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ میلی‌بار به صورت ۶ ساعته و نقشه سطح زمین به صورت ۳ ساعته تحلیل و ارزیابی می‌شوند.

### بحث و بررسی

در این بخش ابتدا به کمک تصاویر داده‌ای دریافت شده از سنجنده SEVIRI ماهواره متئوست نسل دوم، رخداد مه مورخ ۲۴ آوریل ۲۰۱۷ ساعت ۰۶ تا ۱۲ UTC در مسیر جاده مشهد-باغچه (شکل ۱) شناسایی و سپس الگوهای همدیدی رخداد مه تحلیل می‌شود. الگوی فشار تراز دریا همراه با سمت و سرعت باد، رطوبت و ابرپایین و همچنین ارتفاع ژئوپتانسیلی، دما و رطوبت ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ میلی‌بار با گام زمانی ۳ ساعته در این مطالعه بررسی می‌شوند.

### داده‌های ERA-Interim برای مطالعه شرایط همدیدی

برای تحلیل شرایط جوی در مطالعات انجام شده، الگوهای همدیدی با استفاده از داده‌های ERA-Interim در گام زمانی ۳ ساعته با تفکیک ۰/۷۵ درجه بررسی شدند (ارجاع به صفحه اینترنتی). این داده‌ها از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مقیاس (ECMWF) با آدرس (<http://apps.ecmwf.int/datasets>) قابل دسترس هستند. الگوهای فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۷۰۰ و ۸۵۰ میلی‌بار به کمک این داده‌ها ترسیم و تحلیل می‌شوند. با توجه به ارتفاع منطقه، سطوح پایین‌تر قابل استفاده نیستند. چون داده‌های واقعی با گام زمانی ۶ ساعته (۰۶، ۱۲، ۱۸) در دسترس است و رخداد مه بین ساعت‌های ۰۶ تا ۱۲ UTC اتفاق افتاده است؛ الگوهای ساعت‌های ۰۶ و ۱۲ UTC با استفاده از داده‌های واقعی و الگوهای ساعت ۰۹ UTC به کمک داده‌های پیش‌بینی ترسیم و تحلیل می‌شوند. لازم به یادآوری است که داده‌های پیش‌بینی

