نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹
صفحات ۱۰۷ – ۱۲۴

پیش‌بینی کاهش دید ناشی از مه و بارش در منطقه تهران با استفاده از مدل WRF

پریسا جابری؛ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
سمانه ثابت قدم؛[1] استادیار ، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
سرمد قادر؛ دانشیارگروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

دریافت مقاله :۱۳۹۸/۰۲/۱۱ پذیرش نهایی:۱۳۹۸/۱۱/۲۷

چکیده

دید افقی از مهم‌ترین ویژگی‌های نوری جوّ به‌شمار می‌رود و پیش‌بینی آن از جنبه‌های گوناگون اهمیت دارد. هدف از مقاله حاضر، پیش‌بینی کاهش دید ناشی از مه و بارش با استفاده از مدل WRF در منطقه تهران است. دو مطالعه موردی در ۷ مارس ۲۰۱۳ و در۱۱ ژانویه ۲۰۱۴ با کاهش دید افقی به دلیل رخداد بارش برف و مه برای بررسی انتخاب شده‌اند. برای پیش‌بینی دید از چهار روش پارامترسازی SW۹۹، FSL، AFWA و UPP۱ استفاده شده‌است. این چهار روش پس از کدنویسی، در مدل پیش‌بینی عددی WRF پیاده سازی می‌شوند و مقادیر پیش‌بینی شده با دید مشاهداتی مقایسه می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که تمام روش‌ها، رخداد کاهش دید را پیش‌بینی می‌کنند، اما به نظر می‌رسد کارآیی روش به نوع پدیده مورد مطالعه بستگی دارد؛ به طوری‌که پیش‌بینی دید در هنگام رخداد برف نسبت به رخداد مه از دقت بیشتری برخوردار است. نتایج بررسی عوامل ایجاد خطا نشان می‌دهد که در پیش‌بینی مربوط به دما و دمای نقطه شبنم فرابرآورد وجود دارد. هم‌چنین خطا در تخمین رطوبت نسبی در بسیاری از موارد مثبت است که متعاقباً منجر به ایجاد خطا در پیش‌بینی دید به‌ویژه در هنگام رخداد مه می‌شود.

واژگان کلیدی: مه، بارش، دید افقی، پیش بینی، مدل WRF.

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

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

مقدمه

میزان دید از مهم‌ترین ویژگی‌های جوّ است که از جنبه‌های متفاوت دارای اهمیت است. دید افقی برابر با بیشترین فاصله‌ای است که در آن فاصله یک جسم سیاه نسبت به پس‌زمینه آن قابل تشخیص است (Horvath, ۱۹۸۱). اندازه‌گیری دید افقی به‌عنوان یک کمیت هواشناسی در ایستگاه‌های همدیدی با استفاده از همین تعریف انجام می‌شود (Clark et al., ۲۰۰۸). پیش‌بینی میزان دید به عنوان یک کمیت هواشناسی از جنبه‌های گوناگون شامل آلودگی هوا، ترافیک هوایی، ایمنی و کیفیت در پروازها، ترافیک جاده‌ها و همچنین ایمنی و سفرهای دریایی و کشتیرانی دارای اهمیت است.

کاهش دید در جوّ براثر عوامل متنوعی رخ می‌دهد (Sabetghadam and Ahmadi-Givi, ۲۰۱٤; Singh et al., ۲۰۱۷) که به طور کلی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: ۱. کاهش دید ناشی از غبار که عمدتاً ناشی از افزایش غلظت هواویزهای جوّ و آلاینده‌های جوّی است (Sabetghadam et al., ۲۰۱۲; Wang et al. ۲۰۱۲; Aman et al., ۲۰۱۹)، ۲. کاهش دید ناشی از مه و انواع بارش که شامل بارش برف، باران و گویچه یخ است که دید را حتّی تا چند متر کاهش می‌دهد (Malm, ۱۹۹۹; Chung et al., ۱۹۹۹; Boudala and Isaac, ۲۰۰۹; Wu et al., ۲۰۱۱). پیش‌بینی کاهش دید افقی به دلیل دسته دوم در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

رخداد مه از رایج‌ترین دلایل کاهش دید افقی در بسیاری از مناطق جهان است (Majewski et al., ۲۰۱۵). اگر در جوّ مقادیر دما و دمای نقطه‌ی شبنم به یکدیگر نزدیک شوند، مه شکل می‌گیرد. این اتفاق می‌تواند به‌دلیل سرمایش جوّ بر اثر سرمایش تابشی، ایجاد فرارفت روی سطح سرد، سرمایش و اشباع ناشی از سطوح دارای شیب و هم‌چنین افزایش نقطه‌ی شبنم به واسطه تزریق رطوبت کافی به جوّ ایجاد شود. وجود شرایطی مانند باد بسیار ملایم، آسمان صاف و شب‌های طولانی شرایط مناسبی برای تشکیل مه ایجاد می‌کند (Payra and Mohan, ۲۰۱٤). از آنجا که پدیده مه می‌تواند در مقیاس‌های محلی اتفاق بیافتد و وابستگی بسیاری به ویژگی‌های سطح زمین دارد، پیش‌بینی آن توسط مدل دشوار است. پیش‌بینی مه همچنین به پیش‌بینی باد در سطح زمین، دما، دمای نقطه شبنم و رطوبت نسبی بستگی دارد (Whiffen et al., ۲۰۰۱). از سوی دیگر، انواع بارش نیز از عوامل کاهنده دید به شمار می‌رود (Reymann et al., ۱۹۹۸). بارش بسته به اندازه قطرات و شدت بارش، دید افقی را کاهش می‌دهند (Stoelinga and Warner, ۱۹۹۹). پیش‌بینی بارش به دلایل مختلف مانند ناپیوستگی زمانی و مکانی، پیچیدگی‌های خاص خود را دارد (خضریان نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).

پیش‌بینی دید افقی از جهات مختلفی بسیار پراهمیت امّا چالش برانگیز است، زیرا عوامل تاثیرگذار بر دید پیچیده و بسیار گسترده هستند. پیش‌بینی‌های مورد نیاز برای مواردی مانند صنایع هوایی بسیار کوتاه مدت هستند و باید داده‌های دقیق برای شرایط اولیه مدل به کار گرفته شود (Stoelinga and Warner, ۱۹۹۹). یکی از علل دشواری پیش‌بینی دید افقی مربوط به مدل‌های پیش‌بینی عددی هواشناسی است، چراکه این مدل‌ها دید افقی را به طور مستقیم پیش‌بینی نمی‌کنند. بنابراین پیش‌بینی دید افقی با استفاده از سایر پارامترهای هواشناسی که در خروجی مدل‌ها وجود دارند، مانند محتوای آب مایع، رطوبت نسبی و بارش انجام می‌شود (Doran et al., ۱۹۹۹؛ Stoelinga and Warner, ۱۹۹۹ ؛ Smirnova et al., ۲۰۰۰؛ Benjamin et al., ۲۰۰٤؛ Gultepe and Milbrandt, ۲۰۱۰). تاکنون روش‌های مختلفی به منظور پیش‌بینی دید افقی به‌کار رفته‌است، این روش‌ها به‌صورت روش‌های آماری یا دینامیکی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

هستند. روش‌های آماری عموماً بر مبنای داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها یا داده‌های ماهواره‌ای هستند. روش‌های دینامیکی عمدتاً بر پایه برونداد مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا بنا شده‌اند. در مواردی که کمیت مورد نظر مانند دید افقی در برونداد مدل وجود ندارد، از پارامترسازی برای تبدیل خروجی‌های مدل به دید افقی استفاده می‌شود (Ryerson and Hacker, ۲۰۱٤). نکته قابل توجّه در پیش‌بینی دید افقی، کیفیت پیش‌بینی است. هریک از روش‌های پیش‌بینی دید افقی مزایا و معایبی دارند که در میزان کیفیت پیش‌بینی موثر است (Smith and Benjamin, ۲۰۰۲). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی جهت بهبود کیفیت پیش‌بینی دید افقی انجام شده‌است، اما متاسفانه در حال حاضر مدل‌های پیش‌بینی عددی به دلایلی مانند عدم دسترسی به شبکه مشاهدات متراکم و با اطلاعات جزئی و دقیق، عدم دانش و فهم عمیق فرآیندهای فیزیکی درگیر در شکل‌گیری مه و همچنین محدودیت‌های موجود در مدل‌های پیش‌بینی عددی، اطلاعات کافی برای پیش‌بینی دید تولید نمی‌کنند (Bergot et al., ۲۰۰۵). به‌طورکلی استفاده از روش‌های پیش‌بینی که ترکیبی از روش‌های دینامیکی و آماری هستند، در پیش‌بینی کمیت‌های مورد نظر در شهرهای خارج از نقاط حل عددی اهمیت بسیاری دارد، زیرا این موارد در مدل‌های عددی در نظر گرفته نمی‌شوند (اشرفی ۱۳۷۹).

مطالعات گسترده‌ای از گذشته تا کنون در زمینه پیش‌بینی دید افقی در سراسر دنیا انجام شده‌است. برای نمونه، در مطالعه‌ای در امریکا از مدل WRF با ده عضو در نواحی ساحلی، درّه‌ای و کوهستانی برای پیش‌بینی کوتاه مدّت دید در هنگام مه استفاده شده‌است (Ryerson and Hacker, ۲۰۱٤). بر اساس نتایج این مطالعه، پیش‌بینی‌ها در طول شب و اوایل روز از کیفیت بهتری برخوردار هستند. همچنین مقادیر پیش‌بینی شده در مناطق کوهستانی به مقادیر واقعی نزدیک‌تر هستند. در مقابل، پیش‌بینی‌ها در مناطق ساحلی و درّه‌ای در زمان رخداد مه رقیق دقّت کم‌تری دارد. در مطالعه‌ای دیگر، طرحواره‌ای برای پارامترسازی مه گرم در مدل‌های عددی ارائه و برای کاربرد در پیش‌بینی دید بر روی یک مدل میان‌مقیاس غیرهیدروستاتیکی پیاده‌سازی شده‌است. در این پارامترسازی از ارتباط بین محتوای آب ابر و غلظت تعداد قطرک‌ها با دید افقی در هنگام مه استفاده شده‌است که عملکرد خوبی با عدم قطعیت در حدود ٪۲۹ دارد (Gultepe et al. ۲۰۱۰).

