نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸
صفحات ۱۷ تا ۳۰

بررسی شرایط هواشناسی کمینه دید افقی روزانه با استفاده از اطلاعات دستگاه RVR فرودگاه امام‌خمینی

جلال‌الدین حاتمی مهند، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.
سمانه ثابت قدم، استادیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.[1]
فرهنگ احمدی گیوی، دانشیار ، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۷/۰۸/۲۹ پذیرش نهایی:۱۳۹۷/۱۲/۲۷

چکیده

دید افقی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های نوری جو از جنبه‌های متفاوت حائز اهمیت است. تعیین دقیق دید از عوامل تاثیرگذار در سلامتی پرواز هنگام فرود و برخاست هواپیما به‌شمار می‌رود. یک روش تعیین دید در امتداد باند فرودگاه‌ها، استفاده از دستگاه‌های ترنسمیسومتر و فوروارد اسکترومتر است که پخش و عبوردهی نور را اندازه‌گیری می‌کنند. در مقاله حاضر برای نخستین بار در کشور از داده‌های این دستگاه‌ها برای تعیین میزان دقیق دید در باند فرودگاه امام خمینی استفاده شده است تا شرایط رخداد کمینهٔ دید در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ مطالعه شود. اطلاعات ایستگاه همدیدی و متار به‌عنوان اطلاعات تکمیلی در این دو سال نیز به‌کار رفته است. داده‌های مورد استفاده شامل محدوده دید، دما، دمای نقطه شبنم، رطوبت، تندی و جهت باد است. با در نظر گرفتن شرایط حدّی برای رخداد کمینه دید مشاهده می‌شود که بیشترین رخداد کمینه دید مربوط به فصل زمستان، اواخر پاییز و اوایل بهار است که می‌تواند به‌دلیل تاثیر فعّالیت بیشتر سامانه‌های جوّی و شرایط آب و هوایی متغیر در این ماه‌ها باشد. بررسی نوع پدیده‌های جوی در ایستگاه همدیدی فرودگاه امام در روزهای بحرانی نشان می‌دهد که عمدتاً گردوخاک، غبار، انواع مه و بارش پدیده‌های غالب هستند. بر اساس نتایج دو مطالعه موردی، افزایش رطوبت نسبی و تغییر جهت باد از عواملی هستند که در رخداد کمینه دید نقش موثری دارند.

واژه‌های کلیدی: دید در باند فرودگاه امام، پخش و عبوردهی نور، رخداد کمینه دید.

۱ .نویسنده مسئول: Email: ahmadig@ut.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

مقدمه

دید افقی از مهم‌ترین خصوصیات نوری جو است که از جنبه‌های متفاوت از جمله ترافیک زمینی و هوایی حائز اهمیت است. محدوده دید به دورترین فاصله‌ای گفته می‌شود که ناظری با دید عادی و در شرایط جوی مناسب قادر به تشخیص است. قدیمی‌ترین و رایج‌ترین تعریف از قابلیت دید در هواشناسی، توانایی مشاهده دورترین فاصله از یک جسم سیاه است که در برابر افق آسمان قرار دارد (Horvath, ۱۹۸۱). در این راستا مفهوم دیگری به نام حد آستانه تضاد نیز استفاده می‌شود. منظور از آستانه تضاد وضعیت یا شرایطی است که تفاوت میان روشنایی آسمان و جسم به میزانی کاهش پیدا کند که بیننده به سختی قادر به مشاهده جسم باشد (Malm, ۱۹۹۹). محدوده دید در جو پاک بین ۱۴۵ تا ۲۲۵ کیلومتر، برای جو معمولی بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتر و در مناطق آلوده این مقدار کمتر است (Wu et al., ۲۰۱۲).

تعیین دقیق محدوده دید، یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در سلامتی پرواز به‌ویژه در هنگام فرود و برخاست هواپیما به‌شمار می‌رود(Clark, et al. ۲۰۰۸, Sinkevich et al. ۲۰۰۱). براساس اطلاعات سازمان بین‌المللی هوانوردی (ایکائو)، بیشترین سوانح هوایی در نزدیکی فرودگاه‌ها و در شرایطی رخ می‌دهد که میدان دید کمتر از حداقل استانداردهای مورد نیاز برای پرواز می‌باشد و این آمار بین سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۸۹ حدود ۱۶۸۵ نفر (سالانه ۱۶۸ نفر) کشته را ثبت کرده است. طبق استانداردهای بین‌المللی، هنگامی‌که دید کمتر از حداقل مشخص‌شده برای باند باشد، فرود و برخاست هواپیما انجام نمی‌شود که این مسئله یکی از دلایل عمده‌ی تأخیر در زمان پرواز، بسته‌شدن فرودگاه‌ها و هدایت هواپیما به فرودگاه‌های دیگر است که از جنبه اقتصادی و زمانی برای شرکت‌های هواپیمایی بسیار هزینه‌بر است (ICAO,۲۰۰۶). برای نمونه، رخداد مه در مدت سه روز در دسامبر ۲۰۰۶، باعث لغو نیمی از پروازها در لندن شد (Clark et al., ۲۰۰۸). سوانح هوایی زیادی نیز در طول تاریخ به دلیل کاهش دید افقی رخ داده است (Fultz and Ashley, ۲۰۱۶). علاوه بر سوانح هوایی، بر اساس بررسی‌های پیشین میزان تلفات ناشی از تصادفات جاده‌ای در هنگام رخداد مه در امریکا، بیش از دو برابر تلفات ناشی از مجموع حوادث سیل، توفان و آذرخش طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۱ بوده‌است (Rosenfeld, ۱۹۹۶).

کاهش دید یا خاموشی نور معمولاً به‌علت جذب و پراکنش نور توسط گازها و ذرات جوی رخ می‌دهد و کاهش شدت نور متناسب با طول مسافت طی شده توسط نور و شدت نور در آن نقطه است (Wu, et al., ۲۰۱۲, Baumer, et al. ۲۰۰۸). علاوه بر این، بسیاری از پدیده‌های جوی مانند مه، باران، برف، تگرگ و گرد وغبار می‌توانند برکاهش میزان دید تاثیر داشته باشند (Mahowald et al. ۲۰۰۷, Wen and Yeh, ۲۰۱۰). ضریب خاموشی نشانگر کسری از نور است که در واحد طول تضعیف می‌شود و میزان جذب و پراکنش نور با ذرات و گازها مقدار این ضریب را مشخص می‌کند (Tsai, et al., ۲۰۰۷, Sabetghadam, et al. ۲۰۱٤). به‌طور معمول، شدت نور در حین عبور از جو و در طول مسیر خود تضعیف می‌شود؛ ولی شدت نور به‌علت ورود نورهای اضافه از محیط نیز دستخوش تغییر می‌شود (Jacobson, ۲۰۰۵). نور اضافه شده به مسیر نوری می‌تواند ناشی از پراکنش و بازتاب نور خورشید از سطوح و هم‌چنین ناشی از مولکول‌های هوا و هواویزهای موجود در مسیر باشد (شکل ۱).