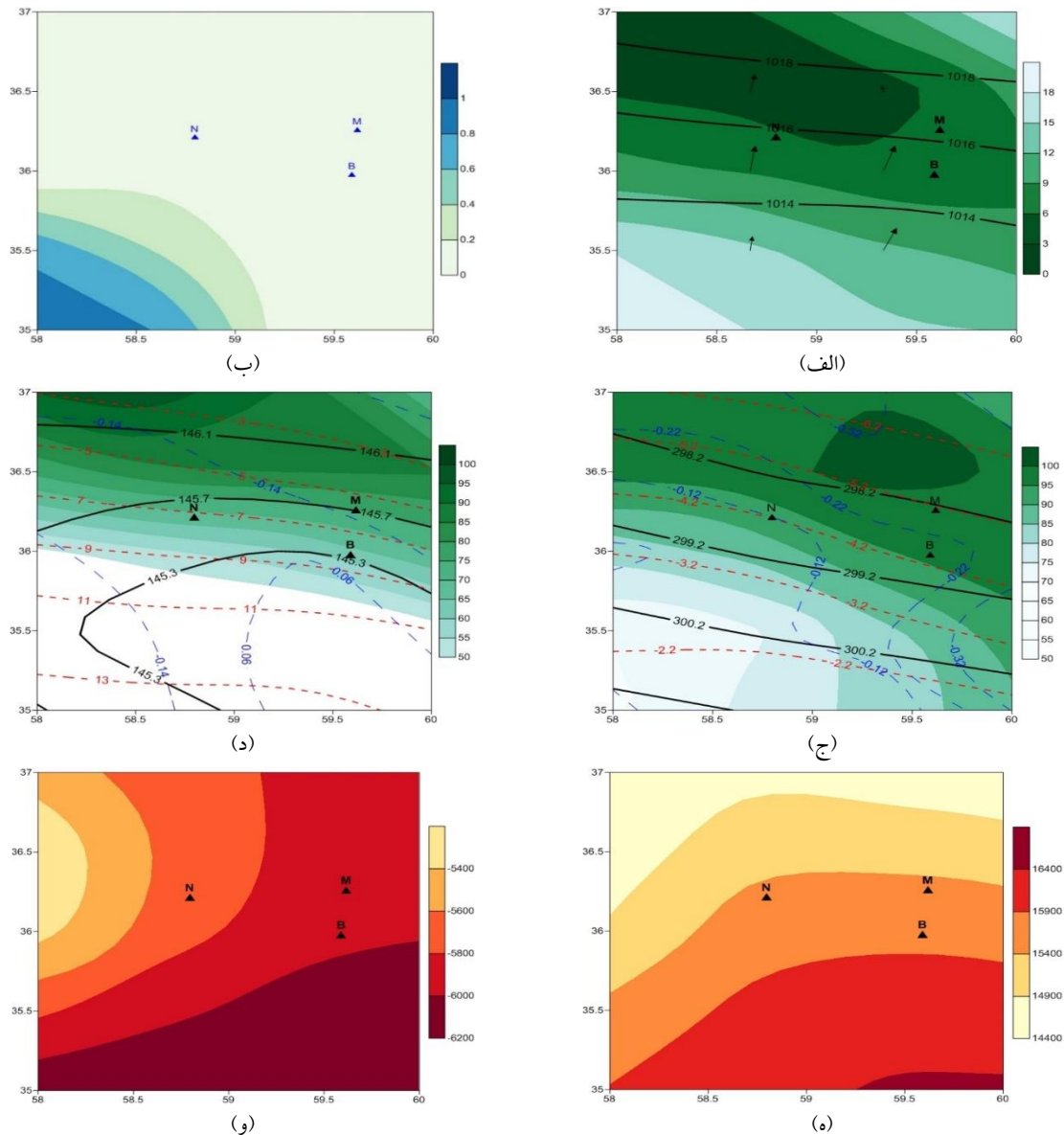


شکل ۳- نقشه‌های پوشش مه برای ۲۴ مارس ۲۰۱۷ استخراج شده از تصاویر سنجنده SEVIRI ماهواره متئوست نسل دوم. مربع قرمز رنگ، منطقه مورد مطالعه و نقطه تو پر سیاه موقعیت سانحه را نشان می‌دهند.

۴-الف) و به نظر می‌رسد هوای کوهستان به سمت دامنه کوه رانده می‌شود. در این شکل، همچنین دیده می‌شود که اختلاف دما و دمای نقطه شبنم در محدوده شهر باغچه بین  $3^{\circ}\text{C}$  تا  $6^{\circ}\text{C}$  در نوسان است که حکایت از استقرار رطوبت نسبتاً زیادی در منطقه دارد. الگوی میزان پوشش ابرهای پایین در منطقه نیز برای ساعت  $06\text{UTC}$ ، هوای بدون را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۴-ب). تراز  $700$  هکتوپاسکال روز  $24$  مارس ساعت  $06\text{UTC}$ ، معرف هوای به نسبت سرد ( $3^{\circ}\text{C}$ ) در منطقه است که با رطوبت بیش از  $95\%$  در محدوده مطالعه همراهی می‌شود (شکل ۴-ج). ضمن اینکه حرکت‌های قائم جوی (خط چین‌های زرد شکل ۳-ج)، معرف پایداری در منطقه است ( $2/0$  - متر بر ثانیه). این شرایط در تراز  $850$  هکتوپاسکال با استقرار زبانه ارتفاع زیاد همراه است به گونه‌ای که پربند  $145$  دکامتر از محدوده مطالعه عبور کرده است (شکل ۴-د). گرته ژئوپتانسیلی مذکور در این تراز، با دمای  $7^{\circ}\text{C}$  و حرکت‌های فروسو (بر اساس پربندهای سرعت قائم) همراه است که بر افزایش پایداری هوا در لایه‌های زیرین جو تأکید دارد. رطوبت نسبی هوا در این لایه بین  $70$  تا  $80$  درصد برای ساعت  $06\text{UTC}$  متغیر است. تابش امواج با طول موج کوتاه معرف تابش شدید خورشید در منطقه می‌باشد که با توجه به صاف بودن آسمان (شکل ۴-ب) منطقی به نظر می‌رسد (شکل ۴-ه). امواج با طول موج بلند نیز شرایط مشابهی را نشان می‌دهند اما با شدت تابش کمتر در مقایسه با طول موج‌های کوتاه (شکل ۴-و) و شدت تابش‌ها در محدوده مورد نظر بین  $5800$  تا  $6000\text{ w/m}^2$  است.

