

بررسی اثر گوارد داده‌های رادار در مدل عددی ARPS در شبیه‌سازی بارش حاصل از سامانه همدیدی ۳۱ مارس ۲۰۰۹ در منطقه تهران

محمود صفر^۱، فرهنگ احمدی‌گیوی^{۱*} و علیرضا محب‌الحجه^۱

^۱موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۳۰)

چکیده

استفاده از داده‌های راداری در تشخیص پدیده‌های جوئی با کیفیت زمانی و مکانی مناسب یکی از روش‌های تصحیح پیش‌بینی عددی کمیت‌های جوئی است. در این پژوهش با استفاده از سامانه داده‌گذاری مدل عددی ARPS تاثیر داده‌های راداری بر پیش‌بینی میان‌مدت میزان بارش در منطقه تهران و قم مورد بررسی قرار می‌گیرد. سامانه همدیدی موردنظر که در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ مناطق مرکزی و جنوبی کشور را تحت تاثیر قرار داد، ناشی از کم‌فشار سودانی همراه با اثر شدید پُرفشار سیبری بود که موجب بارش قابل‌توجه در این مناطق از کشور و کمینه بارش در جنوب البرز شرقی شد. نتایج نشان‌دهنده تاثیر داده‌های رادار در طول زمان اجرای مدل است، ولی تاثیر این داده‌ها در زمان‌های پایانی اجرای مدل محسوس‌تر است. این بدان علت است که آخرین بخش داده‌های رادار در ساعت ۳۰:۱۰ UTC وارد مدل شده است، در نتیجه تاثیر این داده‌ها بر نتایج خروجی مدل در بخش انتهایی بیشتر از ساعت‌های اولیه ورود داده‌های راداری است.

واژه‌های کلیدی: رادار هواشناسی، پیش‌بینی عددی میزان بارش، مدل ARPS، منطقه تهران

Impact of assimilating radar data to the ARPS numerical model in simulating the precipitation due to the synoptic system on the 31st of March 2009 in Tehran province

Mahmoud Safar¹, Farhang Ahmadi-Givi^{1*} and Ali Reza Mohebalhojeh¹

¹Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 26 December 2011, accepted: 13 June 2012)

Summary

Remote sensing is a maturing discipline that calls for a wide range of specialties and crosses boundaries between traditional scientific and technological disciplines. Its multidisciplinary nature requires its practitioner to have a good basic knowledge in many areas of science and requires interactions with researchers in a wide range of areas such as electromagnetic theory, spectroscopy, applied physics, geology, atmospheric sciences, agronomy, oceanography, plasma physics, electrical engineering, and optical engineering.

*Corresponding author:

ahmadig@ut.ac.ir

*نگارنده رابط:

The scattering of electromagnetic waves by precipitation particles and their propagation through precipitation media are of fundamental importance in understanding the signal returns from dual-polarized, Doppler weather radars.

The main advantage of using radars for precipitation estimation is that they can provide measurements over large areas (about 10 000 km²) with fairly high temporal and spatial resolutions. Installing just one gauge for each radar spatial sample (150 m resolution in range and one-degree resolution in azimuth) would require more than one-quarter of a million gauges over a 150-km radius. These measurements are sent to a central location at the speed of light by "natural" networks. In addition, radars can provide fairly rapid updates of the three-dimensional structure of precipitation.

The use of the radar data to detect atmospheric phenomena with suitable spatial and temporal resolutions has become one of the main methods to improve the performance of numerical weather prediction models. The effects of assimilating radar data to the ARPS numerical model on short time rain forecasts were investigated for a region covering parts of Tehran and Qom Provinces. The investigation was carried out for a synoptic system that affected the central and southern regions of Iran on March 31, 2009. The result of the juxtaposition of a Sudanese low and a strong Siberian high, the synoptic system led to remarkable rainfall in the main parts of the region of interest while leaving the southern flanks of Eastern Alborz with little rain.

The ARPS numerical model was ran in two different ways: first, with the GFS (Global Forecast System) data in 3-hour time intervals; second, using the same GFS data together with the assimilation of the data of Tehran's meteorological radar. The results of the latter two applications were compared with the actual observed rainfall accumulated over 6-hour and 24-hour intervals on March 31, 2009.

The results demonstrated the usefulness of assimilating radar data to improve the rainfall forecast, both quantitatively and qualitatively. The effects of the radar data are felt more strongly at the final hours of the model run. This is due to the fact that the last part of the radar data was assimilated to the model at 10:30 UTC. The usefulness of the radar data assimilation is less felt in the high-altitude parts where the rain forecast critically depends on the particular cloud and the scheme used in convection parameterization. For the same reason, the rainfall forecast error is usually larger in the high-altitude parts of the region.

Key words: Weather radar, rain rate numerical forecasting, ARPS model, Tehran

۱ مقدمه

اندازه‌گیری ضخامت لایه ابر و تعیین خط هم‌دمای صفر درجه درون ابر است (رزنفیلد و آمیتای، ۱۹۹۲ و اشتاینر و هوز، ۱۹۹۴ و بیگراستف و لیستما، ۱۹۹۹). داده‌های فراهم شده به این روش، برای استفاده در مدل‌های عددی میان‌مقیاس برای پیش‌بینی دقیق‌تر شرایط آب و هوایی به کار می‌رود.

فراهم آوردن داده‌های موردنیاز با تفکیک مکانی زیاد برای مدل‌های عددی، یکی از علل استفاده از داده‌های راداری در این مدل‌ها است. کاستن از معضل آشکارسازی سامانه‌های همرفتی در مدل‌های عددی

استفاده از داده‌های راداری نه تنها شکل کلی و ابعاد پدیده‌های جوی در مقیاس‌های متفاوت زمانی- مکانی را به دست می‌دهد، بلکه اطلاعات کاملی از مرحله شکل‌گیری، شدت و ساختار آنها را به منظور بهبود پیش‌بینی‌ها مهیا می‌کند. جداسازی مناطق بارشی همرفتی از بارش‌های پوششی با کمک داده‌های راداری و با استفاده از شیوه‌های پردازش متنوع صورت می‌گیرد. نمونه‌ای از این روش‌ها، بررسی گرادیان شعاعی برگشت‌پذیری راداری، تحلیل نمایه قائم برگشت‌پذیری و همچنین

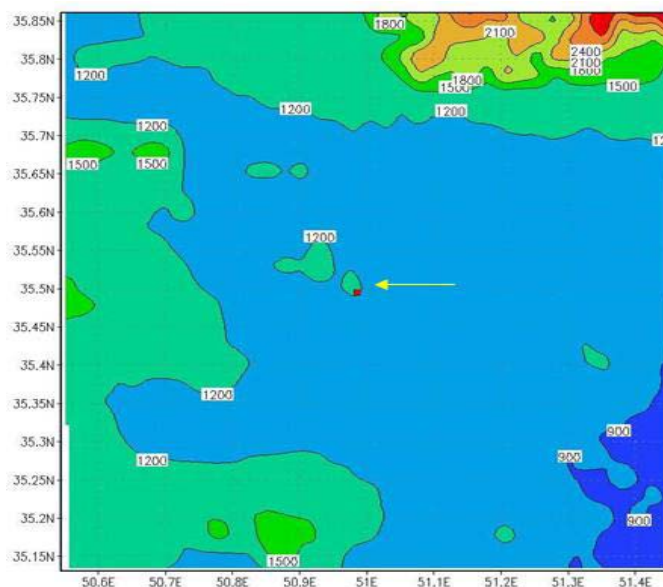
پیش‌بینی عددی ارزیابی شود، این پیش‌بینی برای کوتاه‌مدت بسیار دقیق‌تر از پیش‌بینی بدون داده‌های راداری است؛ ولی در همان شرایط بارشی و با استفاده از همه داده‌های راداری در دسترس می‌توان مدت بهبود پیش‌بینی را تا ۱۲ ساعت افزایش داد (ژائو و همکاران، ۲۰۰۶).

