

ارزیابی پیش‌بینی مقدار ابرناکی حاصل از مدل عددی WRF

مهسا دامن‌افشان^۱ و محمدحسین معماریان^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک فضا، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، ایران

۲. استادیار، گروه فیزیک فضا، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، ایران

(دریافت: ۹۳/۱۱/۱، پذیرش نهایی: ۹۴/۷/۱۴)

چکیده

در این پژوهش پیش‌بینی پوشش ابری توسط مدل میان‌مقیاس جوی WRF بررسی شده است. ابتدا برای تعیین امکان پیش‌بینی پوشش ابری توسط مدل خروجی، این مدل توسط تصاویر رادار و ماهواره ارزیابی شد. با توجه به نتایج قابل قبول، مدل برای یک دوره پنج‌روزه، اجرا و با داده‌های مشاهداتی راست‌آزمایی شد. به‌منظور راست‌آزمایی مدل WRF از کمیت‌های راست‌آزمایی مانند کمیت اریبی، آهنگ برخورد و نسبت هشدارهای نادرست استفاده شد. این دوره پنج‌روزه با داده‌های به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره نیز ارزیابی شد. در نهایت مدل برای یک دوره زمانی سه‌ماهه نیز اجرا و با داده‌های مشاهداتی راست‌آزمایی شد. نتایج تمامی ارزیابی‌ها یکسان بودند و نشان دادند که مدل هوای صاف را خوب پیش‌بینی می‌کند؛ هرچند دارای فرابیش‌بینی است. زمانی که پوشش ابری کامل است مدل پیش‌بینی قابل‌قبولی دارد، ولی برای هوای نیمه‌ابری خروجی مدل ضعیف است و فروبیش‌بینی دارد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، پوشش ابری کل، جدول توافقی، راست‌آزمایی، فرابیش‌بینی و فروبیش‌بینی، مدل WRF.

۱. مقدمه

از پدیده‌های مهم هواشناسی، ابرها هستند که همواره مورد توجه هواشناسان بوده‌اند. از آنجا که با مشاهده نوع و تغییرات ابرها می‌توان اطلاعات شایان‌ملاحظه‌ای درباره وضعیت جو به‌دست آورد، مطالعه و بررسی ابرها اهمیت زیادی دارد.

مقتضیان زیادی وجود دارند که خواهان پیش‌بینی‌های ابر، به‌ویژه در بخش حمل‌ونقل هوایی هستند؛ به‌طوری‌که استفاده از پیش‌بینی وضع هوا جزئی کلیدی و تفکیک‌ناپذیر از عملیات فرودگاهی است. امروزه ابر و بارش به‌صورت یکی از مسائل استراتژیک مطرح است و کمبود شدید آب در بعضی مناطق و افزایش بارش در مناطق دیگر ناشی از تغییر اقلیم، اهمیت تحقیقات در این زمینه را نشان می‌دهد.

پراسنج‌های مختلف ابر را مانند دیگر کمیت‌های جو می‌توان توسط داده‌های ایستگاهی (مشاهداتی) و رسم نقشه‌های هوا یا به‌وسیله خروجی یک مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا (Numerical Weather Prediction,) پیش‌بینی کرد. خروجی‌های مربوط به ابر در یک مدل شامل مقدار کل ابر (Total Cloud

مقدار ابر (Amount, TCA)، مقدار ابر دسته‌بندی‌شده بر اساس ارتفاع (ابر بالا، متوسط و پایین) و ارتفاع پایه ابر (CBH, Cloud Base Height) است. از دیگر پراسنچ‌ها می‌توان به کسر ابر و ارتفاع قلّه ابر نیز اشاره کرد. همه این کمیت‌ها از خروجی مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا در سه بعد و برای یک ستون هوا قابل پیش‌بینی‌اند. متضمن این کمیت‌های فرایابی، اغلب متغیرهای پیش‌یابی‌شده آب ابر (یخ، مایع و همین‌طور برف) است. این کمیت‌ها با طرح‌واره‌های تابش مدل فعل و انفعال دارند و در نتیجه می‌توانند به‌طور خاص روی دما اثر بگذارند.

خطاهای پیش‌بینی ابر می‌تواند تأثیراتی گسترده در دقت و کیفیت دیگر خروجی‌های مدل داشته باشد. مثلاً بدیهی است که پیش‌بینی درست ابر بر پیش‌بینی بارش تأثیر می‌گذارد. برجسته‌ترین این آثار، روی درجه حرارت است؛ بنابراین در پیش‌بینی وضع هوا که تأثیر درخور توجهی در رفاه و آسایش انسان دارد، پیش‌بینی پوشش ابری مسئله مهمی است.

در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی، دهه‌ای و اقلیمی تعامل بین ابر و تابش، بازخورد مهمی وجود دارد که اگر

اکتای بزرگ، مایل به فروتخمینی TCA است. داده‌های مشاهداتی CBH نیز تردیدپذیر هستند، چون ممکن است برای چشم بشر تشخیص معیار ارتفاع مشکل باشد. به علاوه پیچیدگی‌هایی در تعیین پایه ابر در حین بارش و ساعت‌های تاریکی به وجود می‌آید.

داده‌های ماهواره تفکیک فضایی بالایی در مقایسه با بعضی مدل‌های NWP دارند و تجزیه و تحلیل شبکه و نقشه قائم میدان ماهواره به آسانی می‌تواند تولید شوند. ولی داده‌های ماهواره اغلب از حیث تفکیک زمانی‌ای که با خروجی مدل مطابقت داشته باشد، جوابگو نیست. چون ماهواره در طول شبانه‌روز به تعداد دفعات محدودی از یک نقطه عبور می‌کند؛ بنابراین بسته به نیاز کاربران، شروع یک راست‌آزمایی با مطابقت دادن داده‌ها از نظر زمانی یا مکانی صورت می‌گیرد.

روش‌های استاندارد مختلفی برای راست‌آزمایی پراسنج‌های مختلف ابر با داده‌های مختلف دیدبانی اجرا شده است. یک روش که بسیار نیز برای پراسنج‌های ابر توصیه شده و برای مثال توسط هگان و همکاران (۲۰۰۹) و مرکرت و همکاران (۲۰۱۲) به کار رفته است، رسم نمودار همزمان توزیع‌های حاشیه‌ای مربوط به پراسنج مورد نظر است که بدین طریق توزیع حاشیه‌ای مشاهدات و پیش‌بینی ارزیابی می‌شود.

روش دیگر استفاده از جدول توافقی چنددسته‌ای است؛ برای مثال در ارزیابی پیش‌بینی ابرناکی مدل HIRLAM از این روش استفاده شده است که در آن مقدار پوشش ابر کل (TCA) را در سه دسته ابری، نیمه‌ابری و بدون ابر جا دادند. در این تحقیق با وجود اینکه هر دو امتیازهای مهارتی نسبتاً زیاد بود، ولی توزیع داده‌های مشاهداتی U شکل بودند، در حالی که داده‌های پیش‌بینی از این توزیع تبعیت نمی‌کردند. همچنین یک فرایند پیش‌بینی در دسته نیمه‌ابری وجود داشت، ولی پیش‌بینی دسته سوم ابری در مقایسه با دیگر دسته‌ها بهتر بیان شده بود (گزارش ۱-۲۰۱۲، WWRP).

پیش‌بینی‌های بعضی از پراسنج‌های پیوسته مانند محتوای آب مایع (Liquid Water Content (LWC))، محتوای آب

ابرها به اشتباه در مدل شبیه‌سازی شده باشند، به‌طور بالقوه به انحرافات سیستماتیک مهمی می‌انجامد (رینگر و همکاران، ۲۰۰۶). این بازخورد می‌تواند به صورت مثبت یا منفی خود را نشان دهد که به دمای بالا یا پایین می‌انجامد؛ بنابراین در تفسیر نتایج قابلیت یک مدل، دقت در مدل‌سازی تعامل تابش-دما-ابر امری بحرانی است. اغلب این انحرافات در چند روز اول یک شبیه‌سازی طولانی به وجود آمده است که نشان می‌دهد استفاده از مدل NWP برای فهمیدن خطاهای ابر در مدل‌های اقلیمی روشی معتبر است (ویلیام و بروکس، ۲۰۰۸)؛ بنابراین برای ارزیابی یک مدل، پیش‌بینی پراسنج‌های ابر از مدل، مسئله مهمی است. در این تحقیق از مدل عددی میان‌مقیاس WRF برای پیش‌بینی ابر استفاده شده که طبق تحقیقات انجام گرفته (آزادی و همکاران، ۲۰۱۳) نتایج قابل قبول‌تری در مقایسه با مدل‌های HRM و MM5 داشته است.

