مجموعه مقالات هجدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، اردیبهشت۱۳۹۷، صفحه ۲۹۶ – ۲۹۹

# پیش‌بینی عددی کاهش دید افقی در منطقه تهران: مطالعه موردی

پریسا جابری[۱]، سمانه ثابت قدم[۲]، سرمد قادر[۳]

[۱]دانشجو کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، parisa.jaberi@ut.ac.ir
[۲]استادیار، دانشگاه تهران، ssabet@ut.ac.ir
[۳]دانشیار، دانشگاه تهران، sghader@ut.ac.ir

**چکیده**

دید افقی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های نوری جوّ به شمار می‌رود و پیش‌بینی میزان دید افقی از جنبه‌های گوناگون از جمله آلودگی هوا، ترافیک هوایی، ایمنی پروازها، ترافیک جاده‌ها و ایمنی سفرهای دریایی اهمیت دارد. هدف از مقاله حاضر پیش بینی کاهش دید ناشی از مه و بارش با استفاده از مدل WRF در منطقه تهران در یک مطالعه موردی در ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴ است. برای دستیابی به این هدف از چهار روش SW99، FSL، AFWA و UPP1 استفاده شده است. نتایج پیش‌بینی کاهش دید ناشی از پدیده مه در فرودگاه مهرآباد نسبت به پدیده بارش در فرودگاه امام خمینی کمی متفاوت است. شبیه‌سازی دید با استفاده از روش‌های SW99، AFWA، UPP1 نمی‌تواند به خوبی روند کاهش دید را نشان دهد، اما روش FSL تا حدی برای پیش‌بینی کاهش دید به ویژه در مه مناسب است. پیش‌بینی دید در زمان پدیده برف به مقادیر مشاهداتی نزدیک‌تر است و در شرایط مه دقت کمتری دارد.

**واژه‌های کلیدی:** پیش‌بینی، دید افقی، مدل عددی، WRF، مه، بارش.

# Visibility prediction over Tehran : A Case study

Parisa Jaberi[1],Samane Sabetghadam [2] ,Sarmad Ghader [3]

[1]*student master, Tehran University*
[2]*assistant professor, Tehran University*
[3]*associate professor, Tehran University*

**Abstract**

Visibility is one of the most important optical characteristics of the atmosphere. Prediction of visibility is essential for air pollution, air traffic, flight safety, road traffic and shipping. Visibility reduction may be caused by different reasons. Purpose of the present work is to study the ability of WRF model to predict visibility during fog and snow over Tehran area in January 14th, 2014. To achieve this goal, four different algorithms including UPP1, AFWA, FSL and SW99 have been experimented. Results show that the FSL algorithm works better than the other methods. Comparing results shows that the visibility reduction during snow is more reliable than during fog.

**Keywords:**prediction, visibility, numerical weather prediction, WRF, fog, precipitation

## ۱ مقدمه

دید افقی برابر با بیشترین فاصله‌ای است که در آن فاصله یک جسم سیاه نسبت به پس‌زمینه آن قابل تشخیص است (هوروات(Horvath)، ۱۹۸۱). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای بهبود کیفیت پیش‌بینی دید افقی به‌ویژه در اطراف فرودگاه‌ها انجام شده‌است. مدل WRF (Weather Research and Forecasting) یکی از مهم‌ترین برنامه‌ها برای پیش‌بینی عملیاتی وضع هوا و وضعیت اقلیم است. این مدل پتانسیل خوبی در پیش‌بینی پدیده‌های میان‌مقیاس دارد. بنگ و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای رخداد مه بین سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ در فرودگاه‌های کره جنوبی را با استفاده از چهار الگوریتم برای محاسبه دید افقی با استفاده از مدل WRF بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که با انجام تنظیمات آماری ساده در الگوریتم آماری موجود در مدل با استفاده از وایازش خطی بین دید مشاهده شده و هواآب‌ها و رطوبت شبیه‌سازی شده در نزدیک سطح، می‌توان پیش‌بینی دید افقی در فرودگاه‌های محلّی کره را بهبود بخشید. رایرسون و هکر (۲۰۱۴) از مدل WRF با ده عضو در نواحی ساحلی، درّه‌ای و کوهستانی برای پیش‌بینی کوتاه مدّت مه استفاده کردند. بر اساس نتایج مقادیر پیش

بینی شده در مناطق کوهستانی و پس از آن در مناطق ساحلی و درّه‌ای به مقادیر واقعی نزدیک‌تر است. اخیراً در شانگهای چین نیز مطالعه‌ای توسط لین و همکاران (۲۰۱۷) به منظور پیش‌بینی مه و فرآیندهای فیزیکی مرتبط با آن انجام شده است. آنها با استفاده از شبیه‌سازی عددی چگونگی تشکیل، تکامل و نابودی مه همرفتی را در فرودگاه بین‌المللی پودانگ در شانگهای (ZSPD) با استفاده از مدل WRF بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد در مطالعه موردی مه ۲۶ و ۲۷ مارس ۲۰۱۴ مدل با زمان انتظار پیش‌بینی بیشتر از ۱۲ ساعت می‌تواند مه را در ZSPD پیش‌بینی کند. همچنین نتایج آنها نشان می‌دهد که پیچیدگی فرآیندهای فیزیکی و تعاملات آنها با مدل WRF می‌تواند کلیدی برای تحقیقات آینده باشد.