هدف از پژوهش حاضر، بررسی امکان پیش‌بینی کاهش دید افقی توسط مدل پیش‌بینی عددی WRF: Weather Research and Forecasting در منطقه تهران است. از آنجا که در این پژوهش از میان عوامل کاهنده دید، رخداد مه و بارش مورد نظر است، بر اساس داده‌های مشاهداتی روزهای مورد مطالعه انتخاب می‌شوند. پس از آن، با اجرای مدل و پیاده‌سازی چهار روش پارامترسازی مختلف، میزان دید افقی پیش‌بینی می‌شود. دید افقی بدست آمده از مدل با دید افقی مشاهداتی مقایسه و ارزیابی می‌شود تا میزان توانمندی و نقاط ضعف مدل WRF در پیش‌بینی دید افقی مشخص شود.

داده‌ها و روش کار

برای پیش‌بینی کاهش دید بر اثر بارش و مه، دو ایستگاه فرودگاه امام خمینی و فرودگاه مهرآباد در شهر تهران برای انجام مطالعه انتخاب شده‌اند. بر اساس گزارش‌های آماری سازمان هواپیمایی کشوری، این دو فرودگاه از جمله فرودگاه‌های مهم و پرتردد کشور هستند و تعداد قابل توجهی از نشست و برخاست هواپیماها را به خود اختصاص داده‌اند. از سوی دیگر، داده‌های دیدبانی این دو ایستگاه نسبتاً کامل و قابل اعتماد هستند. با توجه به اینکه هر دو این ایستگاه‌ها

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

در منطقه تهران واقع شده‌اند، اقلیم نسبتاً مشابهی دارند. در این پژوهش از داده‌های همدیدی و متار (METAR: Meteorological Terminal Aviation Routine Weather Report) به عنوان داده‌های مشاهداتی برای ارزیابی پیش‌بینی‌ها استفاده می‌شود. داده‌های همدیدی هر سه ساعت و داده‌های متار هر نیم ساعت توسط دیدبان گزارش می‌شوند. کمیت‌های مورد استفاده شامل دید افقی، دما، رطوبت، باد و کد هوای حاضر است.

با بررسی داده‌های دیدبانی در ایستگاه‌های همدیدی منطقه تهران، روزهای منتخب برای مطالعه تعیین می‌شوند. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، پیش‌بینی کاهش دید افقی به دلیل مه و بارش در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفته است؛ از این‌رو در مطالعه حاضر کاهش دید ناشی از هواویزهای جو مورد نظر نیست. بنابراین روزهای منتخب طوری انتخاب شده که پدیده غبار در آن رخ نداده است. از آنجا که پدیده غبار معنای دوگانه‌ای دارد و دو نوع غبار شامل غبار مرطوب و غبار خشک وجود دارد، روزهایی که کاهش دید رخ داده و در گزارش‌های همدیدی و متار پدیده غبار گزارش شده‌است و گزارش بارش وجود نداشته، در نظر گرفته نشده‌اند. بنابراین روزهایی که میزان دید افقی گزارش شده به علت وجود مه یا بارش کم است، برای انجام مطالعه مناسب هستند. از این رو با استفاده از داده‌های میزان دید، کد هوای حاضر، میزان رطوبت و بارش از اطلاعات ایستگاه‌های همدیدی در منطقه تهران در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ روزهای با شرایط کاهش دید انتخاب شده‌اند. روزهای منتخب شامل روزهای ۷ مارس ۲۰۱۳ و ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴ هستند. این روزها به عنوان نمونه روزهایی هستند که در آن کاهش دید افقی به دلیل پدیده‌های بارش باران، برف و مه رخ داده‌است. در این روزها ممکن است ترکیبی از چند نوع پدیده در ساعت‌های مختلف رخ داده باشد. بر اساس گزارش‌های همدیدی و متار در هر دو این روزها، میزان دید افقی تا کمتر از ۲۰۰۰ متر کاهش یافته است.

- **روش‌های پارامترسازی دید**

برای تخمین دید از چهار روش پارامترسازی شامل SW۹۹ (Stoelinga and Warner) ، AFWA (Air Force Weather Agency)، FSL (Forecast Systems Laboratory)، UPP۱(Unified Post Processor) استفاده شده‌است که در ادامه معرفی می‌شوند. این چهار روش پس از کدنویسی، در مدل پیش‌بینی عددی WRF پیاده سازی می‌شوند. برای پیش‌بینی دید افقی معمولاً از پارامترسازی‌هایی استفاده می‌شود که در آن محتوای آب ابر (LWC) به ضریب خاموشی یا دید تبدیل می‌شود (Stoelinga and Warner, ۱۹۹۹). از آنجاکه عموماً محتوای آب ابر در خروجی مدل‌ها وجود دارد، بنابراین از مقدار آن و سایر غلظت‌های جرمی موجود در خروجی مدل‌ها، برای محاسبه ضریب خاموشی استفاده می‌شود. ضریب خاموشی با استفاده از رابطه کشمایدر به شرح زیر به میزان دید افقی تبدیل می‌شود. اگر ناظر در فاصله‌ای (مانند x_{obs}) از یک جسم نورانی قرار گیرد، خاموشی نور در مسیر عبور از چشمه تا ناظر در مسیر نوری رخ می‌دهد. در این شرایط کسری از نور که به ناظر می‌رسد با رابطه ۱ بیان می‌شود:

$$\frac{I(x_{obs})}{I_0} = exp\left[-\int_0^{x_{obs}} \beta(x)\, dx\right] \qquad (۱)$$

در این رابطه I_0 مقدار روشنایی جسم است و $I(x_{obs})$ مقدار روشنایی در محل ناظر است. β نیز ضریب خاموشی است که تابعی از فاصله است. ضریب خاموشی در واقع سطح مقطع عرضی ذرات خاموش‌کننده نور در واحد حجم است (Stoelinga and Warner, ۱۹۹۹). مقدار کسر $\frac{I(x_{obs})}{I_0}$ زمانیکه تفاوت بین جسم و پس‌زمینه قابل تشخیص نباشد، به عوامل مختلفی بستگی دارد، اما معمولاً در هواشناسی مقدار تقریبی و ثابت ۰/۰۲ در نظر گرفته می‌شود (Middleton,

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

۱۹۵۲). ارتباط دید و ضریب خاموشی (رابطه کشمایدر) از رابطه (۲) به‌دست می‌آید (Stoelinga and Warner, ۱۹۹۹). در این رابطه ε آستانه تباین و معمولاً برابر ۰/۰۲ است.

$$vis = \frac{-\ln\varepsilon}{\beta} \qquad (۲)$$

- **پارامترسازی SW۹۹**

استولینگا و وارنر در سال ۱۹۹۹ به منظور پیش‌بینی دید افقی، مجموعه‌ای از روابط را پیشنهاد داده‌اند. در این روابط از پیش‌بینی چهار غلظت جرمی شامل آب ابر (مه را نیز شامل می‌شود)، یخ ابر، باران و برف به منظور بدست‌آوردن ضریب خاموشی استفاده شده است. در جدول ۱ مجموعه روابطی که استولینگا و وارنر برای پیش‌بینی ضریب خاموشی استفاده کرده‌اند، خلاصه شده‌است. در این جدول غلظت‌های جرمی بر حسب گرم بر متر مکعب است. ضریب خاموشی در جدول بر حسب km^{-1} است. البته باید به خاطر داشت که غلظت‌های جرمی که به طور معمول در خروجی‌های مدل وجود دارند، بر حسب kg/kg هستند و باید به g/m^3 تبدیل شوند.

جدول ۱: روابط بین غلظت جرمی و ضریب خاموشی (Stoelinga and Warner, ۱۹۹۹).