در این تحقیق تصاویر ماهواره‌ای در ساعت‌های  $06:00$ ،  $09:00$  و  $12:00\text{ UTC}$  (شکل ۳) بررسی شدند. با توجه به وقوع مه در ساعت حدود  $07:30$  در محدوده مطالعه، تصاویر با گام زمانی  $30$  دقیقه‌ای نیز از ساعت  $07:30$  تا  $09:30\text{ UTC}$ ، بررسی و تحلیل شدند. همانطور که در شکل شماره ۳ مشخص است، تصاویر دریافتی از ماهواره به وضوح وقوع مه در جاده مشهد-باغچه در بازه زمانی ساعت  $07:30$  تا  $10\text{ UTC}$  را نشان می‌دهد. بر همین اساس در محور مطالعه، پدیده مه پس از حدود  $2$  ساعت از بین رفته و دید افقی بهبود یافت.

بررسی الگوهای همدیدی به مطالعه مهمترین عوامل مؤثر در شکل‌گیری مه می‌پردازد. این فراسنج‌ها شامل میدان‌های باد، اختلاف دما و دمای نقطه شبنم (رطوبت) و فشار تراز دریا برای سطح زمین می‌باشد. در ترازهای فشار ثابت نزدیک تر به سطح زمین در منطقه مطالعه با ارتفاع تقریبی  $3000$  پا از تراز دریا، ترازهای  $850$  و  $700$  میلی‌بار انتخاب شد که در آن‌ها میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، دما، رطوبت و سرعت قائم باد بررسی می‌شوند. به این ترتیب می‌تواند میزان رطوبت و پایداری جو در لایه نزدیک به زمین را برآورد کرد. الگوی فشار تراز دریا در ساعت  $06\text{ UTC}$ ، نشان دهنده استقرار فشار به نسبت زیاد در محدوده مورد مطالعه است (بین  $1014$  تا  $1016$  هکتوپاسکال). وزش باد جنوبی با سرعت حدود  $10$  نات در ساعت  $06\text{ UTC}$ ، حکایت از وزش بادهای محلی از دامنه‌های جنوبی کوه سیاه به سمت جاده دارد (به شکل ۱ مراجعه شود). محدوده مطالعه در جاده مشهد-باغچه در مسیر این جریان‌ها واقع شده است (شکل