میزان دید در جو به روش‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود که متداول‌ترین آن، گزارش دیدبان‌های هواشناسی است. دیدبان در هر ایستگاه هواشناسی برای تعیین دید افقی نشانه‌های با فاصله مشخص از محل دیدبانی را در نظر می‌گیرد

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

و براساس این نشانه‌ها، دید را تعیین و در فواصل زمانی سه ساعت گزارش می‌کند (Jarraud, ۲۰۰۸). با توجه به فراوانی ایستگاه‌های همدیدی، در این روش توزیع گسترده‌ای از اطلاعات، به‌ویژه در مناطقی که دستگاه‌های اندازه-گیری در دسترس نیستند، در اختیار قرار می‌گیرد. اگرچه در این روش وجود خطای انسانی در برآورد میدان دید امری طبیعی و غیرقابل اجتناب است، با این وجود از این روش در تحقیقات گسترده‌ای از گذشته تا کنون برای تعیین دید استفاده شده است (Sloane, ۱۹۸٤, Husar, et al. ۲۰۰۰, Tsai, et al., ۲۰۰۷, Sabetghadam, et al., ۲۰۱۲, Wu, et al.۲۰۱۳, Lin, et al. ۲۰۱٤, Doyle and Dorling, ۲۰۰۲, Schichte, et al. ۲۰۰۱)

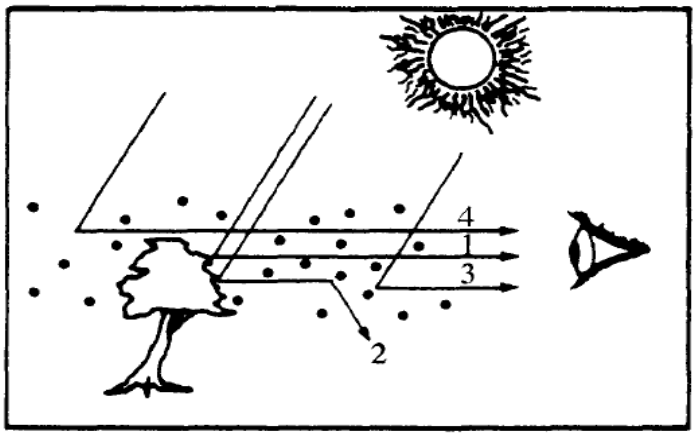
روش دیگر برای تعیین میزان دید، محاسبه دید توسط دستگاه‌هایی است که پخش و عبوردهی نور را اندازه‌گیری می کنند. در این روش از دستگاه‌هایی مانند ترنسمیسومتر و فوروارد اسکترمتر استفاده شده و مقدار خاموشی و تضعیف نور که از سوی یک فرستنده به گیرنده ارسال می‌شود، محاسبه و براساس آن، مقدار دقیق دید در باند فرودگاه (RVR ;Runway Visual Range) تعیین می‌گردد (Pak and Zanevetd, ۱۹۸۳). در این روش، تعیین دید نسبت به روش دیدبانی دقیق‌تر است، ولی بسیار هزینه‌بر و محدود به مکان خاص می‌باشد. تحقیقات متنوعی نیز با استفاده از داده-های دستگاه RVR در برخی فرودگاه‌های دنیا انجام شده است. برای نمونه، در دو باند فرودگاه گاندی دهلی نو در هند، که روزانه نزدیک به ۷۰۰ پرواز در آن انجام می‌شود، ساعاتی که منجر به بسته شدن باندهای فرودگاه بر اثر پدیده مه غلیظ در فصل زمستان می‌شود بررسی شده‌است (Jenamani and Tyagi, ۲۰۱۱). نتایج نشان می‌دهد که در بازهٔ زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۸، مجموع روزهای دید کم ناشی از مه غلیظ ۲۸ روز و مجموع ساعات آن ۱۸۱ ساعت بوده است. در باندهایی که به دستگاه‌های پیشرفته‌تری برای فرود پرواز مجهز است، به‌دلیل امکان گزارش دقیق مقادیر کمینهٔ دید، این باندها ساعات کمتری بسته می‌شود. در پژوهشی دیگر در این زمینه، میزان دید در فرودگاه پیرسون تورنتوی کانادا در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ و نقش پارامترهای هواشناسی مؤثر در بهبود یا کاهش دید بررسی شده‌است (Boudala et al., ۲۰۱۲).

در پژوهش‌های محدود انجام شده در ایران در ارتباط با بررسی عوامل تاثیرگذار بر میزان دید عمدتاً از داده‌های دیدبانی استفاده شده است (مانند صلاحی و محمدی، ۱۳۹۰؛ ثابت قدم و همکاران، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۲؛ تاجبخش، ۱۳۹۵). تا آنجا که ما اطلاع داریم، تا کنون کار پژوهشی در زمینه مطالعه دید افقی با استفاده از دستگاه‌های اندازه-گیری در ایران انتشار نیافته است؛ از این‌رو امید است انجام پژوهش حاضر گامی در راستای تکمیل مطالعات پیشین در خصوص ارتباط شرایط هواشناسی و تاثیر آنها بر رخداد کمینه دید جوی در شهر تهران باشد. به‌دلیل حساسیت مسئله دید در فرودگاه‌ها، لزوم پژوهش در این زمینه از اهمیتی خاص برخوردار است. براساس گزارش سال‌نامه آماری سازمان هواپیمایی کشوری، فرودگاه امام خمینی با متوسط ۱۲۰ تا ۱۵۰ پرواز در روز، سومین فرودگاه مهم کشور است. خوشبختانه این فرودگاه مجهز به دستگاه‌های نامبرده برای سنجش دقیق میزان دید در راستای باند فرودگاه است. با توجه به روند روبه‌رشد تعداد پروازها و مسافرت‌های هوایی، ارتقاء سامانه امنیت و سلامت پروازها یکی از مهم‌ترین اهداف هوانوردی به‌شمار می‌آید. در این راستا، دید به‌عنوان یکی از عوامل تعیین‌کننده در آخرین مرحلهٔ پرواز که فرود می‌باشد، می‌تواند بر سلامت پروازها بسیار موثر باشد. در مقاله حاضر برای نخستین بار در کشور از داده‌های دستگاه RVR برای سنجش میزان دقیق دید و تعیین رخداد کمینه دید در بازه سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ استفاده شده است. - علت انتخاب اطلاعات این دو سال محدود برای بررسی شرایط دید، عدم وجود داده‌های دستگاه در دوره بلندمدت است. سپس شرایط کاهش دید در فصل‌ها و ماه‌هایی که احتمال رخداد پدیده‌های تاثیرگذار بر دید وجود دارد با تمرکز

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

بیشتر بررسی شده است.



شکل ۱ عوامل مختلف تاثیرگذار در میزان دید. اعداد شکل به‌ترتیب بیان‌گر (۱) پرتو نور رسیده از جسم به ناظر، (۲) پرتو پراکنده شده از مسیر نوری، (۳) پرتو نور اضافه شده به مسیر نوری و (۴) نور اضافه شده از افق پس‌زمینه هستند (Seinfeld and Pandis, ۲۰۰۶).

داده‌ها و روش کار

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های محدوده دید RVR، دما، دمای نقطه شبنم، رطوبت، تندی و جهت باد است که با استفاده از سه دستگاه خودکار واقع در ابتدا، میانه و انتهای باند اندازه‌گیری می‌شوند. این داده‌ها به‌همراه اطلاعات ایستگاه همدیدی فرودگاه امام خمینی به‌عنوان اطلاعات تکمیلی در دو سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ برای انجام مطالعه استفاده شده‌اند.

دید در امتداد باند یا دید RVR ، برابر بیشینه فاصله‌ای است که معمولاً به‌طور افقی در راستای خط وسط باند، چراغ-های باند و علائم روی سطح باند قابل تشخیص باشد. این دید عمدتاً توسط دستگاهی با همین نام (دستگاه RVR) اندازه‌گیری می‌شود. دستگاه سنجش دید RVR برای اولین بار در سال ۱۹۷۳ از سوی سازمان هواپیمایی جهانی (ایکائو) برای استفاده در فرودگاه‌ها معرفی شد. اساس کار دستگاه بر پایهٔ اندازه‌گیری انتقال پرتو، اثر جذب و مقدار پراکنش آن است. این دستگاه از سه بخش متفاوت شامل ترنسمیسومتر (Transmissometer)، فوروارد اسکترمتر (scattermeter Forward) و حسگر سنجش نور پس‌زمینه (Background light sensor) تشکیل شده است. ترنسمیسومتر دستگاهی است که فاصله مستقیم انتقال پرتو نور بین دو نقطه را محاسبه می‌کند. این دستگاه مقدار عبوردهی نور از جوّ را با توجه به ضریب خاموشی جوّ تعیین کرده و فرایندهای جذب و پخش نور را در محاسبات در نظر می‌گیرد. محدودهٔ دقت اندازه‌گیری کمینه ۵۰ متر و بیشینه ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متر است. در شکل ۲ نحوهٔ کارکرد دو نوع متفاوت از دستگاه ترنسمیسومتر نشان داده شده است. شکل ۲- الف نوعی از دستگاه که فرستنده و گیرنده به-صورت جداگانه و روبروی هم قرار دارند و شکل ۲-ب نوع دیگری از دستگاه که فرستنده و گیرنده با هم روی یک پایه قرار داشته و بر روی پایه مقابل یک منشور وجود دارد که پرتو نور تابیده شده توسط فرستنده را به گیرنده باز می-تاباند، نشان می‌دهند. مسافت طی شده در روش دوم دو برابر روش اول است.