رابطه	هوا آب
$\beta_{cw} = ۱۴۴/۷ \times c_{cw}^{۰/۸۸}$	آب مایع ابر، مه
$\beta_{rw} = ۱/۱ \times C_{rw}^{۰/۷۵}$	آب باران
$\beta_{ci} = ۱۶۳/۹ \times C_{ci}^{۱/۰۰}$	یخ ابر
$\beta_{sn} = ۱۰/۴ \times C_{sn}^{۰/۷۸}$	برف

در نهایت ضریب خاموشی با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید و سپس در رابطه (۲) قرار داده می‌شود تا میزان دید محاسبه شود:

$$\beta = \beta_{cw} + \beta_{rw} + \beta_{ci} + \beta_{sn} \qquad (۳)$$

- **پارامترسازی AFWA**

AFWA یک مجموعه برنامه در ادامه مدل WRF را در اختیار کاربران قرار داده است. مجموعه AFWA در ابتدا به WRF نسخه ۳.۶ اضافه شده است (Creighton et al., ۲۰۱٤). این مجموعه امکان پیش‌بینی چندین کمیت از جمله دید افقی را برای کاربران فراهم می‌کند. میزان دید توسط برآورد خاموشی نور به وسیله باران، برف و گردوخاک که در مدل WRF پیش‌بینی می‌شوند، محاسبه می‌شود. عملکرد مدل در پیش‌بینی آب ابر و یخ ابر در نزدیکی سطح زمین خیلی مناسب نیست بنابراین یک الگوریتم تجربی بر اساس رطوبت نسبی برای پیش‌بینی مه و غبار اضافه شده است. ضریب خاموشی در زمان رخداد پدیده‌های ناشی از هواآب‌ها با استفاده از رابطه (۴) بدست می‌آید. در این رابطه rw، graup و sn غلظت جرمی باران، گویچه برف و برف و بر حسب g/m^3 هستند. در نهایت دید با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$\beta_{hydro} = ۱/۱ \times (rw + graup)^{۰/۷۵} + ۱۰/۳۶ \times sn^{۰/۷۸} \qquad (۴)$$

$$vis_{hydro}(\text{بر حسب متر}) = \frac{۳/۹۱۲}{\beta_{hydro}} \qquad (۵)$$

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

دید در زمان مه و غبار بر طبق رابطه زیر بدست می‌آید. در این رابطه RH رطوبت نسبی در تراز دو متری، و mix نسبت آمیختگی در تراز دو متری را نشان می‌دهد:

$$vis_{fog}\left(\text{متر}\right) = ۱۵۰۰ \times (۱۰۵ - RH) \times \left(\frac{۵}{mix}\right) \qquad (۶)$$

- **پارامترسازی FSL**

الگوریتم مربوط به دید در این پارامترسازی توسط آزمایشگاه سامانه‌های پیش‌بینی (FSL) در NOAA توسعه پیدا کرده است که مستقیماً با پرواز یا سایر موارد پرخطر هواشناسی در ارتباط هستند (Duran et al., ۱۹۹۹). در این مورد دید با استفاده از رطوبت نسبی و اختلاف بین دما و دمای نقطه شبنم، بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

$$vis_{FSL}\left(\text{متر}\right) = ۱/۶۰۹ \times ۶۰۰۰ \times \frac{(T-T_d)}{RH^{۱/۵}} \qquad (۷)$$

در این رابطه T دما و T_dدمای نقطه شبنم بر حسب درجه سلسیوس و RH رطوبت نسبی بر حسب درصد است. ضریب ۱/۶۰۹ نیز برای تبدیل واحد اندازه‌گیری دید از مایل به متر به کار رفته است.

- **پارامترسازی UPP۱**

پارامترسازی UPP۱ توسط نسخه ۲ .۲ پس‌پردازشگر NCEP با نام UPP۲،۲ استفاده شده است. این الگوریتم درواقع همان الگوریتم SW۹۹ با اصلاحات جزئی در ضرایب ثابت است. روابط مورد استفاده در این الگوریتم بسیار شبیه به SW۹۹ هستند و در جدول ۲ آورده شده است. در نهایت مجموع ضرایب خاموشی بدست آمده در رابطه ۲ قرار می‌گیرند و دید محاسبه می‌شود.

جدول ۲: روابط بین غلظت جرمی و ضریب خاموشی (Stoelinga and Warner, ۱۹۹۹)

رابطه	هوا آب
$\beta_{cw} = ۱۴۴/۷ \times C_{cw}^{۰/۸۸}$	آب مایع ابر، مه
$\beta_{rw} = ۲/۲۴ \times C_{rw}^{۰/۷۵}$	آب باران
$\beta_{ci} = ۳۲۷/۸ \times C_{ci}^{۱/۰۰}$	یخ ابر
$\beta_{sn} = ۱۰/۳۶ \times C_{sn}^{۰/۷۷۷۴}$	برف

- **توصیف مدل**

در این پژوهش برای پیش‌بینی میزان دید از نتایج نسخه ۳.۸.۱ مدل WRF با هسته ARW استفاده می‌شود. این مدل پتانسیل خوبی در پیش‌بینی پدیده‌های میان‌مقیاس دارد (Bang et al., ۲۰۰۹). شرایط مرزی و شرایط اولیه مدل WRF با استفاده از داده‌های FNL بدست آمده است. داده‌هایNCEP FNL داده‌های عملیاتی تمام‌کره‌ای هستند که در شبکه °۱×°۱ و هر ۶ ساعت یک‌بار آماده شده‌اند. برای انجام بررسی، پیکربندی‌های مختلفی در مدل WRF آزمایش شده و در نهایت پیکربندی با مناسب‌ترین نتایج در مورد دما، رطوبت نسبی، دید افقی و دیگر پارامترها انتخاب شده‌است. در جدول ۳ به پارامترسازی‌های فیزیکی مورد استفاده در این پیکربندی اشاره شده است.

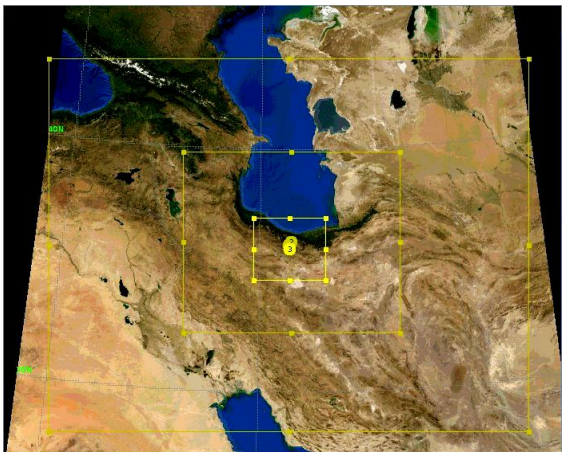
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

جدول ۳: پارامترسازی‌های فیزیکی استفاده شده در پیکربندی منتخب.

پارامترسازی فیزیکی	طرحواره
خردفیزیک	تامپسون جدید (تامپسون و همکاران، ۲۰۰۸)
لایه مرزی	YSU (هنگ و همکاران، ۲۰۰۶)
لایه سطحی	MM۵ (ژانگ و آنتیس، ۱۹۸۲؛ بلجارز، ۱۹۹۴)
سطح زمین	Noah (تواری و همکاران، ۲۰۰۴)
تابش موج بلند	RRTM (ملاور و همکاران، ۱۹۹۷)
تابش موج کوتاه	Dudhia (دودهیا، ۱۹۸۹)
همرفت کومه‌ای	BMJ (جانجیک، ۱۹۹۳)

در این شبیه‌سازی سه حوزه محاسباتی تو در تو با تفکیک افقی ۲۷، ۹ و ۳ کیلومتر (شکل۱) در نظر گرفته شده‌است. برای سه حوزه به ترتیب ۸۳، ۱۱۲و ۱۱۲ نقطه شبکه در راستای مداری و ۶۵ ، ۹۴ و ۹۷ نقطه شبکه در راستای نصف‌النهاری در نظر گرفته شده‌است. مرکز هر سه حوزه تقریباً به مرکزیت شهر تهران، در طول جغرافیایی ۵۱/۴۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶/۰۵ درجه شمالی قرار دارد. در شبیه‌سازی‌ها ۴۰ تراز قائم در هر سه حوزه تا تراز ۱۰۰hPa به‌کار گرفته شده‌است. از خروجی‌های درونی‌ترین حوزه به منظور ارزیابی میزان دید افقی استفاده می‌شود. شبیه‌سازی‌ها در طول ۳۶ ساعت انجام شده است که ۱۲ ساعت ابتدایی به عنوان زمان spin up در نظر گرفته شده که در نتایج منظور نشده‌است.



شکل ۱: حوزه شبیه‌سازی مدل.

شرح وتفسیر نتایج

از آنجا که بیشترین میزان دید در گزارش‌های همدیدی معمولاً برابر با ۱۰ کیلومتر ثبت می‌شود، دید بدست‌آمده از خروجی‌های مدل نیز برای مقادیر بیش از ۱۰ کیلومتر، همان ۱۰ کیلومتر در نظر گرفته شده‌است. از سوی دیگر پیش-بینی کاهش میزان دید عمدتاً برای دیدهای کمتر از ۱۰ کیلومتر اهمیت بیشتری دارد.

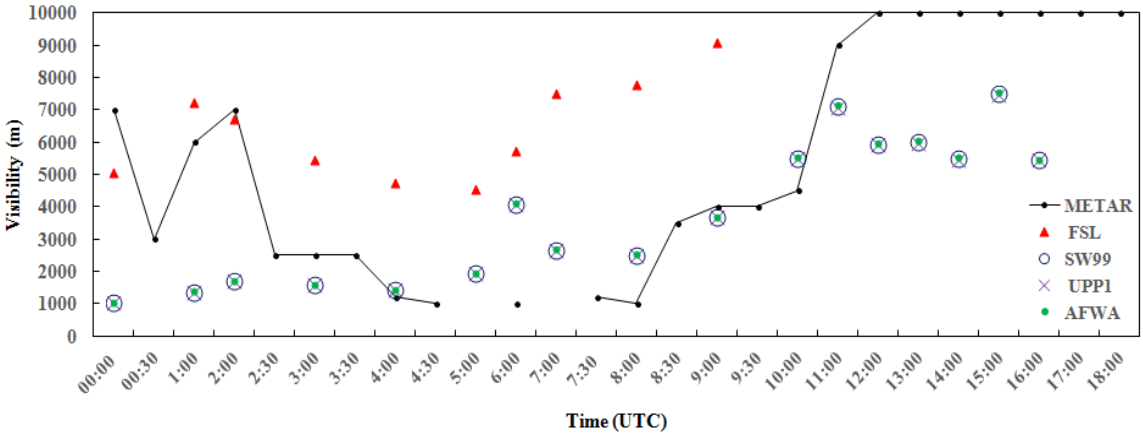
مطالعه موردی اول، مربوط به روز ۷ مارس ۲۰۱۳ است که میزان دید افقی به دلیل بارش برف کاهش یافته‌است. شکل ۲ مقادیر دید پیش‌بینی شده با کاربست چهار روش پارامترسازی به‌همراه مقادیر دید مشاهداتی برای ایستگاه فرودگاه امام خمینی تهران را نشادن می‌دهد. همانطورکه در شکل مشاهده می‌شود، نتایج پیش‌بینی میزان دید با استفاده از سه روش SW۹۹،UPP۱ و AFWA بسیار به هم نزدیک هستند؛ زیرا در هر سه روش، ضریب خاموشی بر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