بدیهی است که برای ارزیابی یک مدل علاوه بر داده‌های پیش‌بینی داده‌های مشاهداتی نیز لازم است. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان داده‌های دیدبانی ابر را به دو روش مشاهده‌ای و سنجش از دور تهیه کرد. دسته اول داده‌های مشاهداتی است که به وسیله یک دیدبان تهیه می‌شود و در ساده‌ترین حالت می‌تواند شامل ابر (بالا، میانه و پایین)، پوشش کل ابر و ارتفاع پایه ابر باشد. از مزایای این روش دسترسی راحت به آن است. دسته دوم، مشاهدات با استفاده از ابزارهای سنجش از دور مثل رادار و ماهواره است. این ابزارها امکان سنجش از راه دور از سمت پایین و بالای جو را فراهم می‌کنند.

میتز مایر با استفاده از داده‌های دیدبانی، راست‌آزمایی TCA و CBH را بررسی کرد. وی متوجه شد که داده‌های دیدبانی مشاهداتی و سنجش از دور اختلاف شایان توجهی دارند؛ بنابراین نوع دیدبانی مخلوط پیشنهاد نمی‌شود (گزارش سازمان جهانی هواشناسی ۱-۲۰۱۲، WWRP). هامر (۱۹۹۶) در مقایسه بین داده‌های ابری که به‌طور مشاهداتی و سنجش از دور برای شش مکان اطراف ایالت کینگ دام تهیه شده بود، متوجه شد که دیدبان برای اکتای کوچک، مایل به فراتخمینی و برای

ایستگاه‌های همدیدی و تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای سنجنده MODIS تقسیم می‌شوند. برای راست‌آزمایی بصری تصاویر رادار در تاریخ‌های ۲۰۱۳/۸/۲۹ - ۲۰۱۳/۸/۲۷ تهیه و برای راست‌آزمایی کمی داده‌های دیدبانی ایستگاه‌های همدیدی از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. در این داده‌ها پوشش ابر کل با نام (HOURLY AMOUNT OF CLOUD) به صورت کسری (۱/۸) آمده که به آن یک اکتا گفته می‌شود و پوشش ابری به صورت سه‌ساعته گزارش شده است. دوره پنج روز مطالعه در این پروژه روزهای ۲۰۰۹/۰۵/۱۲ - ۲۰۰۹/۰۵/۰۷ است. در انتخاب این پنج روز سعی شد داده‌های ایستگاه‌ها گستردگی کافی را در ابری و صاف بودن هوا داشته باشند. همچنین از وبگاه <http://ladsweb.nascom.nasa> تصاویر ماهواره سنجنده MODIS مربوط به پوشش ابری در بعضی از ساعت‌های دوره پنج‌روزه که با ساعت‌های مدل مطابقت داشت، با در نظر گرفتن این نکته که تصاویر منطقه مورد نظر را در بر داشته باشد، تهیه شد. برای به‌دست آوردن داده‌ها نیز فایل‌هایی از وبگاه ذکر شده، تهیه و با نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS برای مکان‌های ایستگاه‌های مربوطه، داده‌های مورد نیاز از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد و برای آن‌ها مقدار پوشش ابری به‌دست آمد و در نهایت تعداد کل داده‌های تهیه شده، ۵۰ مورد حاصل شد.

برای تهیه داده‌های پیش‌بینی در این پژوهش مدل WRF اجرا شد که برای این منظور سه آشیانه به صورت آشیانه اول یا مادر با تفکیک افقی ۳۶ کیلومتر و محدوده ۵۲,۵۸۲ - ۱۹,۹۸۸ درجه شمالی و ۶۶,۹۷۵ - ۱۶,۸۶۶ درجه شرقی، آشیانه دوم یا آشیانه درون آشیانه مادر با تفکیک افقی ۱۲ کیلومتر و محدوده ۴۵,۰۴۰ - ۳۱,۱۴۸ درجه شمالی و ۵۲,۹۸۵ - ۳۲,۷۶۹ درجه شرقی و آشیانه سوم یا آشیانه درون آشیانه دوم با تفکیک افقی ۴ کیلومتر و محدوده ۳۹,۷۸۳ - ۳۵,۸۹۱ درجه شمالی و ۴۸,۲۴۶ - ۴۳,۲۴۶ درجه شرقی (قسمتی از منطقه آذربایجان) در نظر گرفته شد که در شکل ۱ این آشیانه‌ها دیده می‌شود.

یخ (Ice Water Content (IWC)، کسر ابر و دمای درخشندگی، می‌تواند با استفاده از مجموعه‌ای متفاوت از کمیت‌ها مثل میانگین خطاها (ME) و میانگین مربع خطاها (MSE) راست‌آزمایی شود. بدیهی است برای استفاده از این روش به داده‌های پیوسته نیاز است که برای نمونه می‌توان داده‌های پیوسته‌ای از رادار، تهیه و به‌عنوان داده دیدبانی استفاده کرد. همچنین از روش‌های راست‌آزمایی احتمالی نیز استفاده شده است (فرو و همکاران ۲۰۰۸). تحقیقات اخیر که با استفاده از تصاویر ماهواره با تفکیک فضایی بالا انجام گرفته (برای مثال کیل و کریچ، ۲۰۰۷؛ زینگرل و نرمی، ۲۰۰۸ و کراکر و میترمایر، ۲۰۱۳)، نشان داده است که راست‌آزمایی فضایی برای پیش‌بینی‌های وابسته به پراسنج‌های ابر بسیار مفیدند.

چنان‌که قبلاً نیز بیان شد یکی از دلایل راست‌آزمایی، بررسی کارایی سامانه‌های پیش‌بینی برای بررسی مهارت نسبی آن‌ها در شبیه‌سازی و پیش‌بینی فرایندهای جوی است. در این پژوهش ابتدا یک بررسی کیفی از پیش‌بینی ابرناکی مدل صورت می‌گیرد. پس از حصول درجه‌ای از اطمینان از اینکه مدل تا حدودی قادر به پیش‌بینی هوای صاف و ابری است، با استفاده از زیرمجموعه کوچکی از کمیت‌های مختلف دقت و مهارت که در دسترس هستند، کارایی مدل WRF در پیش‌بینی‌های کمی پوشش ابری کل، در یک دسته‌بندی سه‌تایی شامل هوای صاف، نیمه‌ابری و ابری، برای بخشی از منطقه آذربایجان در استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی در یک دوره پنج‌روزه، ابرناکی راست‌آزمایی می‌شود.

۲. روش پژوهش

برای راست‌آزمایی در مرحله اول باید داده‌های پیش‌بینی و دیدبانی را تهیه کرد و آن‌ها را از نظر مکانی و زمانی مطابقت داد. در مرحله بعد روش مناسب راست‌آزمایی را بسته به نوع داده‌ها و هدف مورد نظر، انتخاب کرد.

داده‌های دیدبانی این تحقیق بسته به نوع راست‌آزمایی و شرایط زمانی دسترسی به داده‌ها به تصاویر رادار هواشناسی، داده‌های بازسازی‌شده

آماره‌های قیاسی هستند که بعضی از آن‌ها که به‌عنوان کمیت‌های کلی یاد می‌شوند، مستقیم به‌دست می‌آیند، مانند کمیت نسبت صحیح، ولی بعضی از کمیت‌ها برای هر دسته تعریف می‌شود. برای مثال معادله‌ اریبی که فرایش‌بینی یا فرویش‌بینی هریک از دسته‌ها را مشخص می‌کند، برای پیش‌بینی‌های مدل در رویداد ۱، $B_1 = (t+s+t)/(t+u+x)$ ، $B_2 = (u+v+w)/(s+v+y)$ و رویداد ۳، $B_3 = (x+y+z)/(t+w+z)$ (نرمی، ۲۰۰۳).