پیش‌بینی کمی و کیفی بارش در منطقه‌ای مانند تهران، به‌علت تراکم جمعیتی، موقعیت صنعتی و اقتصادی و همچنین وجود ۶ فرودگاه فعال، اهمیت ویژه‌ای دارد. از طرفی تاکنون، هیچ مدل میان‌مقیاسی برای پیش‌بینی بارش و بروز خطر احتمالی سیل با استفاده از داده‌های راداری، در این منطقه اجرا نشده است.

در این تحقیق تاثیر سامانه داده‌گوارای مدل عددی ARPS با استفاده از داده‌های رادار هواشناسی تهران در شبیه‌سازی بارش سامانه همدیدی که در بهار ۲۰۰۹ منطقه تهران و قم را تحت تاثیر قرار داد، بررسی شده است. مدل عددی به کار رفته میان‌مقیاس و با تفکیک افقی ۰/۸ کیلومتر است و منطقه تحت پوشش در راستای مداری از ۵۰/۳ الی ۵۱/۹ درجه شرقی و در راستای نصف‌النهاری از ۳۴/۹ الی ۳۶/۱ درجه شمالی را در بر می‌گیرد (شکل ۱).

میان‌مقیاس با استفاده از داده‌های سنجش از دور، یکی از راهکارهای مهم است و در این میان، داده‌های راداری با داشتن تفکیک زمانی و مکانی مناسب نسبت به حس‌گرهای دیگر نظیر لیدار و ماهواره‌های هواشناسی، دارای کاربرد گسترده‌تری هستند. استفاده از این داده‌ها در مدل عددی WRF برای پیش‌بینی بارش‌های همرفتی نشان‌دهنده نتایج دقیق‌تر و واقعی‌تری در مقایسه با پیش‌بینی عددی این مدل بدون استفاده از داده‌های راداری است (سوگیموتو و همکاران، ۲۰۰۹).

پیش‌بینی کمی و کیفی بارش با استفاده از مدل‌های عددی و داده‌های راداری، فارغ از نوع مدل عددی به کار رفته، نشان‌دهنده بهبود برآورد میزان بارش با کمک این مدل‌ها است. برای مثال در مدل MMS و با استفاده از مولفه باد دوپلری به‌دست آمده از داده‌های راداری، دقت بیشتر مدل در برآورد میزان بارش و تعیین محل نوار بارشی مشاهده شده است (ژائو و همکاران، ۲۰۰۴). زمان اثرگذاری داده‌های راداری بر پیش‌بینی عددی نیز به داده‌های راداری به کار رفته و همچنین نوع سامانه بارشی بستگی دارد. در مواردی که فقط از داده‌های باد حاصل از رادار هواشناسی استفاده و برای یک سامانه بارشی پوششی



شکل ۱. منطقه تحت پوشش در آزمایش‌ها همراه با توپوگرافی. نقطه سرخ، محل رادار هواشناسی را نشان می‌دهد.

می‌گردد. در این نسخه، مدل براساس جو خشک و تراکم‌پذیر از روابط دینامیکی انتگرال می‌گرفت. این نسخه خیلی زود با معرفی نسخه ۲ که مدلی کاملاً سه‌بعدی و با مختصات تغییر یافته سیگما، جایگزین شد. سپس نسخه ۲/۵ و در ۱۹۹۲ نسخه ۳ آن که نسخه عمومی و قابل استفاده برای جامعه علمی بود، معرفی شد. نسخه ۴ مدل نسبت به نسخه قبلی آن تغییرات چشمگیری دارد و بسیار بهبود یافته است. هم‌اکنون نسخه ۵ مدل در اختیار کاربران قرار گرفته است که نسبت به نسخه ۴ با افزودن تغییرات ویژه و رفع بسیاری از اشکالات برنامه‌ای مدل و همچنین طرحواره‌های مورد استفاده، ارتقاء و گسترش یافته است. مجموعه معادلات و روابط مورد استفاده در این مدل به تفصیل در مقاله‌های شوء و همکاران (۱۹۹۵، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳) توضیح داده شده است. در ادامه فقط نکات اساسی که در این تحقیق و در خصوص ویژگی‌های مدل مهم و تاثیرگذار و توجیه‌کننده برخی از رفتارهای مدل در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته است، به اختصار آورده خواهد شد.

مدل ARPS دارای قابلیت استفاده از داده‌های عوارض زمین با دقت تفکیک ۳۰ ثانیه، استفاده از دستگاه مختصات دکارتی ۱، ۲ و ۳ بعدی، مختصه قائم‌تعمیم یافته سیگما با امکان تغییر فاصله در راستای قائم بین ترازها، استفاده از شبکه C آراکوا با فواصل مساوی در دو راستای x و y، استفاده از طرحواره تفاضل متناهی با دقت مرتبه ۲ و ۴ برای جملات فرارفت و مرتبه ۲ برای دیگر جملات، استفاده از طرحواره زمانی لپ فراگ برای حل معادلات، استفاده از مدل خاک دولایه‌ای، سامانه داده‌گواهی به روش وردشی پیشرو برای استفاده از داده‌های راداری، قابلیت انتقال خودکار حوزة انتگرال‌گیری و مسیریابی توفان، قابلیت حل تودرتو دینامیکی شبکه، استفاده از طرحواره‌های پارامترسازی

سامانه فوق موجب بارش قابل توجه، در مناطق جنوبی و غربی کشور می‌شود و میزان بارش در نواحی جنوبی رشته کوه البرز و مناطق کوهستانی کمتر است. دلیل اصلی انتخاب این سامانه، جاری شدن سیل مخرب در بعضی مناطق از استان قم و تهران است که هیچگونه پیش‌اخطار و یا پیش‌بینی در این مورد از سوی سازمان هواشناسی کشور اعلام نشده بود. با استفاده از فاصله شبکه‌ای ۰/۸ کیلومتر و داده‌های مربوط به توپوگرافی با تفکیک ۳۰ ثانیه، سعی شده است تا تاثیر توپوگرافی در پیش‌بینی عددی به صورت بهینه درآید (مزرعه فراهانی و همکاران، ۱۳۸۸). علت اجرای مدل با تفکیک زیاد، هم در نظر گرفتن نقش کوهستان در بارش منطقه و توپوگرافی کاملاً پیچیده این منطقه است (بیدختی و همکاران، ۱۳۸۶) و هم اینکه چون داده‌های راداری به کار رفته در این پژوهش دارای تفکیک مکانی در حدود یک کیلومتر است، بررسی داده‌های راداری با این تفکیک مدل دقیق‌تر صورت می‌گیرد.