اساس مقادیر مربوط به غلظت‌های جرمی (رابطه ۳ و رابطه ۴) محاسبه می‌شود. بنابراین میزان دید که بر اساس ضریب خاموشی تخمین می‌شود، مقادیر نزدیک به‌هم دارد. در بیشتر ساعات روز، دید توسط این روش‌ها کمتر از مقادیر دیدبانی تخمین شده‌است. در برخی ساعت‌ها مانند ۳:۰۰، ۴:۰۰، ۹:۰۰ و ۱۰:۰۰ هر سه روش پیش‌بینی‌های نسبتاً مناسبی ارائه کرده‌اند. به طور متوسط در هر سه روش، دید پیش‌بینی شده نسبت به دیدبانی مقدار کمتری دارد، که البته در بازه زمانی ساعت ۴:۳۰ تا ۸:۰۰ UTC تا حدودی با فراتخمین همراه است. با توجه به وجود گپ در داده‌های مشاهداتی در این بازه زمانی، به این مساله نمی‌توان با قطعیت اشاره کرد. دلیل احتمالی فراتخمین میزان دید در ساعات ابتدایی صبح، عدم شبیه سازی غبار صبحگاهی توسط مدل است که همراه با پدیده کاهنده دید منجر به کاهش بیشتر میزان دید مشاهداتی نسبت به مقادیر پیش‌بینی می‌شود.

روش FSL نسبت به روش‌های دیگر مخصوصاً در دیدهای کم با دیدبانی‌ها اختلاف زیادی دارد، اما در نشان دادن روند کلی کاهش دید موفق‌تر است. کمینه دید پیش‌بینی شده توسط روش FSL ۴۵۰۰ متر است که در ساعت ۵:۰۰ اتفاق افتاده و تقریباً در محدوده زمانی است که کمینه دید دیدبانی‌ها رخ داده است. همانطور که در بخش روش کار اشاره شد، برای محاسبه میزان دید با استفاده از روش FSL از میزان رطوبت نسبی و اختلاف دما و دمای نقطه شبنم استفاده می‌شود (رابطه ۷)؛ اگر در رابطه۷، میزان رطوبت نسبی برابر با ۱۰۰ درصد و اختلاف دما و دمای نقطه شبنم ۱ درجه در نظر گرفته شود، دید حدود ۳۰۰۰ متر بدست می‌آید که بیانگر وجود خطای ذاتی در رابطه است که در بیشتر ساعات روز منجر به فراتخمین میزان دید توسط این روش می‌شود. این مسئله نشان می‌دهد برای تعیین دید با استفاده از این روش به انجام پس‌پردازش‌هایی بر روی داده‌ها نیاز است.

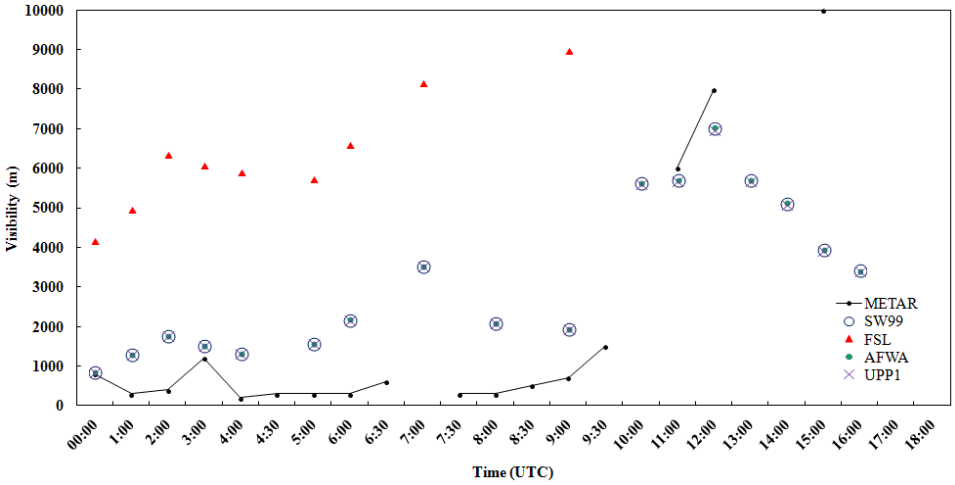


شکل ۲: مقایسه دید شبیه‌سازی شده توسط همه روش‌ها با مقادیر مشاهداتی در فرودگاه امام خمینی برای روز هفتم مارس ۲۰۱۳.

نتایج مربوط پیش‌بینی دید در فرودگاه مهرآباد (شکل ۳) نشان می‌دهد که به طور کلی تا پیش از ساعت ۱۰ صبح که پدیده غالب در این ایستگاه بارش برف بوده‌است، دید پیش بینی‌شده توسط تمامی روش‌ها از دیدبانی‌ها بیش‌تر است. تفاوت میزان دید تخمین شده با روش FSL بیش از مقادیر تخمین شده توسط سه روش SW۹۹، UPP۱ و AFWA است؛ به‌طوریکه پارامترسازی FSL دیدها را در تمام ساعات روز بیش از ۴۰۰۰ متر پیش‌بینی کرده است که نقش خطای ذاتی در رابطه، که پیش‌تر به آن اشاره شد، را نشان می‌دهد. عدم وجود داده‌های دیدبانی با کیفیت مناسب در این ایستگاه مانع از بررسی دقیق میزان دید پس از توقف بارش می‌باشد؛ با این‌وجود بر اساس داده‌های

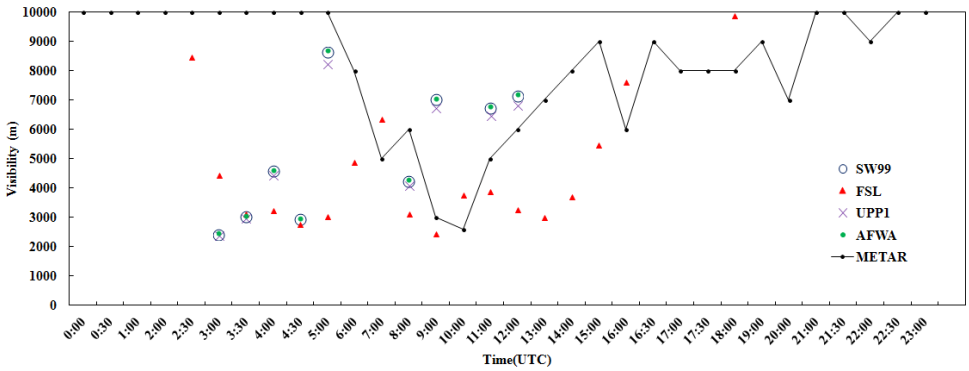
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

موجود به‌نظر می‌رسد بعد از توقف بارش برف در حدود ساعت UTC۱۱، شبیه‌سازی دید توسط سه روش SW۹۹، UPP۱ و AFWA بهبود دید را نشان نمی‌دهد، در حالیکه دید پیش‌بینی شده توسط روشFSL به سرعت پس از اتمام بارش، افزایش یافته است.



شکل ۳: مانند شکل ۲ ولی در فرودگاه مهرآباد تهران.

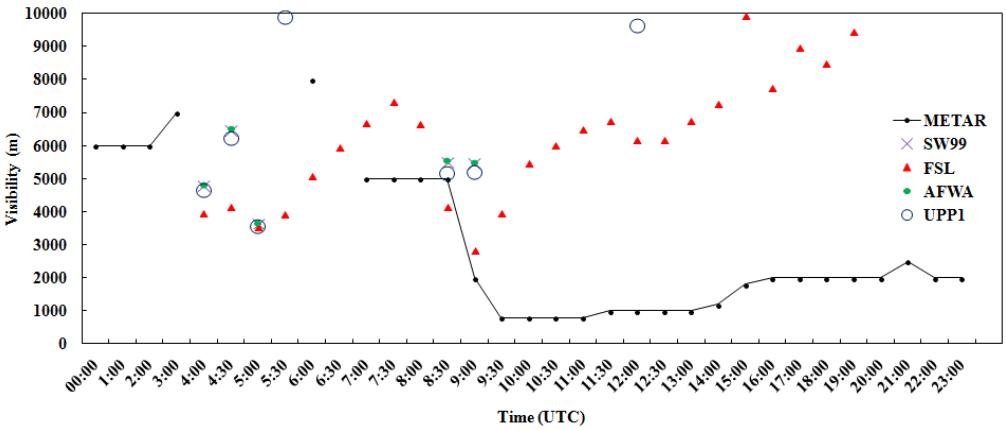
در مطالعه موردی دوم در روز ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴ پدیده مه به عنوان پدیده غالب در نظر گرفته شده است. در شکل ۴ دید بدست آمده از همه روش‌های مورد بررسی در ایستگاه فرودگاه امام خمینی تهران با هم مقایسه شده‌اند. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، در همه روش‌ها کاهش دید زودتر از مشاهدات رخ داده است. در این مورد نیز مشابه مورد قبلی نتایج پیش‌بینی میزان دید با استفاده از سه روش SW۹۹، UPP۱ و AFWA به هم نزدیک هستند. به طور کلی با کاربست این سه روش کاهش دید نشان داده می‌شود، اما زمان شروع و پایان آن زودتر تخمین می‌شود. کمینه دید توسط روش FSL ۲۴۶۰ متر و در ساعت ۹:۰۰ تخمین شده‌است که بسیار نزدیک به زمانی است که کمینه دید در دیدبانی نیز رخ داده است. مشاهده می‌شود که به‌ویژه در زمان رخداد کاهش دید، پیش‌بینی دید FSL نسبت به روش‌های دیگر از دقت بهتری برخوردار است و مدت زمان کاهش دید و مقادیر دید به دیدبانی‌ها نزدیک‌تر است. در روش FSL طول زمان کاهش دید طولانی‌تر از سایر موارد است. به علاوه FSL در بسیاری از موارد دید را کمتر از دیدبانی‌ها نشان می‌دهد، درحالی‌که در روش‌های دیگر مقدار دید بیشتر از دیدبانی‌ها است.