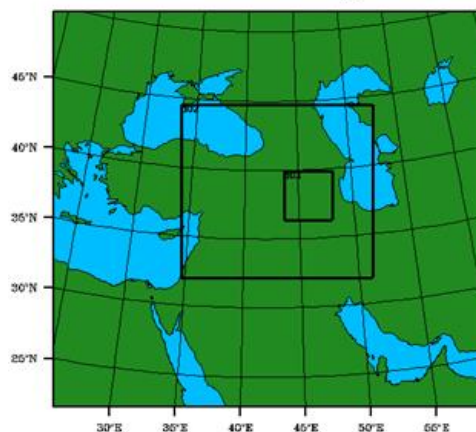
۳. اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

یک روش ساده برای ارزیابی پیش‌بینی مدل بدون محاسبات کمیت‌های آماری، ارزیابی بصری است. این روش برای حالت‌هایی که دوره‌ مورد مطالعه کوتاه باشد، کاربرد دارد (برگرفته از وبگاه www.cawcr.gov.au/projects/verification).

بعد از حصول اطمینان نسبی از توانایی مدل برای پیش‌بینی ابرناکی (شکل‌ها نشان داده نشده‌اند)، در بخش دوم کمیت‌های راست‌آزمایی محاسبه شدند. در این قسمت نتایج راست‌آزمایی‌های پیش‌بینی پوشش کل ابری در چهار حالت آشیانه‌ دوم با سن پیش‌بینی کمتر از ۲۴ ساعت و بین ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت و آشیانه سوم با سن پیش‌بینی کمتر از ۲۴ ساعت و بین ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت بیان می‌شود. (در ادامه کلمه حالت بیانگر یکی از این حالت‌هاست).

جدول توافقی برای چهار حالت ذکر شده به ترتیب در قسمت‌های الف تا د، در جدول ۱ آورده شده است. تشکیل این جدول‌ها براساس جدولی است که در پیوست بیان شده و کمیت‌ها Z ، Y ، X ، W ، V ، U ، T ، S هستند. همان‌گونه که در جدول‌ها دیده می‌شود کل دفعات داده‌های پیش‌بینی دسته اول (هوای صاف) نسبتاً زیاد، دسته دوم (هوای نیمه‌ابری) بسیار کم و کل دفعات داده‌های دیدبانی برای دسته سوم نسبتاً زیاد است. عناصر قطری دسته اول و سوم نسبتاً زیاد و عناصر قطری دسته دوم کم است و این بیانگر توانایی نسبی مدل در پیش‌بینی هوای صاف و ابری و ضعف مدل در پیش‌بینی هوای نیمه‌ابری است.

WPS Domain Configuration



شکل ۱. آشیانه‌های انتخابی برای اجرای مدل

داده‌هایی که برای ایجاد شرایط مرزی و جانبی در مدل برای روزهای ۲۰۰۹/۰۵/۱۲-۲۰۰۹/۰۵/۰۷ به کار رفته، از نوع NCEP FNL است که قدرت تفکیک $1/0 \times 1/0$ درجه دارد و برای هر ۶ ساعت در دسترس است. برای تاریخ‌های ۲۰۱۳/۸/۲۷-۲۰۱۳/۸/۲۹ از داده‌های GFS استفاده شد که تفکیک $0/5 \times 0/5$ درجه دارد و برای هر ۳ ساعت در دسترس است (این داده‌ها، از وبگاه ftp://ftp.prdd.ncep.noaa.gov استخراج شده است).

اجرای مدل‌ها به‌صورت روزانه و برای ساعت UTC ۱۲ بود و در هر اجرا، پیش‌بینی تا ۴۸ ساعت آینده تولید و در نهایت خروجی‌های مدل برای آشیانه دوم و سوم یک‌ساعته استخراج شد. برای تهیه تصاویر پوشش کل ابر، فایل ctil خروجی ساخته و سپس با استفاده از نرم‌افزار گرز نقشه مورد نظر رسم شد.

روش راست‌آزمایی کمی نیز جدول توافقی است. برای پوشش کل ابر جدول 3×3 پیشنهاد شده است که در سه دسته هوای صاف، نیمه‌ابری و ابری، تقسیم شده و در پیوست، جدول‌ها و کمیت‌های مربوطه توضیح داده شده است (گزارش ۱-۲۰۱۲، WWRP). توزیع داده‌های پیش‌بینی و دیدبانی در جدول دیدبانی به‌صورت اکتا و برای پیش‌بینی به‌صورت درصد یا دهم است. مطابق این جدول برای مثال کمیت T تعداد دفعاتی است که مدل ابرناکی را بین ۳۱-۰ درصد پیش‌بینی و دیدبانی را بین ۲-۰ اکتا گزارش کرده است. کمیت‌های راست‌آزمایی

جدول ۱. جدول‌های توافقی ۳×۳ برای چهار حالت: (الف) آشیانه دوم، سن پیش‌بینی کمتر از ۲۴ ساعت، (ب) آشیانه دوم، سن پیش‌بینی بیشتر از ۲۴ و کمتر از ۴۸ ساعت، (ج) آشیانه سوم، سن پیش‌بینی کمتر از ۲۴ ساعت و (د) آشیانه سوم، سن پیش‌بینی بیشتر از ۲۴ و کمتر از ۴۸ ساعت

Clouds forecast	Clouds observed, d.3, f<24h			
	0-2	3-5	6-8	Frc
0 - 31	81	65	61	207
32 - 68	0	2	0	2
69 - 100	2	27	77	106
Obs	83	94	138	315

(ج)

Clouds forecast	Clouds observed, d.2, f<24h			
	0-2	3-5	6-8	Frc
0 - 31	76	56	48	180
32 - 68	4	9	9	22
69 - 100	3	29	81	113
Obs	83	94	138	315

(الف)

Clouds forecast	Clouds observed, d.3, 24h<f<48h			
	0-2	3-5	6-8	Frc
0 - 31	82	67	74	223
32 - 68	0	2	0	2
69 - 100	1	25	64	90
Obs	83	94	138	315

(د)

Clouds forecast	Clouds observed, d.2, 24h<f<48h			
	0-2	3-5	6-8	Frc
0 - 31	79	55	66	200
32 - 68	2	9	7	18
69 - 100	2	30	65	97
Obs	83	94	138	315

(ب)

دسته دوم جدول توافقی اشاره دارد و تعداد دفعاتی را نشان می‌دهد که گزارش دیدبان هوای صاف بوده ولی مدل هوای کاملاً ابری را پیش‌بینی کرده است.

در این نمودارها نکته برجسته مثبت که در همه حالت‌ها دیده می‌شود، این است که رنگ سبز برای نمودارهای دیدبانی در دسته اول بسیار زیاد و رنگ زرد و قرمز در آن‌ها بسیار کم است و نشان می‌دهد که تقریباً هیچ پیش‌بینی هوای صافی از دست نرفته است. نکته برجسته منفی این است که در همه نمودارهای پیش‌بینی، دفعات دسته دوم خواه با پیش‌بینی درست و خواه با پیش‌بینی نادرست بسیار اندک است؛ این نشان می‌دهد که مدل در پیش‌بینی هوای نیمه‌ابری بسیار ضعیف است.

در دسته اول نمودارهای پیش‌بینی، حالت (د) بیشترین پیش‌بینی درست را دارد و از نمودار دیدبانی آن دیده می‌شود که از ۳۱۵ مورد، تنها یک مورد از دسته اول از دست رفته و پیش‌بینی نشده است. حالت (ج) نیز تنها دو مورد از دست داده دارد، ولی حسن این حالت این است که در نمودار پیش‌بینی آن، دسته اول حالت U شکل خود را حفظ کرده است. حالت U شکل نشان‌دهنده کاهش تعداد دفعات از رنگ سبز تا قرمز است که یک حسن محسوب می‌شود. مقایسه آشیانه دوم نیز نشان می‌دهد که در حالت (الف) حالت U شکل برخلاف حالت (ب)

۴. بحث

در این قسمت به وسیله کمیت‌های به دست آمده در جدول ۱، نمودارهای دفعات برخورد و ازدست‌رفته و همچنین کمیت‌های راست‌آزمایی محاسبه شدند. نمودارهای شکل ۲، بیانگر دفعات برخورد و ازدست‌رفته هستند که برای چهار حالت رسم شده است. در شکل ۲، نمودارهای سمت چپ مربوط به پیش‌بینی و نمودارهای سمت راست مربوط به دیدبانی برای هر دسته است؛ به طوری که محور افقی هر نمودار، سه دسته جدول توافقی و محور قائم هر نمودار، دفعات تکرار پیش‌بینی یا دیدبانی را برای هر دسته نشان می‌دهد.