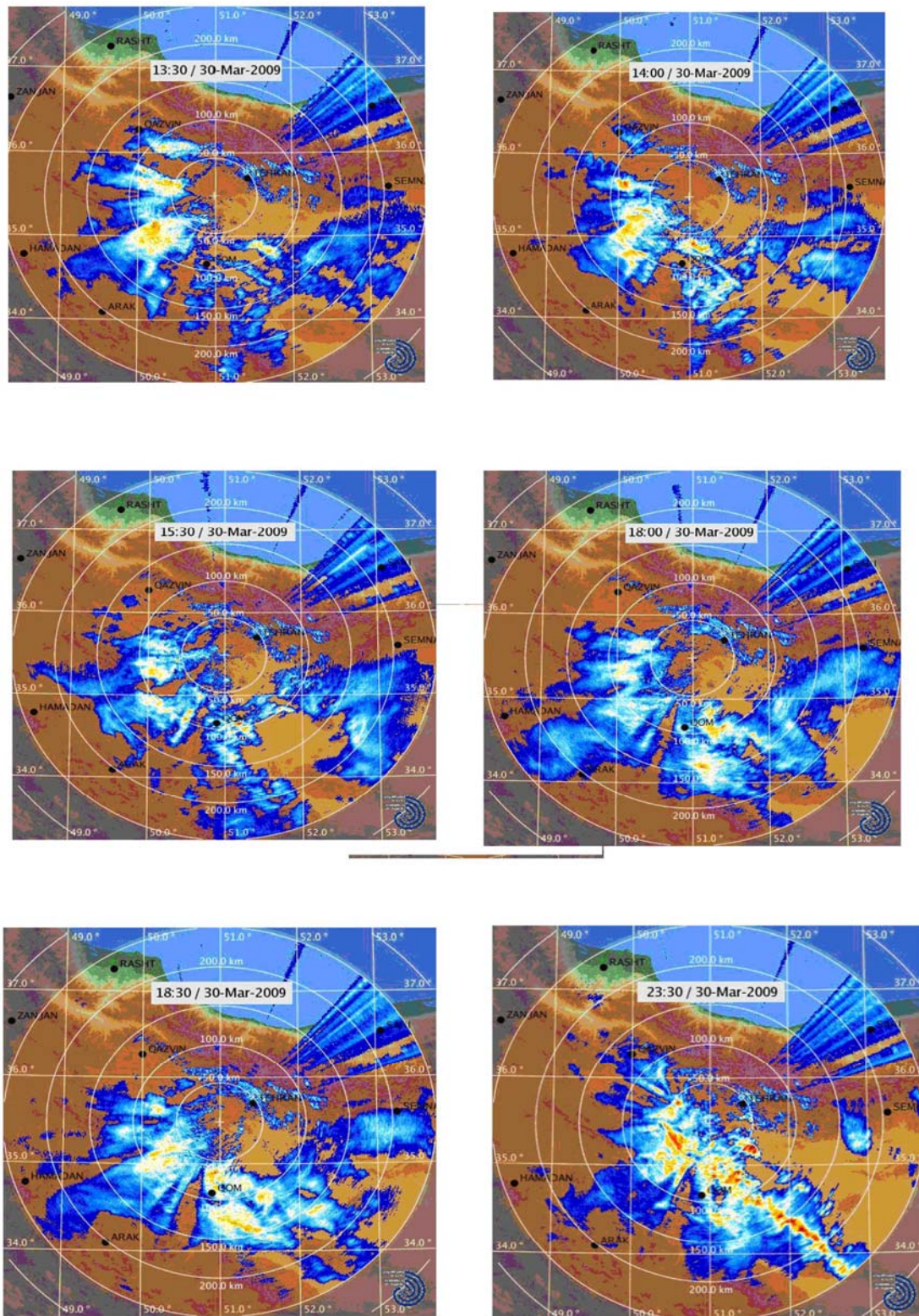
نکته قابل ذکر آن است که در بررسی نتایج خروجی مدل عددی در هر دو روش، مقادیر دیده‌بانی شده حاصل از گزارش‌های سازمان هواشناسی کشور مبنای مقایسه قرار گرفته است که در عمل این داده‌های دیده‌بانی شده برحسب نوع بارش و همچنین شرایط محیطی و خطای باران‌سنج‌ها، دور از خطا نخواهد بود.

۲ داده‌ها و روش تحقیق

در این بخش ابتدا به معرفی اجمالی مدل ARPS و چگونگی اجرای مدل در این پژوهش پرداخته می‌شود.

۱-۲ مدل عددی ARPS

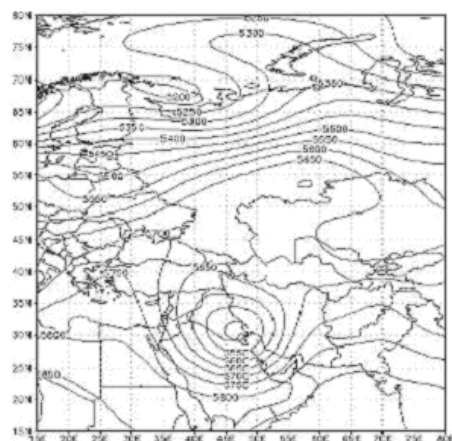
مینگ شوء مدل ARPS را در دانشگاه ردینگ انگلستان پایه‌گذاری کرد (شوء و همکاران، ۱۹۹۵). تاریخچه ایجاد این مدل به سال ۱۹۹۰ که اولین نسخه آن معرفی شد، باز



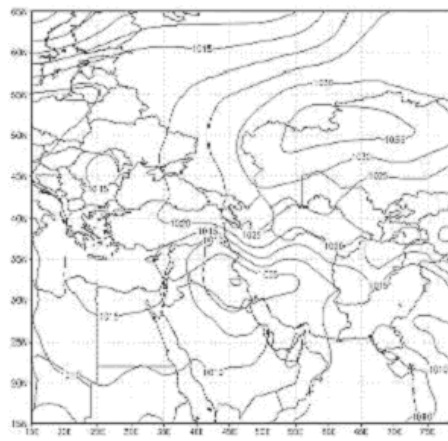
شکل ۲. بارش سطحی ثبت شده با رادار هواشناسی تهران در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹.

الف- در راستای افقی همگن و با آغازگری داده‌های رادیوگمانه، ب- استفاده از تابع‌های تحلیلی و پ- داده‌های سه‌بعدی و افقی غیرهمگن (داده‌های واقعی). شرایط مرزی نیز به ۶ روش در مدل قابل اعمال است: الف- دوره‌ای، ب- سخت، پ- شیو صفر، ت- موج-تابشی، ث- واداشته خارجی و ج- شرط تعیین شده از سوی کاربر. برای شرایط مرزی زیرین و زیرین جو چهار انتخاب وجود دارد که شامل مرز سخت، شیو صفر، دوره‌ای و تابشی در قله جو است. به منظور پارامترسازی لایه سطحی از روش آثرویدنامیکی توده‌ای استفاده می‌شود.

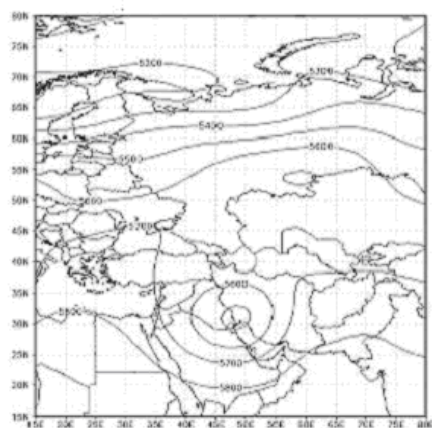
ابراهیم کومه‌ای کو و کین- فریچ، استفاده از طرحواره کسلر برای پارامترسازی خردفیزیک ابر با توانایی پارامترسازی باران گرم و سه نوع بارش یخی است. علاوه بر نکات فوق، مهم‌ترین متغیرهای پیش‌یابی و محاسباتی مدل شامل مؤلفه‌های باد، مقادیر تلاطمی دما و فشار، نسبت آمیختگی، انرژی جنبشی تلاطمی برای مقیاس زیرشبکه‌ای، آب بارش شو، میزان آب ابر، آب باران، یخ ابر، برف، تگرگ، بودجه انرژی و رطوبت سطح است. همه برنامه‌های مدل ARPS به زبان فورترن ۷۷ و ۹۰ نوشته شده، به جز زیربرنامه صورت اسامی که به زبان C است. شرایط اولیه مدل از سه راه قابل وارد کردن است:



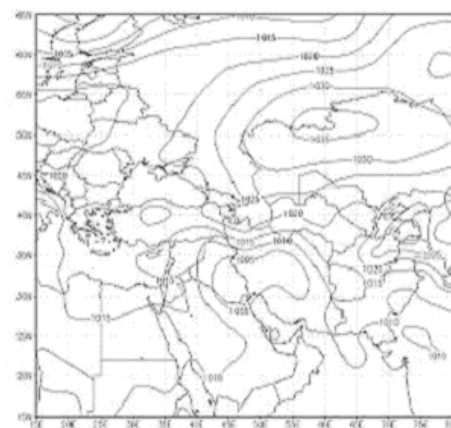
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

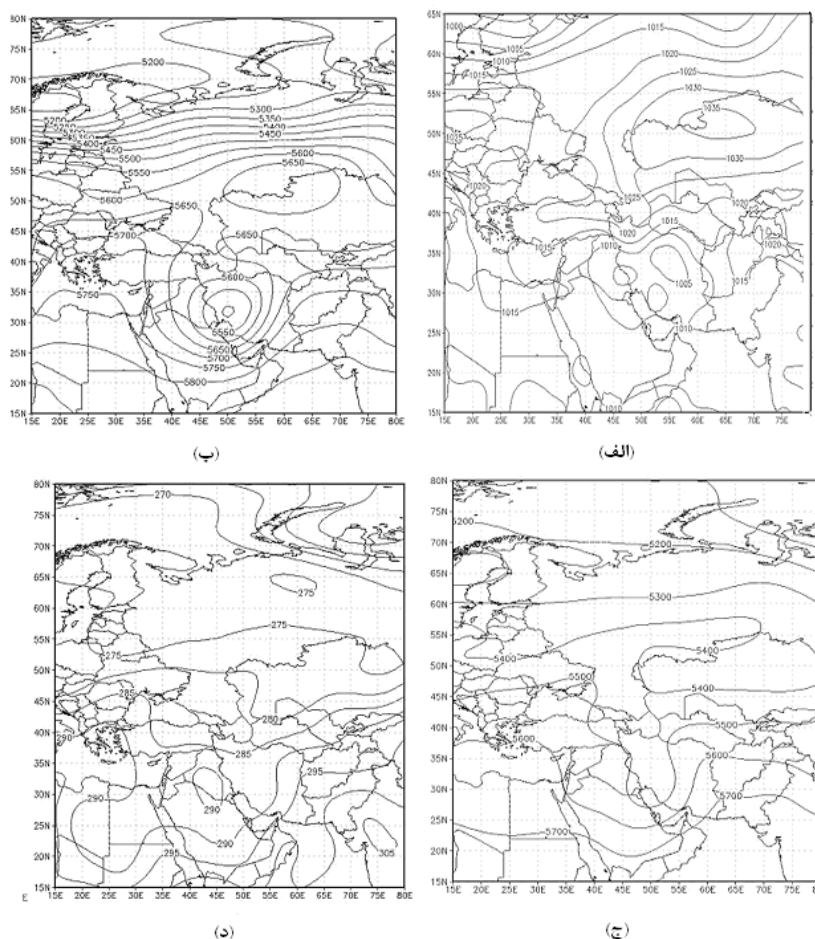
شکل ۳. نقشه‌های پیش‌یابی ۶ ساعته برای فشار سطح دریا (ستون چپ) و ارتفاع ژئوپتانسیلی ۵۰۰ هکتوپاسکال (ستون راست)؛ (الف) و (ب) ساعت UTC ۱۸:۰۰ روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ و (ج) و (د) UTC ۰۰:۰۰ روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹. فاصله پربندهای فشار ۵ هکتوپاسکال و ارتفاع ژئوپتانسیلی ۵۰ متر است.

شکل ۱ که وضعیت توپوگرافی منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد، بیشترین ارتفاع ۲۸۰۰ متر از سطح دریا در عرض جغرافیایی ۳۵/۸ درجه شمالی و طول ۵۱/۴ درجه شرقی قرار دارد. داده‌های سطحی و لایه‌های خاک نیز از همان منبع تهیه شده است.

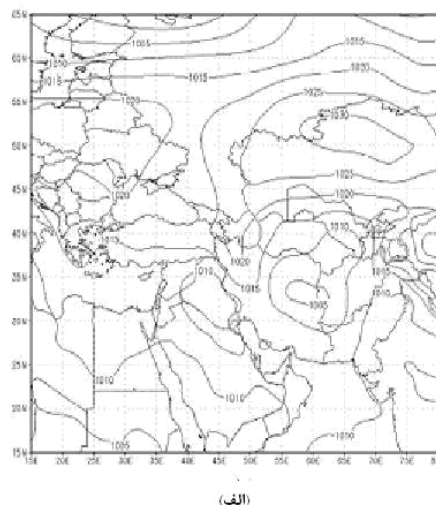
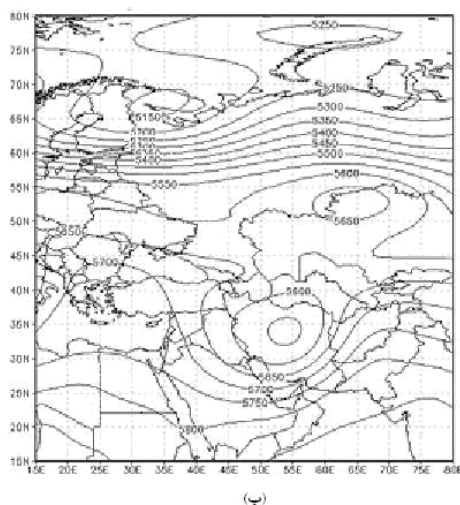
مدل عددی در ابتدای انتگرال‌گیری از گام زمانی کوچک که ضریبی از سرعت صوت و معکوس گام شبکه‌ای است، استفاده می‌برد تا میدان‌های اولیه متغیرها را سازماندهی کند. در پژوهش حاضر این گام زمانی یک ثانیه در نظر گرفته شد و گام زمانی بزرگ طبق شرط CFL معادل شش ثانیه به‌دست آمد. اجرای مدل در

۲-۲ شرایط اجرای مدل در پژوهش حاضر

تفکیک افقی مدل 150×150 نقطه شبکه‌ای با فاصله ۸۰۰ متر در دو راستای افقی و تعداد ۳۵ تراز سیگمای غیرهمگن در راستای قائم است. در مراحل آزمایشی، بهترین گام شبکه‌ای برای اثر بهتر داده‌های راداری بین ۷۵۰ الی ۹۰۰ متر به‌دست آمد که علت این محدودیت، میزان تفکیک داده‌های راداری موجود است. برای مثال، در گام شبکه‌ای ۵۵۰ متر، داده‌های رادار اثر قابل‌توجهی بر نتایج خروجی مدل نداشت. در اجرای مدل از شرایط توپوگرافی ۳۰ ثانیه‌ای به‌صورت جهانی استفاده شد که داده‌های آن از مرکز CAPS به‌دست آمد. با توجه به



شکل ۴. نقشه‌های فشار سطح دریا (الف) ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ب) ضخامت لایه ۵۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال (ج) و پریندهای هم‌دما در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (د) برای ساعت ۰۶:۰۰ UTC روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹.



شکل ۵. نقشه‌های فشار سطح دریا (الف) و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ب) برای ساعت ۱۸:۰۰ UTC روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹.

ساعت و به صورت ترکیبی برای کل زمان پیش‌بینی فراهم شده است.

۲-۳ داده‌های رادار هواشناسی تهران

داده‌های راداری استفاده شده در این پژوهش، مربوط به رادار هواشناسی تهران است. این رادار در مختصات $35/48$ درجه شمالی و 51 درجه شرقی و در ارتفاع 1330 متر از سطح دریا نصب شده است. فاصله زمانی داده‌برداری این رادار از محیط پیرامون 30 دقیقه است، یعنی داده‌ها با تفکیک زمانی 30 دقیق‌های در دسترس است. این داده‌ها که با قالب XML ذخیره می‌شود، قالب استاندارد NCDC برای کاربرد در مدل‌های عددی نیست و برای استفاده در مدل عددی نیاز به پیش‌پردازش پیچیده‌ای دارد.