شکل ۴: مانند شکل ۲ ولی برای روز یازدهم ژانویه ۲۰۱۴.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

در شکل ۵ دید بدست آمده با استفاده از تمام روش‌ها در مورد ایستگاه فرودگاه مهرآباد تهران نشان داده شده‌است. روش UPP۱ در بسیاری از ساعت‌ها بر خلاف واقعیت عمل کرده و کاهش دید را نشان نمی‌دهد و نسبت به پیش‌بینی دید در شرایط مه همراه با بارش در ایستگاه امام خمینی از دقت کمتری برخوردار است. این مسئله در مورد روش‌های SW۹۹ و AFWA نیز تکرار شده است. البته بر اساس شکل، پیش‌بینی نسبتاً مناسبی در برخی ساعت‌ها وجود دارد (برای نمونه در ساعت ۸:۳۰ و ۹:۰۰) که می‌تواند به رگبار برف مربوط باشد به این معنی که مدل کاهش دید را در هنگام مه همراه با بارش برف به خوبی پیش‌بینی کرده است. چراکه مدل بارش تجمعی در کل روز را برابر با mm ۲/۲۱ و تجمع یخ و برف را mm ۱/۲۸ پیش‌بینی کرده است. مدل بین ساعت‌های ۸:۰۰ تا ۹:۰۰ مقدار بارش تجمعی را mm ۰/۴۹ پیش‌بینی کرده که برابر ۲۲ درصد بارش تجمعی در کل روز است. همچنین تجمع یخ و برف mm ۰/۲۲ پیش‌بینی شده‌است که برابر ۱۷ درصد تجمع برف و یخ در کل روز است. به علاوه مدل ۹۴ درصد بارش تجمعی را تا قبل از ساعت ۱۲ پیش‌بینی کرده است که با توجه به گزارش‌های متار و همدیدی نیز بعد از ساعت ۱۲:۰۰ در ایستگاه مهرآباد بارشی وجود نداشته است. میزان بارش تجمعی واقعی در ایستگاه مهرآباد در این روز برابر mm ۵/۳۸ است و نشان می‌دهد مدل مقدار بارش تجمعی را کمتر از واقعیت نشان داده، اما زمان بارش را تقریباً درست پیش‌بینی کرده است. به‌طور کلی دید پیش بینی شده توسط روش FSL نسبت به روش‌های دیگر پیش‌بینی بهتری ارائه می‌کند. نتایج این روش کاهش دید در بسیاری از ساعت‌ها را نشان می‌دهد. کاهش دید تخمین شده با استفاده از این روش از ساعت ۴:۰۰ صبح آغاز شده و تا حدود ساعت ۱۹:۰۰ ادامه یافته است. بر اساس شکل، در تمام روش‌ها به جز روش FSL، کاهش دید به صورت جزئی رخ داده است، بنابراین به نظر می‌رسد در شرایط رخداد مه، روش FSL کاهش دید را نسبت به دیگر روش‌ها بهتر نشان می‌دهد. روش FSL میزان دید را به‌ویژه در ساعت‌های پایان روز، بیشتر از مقدار دیدبانی‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۵: مانند شکل ۳ ولی برای روز یازدهم ژانویه ۲۰۱۴.

- **بررسی خطای پیش‌بینی دید**

برای بررسی دقیق‌تر علل وجود خطا در پیش‌بینی دید، مقادیر میانگین قدر مطلق خطای نسبی (نسبت خطای مطلق به مقدار واقعی)، اریبی (میانگین اختلاف بین مشاهدات و پیش‌بینی) و میانگین خطای جذر میانگین مربعات (Wilks, ۲۰۱۱) برای هر دو ایستگاه مورد مطالعه در جدول ۴ خلاصه شده‌است. علیرغم اینکه سه روش SW۹۹، UPP۱ و AFWA پیش‌بینی‌های قابل قبولی در ساعات اولیه روز داشتند، ولی در اواسط روز که دید مشاهداتی بهبود یافته‌است،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

هر سه روش مقادیر دید را با خطا نشان می‌دهند و بهبود نیافته است، از این رو در متوسط خطا، که برای کل روز محاسبه شده‌است، این مقادیربا خطای قابل توجهی همراه هستند. در فرودگاه امام خمینی با وجود بیشتر بودن خطای نسبی در روش FSL ، کمترین مقدار اریبی را دارد که نشان می‌دهد FSL نسبت به سایر روش‌ها، روند کاهش دید را در این ایستگاه تا حدودی نزدیکتر به دیدبانی‌ها پیش‌بینی می‌کند. همانطور که در بخش پیش اشاره شد، به‌نظر می‌رسد برای تعیین دقیق میزان دید با استفاده از این روش به انجام پس‌پردازش‌هایی بر روی داده‌ها نیاز است. در ایستگاه مهرآباد تهران، کمترین RSME با اختلاف کمی مربوط به AFWA و بیشترین آن با اختلاف زیاد مجدداً مربوط به روش FSL است. از آنجا که در روش FSL دید بسیار زودتر بهبود یافته است در نتیجه در جدول نیز دیده می‌شود که نتایج ضعیف‌تری برای روش FSL بدست آمده است.

جدول ۴: اریبی، قدر مطلق خطای نسبی و RMSE روش‌های پیش‌بینی دید در فرودگاه امام خمینی و مهرآباد برای روز ۷ مارس ۲۰۱۳.

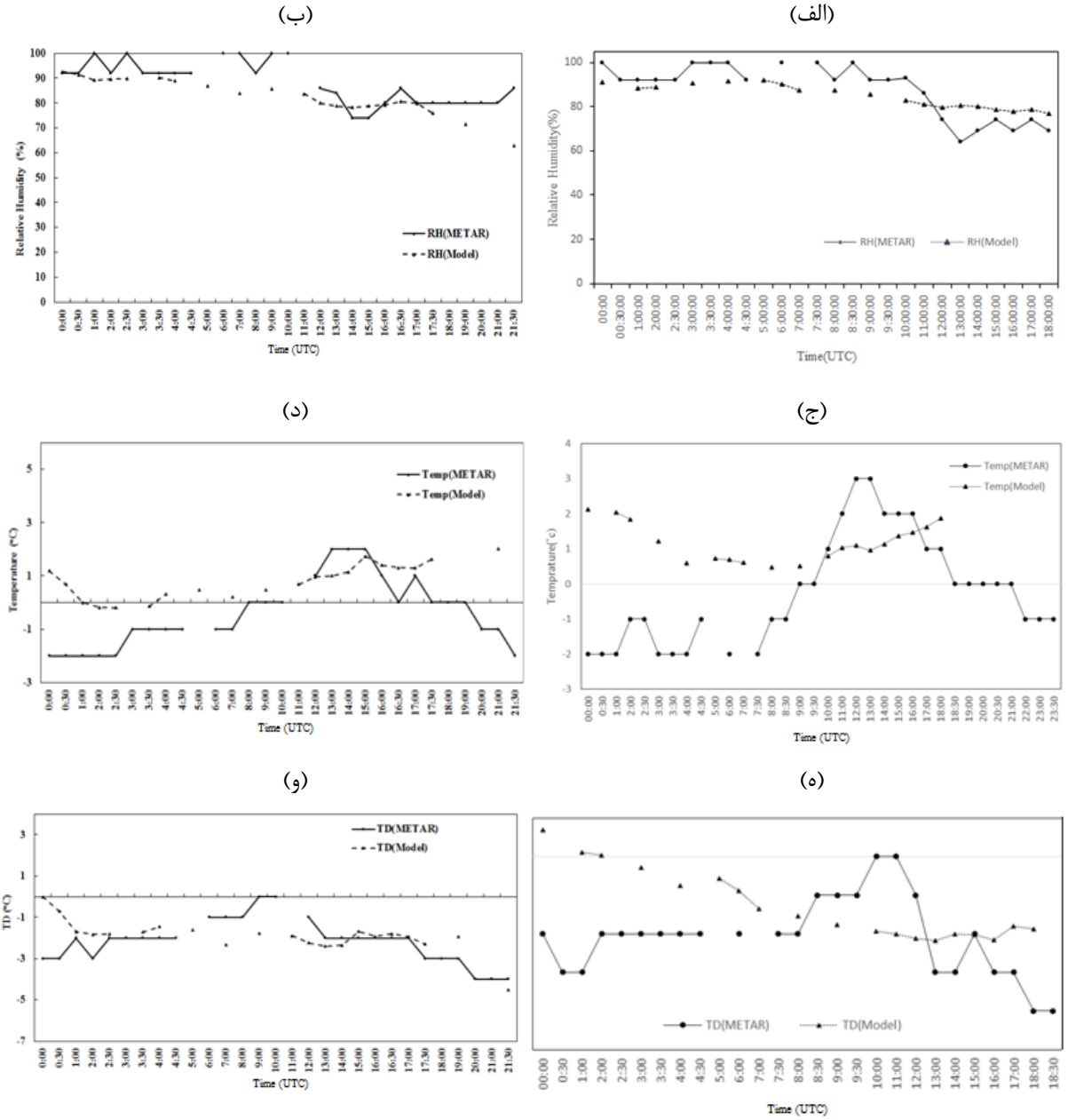
	RMSE فرودگاه امام	RMSE فرودگاه مهرآباد	قدر مطلق خطای نسبی فرودگاه امام	قدر مطلق خطای نسبی فرودگاه مهرآباد	اریبی فرودگاه امام	اریبی فرودگاه مهرآباد
UPP[۱]	۲۸۷۲	۲۰۸۴	۰/۴۵	۲/۶۴	-۱۴۸۳m	۲۱۹m
AFWA	۲۸۵۸	۲۰۷۷	۰/۴۵	۲/۶۵	-۱۴۶۴m	۲۳۴m
SW۹۹	۲۸۶۳	۲۰۷۹	۰/۴۵	۲/۶۴	-۱۴۷۲m	۲۲۶m
FSL	۲۸۶۳	۵۶۱۵	۰/۸۵	۱۲/۶۴	۱۳۰۸m	۵۰۳۵m