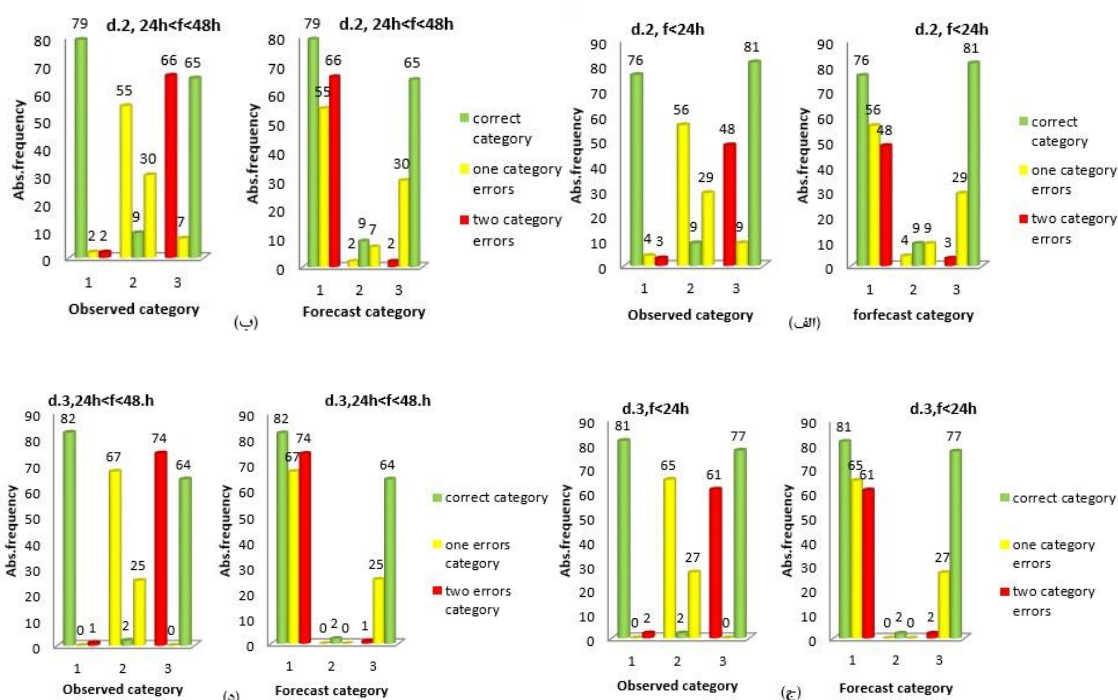
در نمودارهای پیش‌بینی رنگ سبز پیش‌بینی درست، رنگ زرد پیش‌بینی نادرست با یک دسته فاصله و رنگ قرمز پیش‌بینی نادرست با دو دسته فاصله را نشان می‌دهد؛ به عنوان مثال برای دسته اول کمیت I به رنگ سبز است که نمایانگر این مطلب است که پیش‌بینی مدل هوای صاف بوده و دیدبان نیز هوای صاف گزارش کرده است. برای نمودارهای دیدبانی نیز رنگ سبز تعداد دفعات دیدبانی‌های درست پیش‌بینی شده، رنگ زرد دیدبانی‌های نادرست پیش‌بینی شده با یک دسته فاصله و رنگ قرمز دیدبانی‌های نادرست پیش‌بینی شده با دو دسته فاصله را نشان می‌دهد. برای مثال رنگ قرمز به کمیت W

به طوری که رنگ قرمز بسیار اندک است؛ به عبارتی مدل تقریباً هیچ هوای صافی را ابری پیش‌بینی نکرده است. حالت (الف) بیشترین پیش‌بینی دسته سوم را دارد. در نمودارهای پیش‌بینی همه حالت‌ها به شکل U ظاهر شده‌اند (دسته وسط پایین و دو دسته سمت راست و چپ بالا)، به خصوص (الف) و (ج) که مربوط به سن پیش‌بینی کمتر از ۲۴ ساعت هستند. متأسفانه هیچ یک از حالت‌ها در نمودارهای دیدبانی برای حفظ شکل U در دسته سوم مناسب نیستند؛ دو علت اصلی این امر ضعف مدل در پیش‌بینی دسته نیمه‌ابری و پیش‌بینی زیاد دسته هوای صاف است. می‌توان نتیجه گرفت برای دسته سوم نمودارهای دیدبانی حالت (الف) بهترین و حالت (د) بدترین وضعیت را دارد، یعنی در حالت (د) دفعاتی که دیدبانی هوای ابری مشاهده کرده، ولی مدل هوای صاف پیش‌بینی کرده، زیاد است که دلیل این امر زیادبودن پیش‌بینی نادرست با دو دسته فاصله در دسته اول نمودار پیش‌بینی حالت (د) است.

حفظ شده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل در پیش‌بینی‌های کمتر از ۲۴ ساعت برای دسته اول پیش‌بینی پذیرفتنی‌تری در مقایسه با پیش‌بینی بین ۲۴ و ۴۸ ساعت ارائه می‌کند.

همان‌طور که گفته شد، مدل در پیش‌بینی دسته دوم ضعیف است. از آنجایی که در نمودارها پیش‌بینی دسته دوم بسیار کم بود، بدیهی است که رنگ زرد دسته دوم نمودارهای دیدبانی، زیاد و رنگ سبز کم باشد. با این حال با مقایسه آشپانه دوم و سوم مشاهده می‌شود که آشپانه دوم نسبتاً بهتر از آشپانه سوم قادر به پیش‌بینی دسته دوم است. آشپانه سوم برای هر دو حالتش (ج و د) تنها دو مورد برای دسته دوم پیش‌بینی کرده که البته در هر دو مورد نیز پیش‌بینی درست بوده است. در مورد آشپانه دوم حالت (الف) تعداد پیش‌بینی بیشتری از حالت (ب) دارد، ولی تعداد پیش‌بینی‌های درست هر دو برابر است.

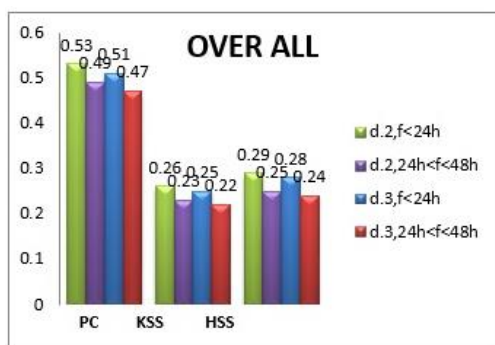
در دسته سوم نمودارهای پیش‌بینی هر چهار حالت در حفظ حالت U شکل بسیار مناسب عمل کرده‌اند،



شکل ۲. نمودارهای دفعات برخورد و ازدست رفته برای چهار حالت: (الف) آشپانه دوم، سن پیش‌بینی کمتر از ۲۴ ساعت، (ب) آشپانه دوم، سن پیش‌بینی بیشتر از ۲۴ ساعت و کمتر از ۴۸ ساعت، (ج) آشپانه سوم، سن پیش‌بینی کمتر از ۲۴ ساعت و (د) آشپانه سوم، سن پیش‌بینی بیشتر از ۲۴ ساعت و کمتر از ۴۸ ساعت.

وضعیتی که هوا نیمه‌ابری نباشد و به‌صورت رخداد پدیده نادرست پیش‌بینی شود، تقریباً وجود ندارد. در مورد این دسته به خاطر کم‌بودن داده‌ها نمی‌توان در مورد بعضی از کمیت‌ها مثل کمیت نسبت هشدارهای نادرست بیشتر توضیح داد.

برای دسته سوم کمیت ارزیابی برای تمام حالت‌ها کمتر از ۱ و بین ۰٫۶۵ تا ۰٫۸ است که فروپیش‌بینی را برای این دسته نشان می‌دهد. کمیت آهنگ برخورد برای تمام حالت‌ها نزدیک ۰٫۵ است و برای حالت (الف)، توانسته است ۵۸ درصد از رویدادهای این دسته یعنی هوای ابری را پیش‌بینی کند. کمیت نسبت هشدارهای نادرست برای این دسته نسبتاً کم است؛ بنابراین دفعاتی که رخداد این دسته پیش‌بینی شده است در بیشتر مواقع رخ می‌دهد. کمیت آهنگ هشدارهای نادرست نیز برای این دسته بسیار کم است؛ برای حالت (د) با مقدار ۰٫۱۴، بهترین وضعیت به دست می‌آید، زیرا تنها ۱۴ درصد از پدیده این دسته که رخ نداده است به‌صورت رخداد پدیده، نادرست پیش‌بینی شده است. به عبارت دیگر در مورد این دسته می‌توان گفت به اشتباه پیش‌بینی نمی‌شود و هوای صاف و نیمه‌ابری را به صورت هوای ابری پیش‌بینی نمی‌کند. سه کمیت کلی برای این حالت‌ها محاسبه شده که در شکل ۳ رسم گردیده است. نسبت صحیح برای هر چهار حالت نزدیک به ۰٫۵۰ است؛ به عبارتی نیمی از پیش‌بینی‌ها درست بوده است. ضعف این کمیت به دلیل ضعف مدل در پیش‌بینی دسته دوم و فرآیند پیش‌بینی دسته اول است. امتیازهای مهارتی پیرس و هاید برای تمام حالت‌ها بیشتر از ۰٫۲ است. امتیاز مهارتی هاید برای تمام حالت‌ها بیشتر از امتیاز مهارتی پیرس به دست آمد و بیشترین آن مربوط به حالت (الف) است که امتیاز مهارتی هاید مقدار ۰٫۲۹ را دارد.