شکل ۲ میزان بارش سطحی در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ در منطقه تحت پوشش رادار تهران را نشان می‌دهد. این تصاویر راداری مربوط به ساعت $13:30$ روز ۳۱ مارس الی $23:30$ همان روز است. بررسی این تصاویر نشانگر سه نکته قابل توجه است. اول اینکه دامنه بارش‌ها از جنوب غرب به سمت شمال شرق کاهش می‌یابد. دوم، میزان

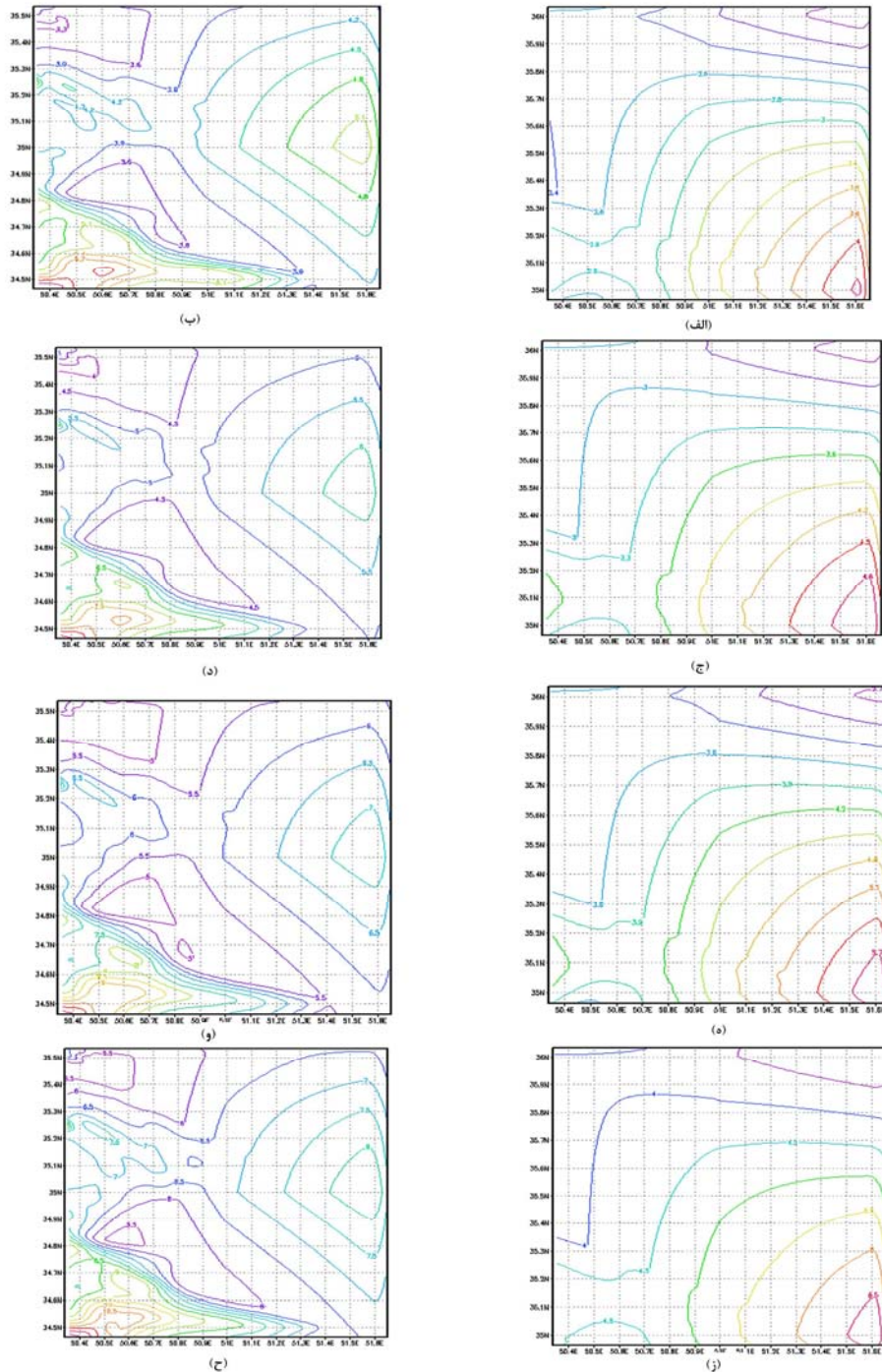
شرایط مرطوب و بارانی گرم صورت گرفت و از طرحواره همرفت کین-فریج استفاده شد. همچنین از شرایط مرزی تابشی در همه جهات‌ها و طرحواره بارش گرم کسلر در شبیه‌سازی خردفیزیک ابر در هر گام زمانی استفاده شده است. از شرایط تابش ساده شده سطحی نیز برای شبیه‌سازی تابش استفاده شده است.

اجرای مدل عددی به دو روش صورت گرفته است. در روش اول، مدل با استفاده از داده‌های اولیه GFS با تفکیک زمانی 3 ساعته و در روش دوم مدل با حفظ شرایط روش اول ولی با استفاده از داده‌های رادار هواشناسی تهران اجرا شده است. سپس نتایج حاصل از این دو روش با میدان بارش دیدبانی شده برای بارش‌های تجمعی 6 ساعته و 24 ساعته در روز ۳۰ مارس ۲۰۰۹ مورد مقایسه قرار گرفته و اثر داده‌های راداری در تصحیح پیش‌بینی در نواحی متفاوت منطقه مورد تحقیق، بررسی شده است.

از داده‌های باز تحلیل مرکز NOAA و پیش‌بینی AVN با تفکیک فضایی 3 درجه برای راستی‌آزمایی نتایج همدیدی اجرای اولیه مدل استفاده شده و خروجی مدل نیز دارای قالب GrADS است که به فاصله زمانی یک

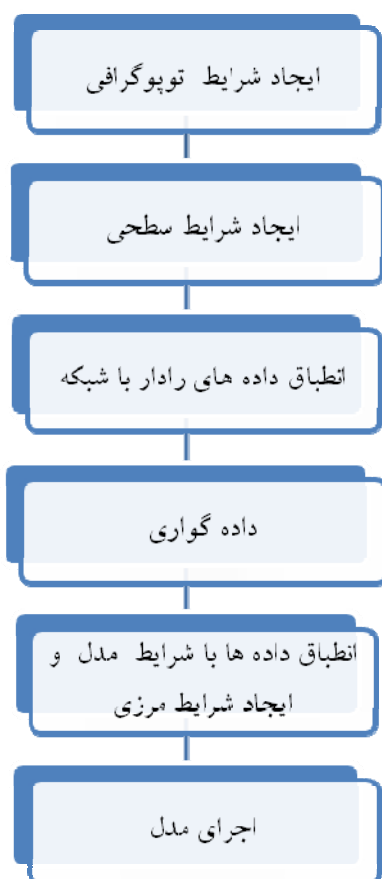
بارش، بیشینه بارش به صورت نوار جنوب شرقی - شمال غربی است.

بارش در ساعات پایانی روز ۳۱ مارس به بیشینه خود می‌رسد، هرچند از نظر مساحت، بارش نسبت به بعضی ساعات‌ها کاهش یافته است. سوم اینکه در ساعات‌های اوج



شکل ۶. بارش تجمعی ۶ ساعته پیش‌بینی عددی با داده‌های راداری (ستون چپ) و بدون داده‌های راداری (ستون راست) در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹. (الف) و (ب) شش ساعت اول، (ج) و (د) شش ساعت دوم، (ه) و (و) شش ساعت سوم، (ز) و (ح) شش ساعت چهارم.