برای بررسی علل وجود خطا در پیش‌بینی دید هنگام رخداد پدیده برف می‌توان به موارد مختلفی اشاره کرد. در پیش‌بینی دید در زمان برف، باد نزدیک سطح نقش مهمی ایفا می‌کند. اگر در زمان بارش برف باد شدید بوزد، می‌تواند برف را از سطح زمین بلند کند (کولاک برف) یا برف را به جای دیگر منتقل کند و به این ترتیب در میزان دید تاثیر مستقیم دارد. از این‌رو می‌توان برای تندی باد یک حد آستانه در نظر گرفت که اگر سرعت باد از آن مقدار کمتر باشد، فرایند بلند شدن برف رخ نمی‌دهد و بنابراین بر کیفیت پیش‌بینی دید تاثیر نمی‌گذارد (Stoelinga and Warner, ۱۹۹۹). در الگوریتم‌های مورد استفاده سرعت باد و فرایندهای ناشی از آن در نظر گرفته نشده‌اند و محاسبات مربوط به آستانه بلند شدن برف نیز خارج از محدوده پژوهش مورد نظر است، در نتیجه وزش باد ممکن است تغییراتی در دید ایجاد کرده باشد که محاسبه نشده است.

همانطور که در بخش روش کار اشاره شد، برای محاسبه میزان دید با استفاده از روش FSL از میزان رطوبت نسبی و اختلاف دما و دمای نقطه شبنم، بر اساس رابطه ۷ استفاده می‌شود. بنابراین از جمله عوامل دیگر خطا در پیش‌بینی میزان دید را می‌توان در وجود خطا در پیش‌بینی رطوبت نسبی و دما جست‌وجو کرد. برای بررسی نقش این عوامل در ایجاد خطا، مقادیر شبیه‌سازی شده رطوبت نسبی، دما در تراز دومتر و دمای نقطه شبنم توسط مدل با مقادیر دیدبانی در فرودگاه امام خمینی و مهرآباد به ترتیب در شکل ۶ مقایسه شده‌است. پیش‌بینی دما به ویژه در ساعت‌های ابتدایی روز مطلوب نیست، بطوریکه روند تغییرات دما با مقادیر واقعی هماهنگی ندارد. از دلایل احتمالی عدم توانایی مدل در شبیه‌سازی دقیق دما می‌توان به این موضوع اشاره کرد که در نزدیکی زمین ممکن است عوارض زمین‌شناختی متفاوتی وجود داشته باشد. مثلاً جنس سطح زمین ممکن است آسفالت، خاک و غیره باشد و در فاصله چند متر تغییر کند. این تغییرات باعث می‌شود که دما در سطح زمین متفاوت شود که موجب دشواری پیش‌بینی آن برای مدل می‌شود. در فرودگاه امام خمینی در بیشتر موارد خطا در پیش‌بینی دما نسبت به فرودگاه مهرآباد نسبتاً کمتر است و این موضوع

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

در مورد دمای نقطه شبنم نیز صادق است. این مساله می‌تواند بیان‌گر دلیل عملکرد ضعیف‌تر روش FSL در پیش‌بینی دید در فرودگاه مهرآباد باشد. در هر دو ایستگاه، خطای شبیه‌سازی دما و دمای نقطه شبنم در ابتدای روز بیشتر است و در اواسط روز کاهش می‌یابد.



شکل ۶: مقایسه رطوبت نسبی(الف، ب) ، دما(ج ، د) و دمای نقطه شبنم (ه، و) خروجی مدل (خط چین) و گزارش متار (خط پیوسته) در فرودگاه امام خمینی (ستون سمت چپ) و مهرآباد (ستون سمت راست) تهران برای روز هفتم مارس ۲۰۱۳.

میانگین قدر مطلق خطای نسبی و میانگین خطای جذر میانگین مربعات و اریبی برای هر چهار روش پیش‌بینی دید، در مطالعه موردی دوم در ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴ در هر دو فرودگاه در جدول ۵ نشان داده شده‌است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، پیش‌بینی دید در فرودگاه مهرآباد نسبت به فرودگاه امام خمینی به مراتب از دقت کمتری برخوردار هستند. بر اساس جدول، در فرودگاه امام خمینی، روش UPP۱ و روش SW۹۹ به ترتیب دارای کمترین و بیشترین

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

مقدار RMSE در مقایسه با بقیه روش‌ها هستند. در مورد اریبی، به جز روش FSL در فرودگاه امام خمینی تمام روش‌ها اریبی مثبت دارند و دید را بیش از واقعیت پیش‌بینی کرده‌اند. کمترین خطای نسبی در هر دو ایستگاه مربوط به روش FSL است. در فرودگاه امام خمینی، کم بودن خطای نسبی همراه با اریبی بزرگ و منفی، احتمالاً به این دلیل است که در روش FSL کاهش دید بسیار زودتر از مشاهدات شروع شده است و FSL در پیش‌بینی دیدهای با مقادیر بین ۵۰۰۰ تا ۸۰۰۰ متر موفق نبوده است. در فرودگاه مهرآباد، در هر سه مورد RMSE، خطای نسبی و اریبی می‌توان مشاهده کرد که پیش‌بینی به روش FSL نتایج بهتری دارد. سه روش دیگر تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و همگی خطاهای نسبتاً بزرگی دارند. تمامی این روش‌ها اریبی مثبت و بزرگ دارند که نشان می‌دهد در تمام روش‌ها دید بیشتر از واقعیت پیش‌بینی شده‌است. بنابراین، به‌نظر می‌رسد روش FSL می‌تواند برای پیش‌بینی دید در زمان مه با انجام پس‌پردازش‌های مناسب مفید باشد.

جدول ۵: مانند جدول ۴ ولی برای روز ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴.

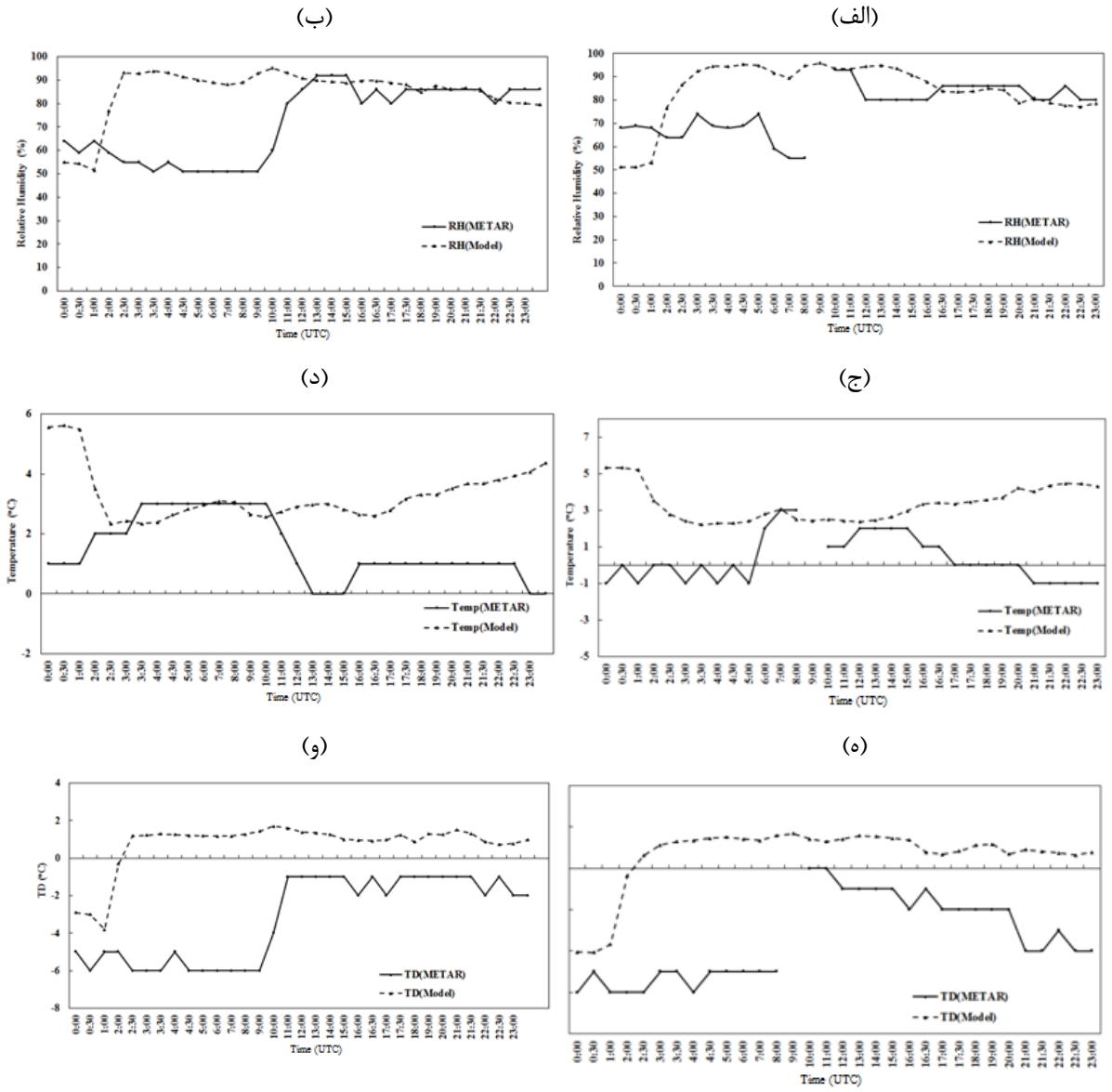
	RMSE فرودگاه امام	RMSE فرودگاه مهرآباد	قدر مطلق خطای نسبی فرودگاه امام	قدر مطلق خطای نسبی فرودگاه مهرآباد	اریبی فرودگاه امام	اریبی فرودگاه مهرآباد
UPP[۱]	۳۰۵۷	۷۲۱۵	۰/۳۵	۴/۷۲	۵۸۳m	۶۷۴۰m
AFWA	۳۲۹۱	۷۲۲۱	۰/۳۷	۴/۷۲	۴۲۴m	۶۷۶۲m
SW[۹۹]	۳۲۹۳	۷۲۲۰	۰/۳۷	۴/۷۲	۴۱۸m	۶۷۶۱m
FSL	۳۲۰۵	۵۴۲۶	۰/۲۸	۳/۱	-۱۲۷۶m	۴۶۸۸m