شکل ۳. نمودارهای کمیت‌های کلی برای چهار حالت

از آنجا که به نظر می‌رسد ناتوانی مدل از جانب پیش‌بینی زیاد دسته اول و پیش‌بینی کم دسته دوم است، می‌توان نتیجه گرفت هر حالتی که در آن تعداد کل دفعات پیش‌بینی برای دسته اول کمتر و برای دسته دوم بیشتر باشد، نتیجه بهتری ارائه می‌دهد. از نمودارها مشاهده می‌شود که با افزایش قدرت تفکیک، دفعات پیش‌بینی هوای نیمه‌ابری و ابری کاهش و پیش‌بینی هوای صاف افزایش می‌یابد. بنابراین حالت (الف) نسبتاً وضعیت بهتری برای دسته‌های دوم و سوم دارد، درحالی‌که این حالت کمترین پیش‌بینی درست را برای دسته اول در مقایسه با حالت‌های دیگر دارد؛ بنابراین به نظر می‌رسد حالت (ج) و (د) بهترین حالت برای دسته اول باشد.

پس از تشکیل جدول توافقی و به دست آوردن کمیت‌های آن، می‌توان کمیت‌های راست‌آزمایی را محاسبه کرد.

برای دسته‌های اول مقدار کمیت ارزیابی برای تمام حالت‌ها بیش از ۲ به دست آمد که بیانگر فرآیند پیش‌بینی مدل برای هوای صاف است. آهنگ برخورد برای این دسته نزدیک ۱ است، یعنی تقریباً تمام موارد هوای صاف توسط مدل پیش‌بینی شده است. آهنگ برخورد گرایش مثبت دارد؛ بنابراین زیادبودن این مقدار در حالت (د) به ظاهر یک حسن است ولی باید این نکته در نظر گرفته شود که کمیت ارزیابی نیز در این حالت بیشترین مقدار را دارد؛ بنابراین نمی‌توان بر دقت آن تأکید کرد. کمیت نسبت هشدارهای نادرست در همه حالت‌ها نزدیک ۰٫۶ است، یعنی بیش از نیمی از پیش‌بینی‌های رخداد پدیده این دسته رخ نداده است که البته با زیادبودن کمیت ارزیابی این دسته نیز همخوانی دارد. کمیت آهنگ هشدارهای نادرست نیز برای تمام حالت‌ها تقریباً ۰٫۵۰ است؛ به عبارتی نیمی از دفعاتی که پدیده رخ نداده است، به‌صورت رخداد پدیده نادرست پیش‌بینی شده است، یعنی هوای نیمه‌ابری یا ابری به‌صورت هوای صاف پیش‌بینی شده است.

برای دسته دوم کمیت ارزیابی، آهنگ برخورد و امتیاز تهدید بسیار اندک است و این به‌خاطر ضعف مدل در پیش‌بینی هوای نیمه‌ابری (کمیت (a) دسته دوم) است. کمیت آهنگ هشدارهای نادرست برای این دسته بسیار کم است، یعنی می‌توان گفت

جدول ۲. کمیت‌های راست‌آزمایی برای چهار حالت: (الف) آشیانه دوم، سن پیش‌بینی کمتر از ۲۴ ساعت، (ب) آشیانه دوم، سن پیش‌بینی بیشتر از ۲۴ ساعت و کمتر ساعت، (ج) آشیانه سوم، سن پیش‌بینی کمتر از ۲۴ ساعت و (د) آشیانه سوم، سن پیش‌بینی بیشتر از ۲۴ ساعت و کمتر از ۴۸ ساعت

No clouds (0-2)	Partly cloudy (3-5)	Cloudy (6-8)
B = 2.16 H = 0.91 FAR = 0.57 F = 0.44 TS = 0.40	B = 0.23 H = 0.09 FAR = 0.59 F = 0.05 TS = 0.08	B = 0.81 H = 0.58 FAR = 0.28 F = 0.18 TS = 0.47
Overall: PC = 0.53 KSS = 0.2 HSS = 0.29		

(الف)

No clouds (0-2)	Partly cloudy (3-5)	Cloudy (6-8)
B = 2.40 H = 0.95 FAR = 0.60 F = 0.52 TS = 0.38	B = 0.19 H = 0.09 FAR = 0.50 F = 0.08 TS = 0.08	B = 0.70 H = 0.47 FAR = 0.32 F = 0.18 TS = 0.38
Overall: PC = 0.49 KSS = 0.23 HSS = 0.25		

(ب)

No clouds (0-2)	Partly cloudy (3-5)	Cloudy (6-8)
B = 2.49 H = 0.97 FAR = 0.60 F = 0.54 TS = 0.38	B = 0.02 H = 0.02 FAR = 0.00 F = 0.00 TS = 0.02	B = 0.76 H = 0.55 FAR = 0.27 F = 0.16 TS = 0.46
Overall: PC = 0.51 KSS = 0.25 HSS = 0.28		

(ج)

No clouds (0-2)	Partly cloudy (3-5)	Cloudy (6-8)
B = 2.68 H = 0.98 FAR = 0.63 F = 0.60 TS = 0.36	B = 0.02 H = 0.02 FAR = 0.00 F = 0.00 TS = 0.02	B = 0.65 H = 0.46 FAR = 0.28 F = 0.14 TS = 0.39
Overall: PC = 0.47 KSS = 0.22 HSS = 0.24		

(د)

از ۲۴ ساعت و رنگ قرمز با علامت مربع برای آشیانه سوم با سن پیش‌بینی بین ۲۴ و ۴۸ ساعت به کار گرفته شده است. در نمودار آهنگ برخورد، دسته اول نزدیک ۱، دسته دوم نزدیک صفر و دسته سوم نزدیک ۰.۵۰ است. حالت (د) بیشترین مقدار و حالت (الف) کمترین مقدار را برای دسته اول دارد و برای دسته سوم، حالت (الف) بیشترین مقدار و حالت (د) کمترین مقدار را دارد.

تفاوت‌های محسوس در این کمیت برای چهار حالت، بیشتر وابسته به تغییر سن پیش‌بینی است تا آشیانه؛ به طوری که به خصوص برای دسته سوم مشاهده می‌شود که رنگ سبز و آبی بالاتر از رنگ بنفش و قرمز است.

در نمودار آهنگ هشدارهای نادرست دسته اول بین ۰.۴ و ۰.۶ است. حالت (الف) کمترین مقدار و حالت (د) بیشترین مقدار را برای دسته اول دارد و تفاوت‌ها تابع تغییر آشیانه و سن پیش‌بینی است. دسته سوم کمتر از ۰.۲ است و حالت (د) کمترین مقدار را برای این دسته دارد.

در نمودار نسبت هشدارهای نادرست، دسته اول بین ۰.۵ تا ۰.۶ است. حالت (د) بیشترین مقدار و حالت (الف) کمترین مقدار را برای دسته اول دارد. دسته سوم نزدیک ۰.۳ است و در هر چهار حالت مقادیر تقریباً یکسان است؛ با وجود این تغییر مقادیر بیشتر با تغییر سن پیش‌بینی است و با افزایش آن بیشتر می‌شود.

در نمودار اریبی دسته اول بیشتر از ۲ و دسته سوم بین ۰.۶ و ۰.۷ است. حالت (د) بیشترین مقدار و حالت (الف) کمترین مقدار را برای دسته اول دارد و حالت (الف) بیشترین مقدار و حالت (د) کمترین مقدار را برای دسته سوم دارد. در تغییر مقادیر این کمیت به نظر می‌رسد وابستگی به تغییر آشیانه بیشتر از سن پیش‌بینی است.