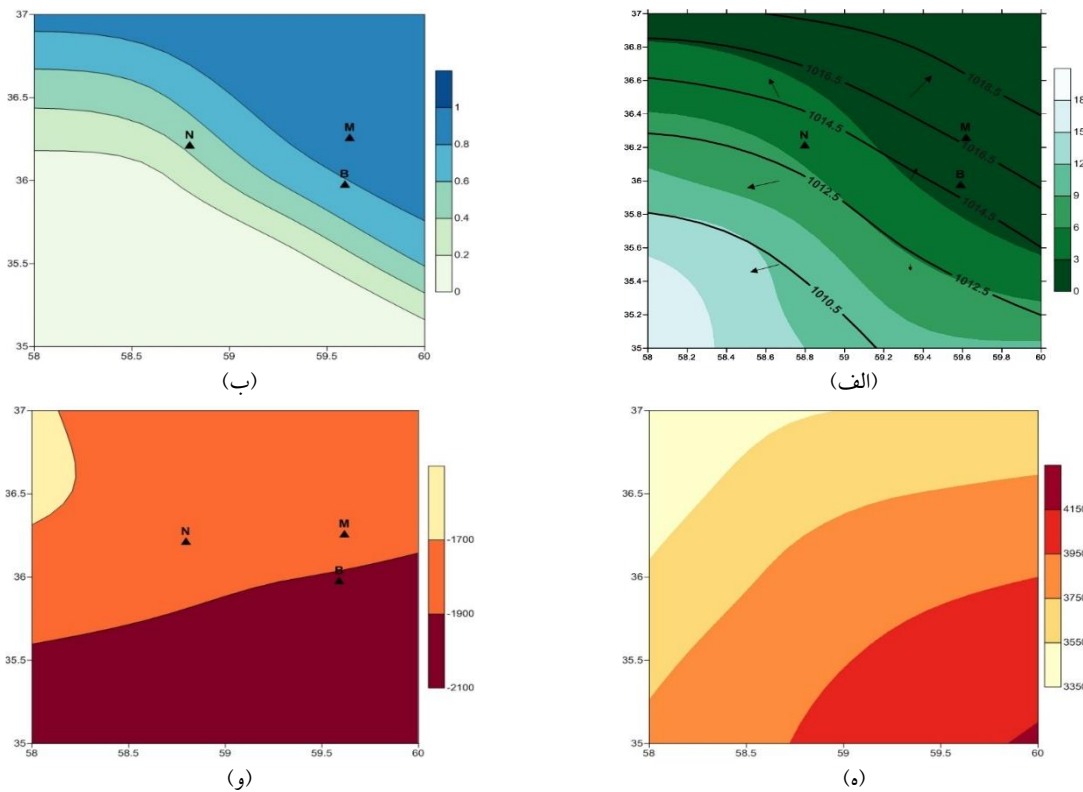
**شکل ۴- الف)** گرته‌های فشار تراز دریا (خط توپر سیاه-هکتوپاسکال)، سرعت باد ۱۰ متری (پیکان‌های سیاه-متر بر ثانیه) و اختلاف دما و دمای نقطه شبنم (نواحی سایه زده شده- $^{\circ}\text{C}$ )؛ **ب)** پوشش ابرهای پایین (مناطق سایه زده شده-دهم)، **ج)** گرته ارتفاع ژئوپتانسیل متر (خط توپر سیاه-دکامتر)، دما (خط چین قرمز- $^{\circ}\text{C}$ )، سرعت قائم (خط چین زرد- $\text{m/s}$ ) و اختلاف دما و رطوبت نسبی (نواحی سایه زده شده-درصد) در تراز ۷۰۰ میلی‌بار، **د)** مشابه ج ولی برای تراز ۸۵۰ میلی‌بار، **ه)** تابش امواج با طول موج کوتاه ( $\text{W/m}^2$ ) و **و)** تابش امواج با طول موج بلند ( $\text{W/m}^2$ ) برای روز ۲۴ مارس ۲۰۱۷ ساعت ۰۶ UTC. نمادهای M, N و B به ترتیب معرف موقعیت شهرهای نیشابور، مشهد، و باغچه می‌باشند.

می‌شود. در شکل ۵-الف الگوی فشار تراز دریا در ساعت ۰۹ UTC دیده می‌شود که معرف افزایش رطوبت در محدوده مورد مطالعه می‌باشد به گونه‌ای که اختلاف دما و دمای نقطه شبنم بین مشهد و باغچه به ۰ تا ۳ رسیده است که حکایت از

همان‌گونه که گفته شد، برای سه ساعت بعد، یعنی ساعت ۰۹ UTC، تنها اطلاعات سطح زمین در دسترس می‌باشد و داده‌های جو بالا به صورت ۶ ساعته تحلیل می‌شوند. از این رو تنها به بررسی نقشه‌های سطح زمین در این ساعت پرداخته

به شدت کاهش یافته به گونه‌ای که شدت تابش به  $3850 \text{ w/m}^2$  کاهش یافته است. تابش امواج با طول موج بلند در ساعت UTC ۰۹ نیز معرف کاهش شدید تابش امواج می‌باشد به گونه‌ای که مقادیر تابش نسبت به سه ساعت گذشته حدود  $3000^2 \text{ w/m}^2$  کاهش یافته است (شکل ۵-د). این وضعیت معرف افزایش مقدار و ضخامت ابرها می‌باشد که با رخداد مه در این ساعت هم‌خوانی دارد.