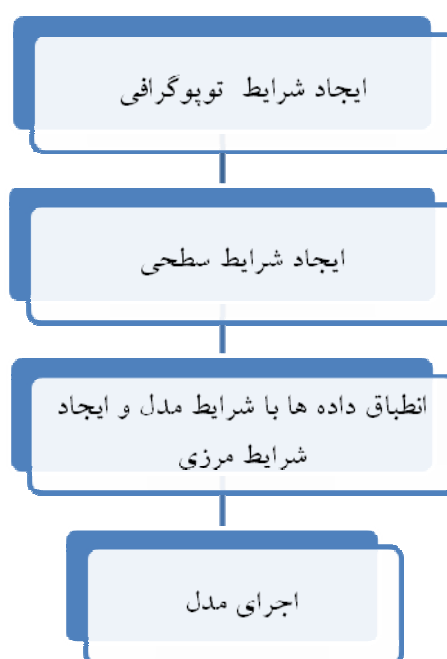
مرحله بعد، زیربرنامه ADAS به منظور تطبیق این میدان‌ها و تنظیم زمان تزریق داده‌های راداری به مدل و تنظیمات شعاع تاثیر این داده‌ها به کار می‌رود. استفاده از داده‌های راداری علاوه بر اضافه کردن دو مرحله اجرایی به روند اجرای قبلی مدل، از لحاظ زمان کلی اجرای مدل نیز تاثیرگذار است، به نحوی که با گذشت زمان و ورود داده‌های رادار، زمان اجرا بیشتر می‌شود. در مراحل پایانی، زمان نوشتن داده‌های خروجی به ازای هر ساعت خروجی، حدود یک‌ونیم برابر اجرای مدل بدون استفاده از داده‌های رادار است.



نمودار ۲. نمایش طرحواره‌ای مراحل اجرای مدل با استفاده از داده‌های رادار.

۴-۲ جفت کردن داده‌های رادار و مدل عددی

مدل در مرحله اول بدون استفاده از داده‌های رادار اجرا می‌شود. نمودار ۱ طرحواره مراحل اجرای مدل بدون داده‌های رادار را نشان می‌دهد. اجرای مدل از چهار قسمت کلی تشکیل می‌شود که در هر مرحله، سوئیچ‌های کنترل برنامه‌های اجرایی باید تنظیم شود.



نمودار ۱. نمایش طرحواره‌ای مراحل اجرای مدل بدون داده‌های رادار.

در نمودار ۲، مراحل اجرای مدل با استفاده از داده‌های رادار آورده شده است. در این اجرا، دو مرحله به اجرای قبلی اضافه می‌شود. در مرحله تطبیق داده‌های رادار با شبکه موردنظر، زیربرنامه 88d2arps به کار می‌رود. این زیربرنامه داده‌های سطح ۲ راداری را در نقاط شبکه تنظیم می‌کند و در هر نقطه از شبکه یک نمایه قائم (راديو سوند) با استفاده از داده‌های راداری تشکیل می‌دهد. در

به بهترین صورت ممکن برقرار شود و همچنین مدل در لبه پایداری محاسباتی قرار نگیرد.

۳ تحلیل سامانه همدیدی موثر بر منطقه

در ساعت ۰۰:۰۰ UTC روز ۳۱ مارس (شکل ۳-ج) که بیشترین میزان بارش در منطقه میان‌مقیاس مورد بررسی این پژوهش در آن رخ داده است، نقشه فشار تراز سطح دریا کشیدگی غربی-شرقی مرکز کم‌فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکال (ناشی از فعالیت و گسترش کم‌فشار سودانی) مستقر روی ایران را نشان می‌دهد. تشکیل یک مرکز پرفشار در جنوب اروپا و شرق مدیترانه و شارش حاصل از آن باعث ایجاد امواج شمال‌سوی پربندهای فشاری ۱۰۱۰ و ۱۰۱۵ هکتوپاسکال روی شمال شبه‌جزیره عربستان شده است. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۳-د) نیز نشانگر ورود مرکز کم‌ارتفاع ۵۵۰ دکامتری به جنوب غرب کشور است.

در ساعت ۰۶:۰۰ UTC روز ۳۱ مارس (شکل ۴-الف)، مشاهده می‌شود که مرکز کم‌فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکال قسمت زیادی از سطح کشور را دربر گرفته است و پرفشار شمال ترکیه و شرق اروپا در حال ادغام با هم هستند. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-ب)، نشان‌دهنده مستقر شدن مرکز کم‌ارتفاع ۵۵۰ دکامتری در جنوب غرب کشور و تاثیر این کم‌ارتفاع بر قسمت‌های مرکزی و شمالی کشور است. نقشه ضخامت لایه ۱۰۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-ج) نیز نشان‌دهنده شارش هوای سرد پرفشار سبیری بر نوار غربی کشور است و همان‌گونه که در نقشه دمای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی دیده می‌شود (شکل ۴-د)، خط هم‌دمای ۲۸۵ درجه کلونین به سوی مناطق شمالی کشور متمایل شده است. این موضوع از لحاظ قرار گرفتن هم‌دمای صفر درجه در ارتفاعات بالاتر درون ابر، بیانگر بارش باران در این مناطق

مدل عددی ARPS توانایی به‌کارگیری داده‌های راداری سطح ۲ و سطح ۳ را دارد. مراحل استفاده از داده‌های استاندارد راداری به شرح زیر است:

الف) منطبق کردن داده‌های راداری با نقاط شبکه: در این مرحله، داده‌های رادار به صورت یک نمایه قائم در همه نقاط شبکه بازیابی می‌شود و به صورت داده‌های مجزا در تصحیح میدان‌های محاسباتی تاثیر گذار می‌شوند. از آنجا که رادار تهران در چند زاویه خاص نمونه‌برداری از جو پیرامون را عملی می‌سازد، نمایه قائم با استفاده از درون‌یابی به دست می‌آید. لازم به ذکر است که چون تعداد ترازهای قائم در اجرای مدل تقریباً زیاد است، درون‌یابی در نقاط فاقد داده راداری با دقت بسیار زیادی حاصل می‌شود.

ب) آماده‌سازی داده‌های تحلیل شده راداری برای تزریق به مدل: در این مرحله، باید زمان به‌کارگیری داده‌های راداری در مدل عددی تنظیم شود و با انتخاب زمان‌های مناسب تزریق داده به مدل، از ناپایداری مدل جلوگیری به عمل آید. برای مثال، در یک اجرای آزمایشی، داده‌های رادار بلافاصله پس از شروع اجرا به مدل وارد شد که ناپایداری پیش‌بینی عددی از همان ساعت اول را به دنبال داشت. از طرفی وارد کردن مداوم داده‌های راداری باعث زیاد شدن زمان اجرای مدل می‌شود.

داده‌های راداری بعد از تغییر قالب به NetCDF با نرم‌افزارهای موجود، در استفاده در مدل آماده و بعد از عملی ساختن چند مرحله آزمایشی مشخص شد که بهترین تاثیر این داده‌ها در ساعت‌های ۰۴:۳۰ و ۰۷:۳۰ و ۱۰:۳۰ از زمان شروع اجرای مدل است که در سامانه داده‌گوارای ADAS مورد استفاده قرار گرفت. مدل عددی برای ۴ بازه زمانی یعنی زمان UTC ۰۰:۰۰ و سه زمان وارد کردن داده‌های رادار، از گام زمانی کوتاه‌مدت خود برای انتگرال‌گیری استفاده کرده است تا شرایط پایداری CFL

است و بارش برف و انواع دیگر بارش‌های یخی را منتفی می‌کند.