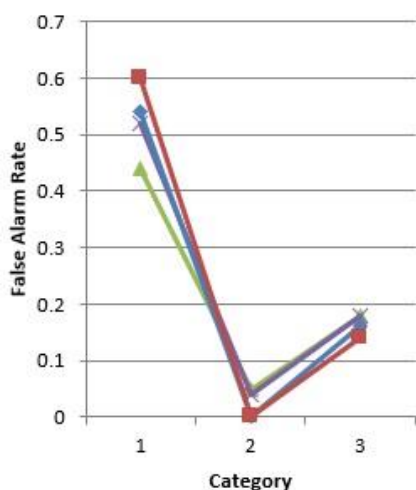
در نمودارهای کمیت‌های کلی مشاهده می‌شود که با افزایش سن پیش‌بینی نسبت صحیح کاهش یافته و همچنین آشیانه دوم بالاتر از سوم است؛ بنابراین نسبت صحیح به ترتیب در حالت‌های (الف)، (ج)، (ب) و (د) کاهش می‌یابد. امتیازهای مهارتی پیرس در همه حالت‌ها از امتیاز مهارتی هاید بیشتر است. ترتیب کاهش امتیازهای مهارتی نیز همانند نسبت صحیح است.

در شکل ۴ مقادیر کمیت‌های راست‌آزمایی در چهار حالت و برای سه دسته در یک نمودار مقایسه شده است. محور افقی، دسته‌های تعریف شده در جدول توافقی و محور قائم مقدار کمیت‌های راست‌آزمایی را نشان می‌دهد. نمودارهای رنگ سبز با علامت مثلثی برای آشیانه دوم با سن پیش‌بینی کمتر از ۲۴ ساعت، رنگ بنفش با علامت ضربدر برای آشیانه دوم با سن پیش‌بینی بین ۲۴ و ۴۸ ساعت، رنگ آبی با علامت لوزی برای آشیانه سوم با سن پیش‌بینی کمتر

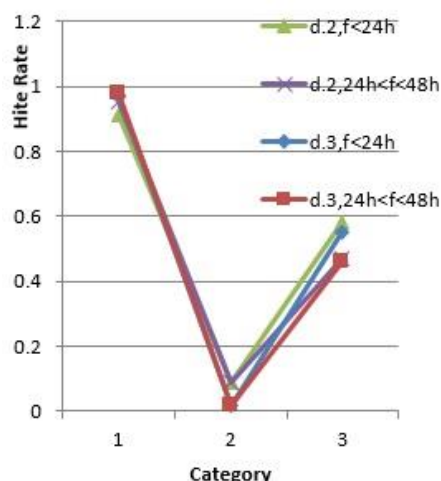
دسته دوم است.

در شکل ۵ به وسیله کمیتهای جدول توافقی (الف) نمودارهای (ج) رسم گردید. از نمودار مربوط به دیدبانی مشخص است که مدل تنها سه مورد از ۲۵ مورد هوای صاف را نتوانسته است پیش‌بینی کند، ولی قادر به پیش‌بینی ۱۰ مورد از ۱۱ مورد هوای نیمه‌ابری نبوده است. نمودار پیش‌بینی کاملاً به شکل L نمایان است. رنگ سبز دسته اول بسیار بالاست. مدل، دسته اول را زیاد و دسته دوم را کم پیش‌بینی کرده است. رنگ قرمز دسته سوم نیز نشان می‌دهد که تنها دو مورد هوای ابری به صورت هوای صاف توسط مدل پیش‌بینی شده است.

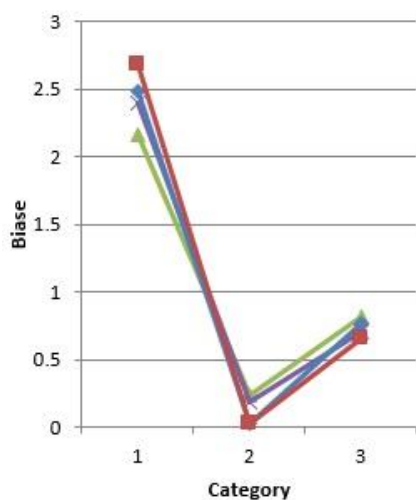
در نهایت در این بخش داده‌های به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای برای این دوره پنج‌روزه با داده‌های به‌دست‌آمده از مدل که از لحاظ مکانی و زمانی با داده‌های ماهواره‌ای قابل قیاس بود، راست‌آزمایی گردید. تعداد کل داده‌های استفاده‌شده ۵۰ مورد به‌دست‌آمده ابتدا مانند قسمت قبل جدول توافقی تشکیل شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود دسته‌بندی قسمت دیدبانی مانند قسمت قبل برحسب اکتا نیست، بلکه همانند داده‌های مدل برحسب درصد است. بیشترین مشاهدات برای دسته اول با ۲۵ مورد و نیز بیشترین پیش‌بینی برای دسته اول با ۳۵ مورد است. کمترین پیش‌بینی مدل برای



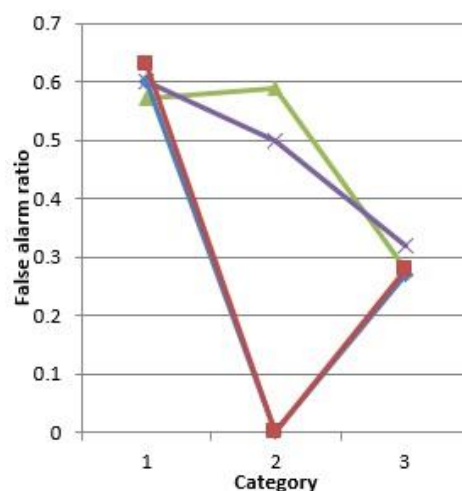
(ب)



(الف)

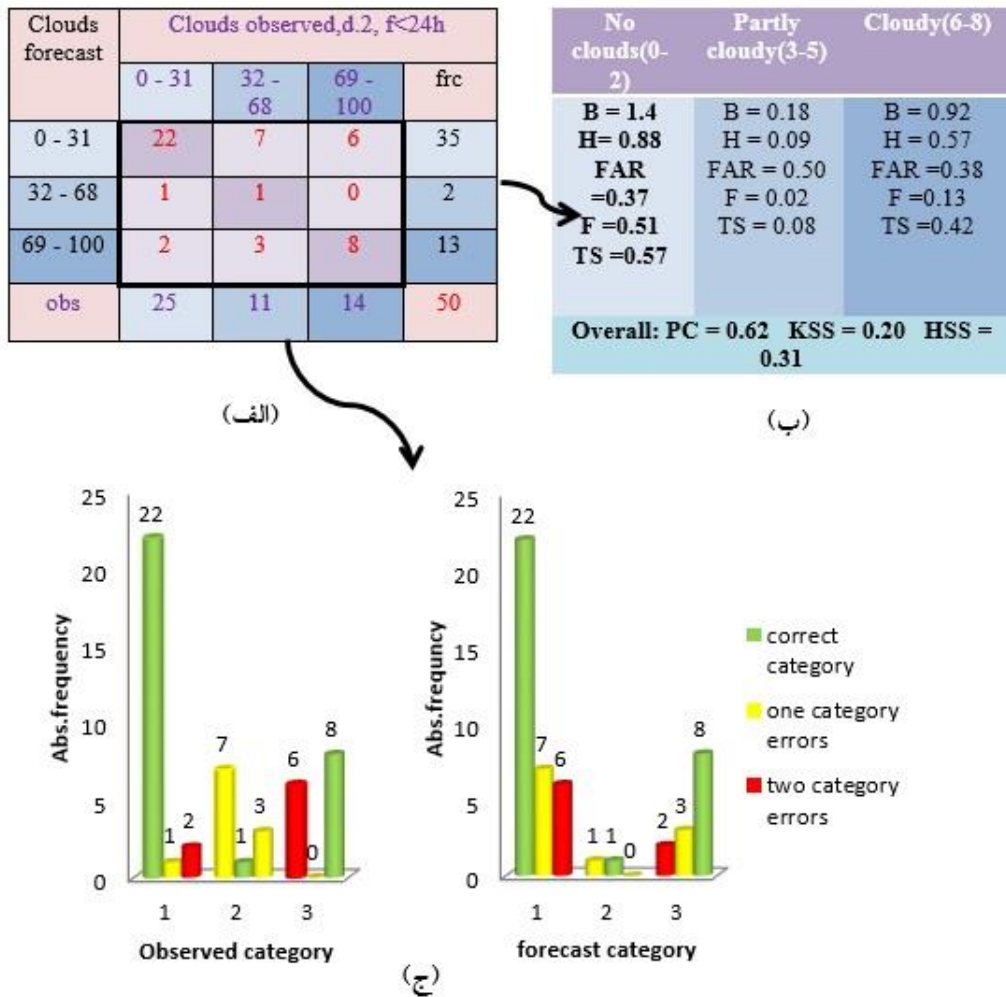


(د)



(ج)

شکل ۴. نمودارهای کمیتهای راست‌آزمایی سه دسته در چهار حالت برای (الف) آهنگ برخورد، (ب) آهنگ هشدارهای نادرست، (ج) نسبت هشدارهای نادرست و (د) اریبی.