دستگاه فوروارد اسکترمتر یا نفلومتر، وسیله‌ای برای به‌دست آوردن ضریب خاموشی جو با اندازه‌گیری شار پراکنش نور توسط ذرات موجود در جوّ است که اثر پخش را محاسبه می‌کند. حسگر سنجش نور پس‌زمینه نیز مقدار روشنایی

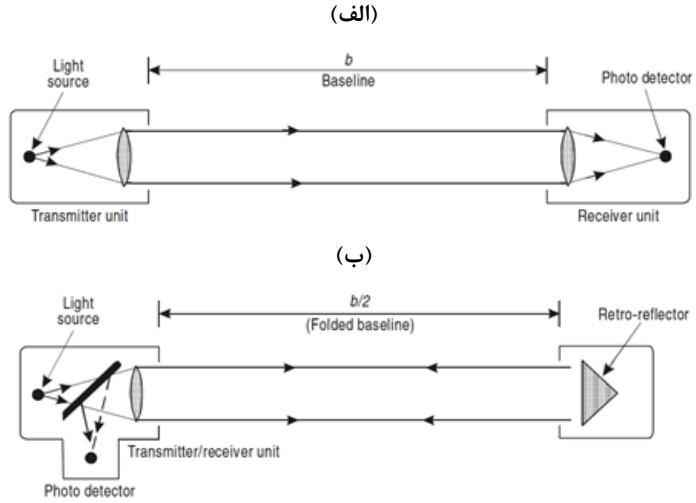
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

پس زمینه را اندازه‌گیری می‌کند، به‌گونه‌ای که نور خورشید و چراغ‌های باند نباید به‌طور مستقیم روی آن تاثیر بگذارد. بدین علت آن‌را با یک زاویه نسبت به افق نصب می‌کنند.

اطلاعات دستگاه‌های ترنسمیسومتر و فوروارد اسکترمتر مستقر در باند فرودگاه امام‌خمینی به فواصل زمانی یک دقیقه، ۱۰ دقیقه و ۲۴ ساعت ثبت می‌شود. در طول دو سال مورد مطالعه بیش از یک میلیون و پنجاه هزار دقیقه اطلاعات ثبت و به کار رفته‌است. با در نظر گرفتن شرایط حدّی برای رخداد کمینه دید، در مطالعه حاضر از سری داده-های یک دقیقه‌ای استفاده شده و بسامد رخداد کمینه دید در ماه‌ها و فصل‌های مختلف تعیین شده است. انتخاب روزهای با کمینه دید در این مطالعه براساس سه شرط حدّی بدین صورت است که: ۱) میزان دید به کمتر از ۱۵۰۰ متر رسیده باشد، ۲) دید کمتر از ۱۵۰۰ متر در دوره حداقل ۱۰ دقیقه‌ای استمرار داشته باشد و ۳) دید کمتر از ۱۵۰۰ متر حداقل در دو دستگاه از سه دستگاه مورد بررسی، به ثبت رسیده باشد. این شرایط حدّی به‌صورت تجربی و بر مبنای محدوده دقت اندازه‌گیری دستگاه تعیین شده است.

پس از انتخاب روزهای با شرایط حدّی، پارامترهای هواشناختی که بیشترین سهم در کاهش میزان دید داشته‌اند، مطالعه شده است. با در نظر گرفتن شرایط حدّی برای رخداد کمینه دید در سری داده‌های یک دقیقه‌ای، بسامد رخداد کمینه دید برای موارد انتخاب شده، در ماه‌ها و فصل‌های مختلف سال تعیین و پدیده‌های هواشناختی نیز که دارای بیشترین سهم در کاهش میزان دید بودند، شناسایی گردید. با مشخص شدن عوامل تاثیرگذار بر کاهش دید افقی و دسته‌بندی پدیده‌های هواشناسی مربوطه، تحلیلی از شرایط و عوامل موثر برای دو نمونهٔ موردی از کاهش دید انجام شد. پارامترهایی که برای نمونه‌های موردی کاهش دید مطالعه شده‌اند شامل دما، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، جهت و تندی باد و فشار هستند.



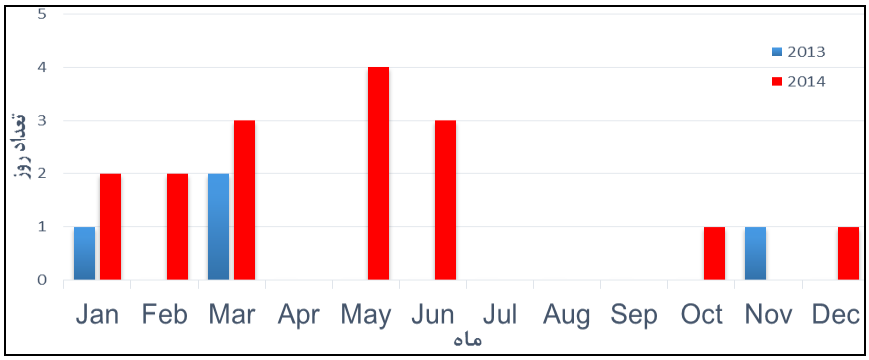
شکل۲ .نحوهٔ کارکرد دو نوع دستگاه ترنسمیسومتر. (الف) در شرایطی که فرستنده و گیرنده به‌صورت جداگانه و روبروی هم قرار دارند و (ب) فرستنده و گیرنده با هم روی یک پایه قرار داشته و بر روی پایه مقابل یک منشور وجود دارد که پرتو نور تابیده شده توسط فرستنده را به گیرنده باز می‌تاباند (ICAO,۲۰۰۶).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

شرح و تفسیر نتایج

با در نظر گرفتن شرایط انتخاب موارد کمینه رخداد دید که در بخش قبل به آن اشاره شد، روزهای دارای مقادیر حدّی دید در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ تعیین و نتایج مقایسهٔ ماهانه رخداد این روزها برحسب تعداد روز در هریک از دو سال در شکل ۳ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مجموع روزهای با شرایط کمینه دید در سال ۲۰۱۴ بیش از سال ۲۰۱۳ است؛ به‌گونه‌ای که در سال ۲۰۱۳ چهار روز و در سال ۲۰۱۴ شانزده روز با شرایط کمینه میزان دید، رخ داده است. در سال‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر، بیشترین تعداد روزهای بحرانی با دید کم مربوط به فصل زمستان، اواخر پاییز و اوایل بهار است که می‌تواند به‌دلیل تاثیر فعالیت بیشتر سامانه‌های جوّی و شرایط آب و هوایی متغیر در این ماه‌ها باشد.



شکل ۳ مقایسهٔ ماهانه رخداد با شرایط کمینه دید ۱۵۰۰ متر و تعداد روزها در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴.