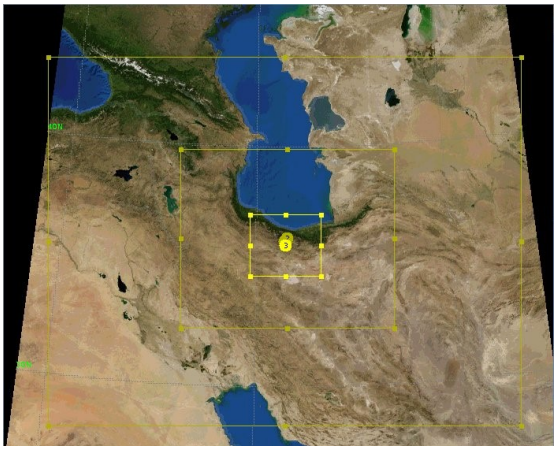
هدف از پژوهش حاضر، سنجش امکان پیش‌بینی دید افقی توسط مدل WRF در منطقه تهران در یک مطالعه موردی در ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴ است. فرودگاه مهرآباد و امام خمینی در تهران به عنوان دو فرودگاه پرتردد برای بررسی انتخاب شده‌اند. از میان عوامل کاهنده دید، مه و بارش برف مورد نظر است.

## ۲ داده‌ها و روش کار

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل دید افقی، دما، رطوبت، باد در سطح و هوای حاضر از گزارش‌های متار در فواصل زمانی یک‌ساعته از ایستگاه هواشناسی همدیدی فرودگاه‌های امام خمینی و مهرآباد تهران است. نسخه ۳.۸.۱ مدل WRF با هسته ARW به منظور شبیه‌سازی شرایط مه و بارش استفاده شده است. در مدل از طرحواره خرد فیزیک تامپسون جدید، طرحواره لایه مرزی YSU، طرحواره لایه سطحی MM5، طرحواره سطح زمین Noah، طرحواره تابش موج بلند RRTM، طرحواره تابش موج کوتاه Dudhia و طرحواره همرفت کومه‌ای BMJ استفاده شده است. شرایط مرزی و شرایط اولیه مدل WRF با استفاده از داده‌های ۶ ساعته FNL با تفکیک ۱°×۱° بدست آمده است. در این شبیه‌سازی سه دامنه محاسباتی تو در تو با تفکیک افقی ۲۷، ۹ و ۳ کیلومتر (شکل ۱) تعریف شده‌اند. برای سه دامنه به ترتیب ۸۳ و ۱۱۲ و ۱۱۲ نقطه شبکه در راستای مداری و ۶۵ و ۹۴ و ۹۷ نقطه شبکه در راستای نصف‌النهاری در نظر گرفته شده است. مرکز هر سه دامنه تقریباً در مرکز شهر تهران و در طول جغرافیایی ۵۱/۴۴ درجه و عرض جغرافیایی ۳۶/۰۵ درجه قرار دارد. انتخاب روز مورد مطالعه با توجه به گزارش‌های همدیدی و متار صورت گرفته است. کاهش دید در این روز همراه با پدیده مه و بارش است.

پس از اجرای مدل، از چهار روش پارامترسازی شامل SW99 (Stoelinga and Warner)، AFWA (Air Force Weather Agency)، FSL (Forecast Systems Laboratory) و UPP1 (Unified Post Processor) برای پیش‌بینی دید استفاده می‌شود که در ادامه به‌صورت خلاصه معرفی می‌شود: در تمام الگوریتم‌ها دید بر حسب متر بدست می‌آید. در الگوریتم SW99 از مجموعه چهار رابطه شامل ضرایب خاموشی آب مایع ابر($\beta_{cw}$)، آب باران($\beta_{rw}$)، یخ ابر($\beta_{ci}$) و برف($\beta_{sn}$) برای تخمین ضریب خاموشی کل (بر حسب $km^{-1}$) استفاده می‌شود (استولینگا و وارنر، ۱۹۹۹). ضریب خاموشی کل از رابطه (۱) بدست می‌آید و سپس در رابطه (۲) قرار می‌گیرد تا میزان دید بدست آید، در این رابطه $\varepsilon$ آستانه تباین و معمولاً برابر ۰/۰۲ است.