از آنجا که در تمام روش‌های مورد بررسی خطا وجود دارد، برای بررسی علت خطا پیش‌بینی‌های مربوط به دما و رطوبت نیز بررسی شده‌است. در شکل ۷الف و ۷ب رطوبت نسبی پیش‌بینی شده در تراز دو متر در هر دو ایستگاه با گزارش‌های متار مقایسه شده‌است. در شکل ۷الف در ساعت‌های ابتدایی بین ۰:۰۰ تا ۲:۰۰ رطوبت نسبی کمتر از دیدبانی‌ها و در ساعت‌های صبح تا ظهر رطوبت بیشتر از دیدبانی‌ها پیش‌بینی شده است. بطور کلی و در بیشتر ساعت‌ها مدل رطوبت نسبی را بیشتر از واقعیت نشان می‌دهد، به طوری‌که اریبی رطوبت نسبی از ساعت ۰:۰۰ تا ۲۳:۰۰ روز ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴ برابر ۱۰/۵۶ درصد است (در شکل نشان داده نشده‌است) که به وضوح فرابرآورد در پیش‌بینی رطوبت نسبی را نشان می‌دهد. پیش‌بینی رطوبت نسبی و دید در تمام موارد در روز ۷ مارس بهتر است. بر اساس شکل ۷ب، در این مورد نیز هرچه به ساعت‌های پایانی روز نزدیک‌تر می‌شویم، پیش‌بینی رطوبت نسبی به مقدار واقعی نزدیکتر می‌شود. پیش‌بینی رطوبت و اختلاف آن با دیدبانی‌ها در مورد فرودگاه مهرآباد و امام خمینی در زمان مه بسیار به یکدیگر شبیه است. در هر دو مورد در بیشتر ساعت‌ها مدل رطوبت نسبی را بیشتر از واقعیت نشان می‌دهد.

شکل ۷ج و ۷د مقایسه دمای تراز دو متر پیش‌بینی شده و دیدبانی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، پیش‌بینی دما به ویژه در ساعت‌های اولیه و همچنین در ساعت‌های پایانی روز مطلوب نیست. در پیش‌بینی‌های دما در هر دو ایستگاه اریبی گرم وجود دارد که احتمالاً وجود اریبی گرم در پیش‌بینی دما به وجود عوارض متنوع در سطح زمین و دشواری پیش‌بینی آن برای مدل مربوط است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]



شکل ۷: مانند شکل ۶ ولی برای روز ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴.

مقایسه دمای نقطه شبنم در دیدبانی‌ها و خروجی مدل درشکل ۷ه و ۷ز نشان داده شده‌است. در پیش‌بینی دمای نقطه شبنم نیز مانند دما، اریبی گرم مشاهده می‌شود. از آنجا که اریبی گرم هم در دما و هم در دمای نقطه شبنم وجود دارد و در رابطه FSL از اختلاف دما و رطوبت نسبی استفاده شده است، به نظر می‌رسد اریبی رطوبت باعث تفاوت میان پیش‌بینی دید از روش FSL با استفاده از خروجی مدل با داده‌های دیدبانی است. به طور کل بررسی نتایج نشان می‌دهد که در شرایط رخداد پدیده مه نسبت به شرایط مه همراه با بارش، پیش‌بینی دید با استفاده از روش‌های SW۹۹، AFWA، UPP۱ از خروجی‌های مدل WRF، نمی‌تواند به خوبی روند کاهش دید را نشان دهد. اما روش FSL نسبت به بقیه روش‌ها تا حدی مناسب است. بر اساس نتایج، وجود خطا در نتایج دید از روش FSL می‌تواند ناشی از فرابرآورد در پیش‌بینی رطوبت توسط مدل باشد. به طور کل پیش‌بینی رطوبت در زمان بارش برف نسبت به زمان مه به واقعیت نزدیک‌تر است. اریبی دما و دمای نقطه شبنم در تاریخ ۷ مارس کمتر است. همین موضوع می‌تواند وجود

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

پیش‌بینی های بهتر دید در فرودگاه امام خمینی در تاریخ هفتم مارس ۲۰۱۳ نسبت به یازدهم ژانویه ۲۰۱۴ را توجیه کند.

بنابراین در جمع‌بندی کلی خطاهای مدل در پیش‌بینی دید را می‌توان به چند دسته تقسیم‌بندی کرد: دسته اول خطاهای مربوط به پارامترسازی‌ها هستند. پارامترسازی‌هایی که برای پیش‌بینی دید مورد استفاده قرار می‌گیرند، اکثراً به صورت تجربی به دست آمده‌اند بنابراین ضرایب مورد استفاده در این پارامترسازی‌ها در نقاط دیگر دنیا به‌دست آمده‌اند. به عنوان مثال ضرایب روش SW۹۹ در کشور آمریکا بدست آمده است و با توجه به اینکه ایران عوارض و ساختار زمین و جغرافیای متفاوتی دارد، بنابراین ممکن است برای بدست آوردن نتایج بهتر به تغییراتی در پارامترسازی نیاز باشد. علاوه بر این همان‌طور که ذکر شد برخی عوامل موثر در دید افقی مانند سرعت باد در این پارامترسازی‌ها وجود ندارند و این مسئله می‌تواند خطای پیش‌بینی را بیشتر کند. دسته دوم خطاها مربوط به شرایط اولیه هستند در این پژوهش از داده‌های FNL به عنوان ورودی مدل استفاده شده است. هرچند به نظر می‌رسد خطاهای ناشی از شرایط اولیه نسبت به موارد دیگر نقش کمرنگ‌تری در پیش‌بینی ایفا می‌کنند، اما همچنان به عنوان یکی از چشمه‌های خطا در نظر گرفته‌شده‌اند. دسته سوم از خطاها به پیش‌بینی کمیت‌های ورودی هر روش از مدل مربوط است. این دسته از خطاها اهمیت زیادی دارند. در ابتدا در این پژوهش چند پیکربندی برای مدل مورد بررسی قرار گرفته است و مناسب‌ترین آنها استفاده شده‌است. طبق نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد در پیش‌بینی مربوط به دما و دما نقطه شبنم فرابرآورد وجود دارد. اما خطای اصلی مربوط به پیش‌بینی رطوبت نسبی است. خطای رطوبت نسبی در بسیاری از موارد مثبت است و فقط در یک مورد (۷ مارس ۲۰۱۳ فرودگاه مهرآباد) مقدار منفی و کوچکی دارد. وجود فرابرآورد در دما می‌تواند فروبرآورد در پیش‌بینی رطوبت نسبی ایجاد کند بنابراین به نظر می‌رسد وجود خطای مثبت در رطوبت نسبی ناشی از خطا در پیش‌بینی نسبت اختلاط بخار آب باشد. یعنی در پیش‌بینی میزان بخار آب موجود در جوّ فرابرآورد وجود داشته باشد که نهایتاً منجر به ایجاد خطا در پیش‌بینی دید شود که کمیت وابسته به آن است.