با بررسی پدیده‌های کاهندهٔ دید RVR در دو سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ مشاهده می‌شود که از مجموع بیست روز از این دوره که دید مقادیر ۱۵۰۰ متر و کمتر داشته است، در ۹ روز، پدیده توفان همراه با باد شدید رخ داده و هم‌چنین کاهش میزان دید ۱روز ناشی از پدیده غبار بوده است. پدیده‌های بارش برف، بارش باران و رگبارهای کوتاه‌مدت شدید در ۷ روز منجر به کاهش میزان دید شده‌اند. در نهایت، ۳ روز نیز مربوط به پدیده مه بوده که نقش مهمی در کاهش میزان دید داشته است. با بررسی روزانهٔ موارد کاهش دید RVR به میزان ۱۵۰۰ متر و کمتر، ملاحظه می‌شود که پدیده توفان تندری در ۴ مورد در ماه مه، ۲ مورد در ماه ژوئن و ۱ مورد در ماه‌های مارس، اکتبر و ژانویه رخ داده است که شدیدترین آن در ماه ژوئن مربوط به توفان سهمگین ۱۲ خرداد سال ۱۳۹۳ در تهران است. پدیده مه از دیگر عوامل کاهش دید RVR است که ۳ روز را به خود اختصاص داده است. مدت زمان ماندگاری این پدیده معمولاً بیشتر از سایر پدیده‌ها بوده و در هر یک از ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر یک مورد پدیده مه ثبت شده است. به‌طور کلّی فصل زمستان، اواخر پاییز و اوایل بهار زمان مناسبی برای تشکیل مه هستند.

مقایسهٔ میانگین پارامترهای هواشناختی در پدیده‌های منجر به کاهش دید RVR که در جدول ۱ ارائه شده است، حاکی از آن است که در دوره دو سالهٔ مورد مطالعه، کمترین مقدار میانگین دید RVR مربوط به پدیده مه با مقدار ۵۱۳ متر است. سپس پدیده‌های غبار، توفان شن و بارش به‌ترتیب با مقادیر میانگین کمینه دید ۱۰۱۰، ۱۱۸۴ و ۱۲۲۰ متر قرار دارند که دارای بیشترین تاثیر در کاهش دید بوده‌اند. به‌نظر می‌رسد، مقدار میانگین رطوبت نسبی بالا در پدیده مه به میزان ۸۸ درصد که همراه با کاهش نسبت دما به دمای نقطهٔ شبنم و هم‌چنین کمترین مقدار تندی باد در حدود ۲/۶۹ نات است، بیشترین نقش در کاهش میزان دید در دورهٔ مورد مطالعه داشته‌اند. با وجود اینکه تعداد

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

رخداد مه در مقایسه با پدیده‌هایی مانند توفان و بارش کمتر است، اما بیشترین تاثیر را بر کاهش میزان دید RVR دارد. از این‌رو در ادامه در دو مطالعه موردی نقش توفان و مه در رخداد کمینه دید با دقت بیشتر بررسی می‌شود.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار دو سالهٔ کمیت‌های هواشناختی در پدیده‌های کاهندهٔ دید RVR.

پدیده	تعداد روز	دیدRVR (متر)		فشار (هکتوپاسکال)		دمای نقطه شبنم (درجه سانتی-گراد)		رطوبت (درصد)		دما (درجه سانتی-گراد)		تندی باد (نات)	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
توفان	۹	۱۱۸۴	۲۳۵	۱۰۱۴٫۵	۳٫۶	۲٫۲	۸٫۱	۳۰	۱۵	۲۲	۹٫۵	۲۲٫۸	۹٫۷
ارش	۷	۱۲۲۰	۱۷۹	۱۰۱۸٫۹	۶٫۵	۰	۵٫۶	۸۶	۵٫۹	۲	۶٫۵	۹٫۹	۷٫۱
مه	۳	۵۱۳	۷۳	۱۰۲۲٫۶	۷٫۵	-۳	۰٫۳	۸۸	۱٫۵	-۱٫۸	۰٫۱	۷٫۲	۱٫۸
غبار	۱	۱۰۱۰	-	۱۰۱۵	-	۱۱٫۸	-	۷۳	-	۱۶٫۶	-	۴٫۹	-

برای بررسی حسّاسیت عوامل کاهندهٔ دید به انتخاب مقدار حدّی، شرایط رخداد کمینه براساس بیشینه دقت اندازه-گیری دستگاه، به ۲۰۰۰ متر افزایش داده شد. با افزایش مقدار حدّی دید از ۱۵۰۰ به ۲۰۰۰ متر، مجموع روزهای با دید کم از ۲۰ روز به ۲۴ روز افزایش می‌یابد. در ده روز از روزهای با دید کم پدیده توفان همراه با باد شدید، در ۱ روز پدیده غبار، در ۹ روز بارش و در ۴ روز پدیده مه رخ داده است. در خصوص پدیده‌های غبار و بارش، از لحاظ آماری نسبت به شرایط حدّی ۱۵۰۰ متر تفاوتی دیده نمی‌شود. حدود ۱۶ درصد کاهش دید در این مورد مربوط به پدیده مه است که در فصل زمستان و اواخر پاییز اتفاق افتاده است.