$$\beta = \beta_{cw} + \beta_{rw} + \beta_{ci} + \beta_{sn} \qquad (۱)$$



شکل ۱: دامنه شبیه‌سازی مدل

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

در الگوریتم AFWA ضریب خاموشی در زمان رخداد پدیده‌های ناشی از هوا آب‌ها با استفاده از رابطه (۳) بدست می‌آید. در این رابطه *rw*، *graup* و *sn* غلظت جرمی باران، گویچه یخ و برف و بر حسب $g/m^3$ هستند. در نهایت دید با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\beta_{hydro} = ۱/۱\times(rw + graup)^{۰/۷۵} + ۱۰/۲۶\times sn^{۰/۷۸} \qquad (۳)$$

دید در زمان مه و غبار بر طبق رابطه زیر بدست می‌آید که در آن *RH* رطوبت نسبی و *mix* نسبت آمیختگی در دو متر را نشان می‌دهند. کمینه مقدار بدست آمده از رابطه (۳) و (۴) مقدار دید افقی است.

$$vis_{fog} = ۱۵۰۰\times(۱۰۵-RH)\times(\frac{۵}{mix}) \qquad (۴)$$

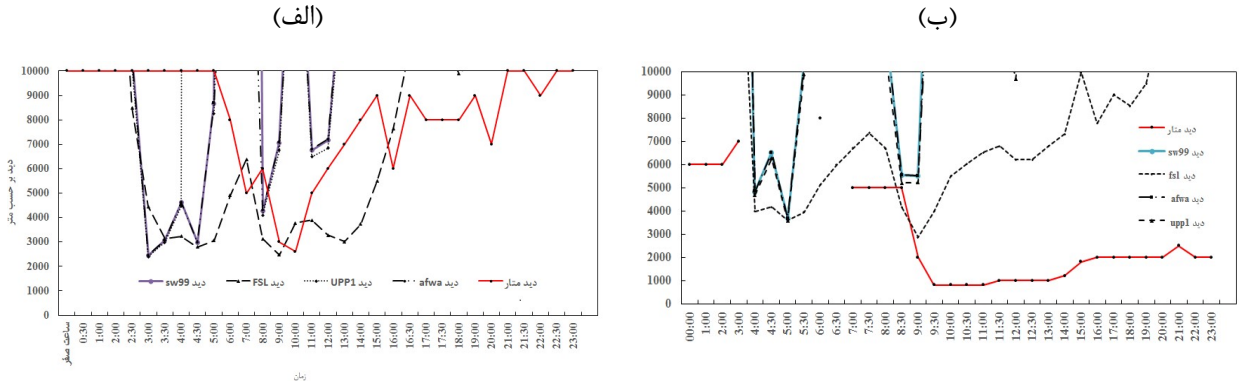
در الگوریتم FSL دید با استفاده از رطوبت نسبی و اختلاف بین دما و دمای نقطه شبنم و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$vis_{FSL} = ۱/۶۰۹\times۶۰۰۰\times\frac{(T-T_d)}{RH^{۱/۲۵}} \qquad (۵)$$

در این رابطه $T$ دما و $T_d$ دمای نقطه شبنم بر حسب درجه سانتی‌گراد هستند و $RH$ رطوبت نسبی بر حسب درصد است. ضریب ۱/۶۰۹ نیز به منظور تبدیل دید از مایل به متر به کار رفته است. الگوریتم UPP1 نیز در واقع همان الگوریتم SW99 با اصلاحات جزئی در ضرایب ثابت است.