در ساعت ۱۲:۰۰ UTC روز ۳۱ مارس، کم‌فشار مستقر روی ایران به سمت شرق حرکت کرده و از لحاظ وسعت کوچک‌تر شده است. مرکز پرفشار شرق اروپا کاملاً شکل می‌گیرد و به غرب ترکیه نزدیک می‌شود. گرادیان فشار در شمال کشور کاهش یافته است، ولی در شمال‌غرب همچنان مقادیر زیادی دارد. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان‌دهنده تضعیف نسبی کم‌ارتفاع مستقر روی ایران است، به طوری که گرادیان ارتفاع در آن به نحو چشمگیری کاهش یافته است.

در ساعت ۱۸:۰۰ UTC روز ۳۱ مارس (شکل ۵- الف)، نقشه تراز سطح دریا جابه‌جایی کم‌فشار با مرکز ۱۰۱۰ هکتوپاسکال به مرزهای شمال‌شرق و شرق ایران و تشکیل یک کم‌فشار ۱۰۱۰ هکتوپاسکال روی عراق و شمال هند را نشان می‌دهد. پرفشار سیبری کمی تضعیف شده، ولی همچنان زبانه ۱۰۲۰ هکتوپاسکال آن شمال‌غرب کشور را تحت تاثیر خود قرار داده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵- ب) نیز حرکت شرق‌سوی کم‌ارتفاع ۵۵۵ دکامتری همچنان ادامه دارد و گرادیان ارتفاع در جنوب‌غرب ایران، دوباره قوی شده است. در ساعت‌های پایانی روز ۳۱ مارس، بیشینه بارش در منطقه مورد بررسی این پژوهش رخ داده است.

۴ شبیه‌سازی بارش با استفاده از مدل عددی

بارش به‌منزله بارزترین کمیت محسوس از فعالیت سامانه همدیدی در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌های همدیدی واقع در منطقه موردنظر، بررسی می‌شود، سپس خروجی اجرای مدل عددی در همان منطقه بررسی و با مقادیر دیدبانی شده مقایسه و اعتبارسنجی می‌شود. در انتها، پیش‌بینی حاصل از مدل عددی که از سامانه داده‌گواری داده‌های رادار

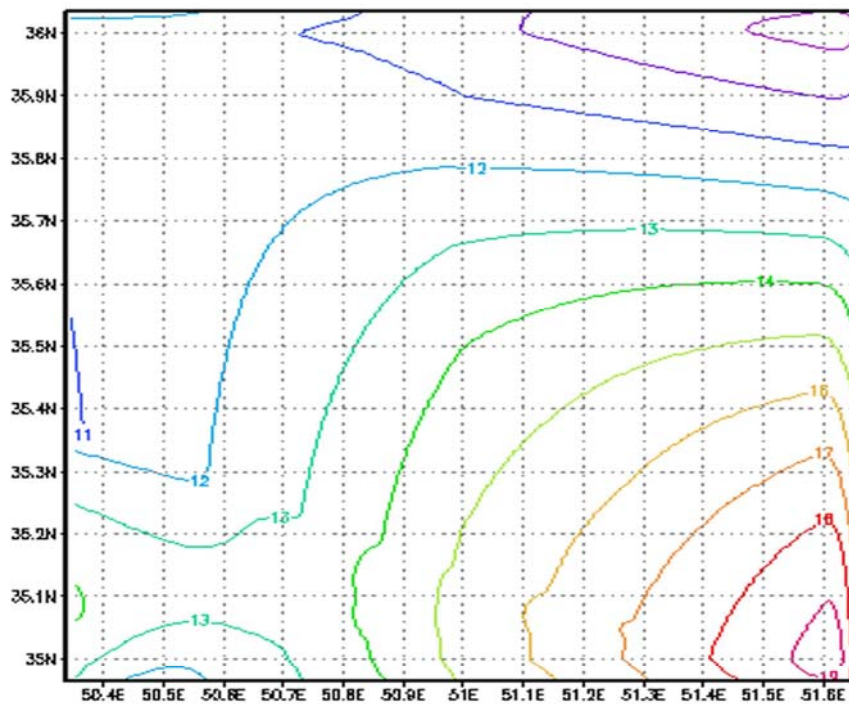
استفاده کرده است، با دو نتیجه قبلی مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۴-۱ بارش دیدبانی شده

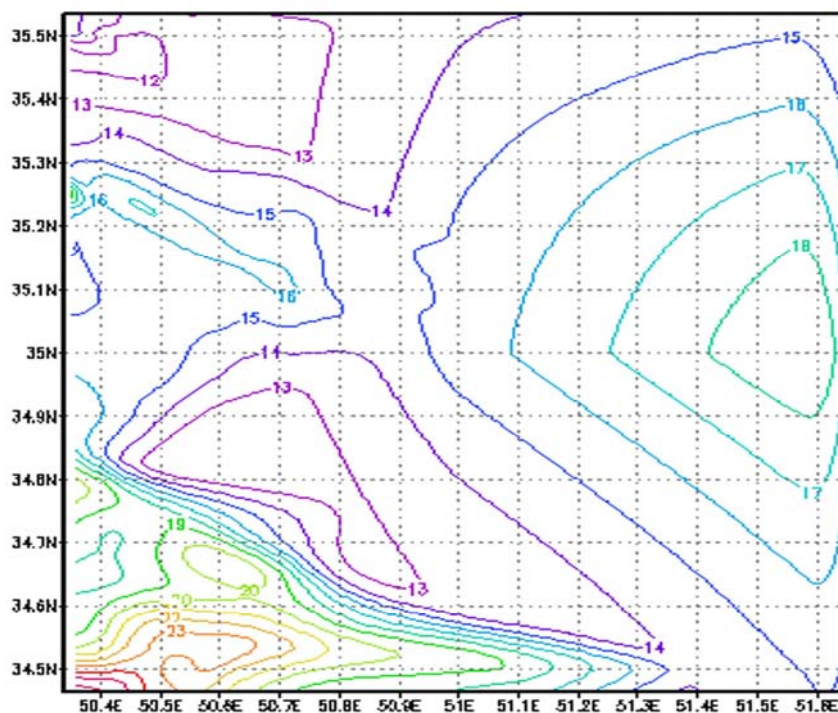
طبق دیدبانی‌های صورت گرفته در ایستگاه‌های همدیدی سازمان هواشناسی، بارش‌های ناشی از سامانه ورودی به جنوب‌غرب کشور در طی روزهای ۲۹ الی ۳۱ مارس ۲۰۰۹، در نیمه جنوبی و مناطق مرکزی کشور تداوم داشته است. مناطق مرکزی کشور و به‌ویژه منطقه مورد بررسی، در روز ۳۱ مارس شاهد بارش‌های قابل توجهی بوده که مقدار این بارش‌ها در عرض‌های جنوبی‌تر بیش از عرض‌های شمالی است.

۱۲ ایستگاه همدیدی در منطقه اجرای مدل عددی قرار دارد. در این پژوهش فقط از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های همدیدی، به خاطر اعتبار بیشتر آنها استفاده شده است. جدول ۱ مقادیر بارش تجمعی ۲۴ ساعته روز ۳۱ مارس و همچنین نتایج بارش به‌دست آمده از مدل عددی با استفاده و بدون استفاده از داده‌های راداری در این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. بیشینه بارش در ایستگاه پیام کرج به میزان ۴۵/۶ میلی‌متر در ۲۴ ساعت و کمینه آن در ایستگاه آبعلی به میزان ۰/۴ میلی‌متر در ۲۴ ساعت ثبت شده است.