افزایش رطوبت نسبت به سه ساعت قبل است. سرعت وزش باد کاهش یافته (حدود ۵ نات) و پایداری نسبی برقرار شده است. الگوی پوشش ابرهای پایین نیز بر روند افزایش ابر نسبت به ساعت قبل دلالت دارد به گونه این مقدار ابر در محدوده مشهد- باغچه بیش از  $0/8$  آسمان می‌باشد (شکل ۵-ب). در ساعت ۰۹ UTC از شدت تابش به میزان زیادی کاسته شده است که نشان دهنده استقرار ابرهای ضخیم در منطقه می‌باشد (شکل ۵-ج) در این ساعت از تابش امواج با طول موج کوتاه



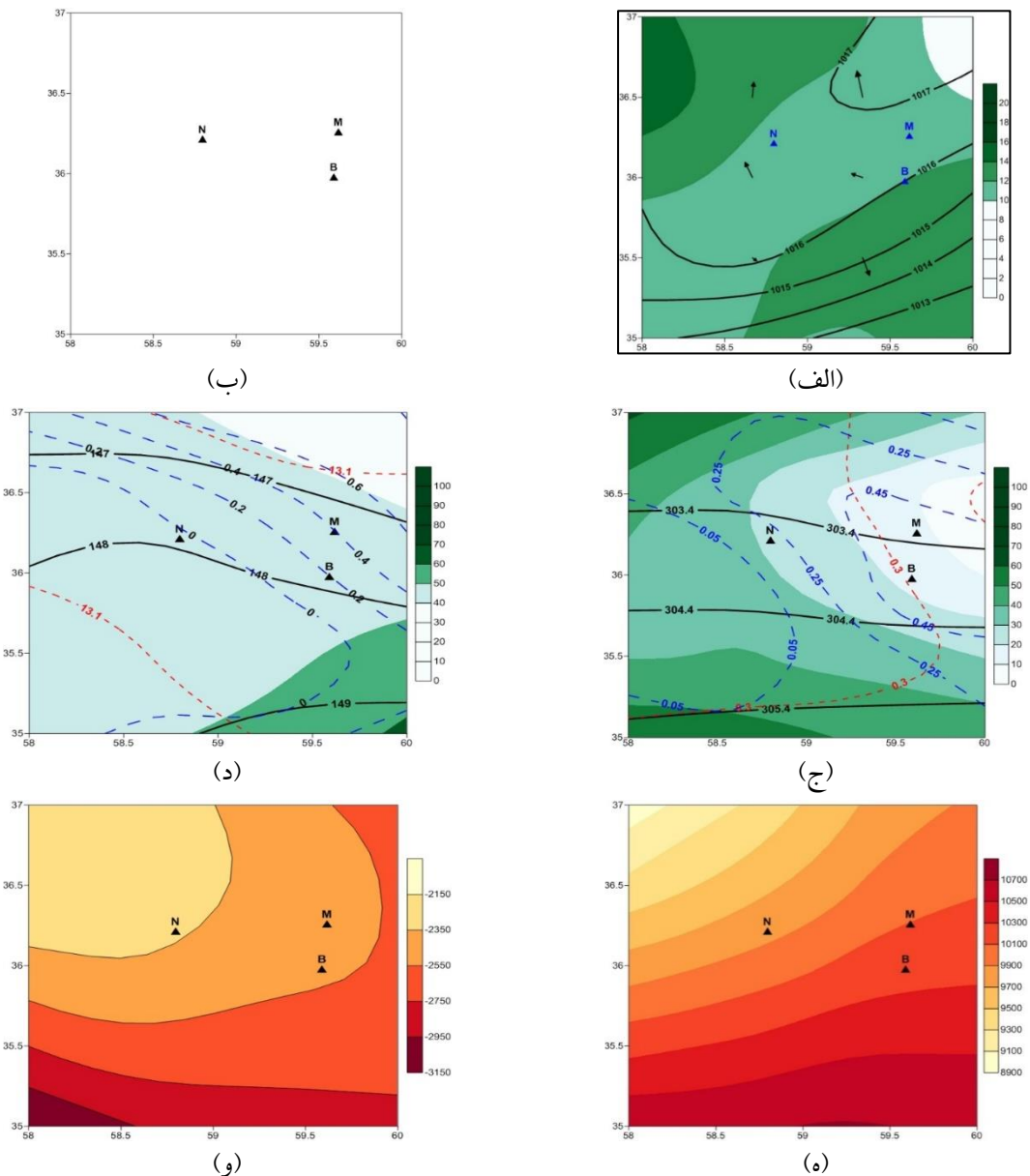
شکل ۵- مشابه شکل‌های الف-۴، ب-۴، ه-۵ و و-۴ ولی برای روز ۲۴ مارس ۲۰۱۷ ساعت ۹ UTC.