## ۳ تحلیل نتایج

نتایج پیش‌بینی دید در فرودگاه امام خمینی در روز ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴ در شکل ۲ الف نشان داده شده است. بر اساس گزارش‌های متار کاهش دید بین ساعت ۷ تا ۱۶ رخ داده‌است. کم‌ترین مقدار دید ۲۶۰۰ متر همراه با بیش‌ترین میزان رطوبت نسبی برابر با ۹۳ درصد در ساعت ۱۰:۰۰ گزارش شده است. در این تاریخ در فرودگاه امام خمینی رگبار برف گزارش شده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود، در تمامی الگوریتم‌ها کاهش دید پیش‌بینی می‌شود که در همه موارد زمان رخداد آن زودتر از مشاهدات است. در روش FSL دوره کاهش دید طولانی‌تر از موارد دیگر است. FSL در بسیاری از موارد دید را کم‌تر از مشاهدات نشان می‌دهد درحالیکه در موارد دیگر به ویژه UPP1 دید بیشتر از مشاهدات است. دید پیش‌بینی شده توسط SW99 و UPP1 تفاوت چندانی با هم ندارند. زیرا هر دو این موارد از پیش‌بینی‌های مربوط به غلظت جرمی برای تخمین مقدار دید استفاده می‌کنند. شکل ۲ب نتایج را در فرودگاه مهرآباد نشان می‌دهد که بر اساس گزارش هوای حاضر، از ساعت ۱۱:۳۰ تا پایان روز پدیده مه رخ داده و کم‌ترین مقدار دید ۸۰۰ متر است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، روش UPP1 در بسیاری از ساعات اصلاً کاهش دید را نشان نمی‌دهد و پیش‌بینی دید با استفاده از روش UPP1 نسبت به پیش‌بینی دید در ایستگاه امام خمینی از دقت کم‌تری برخوردار است. این مسئله در مورد SW99 و AFWA نیز تکرار شده است. نتایج در ایستگاه مهرآباد (با پدیده مه) نسبت به ایستگاه فرودگاه امام خمینی (با پدیده بارش) کمی متفاوت است و پیش‌بینی دید با استفاده از فرمولبندی‌های SW99، AFWA، UPP1 و از روی خروجی‌های مدل WRF نمی‌تواند به خوبی روند کاهش دید را نشان دهد اما روش FSL می‌تواند تا حدی به ویژه در زمان مه مناسب باشد. با توجه به رابطه (۵) روش FSL برای تخمین دید از رطوبت نسبی و اختلاف دما و دمای نقطه شبنم استفاده می‌کند، بنابراین علت تفاوت در پیش بینی دید را می‌توان در پیش‌بینی‌های دما، رطوبت نسبی و دمای نقطه شبنم جست‌وجو کرد. بررسی نتایج شبیه سازی رطوبت و دما به وضوح اریبی مرطوب و گرم را نشان می‌دهد (شکل نشان داده نشده‌است). مدل رطوبت را تا سی درصد بیش از مشاهدات نشان می‌دهد. از این‌رو با توجه به اریبی مرطوب در خروجی‌های مدل و وابستگی تخمین دید در روش FSL با رطوبت، می‌توان علت وجود خطا در نتایج دید را با این موضوع مرتبط دانست.




شکل ۲:مقایسه مقادیر دید شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی در الف) فرودگاه امام خمینی و ب) ایستگاه مهرآباد برای ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴.

## ۴ نتیجه‌گیری

پیش‌بینی میزان دید به عنوان یک کمیت هواشناسی از جنبه‌های گوناگون از جمله آلودگی هوا و ترافیک هوایی و زمینی دارای اهمیت است. در مقاله حاضر دید افقی در منطقه تهران با استفاده از چهار روش SW99، FSL، AFWA و UPP1 توسط پس‌پردازش خروجی‌های مدل WRF برای روز ۱۱ ژانویه ۲۰۱۴ در دو فرودگاه امام خمینی و مهرآباد پیش‌بینی شده‌است. دید در برخی از موارد کمتر و در بسیاری از موارد بیش‌تر از مشاهدات شبیه‌سازی می‌شود. بنابراین با اینکه روند کاهش دید در تمامی روش‌ها تقریباً پیش‌بینی شده است، اما پیش‌بینی مقدار دید دقیق نیست بهترین پیش‌بینی‌ها مربوط به روش FSL است. رطوبت نسبی پیش‌بینی شده توسط مدل در زمان پدیده برف به مقادیر مشاهداتی نزدیک‌تر است و مقادیر عددی پیش‌بینی‌ها در زمان مه دقت کمتری دارد. در زمان مه تنها روش FSL توانسته است تا حدی کاهش دید را پیش‌بینی کند و موارد دیگر فقط در بعضی ساعات و به طور جزئی قادر به پیش‌بینی مه بوده‌اند. پارامترسازی‌هایی که برای پیش‌بینی دید مورد استفاده قرار می‌گیرند، عمدتاً به صورت تجربی به دست آمده‌اند و ضرایب مورد استفاده در آنها در نقطه خاصی از دنیا به‌دست آمده است، بنابراین به‌نظر می‌رسد برای بدست آوردن نتایج بهتر به تغییراتی در پارامترسازی نیاز است.

## منابع

Bang, C.H., Lee, J.W., and Hong, S.Y., 2009. Predictability experiments of fog and visibilityin local airports over Korea using the wrf model. *J.KOSAE,***24**, 92-101.

Horvath, H., 1981. Atmospheric visibility. *Atmos. Environ.,***15**, 1785-1796.

Lin, C., Zhang, Z., Pu, Z., and Wang, F., 2017. Numerical Simulations of an Advection Fog Event over Shanghai Pudong International Airport with the WRF Model. *J. Meteor. Res.,* **31**(5), 874-889.

Ryerson, W.R., and Hacker, J.P., 2014. The potential for mesoscale visibility prediction with a multimodel ensemble. *Weather and Forecasting,***29**, 543-562.