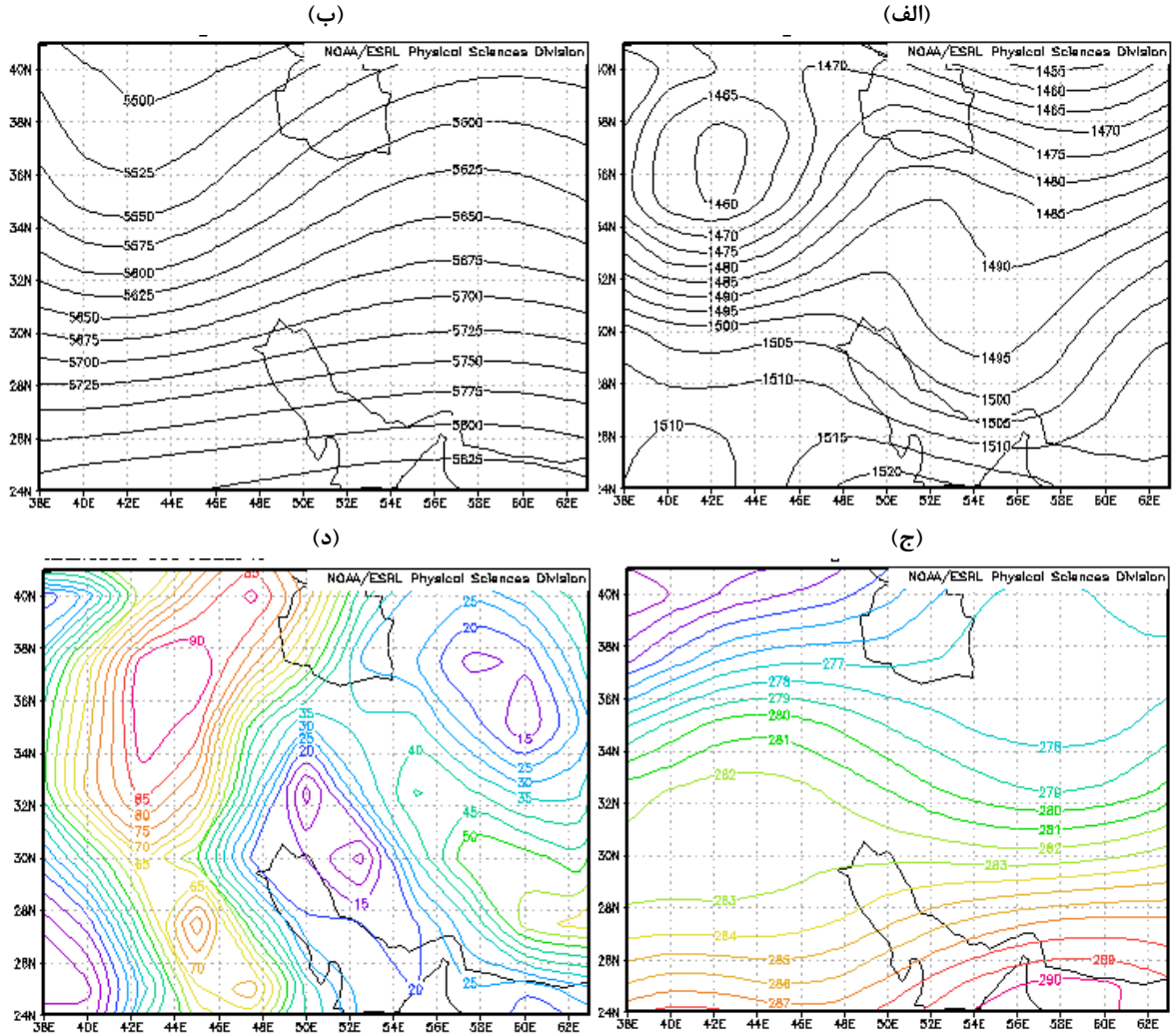
- **کاهش دید ناشی از رخداد مه**

بررسی داده‌های RVR فرودگاه امام خمینی بیانگر آن است که در روز ۲۳ دسامبر ۲۰۱۴ پدیده مه منجر به کاهش دید با مقادیر کمتر از ۱۵۰۰ متر شده و بازهٔ زمانی کاهش دید بین ۰۴:۰۵ UTC تا ۰۶:۲۹ UTC است. در مطالعه همدیدی پدیده‌ها و سامانه‌های مستقر در منطقه از نقشه‌های سطوح مختلف هم‌فشاری در ساعت‌های متفاوت استفاده شده است که اینجا برای رعایت اختصار فقط به ارائه نقشه‌های میانگین ساعت ۰۰:۰۰ تا ۰۶:۰۰UTC ارتفاع ژئوپتانسیلی سطوح ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، توزیع رطوبت نسبی و دما در نزدیک سطح زمین اکتفا می‌شود (شکل-های ۴-الف تا ۴-د). در روز ۲۳ دسامبر ۲۰۱۴، کشور تحت تاثیر یک مرکز پرفشار است. نقشه‌های سطوح ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال زبانه‌های پرارتفاع مربوط به این سامانه در نواحی مورد مطالعه را به وضوح نشان می‌دهد. جو آرام ناشی از استقرار الگوی پرفشار سطحی و الگوی پرارتفاع در سطوح بالای وردسپهر، همراه با نشست هوای سرد و فرارفت رطوبت از غرب به سمت منطقه مورد مطالعه در رخداد پدیده مه موثر بوده‌اند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

با توجه به بازهٔ زمانی کوتاه رخداد کاهش دید، جزئیات بیشتر تغییرات رطوبت نسبی، دما، تندی و جهت باد در سری-های زمانی با فواصل زمانی یک دقیقه بررسی شده است. تغییرات یک دقیقه‌ای میزان دید RVR و رطوبت نسبی در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق شکل، زمانی‌که دید کاهش یافته است، رطوبت نسبی بیش از ۸۵ درصد بوده و به مرور زمان با افزایش میزان دید، رطوبت کاهش تشان می‌دهد. در این زمان، تفاوت دما و دمای نقطهٔ شبنم به مقدار حدود ۱ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، ضمن آنکه هر دو دما منفی هستند. با طلوع آفتاب و در ساعات اولیه صبح، هر دو دما افزایش می‌یابد و اختلاف بین آنها بیشتر می‌شود که با افزایش دید RVR همراه است. تغییرات میزان دید با جهت وزش باد و تندی آن در شکل ۶ ارائه شده است. در هنگام کاهش دید، تندی باد از ۸ نات به ۲ نات کاهش یافته (شکل ۶-ب) و جهت باد نیز ابتدا از شمال‌غربی به‌صورت پادساعتگرد به سمت شرق تغییر مسیر داده و دوباره شمال‌غربی می‌شود (شکل ۶-الف). با افزایش دید RVR، کاهش فشار در حدود ۴ هکتوپاسکال در ۶ ساعت رخ می‌دهد.

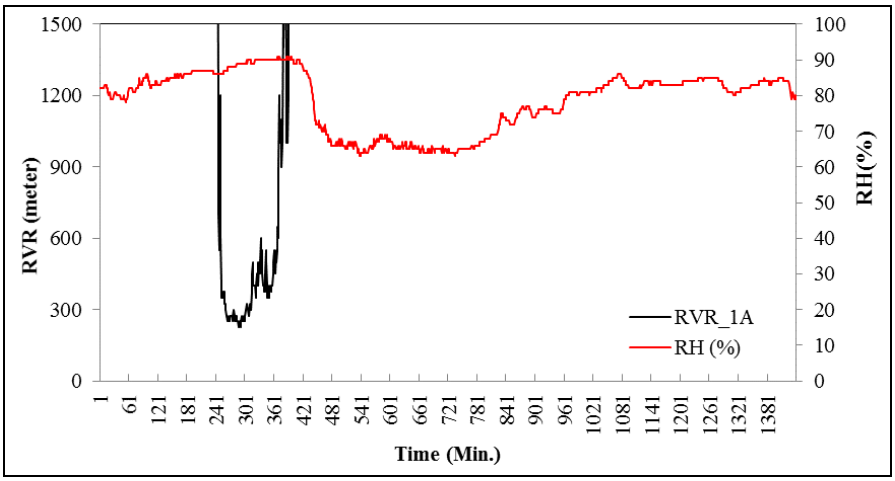


شکل ۴ . نقشه‌های همدیدی ارتفاع ژئوپتانسیلی در سطوح (الف) ۸۵۰ و (ب) ۵۰۰ هکتوپاسکال، ج) دما و د) رطوبت نسبی (برحسب درصد) برای میانگین ساعت UTC ۰۶۰۰ تا ۰۰ روز ۲۳ دسامبر ۲۰۱۴.

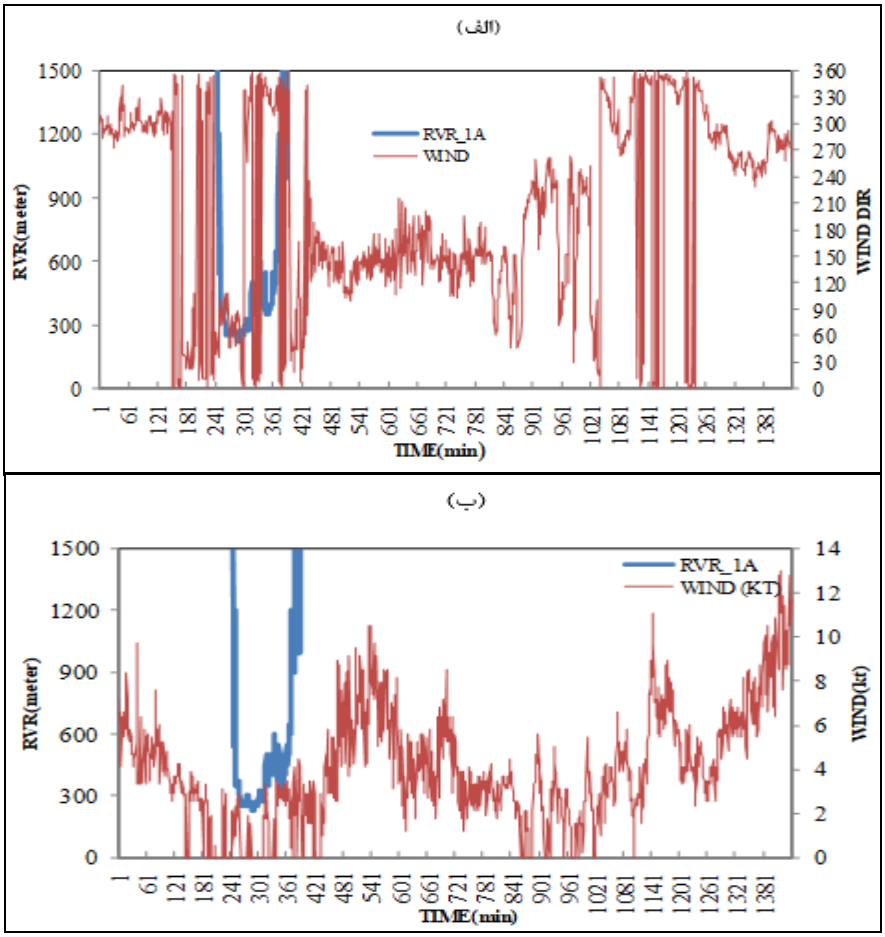
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

نتایج مطالعه موردی نقش پدیده مه در کاهش دید RVR نشان می‌دهد که وجود رطوبت بیش از ۸۵ درصد، پایین بودن دما و دمای نقطهٔ شبنم و نزدیک بودن این دو دما به یکدیگر، وزش باد ملایم و تغییر جهت آن در لحظهٔ دید کم، که می‌تواند منجر به فرارفت رطوبت از سمت غرب به سمت منطقه باشد، شرایط مناسب برای تشکیل مه و در نتیجه کاهش دید را ایجاد کرده است.