۶-ب). در تراز  $700$  میلی‌بار، افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل به میزان حدوداً  $40$  متر نسبت به ۶ ساعت قبل و با افزایش  $2$  درجه‌ای دما در مقایسه با سه ساعت گذشته، بر استقرار هوای پایداری در این تراز دلالت دارد که با کاهش محسوس  $40$  تا  $60$  درصدی رطوبت در این منطقه همراه است (شکل ۶-ج). این وضعیت در تراز  $850$  میلی‌بار هم محسوس است به گونه‌ای که افزایش

در ساعت ۱۲ UTC، فشار هوا حدود  $4$  میلی‌بار افزایش یافته است و اختلاف دما و نقطه شبنم حدود  $8^\circ\text{C}$  درجه نسبت به ساعت ۹ UTC بیشتر شده و جهت بادهای از سوی دامنه به طرف کوهستان چرخیده است (شکل ۶-الف). همراه با این شرایط در سطح زمین، ابرهای پایین نیز در منطقه به طور کلی از بین رفته و در محدوده مطالعه آسمان صاف شده است (شکل

ارتفاع و دما، همراه با کاهش محسوس رطوبت در این تراز نسبت به ساعت گذشته، نشانگر رفع شرایط مناسب رخداد مه در منطقه می‌باشد (شکل ۶-د). میزان بازتاب امواج کوتاه و بلند نیز با شرایط یاد شده در بالا هم‌خوانی دارد، به گونه‌ای که مقدار تابش امواج کوتاه افزایش بیشتری یافته و به ۱۰,۰۰۰

$w/m^2$  رسید (شکل ۶-ه). در این شرایط، تابش امواج بلند نیز افزایش یافته و مقدار آن نسبت به سه ساعت قبل به اندازه ۵۰۰  $w/m^2$  زیاده‌تر شده است که حکایت از صاف شدن آسمان و از بین رفتن شرایط هوای مه‌آلود دارد. (شکل ۶-و).



شکل ۶- مشابه شکل ۴ ولی برای روز ۲۴ مارس ۲۰۱۷ ساعت ۰۹ UTC.



هوای سرد و مرطوب را روی جاده متمرکز می‌کند. تصاویر دریافتی از ماهواره MSG، شکل‌گیری مه را در بازه زمانی ساعت ۷:۳۰ UTC تا ۱۰ UTC نشان می‌دهد. در کنار این اطلاعات، فراسنج‌های جوی در محدوده رخداد سانحه تصادف نیز حکایت از تأثیر واضح شاخص‌های محلی ناشی از اثرات توپوگرافی دارد. به گونه‌ای که باد کوه - دشت در طول روز منجر به حرکت توده هوای سرد از دامنه‌های کوه سیاه به منطقه مطالعه شده است که با ابرهای پایین به مدت تقریباً دو ساعت (۰۷ تا ۳۰: UTC) در منطقه حاکم بودند. به نظر می‌رسد نقش پایش ماهواره‌ای برای مناطقی از سطح زمین که داده‌های مشاهداتی در محل ندارند، به ویژه در شرایط مخاطره‌آمیز جوی، برای پایش و صدور هشدارهای بسیار کوتاه مدت مؤثر و انکارناپذیر است.

### سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از مرکز ECMWF و سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار گذاشتن داده و اطلاعات هواشناسی مرتبط با این پروژه قدردانی کنند.

### منابع

- 1- Robert Tardif R. and Roy M. Rasmussen R., M., 2010, Evaporation of Nonequilibrium Raindrops as a Fog Formation Mechanism, Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 67, No. 2, pp 345-364.
- 2- Lynette Van Schalkwyk, L., and L., L., Dyson, 2013, Climatological Characteristics of Fog at Cape Town International Airport, Weather and Forecasting, Vol. 28, No. 3 pp 631-646.
- 3- Ismail Gultepe, I., A., J. Heymsfield, M., Gallagher, L. Ickes, and D. Baumgardner, 2017, Ice Fog: The Current State of Knowledge and Future Challenges, Meteorological Monographs, Vol. 58, pp 4.1-4.24.
- 4- Travis H. Wilson, T., H. and R. G. Fovell, 2017, Modeling the Evolution and Life Cycle of Radiative Cold Pools and Fog, Weather and Forecasting, in press.