شکل ۵. (الف) جدول توافقی ۳×۳، (ب) کمیت‌های راست‌آزمایی و (ج) نمودارهای برخورد و ازدست‌رفته، برای داده‌های دیدبانی ماهواره

دسته سوم کمیت ارزیابی بسیار خوب است و اندکی فروپیش‌بینی وجود دارد. آهنگ هشدارهای نادرست بسیار کم است. برای کمیت‌های آهنگ برخورد و امتیاز تهدید به ترتیب مقادیر ۰٫۵۷ و ۰٫۴۲ به دست آمده و کمیت نسبت هشدارهای نادرست ۰٫۳۸ است. مشاهده می‌شود که فراییش‌بینی و فروپیش‌بینی در دسته اول و سوم در مقایسه با بررسی قبلی کاهش یافته است. کمیت‌های کلی ماهواره در پایین جدول آورده شده است. کمیت نسبت صحیح ۰٫۶۲ و هر دو امتیاز مهارتی به ترتیب ۰٫۲ و ۰٫۳۱ به دست آمده که امتیاز مهارتی هاید بیشتر است.

نظر به این که نتایج داده‌های پنج‌روزه نمی‌تواند به‌طور دقیق بیانگر یک راست‌آزمایی باشد، برای تأیید بیشتر، مدل برای یک دوره زمانی سه‌ماهه نیز اجرا شد و با

با استفاده از کمیت‌های جدول توافقی، کمیت‌های راست‌آزمایی محاسبه شده و در جدول (ب) آورده شده است. در دسته اول کمیت ارزیابی ۱٫۴ می‌باشد که نشانگر یک فراییش‌بینی در هوای صاف است. کمیت آهنگ برخورد که گرایش مثبت دارد، نزدیک ۰٫۹۰ است. کمیت آهنگ هشدارهای نادرست ۰٫۵۱ است. کمیت نسبت هشدارهای نادرست ۰٫۳۷ است و بیان می‌کند که نیمی از پیش‌بینی‌های مدل در این دسته روی نداده است؛ این می‌تواند به دلیل فراییش‌بینی این دسته باشد. در دسته دوم کمیت ارزیابی ۰٫۱۸ است و یک فروپیش‌بینی برای این دسته وجود دارد. کمیت‌های آهنگ برخورد و امتیاز تهدید با گرایش مثبت برای این دسته کم بوده است. کمیت آهنگ هشدارهای نادرست با گرایش منفی بسیار کم و کمیت نسبت هشدارهای نادرست ۰٫۵۰ است. در

همان‌طور که در بخش قبلی نیز این نتیجه حاصل شد، مدل یک فرآیند پیش‌بینی برای هوای صاف دارد. برای دسته دوم و سوم این کمیت کمتر از ۱ است و مدل یک فروپیش‌بینی دارد؛ البته این کمیت برای دسته دوم کمتر از دسته سوم است و این به دلیل ضعف مدل در دفعات کم پیش‌بینی این دسته است.

کمیت امتیاز تهدید برای دسته اول نزدیک ۰,۵ و برای دسته دوم نزدیک صفر است و باز این به دلیل ضعف مدل در کم بودن تعداد دفعات پیش‌بینی این دسته است. همچنین برای دسته سوم این کمیت بین ۰,۲ و ۰,۳ است. کمیت نسبت صحیح نیز در بیشتر ایستگاه‌ها بیشتر از ۰,۵ است؛ همان نتیجه‌ای که در بخش قبل نیز به دست آمد. امتیازهای مهارتی بین ۰,۱ و ۰,۳ است و در همه موارد همانند بخش قبل امتیاز مهارتی هاید بیشتر از پیرس می‌باشد. مقادیر بزرگ‌تر این کمیت نشان‌دهنده بیشتر بودن درصد بهبود پیش‌بینی در مقایسه با پیش‌بینی مرجع است.

تمام بررسی‌ها گذشته از تفاوت در جزئیات، دارای نکات مشترکی نیز بوده‌اند که می‌توان آن‌ها را به‌طور خلاصه بیان کرد؛ خلاصه این نتایج در جدول ۳ آمده است.

داده‌های مشاهداتی راست‌آزمایی گردید که نتایج قبلی را تأیید می‌کند.

کمیت آهنگ برخورد برای تمام ایستگاه‌ها مانند بخش قبلی بیشتر از ۰,۹۰ است؛ بنابراین می‌توان گفت مدل تقریباً قادر به پیش‌بینی تمامی موارد هوای صاف بوده و هیچ مورد از دست‌رفته‌ای نداشته است. برای دسته دوم این کمیت همچنان پایین و نزدیک صفر است و ضعف مدل در پیش‌بینی هوای نیمه‌ابری را نشان می‌دهد. برای دسته سوم مقدار این کمیت به طور متوسط بین ۰,۳ تا ۰,۵ به دست آمد. کمیت نسبت هشدارهای نادرست برای تمام دسته‌ها بین ۰,۳ تا ۰,۷ بود؛ حتی برای دسته دوم که در بخش قبلی به دلیل کم بودن داده درباره آن بحث نشد. کمیت نسبت هشدارهای نادرست برای دسته اول بین ۰,۴ تا ۰,۷ بوده و به نسبت بالاست. به عبارت دیگر دفعاتی که هوا صاف نبوده، ولی مدل هوای صاف پیش‌بینی کرده است، زیاد می‌باشد. برای دسته دوم و سوم این کمیت بسیار کم است. یعنی تعداد دفعاتی که هوا نیمه‌ابری یا ابری نبوده است، ولی مدل نیمه‌ابری یا ابری پیش‌بینی کرده، بسیار اندک است؛ بنابراین پیش‌بینی مدل قابل قبول است.

کمیت نسبت صحیح برای دسته اول تقریباً ۲ است.

جدول ۳. خلاصه‌ای از نتایج مشترک از تمام بررسی‌ها

نکات قوت پیش‌بینی مدل برای ابرناکی		نکات ضعف پیش‌بینی مدل برای ابرناکی	
مقدار تقریبی کمیت راست‌آزمایی	تحلیل کمیت راست‌آزمایی	مقدار تقریبی کمیت راست‌آزمایی	تحلیل کمیت راست‌آزمایی
H ~ 1	مدل تقریباً قادر به پیش‌بینی تمامی هواهای صافی که روی می‌دهد، هست.	FAR ~ 0.5	نیمی از پیش‌بینی‌های مدل برای هوای صاف روی نمی‌دهد.
F ~ 0.1	مدل تقریباً هیچگاه هوای صاف و نیمه‌ابری را ابری پیش‌بینی نمی‌کند.	B ~ 0.2	مدل هوای نیمه‌ابری را بسیار کم پیش‌بینی می‌کند.

۵. نتیجه گیری

در ابتدا پیش‌بینی مدل WRF و مقایسه آن با تصاویر رادار و ماهواره نشان داد که این مدل پیش‌بینی عددی قادر است هوای صاف و ابری را از یکدیگر تمیز دهد ولی از آنجایی که همیشه هوا صاف و یا ابری نیست، در این فواصل خطاهایی حاصل می‌شود. به منظور به دست آوردن دقت و مهارت مدل به صورت عددی کمیت‌های راست‌آزمایی محاسبه شده و نتایج آن بدین شرح به دست آمد:

مدل با هر سن پیش‌بینی و هر قدرت تفکیک آشیانه تقریباً تمامی هواهای صاف را پیش‌بینی کرده است؛ همچنین تعداد دفعات پیش‌بینی هوای نیمه‌ابری توسط مدل بسیار اندک بود ولی کمیت‌های مربوط به هوای ابری قابل قبول بودند. مدل برای هوای صاف فرایض‌بینی دارد، ولی برای هوای ابری و به خصوص نیمه‌ابری فرویض‌بینی دارد. در صورتی که هوا صاف یا نیمه‌ابری بوده، مدل به تعداد بسیار اندکی هوای ابری پیش‌بینی کرده است.