شکل ۵ تغییرات یک دقیقه‌ای میزان دید RVR و رطوبت نسبی در روز ۲۳ دسامبر ۲۰۱۴.



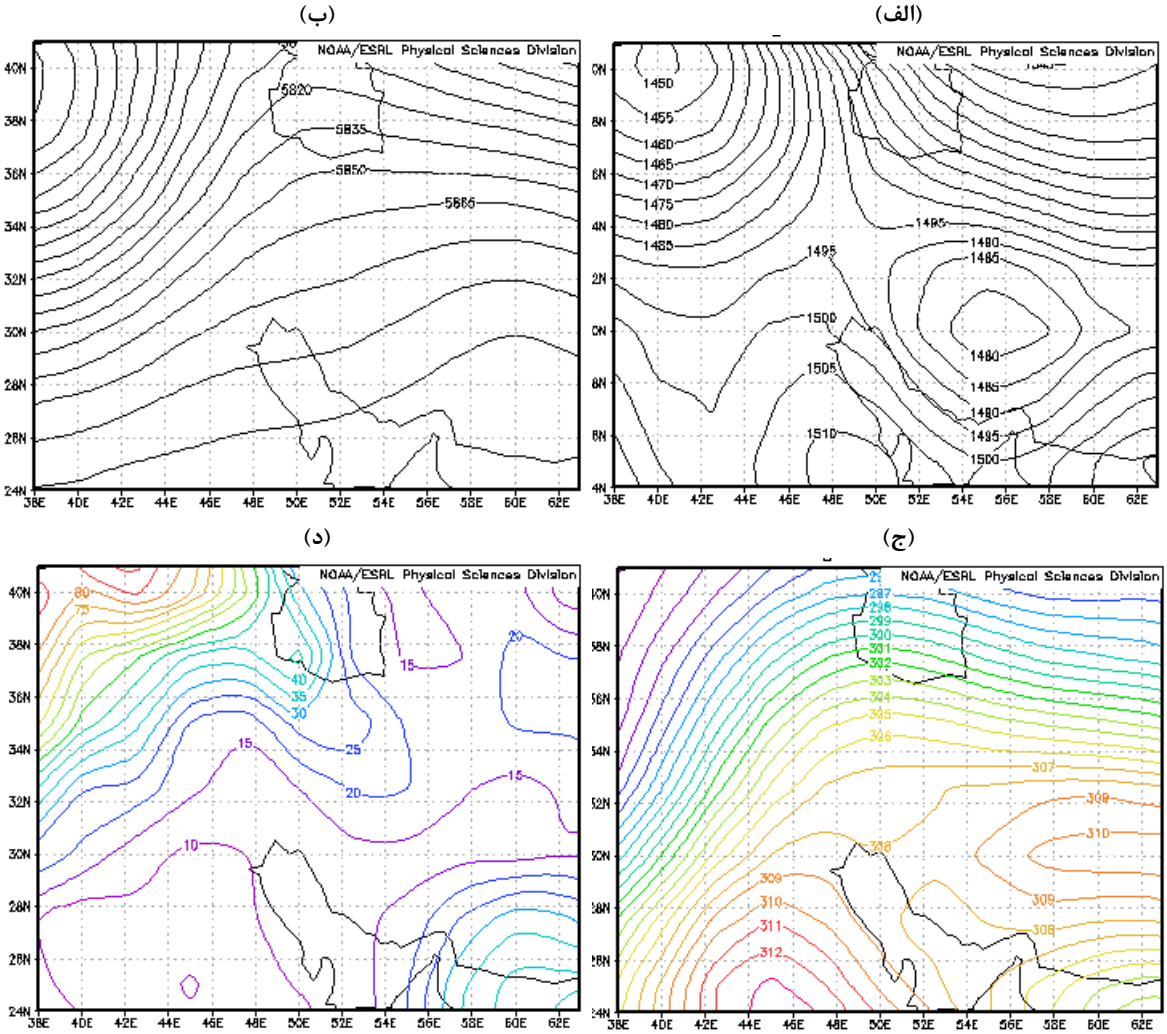
شکل ۶ . تغییرات یک دقیقه‌ای (الف) دید RVR و جهت باد، (ب) دید RVR و تندی باد در روز ۲۳ دسامبر ۲۰۱۴.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

- **کاهش دید ناشی از پدیده توفان**

کاهش دید RVR به میزان کمتر از ۱۵۰۰ متر در بازهٔ زمانی ۱۲:۱۶ UTC تا ۲۳:۵۹UTC در روز دوم ژوئن ۲۰۱۴ مشاهده شده است. در این مورد نیز مانند شکل ۴ نقشه‌های سطوح مختلف هم‌فشاری در ساعت‌های متفاوت تهیه شده ولی فقط نقشه‌های مربوط به میانگین ساعت ۱۲ تا ۱۸ UTC روز دوم ژوئن ارائه شده است (شکل ۷). در این روز تاثیر دو مرکز کم‌ارتفاع، که با کم‌فشار سطحی همراه هستند، یکی در شمال دریای سیاه و دیگری در جنوب خلیج فارس مشاهده می‌شود. هم‌چنین زبانه‌های یک سامانه پرارتفاع در نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۷-ب) در جنوب‌غرب کشور به‌چشم می‌خورد که ایران را متاثر ساخته است. گرمایش سطحی در مناطق مرکزی و غربی ایران بهمراه رطوبت کافی می‌توانند از عوامل رخداد پدیده توفان تندری باشند که دلیل اصلی کاهش دید در این روز است.



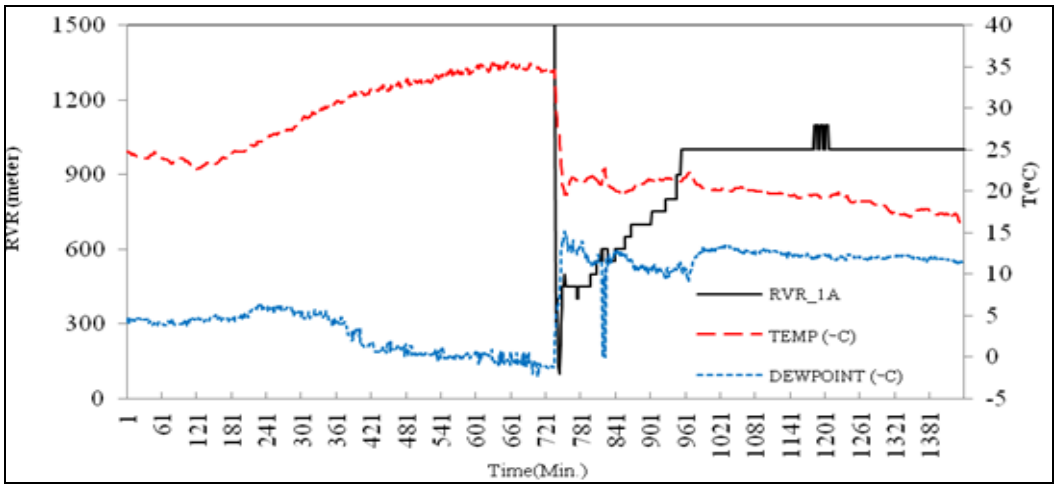
شکل ۷ . مانند شکل ۴ ولی برای میانگین ساعت ۱۲ تا UTC ۱۸ روز ۲ ژوئن ۲۰۱۴.