نتیجه گیری

دو مطالعه موردی در روزهایی با کاهش دید افقی به دلیل وجود مه یا بارش انجام شده‌است. پدیده غالب در مورد اول رخداد بارش برف و مورد دوم پدیده مه است. در هر دو مورد میزان دید در ساعت‌هایی به کمتر از ۲۰۰۰ متر رسیده است. با اجرای مدل در روزهای مورد نظر، با استفاده از پیکربندی مناسب، از خروجی‌های مدل برای پیش‌بینی دید افقی استفاده شده است. برای بررسی عملکرد مدل از چهار روش SW۹۹، UPP۱، AFWA و FSL برای پیش بینی دید افقی استفاده شده است. بر اساس نتایج، روش‌ها توانسته‌اند کاهش دید را پیش‌بینی کنند. با اینکه روند کاهش دید تقریباً پیش‌بینی شده است، اما مدل در پیش‌بینی مقدار دید دقیق نیست. پیش‌بینی دید در زمان برف نسبت به پدیده مه دقیق‌تر به نظر می‌رسد. با توجه به اینکه روز برفی منتخب یکی از روزهایی است که دید در آن کاهش زیادی داشته و به علاوه سرعت باد در این روز خیلی زیاد نبوده، مقادیر پیش‌بینی شده به دیدبانی‌ها نزدیکتر است. این مسئله می‌تواند در نتیجه این موضوع باشد که رطوبت نسبی‌های پیش‌بینی شده توسط مدل نیز در زمان پدیده برف به مقادیر دیدبانی نزدیکتر است و خطای کمتری دارد. بنابراین به نظر می‌رسد با انجام پس‌پردازش‌های مورد نظر برای دید FSL می‌توان نتایج بهتری به‌دست آورد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

در جمع‌بندی کلی خطاهای مدل در پیش‌بینی دید دسته اول خطاهای مربوط به پارامترسازی‌ها، دسته دوم مربوط به شرایط اولیه و دسته سوم ناشی از خطا در پیش‌بینی کمیت‌های ورودی هر روش است. که مورد آخر اهمیت زیادی دارد. طبق نتایج مطالعه حاضر در پیش‌بینی مربوط به دما و دما نقطه شبنم فرابرآورد وجود دارد. اما خطای اصلی مربوط به پیش‌بینی رطوبت نسبی است که در بسیاری از موارد قابل ملاحظه است. بنابراین به نظر می‌رسد وجود خطای مثبت در رطوبت نسبی ناشی از خطا در پیش‌بینی نسبت اختلاط بخار آب باشد. یعنی در پیش‌بینی میزان بخار آب موجود در جوّ فرابرآورد وجود داشته باشد که نهایتاً منجر به ایجاد خطا در پیش‌بینی دید شود که کمیت وابسته به آن است.

منابع

اشرفی، خ.، ۱۳۸۳. پیش‌بینی عددی وضع هوا و بهینه‌سازی خروجی آن به روش MOS . پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. دانشکده فنی. گروه مهندسی مکانیک.

خضریان نژاد، ن.، حجام، س.،میرزایی، ا.، و مشکواتی، ا.ح.، ۱۳۹۲. پیش‌بینی رواناب حوضه آبریز تیره با استفاده از پیش‌بینی کمی بارش خروجی مدل WRF، پژوهش‌های اقلیم شناسی، **۱۲**: ۶۳-۷۵.

Aman, N., Manomaiphiboon, K., Pengchai, P., Suwanathada, P., Srichawana, J. and Assareh, N., ۲۰۱۹. Long-Term Observed Visibility in Eastern Thailand: Temporal Variation, Association with Air Pollutants and Meteorological Factors, and Trends. *Atmosphere*, **۱۰(۳)**, ۱۲۲-۱٤٦.

Bang, C.; Lee, J.W., and Hong, S.Y. ۲۰۰۹. Predictability experiments of fog and visibilityin local airports over Korea using the WRF model. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* , **۲٤**: ۹۲-۱۰۱.

Bergot, T., Carrer, D., Noilhan, J., and Bougealt, F., ۲۰۰٥. Improved Site-Specific numerical prediction of fog and low clouds: a feasibility study. *Weather Forecasting*, **۲۰**, ٦۲۷-٦٤٦.

Benjamin, S.G., Dévényi, D., Weygandt, S.S., Brundage, K.J., Brown, J.M., Grell, G.A., Kim, D., Schwartz, B.E., Smirnova, T.G., Smith, T.L. and Manikin, G.S., ۲۰۰٤. An hourly assimilation–forecast cycle: The RUC. *Monthly Weather Review*, **۱۳۲(۲),**٤۹٥-٥۱۸.

Boudala, F.S. and Isaac, G.A., ۲۰۰۹. Parameterization of visibility in snow: Application in numerical weather prediction models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **۱۱٤**(D۱۹).

Clark, P.A., Harcourt, S.A., Macpherson, B., Mathison, C.T., Cusack, S., and Naylor, M., ۲۰۰۸. Prediction of visibility and aerosol within the operational Met Office Unified Model. I:Model formulation and variational assimilation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **۱۳٤**, ۱۸۰۱-۱۸۱٦.

Chung, Y.S., Kim, H.S. and Yoon, M.B., ۱۹۹۹. Observations of visibility and chemical compositions related to fog, mist and haze in south Korea. *Water, Air, and Soil Pollution*, **۱۱۱**,۱۳۹-۱٥۷.

Creighton, G., Kuchera, E., Adams-Selin, R., McCormick, J., Rentschler, S., and Wickard, B., ۲۰۱٤. AFWA Diagnostics in WRF.

Doran, J.A., Roohr, P.J., Beberwyk, D.J., Brooks, G.R., Gayno G.A., Williams, R.T., Lewis, J.M., and Lefevre, R.J. ۱۹۹۹. The MM٥ at the AFWeather Agency-new products to support military operations. Preprints *eighth conf. on Aviation, Range, Aerospace meteorology*, Dallas, TX, Amer. Meteor. Soc., ۱۱٥-۱۱۹.

Glickman, T., ۲۰۰۰. Glossary of Meteorology. ۲nd ed. *American Meteorological Society*, ۸٥٥ pp.

Gultepe, I., and Milbrandt, J.A. ۲۰۱۰. Probabilistic parameterizations of visibility using observations of rain precipitation rate, relative humidity, and visibility. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **٤۹**, ۳٦–٤٦.

Hong, S. Y., Noh, Y., & Dudhia, J. (۲۰۰٦). A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Monthly Weather Review*, (۱۳٤), ۲۳۱۸–۲۳٤۱.

Horvath, H. ۱۹۸۱. Atmospheric visibility. *Atmospheric Environment*, ***15:*** ۱۷۸٥-۱۷۹٦.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

Majewski, G., Rogula-Kozłowska, W., Czechowski, P., Badyda, A. and Brandyk, A., ۲۰۱۵. The impact of selected parameters on visibility: First results from a long-term campaign in Warsaw, Poland. *Atmosphere*, **٦(٨)**,١١٥٤-١١٧٤.

Malm, W.C., ١٩٩٩. Introduction to Visibility. Air Resources Division, National Park Service, Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIRA), NPS Visibility Program, Colorado State University, Fort Collins, CO.

Middleton, W., ١٩٥٢ .Vision through the Atmosphere, University of Toronto Press.

Payra, S., and Mohan, M., ٢٠١٤: Multirule based diagnostic approach for the fog predictions using WRF modelling tool. *Advances in Meteorology*, **٢٠١٤**:١-١١.

Reymann, M., Piasecki, J., Hosein, F., Larabee, S., Williams, G., Jimenez, M., and Chapdelaine, D., ١٩٩٨. Meteorological Techniques. Air Force Weather Agency (AFWA), Offutt AFB IL AFWA/TN-٩٠/٠٠٢.

Ryerson, W.R., and Hacker, J.P., ٢٠١٤. The potential for mesoscale visibility prediction with a multimodel ensemble. *Weather and Forecasting*, **٢٩**, ٥٤٣-٥٦٢.

Sabetghadam, S., Ahmadi-Givi, F. and Golestani, Y., ٢٠١٢. Visibility trends in Tehran during ١٩٥٨–٢٠٠٨. *Atmospheric environment*, **٦٢**,٥١٢-٥٢٠.

Sabetghadam, S. and Ahmadi-Givi, F., ٢٠١٤. Relationship of extinction coefficient, air pollution, and meteorological parameters in an urban area during ٢٠٠٧ to ٢٠٠٩. *Environmental Science and Pollution Research*, ***21*(١)**,٥٣٨-٥٤٧.

Singh, A., Bloss, W.J. and Pope, F.D., ٢٠١٧. ٦٠ years of UK visibility measurements: impact of meteorology and atmospheric pollutants on visibility. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **١٧(٣)**, ٢٠٨٥-٢١٠١.

Smirnova, T.G., Benjamin, S.G., and Brown, J.M., ٢٠٠٠. Case study verification of RUC/MAPS fog and visibility forecast. Preprints, *Ninth, Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Orlando, FL, Amer. Meteor. Soc., ٢,٣.

Smith, T.L., and Benjamin, S.G., ٢٠٠٢. Visibility forecast from the RUC٢٠. Preprints, *10th , Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Portland, OR, Amer. Meteor. Soc., JP١,٢٧.

Stoelinga, M.T., and Warner, T.T., ١٩٩٩. Nonhydrostatic, mesobeta-scale model simulation of cloud ceiling and visibility for an East Coast winter precipitation event. *Journal of Applied Meteorology*, **٣٨**: ٣٨٥-٤٠٤.

Wang, T., Jiang, F., Deng, J., Shen, Y., Fu, Q., Wang, Q., Fu, Y., Xu, J. and Zhang, D., ٢٠١٢. Urban air quality and regional haze weather forecast for Yangtze River Delta region. *Atmospheric Environment*, **٥٨**,٧٠-٨٣.

Whiffen, B., ٢٠٠١. Fog: Impact on aviation and goals for meteorological prediction. *Second Conf. on Fog and Fog Collection*, St. John's, NL, Canada, Environment Canada and International Development Research Center (IDRC), ٥٢٥–٥٢٨.

Wilks, D. S., ٢٠١١. Statistical methods in atmospheric science, Second Edition, Academic presss., ١٠٠, ٢-٦٧٦.

Wu, D., Wu, X.J., Li, F., Tan, H.B., Chen, J., Chen, H.H., Cao, Z.Q. and Sun, X., ٢٠١١. Long-term variation of fog and mist in ١٩٥١-٢٠٠٥ in mainland China. *Journal of Tropical Meteorology*, ٢٧, ١٤٥-١٥١.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.107]