نکته شایان توجهی که از بررسی آشیانه‌های مختلف حاصل شد، این بود که تعداد دفعات پیش‌بینی هوای نیمه‌ابری در آشیانه سوم با قدرت تفکیک ۴ کیلومتر از آشیانه دوم با قدرت تفکیک ۱۲ کیلومتر کمتر است. این مطلب از مقایسه تصاویر خروجی مدل برای دو آشیانه نیز آشکارا دیده می‌شود. به دلیل کم بودن داده‌ها در دسته

پیوست

دوم نمی‌توان پیش‌بینی هوای نیمه‌ابری را برای دو آشیانه مقایسه کرد، ولی از آنجا که ضعف مدل در فرویض‌بینی زیاد هوای نیمه‌ابری است، می‌توان گفت آشیانه دوم برای بعضی از کمیت‌های جدول توافقی بهتر جواب می‌دهد. همچنین با مقایسه دو سن پیش‌بینی در دوره سه‌ماهه مشاهده شد که در دسته اول کمیت‌های آهنگ هشدارهای نادرست و نسبت هشدارهای نادرست با گرایش منفی، با افزایش سن پیش‌بینی کاهش یافته است؛ همچنین فرایض‌بینی کاهش یافته و باعث کاهش کمیت آهنگ برخورد و امتیاز تهدید شده است. در دسته دوم، فرویض‌بینی اندکی کاهش یافته (کمیت اریبی افزایش یافته) و بقیه کمیت‌ها تقریباً بدون تغییر مانده‌اند. در دسته سوم با افزایش سن پیش‌بینی، کمیت اریبی به ۱ نزدیک‌تر شده است. همچنین کمیت آهنگ برخورد با گرایش مثبت با افزایش سن پیش‌بینی، افزایش و امتیاز تهدید افزایش ناچیزی یافته است. کمیت‌های آهنگ هشدارهای نادرست و نسبت هشدارهای نادرست با گرایش منفی اندکی افزایش یافته‌اند.

تشکر و قدردانی

در این پژوهش از داده‌های سازمان هواشناسی و پژوهشکده هواشناسی و علوم جوی استفاده شده است که بدین طریق نگارندگان تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

جدول ۱-پ. جدول توافقی $K \times K$

	Observed category					Total
	i,j	1	2	...	K	
Forecast category	1	$n(F_1, O_1)$	$n(F_1, O_2)$	...	$n(F_1, O_k)$	$N(F_1)$
	2	$n(F_2, O_1)$	$n(F_2, O_2)$	...	$n(F_2, O_k)$	$N(F_2)$

	K	$n(F_k, O_1)$	$n(F_k, O_2)$	...	$n(F_k, O_k)$	$N(F_k)$
Total		$N(O_1)$	$N(O_2)$	...	$N(O_k)$	N

امتیاز مهارتی پیرس:

$$KSS = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k N_{i,i} - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^k N(F_i) N(O_i)}{1 - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^k (N(F_i))^2}$$

امتیاز مهارتی هایلد:

$$HSS = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k N_{i,i} - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^k N(F_i) N(O_i)}{1 - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^k N(F_i) N(O_i)}$$

امتیاز تهدید:

$$TS_i = \frac{N_{i,i}}{\sum_{j=1, j \neq i}^k N_{i,j} + \sum_{j=1}^k N_{j,i}}$$

(بر گرفته از وبگاه www.cawcr.gov.au/projects/verification)

برای پوشش ابری کل جدول ۳×۳ پیشنهاد شده است که در سه دسته هوای صاف، نیمه‌ابری و ابری می‌باشد (گزارش ۱-۲۰۱۲، WWRP). i = 1, 2, 3 دسته‌بندی پوشش ابری کل به سه دسته هوای صاف، نیمه‌ابری و ابری می‌باشد.

پیش‌بینی بر حسب درصد و ایستگاهی بر حسب اکتا بیان شده است. به‌عنوان مثال کمیت (r): تعداد دفعاتی که مدل ابرناکی را بین ۳۱-۰ درصد پیش‌بینی و دیدبان بین ۲-۰ اکتا گزارش کرده است. در این تحقیق تطبیق این دو نوع تقسیم‌بندی انجام گرفته است.

N(F_i): تعداد کل دفعاتی که مدل پدیده را در دسته i پیش‌بینی کرده است.

N(O_i): تعداد کل دفعاتی که دیدبان پدیده را در دسته i مشاهده کرده است.

N(i,j): تعداد دفعاتی که پیش‌بینی‌ها در دسته i و مشاهدات در دسته j بوده است.

N: تعداد کل داده‌ها

کمیت‌های راست آزمایی برای یک جدول توافقی k×k

کمیت اریبی: $B_i = \frac{\sum_{j=1}^3 N_{i,j}}{\sum_{j=1}^3 N_{j,i}}$

کمیت آهنگ برخورد: $H_i = \frac{N_{i,i}}{\sum_{j=1}^k N_{j,i}}$

کمیت نسبت صحیح: $PC = \frac{\sum_{i=1}^k N_{i,i}}{N}$

کمیت آهنگ هشدارهای نادرست:

$$F_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^k N_{i,j}}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1, j \neq i}^k N_{i,j}}$$

کمیت نسبت هشدارهای نادرست:

$$FAR_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^k N_{i,j}}{\sum_{j=1}^k N_{i,j}}$$

جدول ۲-پ. جدول توافقی ۳×۳ (K=۳) برای پوشش ابری کل

Clouds forecast	Clouds observed			Frc
	۰-۲	۳-۵	۶-۸	
۰-۳۱	r	s	t	N(F1)
۳۲-۶۸	u	v	w	N(F2)
۶۹-۱۰۰	x	y	z	N(F3)
obs	N(O1)	N(O2)	N(O3)	N

a = r	b = s+t
c = u+x	d = v+w+y+z

a = v	b = u+w
c = s+y	d = r+t+x+z

a = z	b = x+y
c = t+w	d = r+s+u+v

مراجع

Azadi, M., Taghizadeh, E., Memarian, M. H. and Dmitrieva-Arrago, L. R., 2013, Comparing the results of precipitation forecast based on mesoscale models on the territory of Iran during the cold season, Russian Meteorology and Hydrology, 38(9), 605-613.

Crocker, R. and Mittermaier, M., 2013, Exploratory use of a satellite cloud masks to verify NWP models. Meteorological Applications.

Ferro, C. A. T., Richardson, D. S. and Weigel, A. P., 2008, On the effect of ensemble size on the discrete and continuous ranked

probability scores, Meteorological Applications 15(1), 19-24.

Hamer, G. L., 1996, Forecaster assessments of cloud and visibility reports from the enhanced synoptic automated weather stations (Esaws) observations (land) Memo 3c, Met office.

Hogan, R. J., O'Connor, E. J. and Illingworth, A. J., 2009, Verification of cloud-fraction forecast, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 135(643), 1494-1511.

Keil, C. and Craig, G. C., 2007, A displacement-

- based error measure applied in a regional ensemble forecasting system, *Monthly Weather Review*, 135(9), 3248-3259.
- (WWRP), Report of world weather research programme, 2012,. Recommended Methods for Evaluating Cloud and Related Parameters.
- Morcrette, C. J., O'Connor, E. J. and Petch, J. C., 2012, Evaluation of two cloud parametrization schemes using arm and cloud-net observations, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 138(665), 964-979.
- Nurmi, P., 2003, Recommendations on the verification of local weather forecasts.
- Ringer, M. A., McAvaney, B. J., Andronova, N., Buja, L. E., Esch, M., Ingram, W. J., Li, B., Quaas, J., Roeckner, E. and Senior, C. A., 2006, Global mean cloud feedbacks in idealized climate change experiments, *Geophysical research letters*, 33(7), L07718.
- Williams, K. and Brooks, M., 2008, Initial tendencies of cloud regimes in the Met Office Unified Model, *J. Clim*, 21, 833-840.
- Zingerle, C. and Nurmi, P., 2008, Monitoring and verifying cloud forecasts originating from operational numerical models, *Meteorological Applications*, 15(3), 325-330.