در شکل ۸ تغییرات یک دقیقه‌ای میزان دید RVR همراه با دما و دمای نقطهٔ شبنم نشان داده شده است. با توجه به شکل، در زمان کاهش دید، اختلاف این دو دما از ۳۵ درجه به ۵ درجه کاهش یافته و هر دو دما مقدار مثبت دارند. این روند تا پایان روز دیده می‌شود. در زمانی‌که دید کاهش می‌یابد، رطوبت هوا از ۱۰ درصد به‌طور ناگهانی به ۷۵ درصد رسیده است، که به‌نظر می رسد ناشی از شکل‌گیری سامانه همرفتی، ایجاد ابرناکی و رخداد توفان تندری در

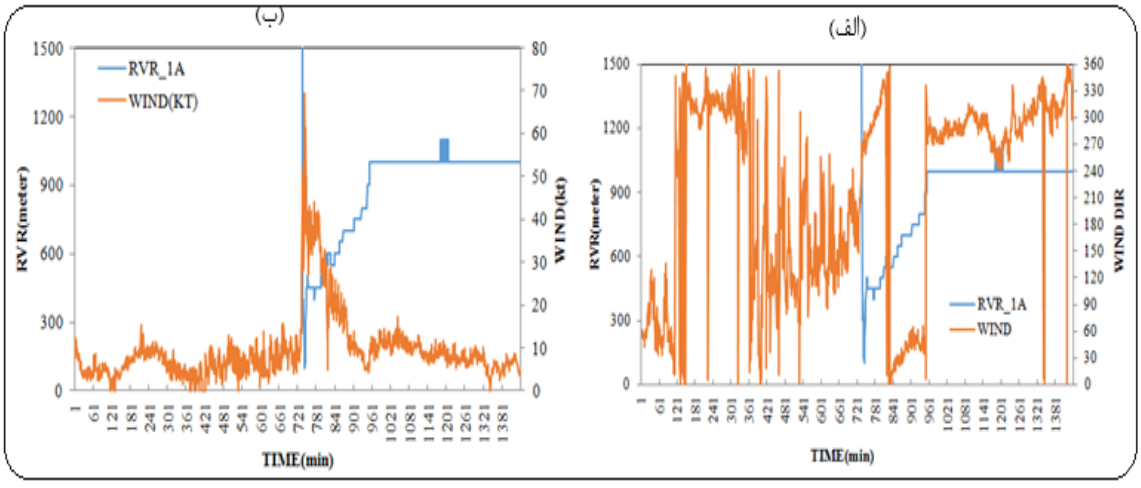
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

منطقه است.

چگونگی تغییرات میزان دید با جهت و تندی وزش باد در شکل ۹ نشان داده شده است. مطابق شکل، قبل از کاهش دید، جهت باد جنوب‌سو بوده و در هنگام کاهش دید، با چرخش ساعتگرد به‌صورت شمال‌سو درآمده است (شکل ۹-الف). روند تغییر جهت باد در طول روز ادامه داشته و در نهایت باد غالب شمال‌شرقی می‌شود. قبل از زمان کاهش دید، سرعت باد در حدود ۱۰ نات است و در زمان کاهش دید، با افزایش ناگهانی و لحظه‌ای به ۷۰ نات نیز می‌رسد (شکل ۹-ب). تا پایان روز می‌توان روند کاهش سرعت تا ۵ نات را مشاهده کرد. تغییرات یک دقیقه‌ای فشار در طول این روز نیز نشانگر آن است که قبل از کاهش دید، یک روند کاهش شدید فشار ۵/۵ هکتوپاسکالی در مدت ۶ ساعت اتفاق افتاده است. هم‌زمان با کاهش شدید دید، افزایش ناگهانی فشار هوا در حدود ۶ هکتوپاسکال در یک زمان بسیار کوتاه مشاهده می‌شود که این نوسانات شدید فشار هوا از نشانه‌های وقوع توفان شدید است. براساس مطالب ذکر شده در خصوص ویژگی‌های این توفان می‌توان گفت که افزایش ناگهانی سرعت باد، افزایش رطوبت و کاهش شدید دما در بازهٔ زمانی کوتاه، همراه با نوسانات شدید فشار، از جمله پارامترهای هواشناسی تاثیرگذار بر میزان دید هستند. لازم به ذکر است که در این مورد، داده‌های متار میزان دید افقی در برخی ساعات را برابر صفر گزارش داده‌اند.



شکل ۸ تغییرات یک دقیقه‌ای میزان دید RVR و دما و دمای نقطه شبنم در روز ۲ ژوئن ۲۰۱۴.



شکل ۹ .تغییرات یک دقیقه‌ای (الف) دید RVR و جهت باد، (ب) دید RVR و تندی باد در روز ۲ ژوئن ۲۰۱۴.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر برای نخستین بار در کشور از داده‌های دو دستگاه ترنسمیسومتر و فوروارد اسکترمتر برای تعیین میزان دقیق دید استفاده شده است تا شرایط رخداد کمینهٔ دید در باند فرودگاه امام خمینی در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ مطالعه شود. انتخاب روزهای با کمینه دید در این مطالعه براساس سه شرط حدّی انجام شده و پارامترهایی که برای نمونه‌های موردی کاهش دید بررسی شده‌اند، شامل تغییرات یک دقیقه‌ای دما، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، جهت و تندی باد و فشار هستند.

نتایج مطالعه روزهای با شرایط کمینه دید در فرودگاه امام خمینی نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۳ چهار روز و در سال ۲۰۱۴ شانزده روز با شرایط کمینه میزان دید رخ داده است. با مقایسهٔ روزهای بحرانی، مشاهده می‌شود که بیشترین روزهای با دید کم مربوط به فصل زمستان، اواخر پاییز و اوایل بهار است که می‌تواند به‌دلیل تاثیر فعالیت بیشتر سامانه‌های جوی و شرایط آب و هوایی متغیر در این ماه‌ها باشد. معمولاً در فصل تابستان و اوایل پاییز به‌علت ضعیف بودن سامانه‌های جوّی و بسامد کمتر رخداد آنها، بحران دید کم در فرودگاه دیده نمی‌شود. بررسی پدیده‌های منجر به کاهش دید RVR در دورهٔ مورد مطالعه نشانگر آن است که در مجموع بیست روز با دید کمتر از ۱۵۰۰ متر، پدیده‌های توفان، بارش، مه و غبار به‌ترتیب بیشترین پدیده‌های منجر به کاهش دید هستند. از میان این پدیده‌ها، کمترین مقدار میانگین دو سالانه دید RVR با مقدار ۵۱۳ متر مربوط به رخداد مه است. نتایج بررسی دو نمونه‌موردی نشان می‌دهد که پدیده‌های منجر به کاهش دید با توجه به ماهیت تشکیل‌شان و از نظر پارامترهای هواشناختی تاثیرگذار متفاوت هستند. در پدیدهٔ مه، افزایش میزان رطوبت نسبی، ضعیف‌بودن تندی باد و کم‌بودن نسبت دما به دمای نقطهٔ شبنم که منجر به اشباع هوا می‌شود، در کاهش میزان دید نقش اساسی دارند؛ حال آن‌که در در رخداد توفان، تندی باد شدید و وجود سامانهٔ کم‌فشار در منطقه حائز اهمیت است. همچنین هنگام رخداد پدیده توفان، افزایش رطوبت نسبی و کاهش شدید دما در بازهٔ زمانی کوتاه، همراه با نوسانات شدید فشار، از جمله پارامترهای هواشناسی تاثیرگذار بر میزان دید هستند.