سمت باد نکته مهم در محدوده مطالعه هنگام رخداد مه است. بادهای محلی در طول روز، با انتقال سرما از ارتفاعات به منطقه پایین دست، سبب تقویت شرایط رخداد مه شد در حالیکه فشار هوا در حال کاهش بود. از این رو به نظر می‌رسد اثر جریان‌های محلی در مقایسه با شرایط بزرگ مقیاس نقش پر رنگ‌تری در تولید این مه داشته‌اند.

### نتیجه‌گیری

مه قطره‌های آب یا بلورهای یخ داخل ابر است که در هوای نزدیک سطح زمین معلق می‌باشند. مه می‌تواند به صورت ابر پایین در نظر گرفته شود که به شدت تحت تأثیر آب‌های سطح زمین، موانع و پستی بلندی‌های زمین و وزش باد است. مه، به نوبه خود بسیاری از فعالیت‌های روزمره مانند سفرهای زمینی، دریایی و هوایی را متأثر می‌سازد. مه غالباً قابل تفکیک و تشخیص از ابر پایین است. رطوبت در مه معمولاً به صورت محلی ایجاد می‌شود (نظیر نزدیکی به سطوح آب مانند اقیانوس‌ها یا دریاچه‌ها یا نزدیک سطوح مرطوب یا باتلاق‌ها). مه قطره‌های بسیار ریز و معمولاً میکروسکوپی آب معلق در هوا است که سبب کاهش دید افقی در سطح زمین می‌شود. توسعه مه نیازمند وقوع همزمان سه عامل کلیدی در محل است که عبارتند از: سرپایش سریع در لایه‌های جو نزدیک سطح زمین، رطوبت کافی و باد ملایم. با توجه به اهمیت مه در کاهش دید افقی و رخداد تصادف‌های جاده‌ای، در این مقاله به بررسی شرایط هواشناسی وقوع مه در یک مطالعه موردی پرداخته شده است که منجر به تصادف بیش از ۱۰۰ خوردرو، کشته شدن یک نفر و مصدوم شدن چندین نفر منجر شده است. این سانحه در تاریخ ۴ فروردین ۱۳۹۶ در مسیر مشهر-باغچه رخ داده است. منطقه با ارتفاع تقریبی ۳۰۰۰ پا در جنوب کوه سیاه واقع شده است. با توجه به موقعیت جاده، نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها به منطقه ایستگاه‌های مشهد و نیشابور هستند. با شکل‌گیری مه در دامنه‌های جنوبی سیاه کوه، وزش باد ملایم،

- 9- Cermak, J., J. Bendix, 2006 in prep.: A novel approach to nowcasting fog / low stratus using Meteosat 8 data.
- 10- J. Bendix, 2006, Determination of fog horizontal visibility by means of NOAA-AVHRR, Met. Rdsch., vol. 43, pp. 169-178, 1991.
- 11- ICAO, 2010: Technical specifications related to meteorological observations and reports: Appendix 3. Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation: Meteorological Service for International Air Navigation, 17th ed. International Civil Aviation Organization, APP 3-1-APP 3-5.
- 12- WMO, No. 306, 2014, Manual on Codes, International Codes, Volume I., Part A – Alphanumeric Codes.
- 13- WMO, No. 782, 2008, Aerodrome Reports and Forecasts.
- 14- WMO, No. 407, 2012, Manual on the observation of clouds and other meteors.
- 5- Fisak, J., D. Řezacovai and J., Mattenen, 2005, Calculation and measures values of liquid water content in clean and polluted environments. Stud. Geophys. Geod. vol. 50, pp. 121-130.
- 6- Haruma Ishida, H., K., Miura, T., Matsuda, K., Ogawara, A., Goto, K., Y., Sato, and T., Y. Nakajima, 2014, Investigation of Low-Cloud Characteristics Using Mesoscale Numerical Model Data for Improvement of Fog-Detection Performance by Satellite Remote Sensing, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol. 53, No. 10, pp2246-2263.
- 7- S. Zeng, S., J. Riedi, C. R. Trepte, D. M. Winker, and Y.-X. Hu, 2014, Study of global cloud droplet number concentration with A-Train satellites, Atmos. Chem. Phys., 14, 7125-7134.
- 8- Bendix, J., B. Thies, J. Cermak, T. Nauss, 2005: Fog detection from space based on MODIS daytime data -Potentials, problems and perspectives. Weath. And forecasting, in press.