منابع

تاجبخش، سحر. ۱۳۹۵. مطالعه‌ی آماری و شناسایی نوع مه به کمک یک الگوریتم در مهم‌ترین فرودگاه‌های کشور. پژوهش-های اقلیم شناسی, (**۲۷**): ۴۳-۵۶.

ثابت‌قدم، سمانه؛ فرهنگ احمدی گیوی، یحی گلستانی و عباسعلی علی‌اکبری بیدختی. ۱۳۹۲. ارتباط آلاینده‌های شهری با دید افقی منطقه تهران در سال ۲۰۰۸. فیزیک زمین و فضا, **۳۹(۴)**: ۱۰۹-۱۲۲.

ثابت قدم, سمانه؛ مسعود خوش سیما و فرهنگ احمدی گیوی. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات ضریب خاموشی جو بر مبنای دید افقی در چهار فرودگاه پرتردد کشور. فیزیک زمین و فضا, **۴۲(۲)**:۴۵۹-۴۶۷.

صلاحی, برومند و سیاوش محمدی. ۱۳۹۰. تحلیل همدید و آماری مه‌های فرودگاه اردبیل و ارائه‌ی ساعات مناسب پروازی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی, **۴۳(۷۷)**: ۶۹-۹۲.

Baumer, D., Vogel, B., Versick, S., Rinke, R., Mohler, O., and Schnaiter, M., ۲۰۰۸. Relationship of visibility, aerosol optical thickness and aerosol size distribution in an ageing air mass over South-West Germany. *Atmos. Environ.*, ٤٢, ۹۸۹-۹۹۸.

Boudala, F., Isaac, G., Crawford, R. , and Reid, J.,۲۰۱۲. Parameterization of Runway Visual Range as a Function of Visibility: Implications for Numerical Weather Prediction Models. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, ۲۹, ۱۷۷-۱۹۱.

Clark, P.A., Harcourt, S.A., Macpherson, B., Mathison, C.T., Cusack, S., and Naylor, M., ۲۰۰۸.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

Prediction of visibility and aerosol within the operational Met Office Unified Model. I:Model formulation and variational assimilation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **۱۳٤**, ۱۸۰۱-۱۸۱٦.
Doyle, M., Dorling, S., ۲۰۰۲: Visibility trends in the UK ۱۹۵۰e۱۹۹۷. *Atmospheric Environment* **۳٦**, ۳۱٦۱e۳۱۷۲
Fultz, A., Ashley, W., ۲۰۱٦. Fatal weather-related general aviation accidents in the United States. *Physical Geography*. **۳۷,** ۲۹۱-۳۱۲.
Horvath, H., ۱۹۸۱. Atmospheric visibility. *Atmos. Environ.*, ۱۵, ۱۷۸۵-۱۷۹٦.
Husar, R., Husar, J., and Martin, L., ۲۰۰۰. Distribution of continental surface aerosol extinction based on visual range data. *Atmos. Environ.*, ۳٤, ۵۰٦۷-۵۰۷۸.
ICAO., ۲۰۰٦. *Manual on Automatic Meteorological Observing Systems at Aerodrome*, Doc ۹۸۳۷ AN/٤۵٤, ۱st edition, Montréal, Canada.
Jacobson, M., ۲۰۰۵. *Fundamentals of Atmospheric Modeling*, Cambridge University Press, Second Edition, ۸۱۳ pp.
Jarraud, M., ۲۰۰۸. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO-No. ۸). World Meteorological Organisation*: Geneva, Switzerland, ٦۸۱pp.
Jenamani, R., and Tyagi, A., ۲۰۱.۱ Monitoring fog at IGI Airport and analysis of its runway-wise spatio-temporal variations using Meso-RVR network. *Current Science*, **۱۰۰**, ٤۹۱-۵۰۱.
Koschmieder, H.,۱۹۲٤. The´orie der horizontalen Sichweite. Beitr.*Freien Atmos.*, ۱۲, ۱۷۱–۱۸۱.
Lin, J., van Donkelaar, A., Xin, J., Che, H., and Wang, Y., ۲۰۱٤. Clear-sky aerosol optical depth over East China estimated from visibility measurements and chemical transport modeling. *Atmos. Environ.*, ۹۵, ۲۵۸-۲٦۷.
Mahowald, N., Ballantine, J., Feddema, J., and Ramankutty, N., ۲۰۰۷. Global trends in visibility: implications for dust sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **۷** , ۳۳۰۹-۳۳۳۹.
Malm, W. C., ۱۹۹۹. *Introduction to visibility. Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIRA)*, Ft. Collins, Colorado, ۷۹ pp.
Pak, H. and Zanevetd, J., ۱۹۸۳. Temporal variations of beam attenuation coefficient on the continental rise off Nova Scotia. *J. Geophys. Res.*, ۸۸, ٤٤۲۷-٤٤۳۲.
Rosenfeld, J., ۱۹۹٦. Cars vs. the weather. A century of progress. *Weatherwise*, ٤۹, ۱٤-۲۳.
Sabetghadam, S., Ahmadi-Givi, F., Golestani, Y., ۲۰۱۲. Visibility trends in Tehran during ۱۹۵۸-۲۰۰۸. *Atmos. Environ.*, **٦۲**, ۵۱۲-۵۲۰.
Sabetghadam, S., and Ahmadi-Givi, F., ۲۰۱٤. Relationship of extinction coefficient, air pollution, and meteorological parameters in an urban area during ۲۰۰۷ to ۲۰۰۹. *Environmental Science and Pollution Research*, ۲۱(۱), ۵۳۸-۵٤۷.
Schichte, B.A., Husar, R.B., Falke, S., and Wilson, W., ۲۰۰۱. Haze trends over the United States, ۱۹۸۰–۱۹۹۵. *Atmos. Environ.*, **۳۵**, ۵۲۰۵–۵۲۱۰.
Seinfeld, H. and Pandis, N., ۲۰۰٦. Atmospheric chemistry and physics−from air pollution to climate change. Second edition, John Wiley & Sons, ۱۲۰۳pp.
Sinkevich, A., Kimm, J.Y., Suh, A.S., and Chung, H.S. ۲۰۰۱. Losses in the Korean economy due to lack of routine cloud seeding. *J. Korean meteor. Soc.*, **۳۷**, ۲۸۳-۲۹٤.
Sloane, C. S., ۱۹۸٤ .Meteorologically adjusted air quality trends: visibility. *Atmos. Environ.*, ۱۸, ۱۲۱۷–۱۲۲۹.
Tsai, Y., Kuo, S., Lee, W., Chen, C., and Chen, P., ۲۰۰۷. Long-term visibility trends in one highly urbanized, one highly industrialized, and two rural areas of Taiwan. *Sci. Total Environ.*, ۳۸۲, ۳۲٤–۳٤۱.
Wen, C., and Yeh, H., ۲۰۱۰. Comparative influences of airborne pollutant and meteorological parameters on atmospheric visibility and turbidity. *Atmos. Research*, **۹٦**, ٤۹٦-۵۰۹.
Wu, J., Fu, C., Zhang, L., and Tang, J., ۲۰۱۲. Trends of visibility on sunny days in China in the recent ۵۰ years. *Atmos. Environ.*, ۵۵, ۳۳۹-۳٤٦.
Wu, J., Zhang, X., Hu, J., and Zhai, D., ۲۰۱۳ .Probability of different visibility grades in China over a ۵۰-year period. *Meteorol. Atmos. Phys.*, ۱۲۲,۱۱۵–۱۲۳.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.1.2]