الگوی ثبت شده بارش کلی، به‌صورت کاهشی از جنوب به شمال است و فقط دو بارش حدی ۴۵/۶ میلی‌متر در روز مربوط به ایستگاه پیام کرج و ۰/۴ میلی‌متر در روز مربوط به ایستگاه آبعلی، با روند توزیع کلی بارش نسبت به عرض جغرافیایی همخوانی ندارد. توزیع میزان بارش تجمعی ثبت شده در ایستگاه‌های همدیدی مستقر در منطقه، به‌جز دو مقدار حدی بارش، ۳۳/۲ میلی‌متر در روز مربوط به ایستگاه ورامین در شرق حوزه و ۴۵/۶ میلی‌متر در روز مربوط به ایستگاه پیام کرج واقع در غرب



(الف)



(ب)

شکل ۷. بارش تجمعی پیش‌بینی شده ۲۴ ساعت در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ (الف) بدون استفاده از داده‌های رادار و (ب) با استفاده از ADAS.

جدول ۱. مقادیر بارش تجمعی ۲۴ ساعته در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹.

مکان	طول جغرافیایی (بر حسب درجه شرقی)	عرض جغرافیایی (بر حسب درجه شمالی)	بارش ثبت شده	پیش‌بینی مدل	پیش‌بینی مدل + ADAS
کوشک نصرت	۵۰/۵۴	۳۵/۰۵	۳/۸	۹/۵۱	۱۴/۰۶
ورامین	۵۱/۶۴	۳۵/۳۳	۳۳/۲	۱۲/۰۷	۱۴/۶۲
مهرآباد	۵۱/۱۹	۳۵/۴۱	۱۴/۴	۱۱/۱۲	۱۴/۰۴
دوشان‌تپه	۵۱/۲	۳۵/۴۲	۱۸	۱۱/۰۹	۱۴/۰۶
چینگر	۵۱/۰۸	۳۵/۴۲	۱۴/۸	۱۰/۷۸	۱۳/۶۹
ژئوفیزیک	۵۱/۲۳	۳۵/۴۴	۱۲	۱۱/۰۹	۱۳/۹۸
آبعلی	۵۱/۵۳	۳۵/۴۵	۰/۴	۱۱/۵۶	۱۴/۵۳
شمال تهران	۵۱/۳۷	۳۵/۴۷	۹/۶	۱۱/۱۸	۱۴/۱۱
پیام کرج	۵۰/۵	۳۵/۴۷	۴۵/۶	۸/۵۴	۱۱/۲۱
کرج	۵۰/۵۴	۳۵/۵۴	۱۳/۳	۸/۶۴	۱۳/۶
شهریار	۵۱/۰۶	۳۵/۶۶	۱۵/۶	۹/۷	۱۳/۱۸
هشتگرد	۵۰/۴۵	۳۶	۱/۳	۸/۳۷	۱۱/۹۲

بارش، از بارش تجمعی ۶ ساعته استفاده شده است تا دارای تفکیک زمانی مناسب در تشخیص الگوی بارش باشد. شکل ۶ -الف بارش تجمعی ۶ ساعت اول روز ۳۱ مارس را نشان می‌دهد. وجود مرکز پُرباران ۴/۲ میلی‌متر در ۶ ساعت در جنوب شرق حوزه و زبانه‌های پُرباران ۳ میلی‌متر در ۶ ساعت در جنوب غرب و غرب، نشانگر ورود سامانه بارش‌زا از این مناطق است.

شکل ۶ -ج نمایانگر بارش تجمعی در ۶ ساعت دوم و ورود سامانه بارش‌زا به منطقه است. طی این ساعت‌ها، یک مرکز پرباران به میزان ۳/۸ میلی‌متر در ۶ ساعت از سمت جنوب غرب وارد حوزه شده و مقادیر بارش نسبت به ۶ ساعت گذشته افزایش یافته است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان بارش در نیمه شرقی حوزه بیشتر از نیمه غربی است. در این مرحله نیز نیمه شمالی شاهد بارش کمتری نسبت به نیمه جنوبی است.

در ۶ ساعت سوم از روز ۳۱ مارس، الگوی بارش (شکل ۶ -ه) نسبت به بازه شش ساعته قبلی تغییر چندانی

حوزه مورد بررسی، تقریباً حالت یکنواختی نسبت به طول جغرافیایی دارد. همچنین میزان بارش در منطقه موردنظر، به وضوح نسبت به افزایش ارتفاع از سطح دریا، کاهش یافته است. البته همخوان نبودن بارش ۴۵/۶ میلی‌متری ایستگاه پیام کرج همچنان در این الگو دیده می‌شود. این مقایسه نشان‌دهنده تمرکز بارش در مناطق جنوب غرب و کشیده شدن زبانه‌های بارش به سمت جنوب شرق منطقه است. در مناطق شمالی و شمال شرق منطقه، این سامانه بارش بسیار کمی در ۲۴ ساعت داشته است.

۴-۲ بارش پیش‌بینی شده با مدل عددی

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل عددی ARPS در مورد کمیت بارش در منطقه موردنظر و مقایسه آن با مقادیر بارش در بخش قبل می‌پردازیم.

ابتدا میدان بارش در روز ۳۱ مارس بررسی و سپس بارش مربوط به ایستگاه‌ها ناشی از خروجی مدل و مقادیر ثبت شده دیدبانی، مقایسه می‌شود. برای بررسی میدان

مدل و مقایسه آن با مقادیر واقعی می‌توان گفت که عامل اصلی تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی عددی و مقادیر دیدبانی شده در حوزه، ارتفاع ایستگاه از سطح دریا است.

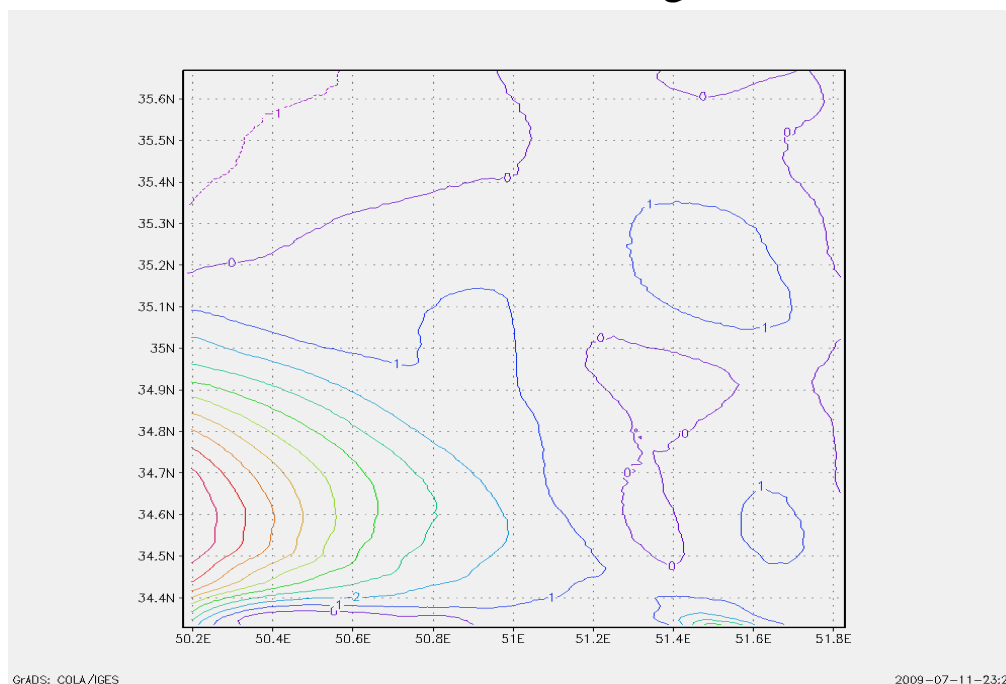
۳-۴ بارش پیش‌بینی شده با استفاده از سامانه داده‌گوار

در این مرحله، مدل عددی با همان شرایط بخش قبل ولی همراه با سامانه داده‌گوار و استفاده از داده‌های رادار هواشناسی تهران اجرا می‌شود که به اختصار آن را ADAS می‌نامیم. سپس نتایج به دست آمده، با نتایج حاصل از دو بخش قبلی مقایسه می‌شود.

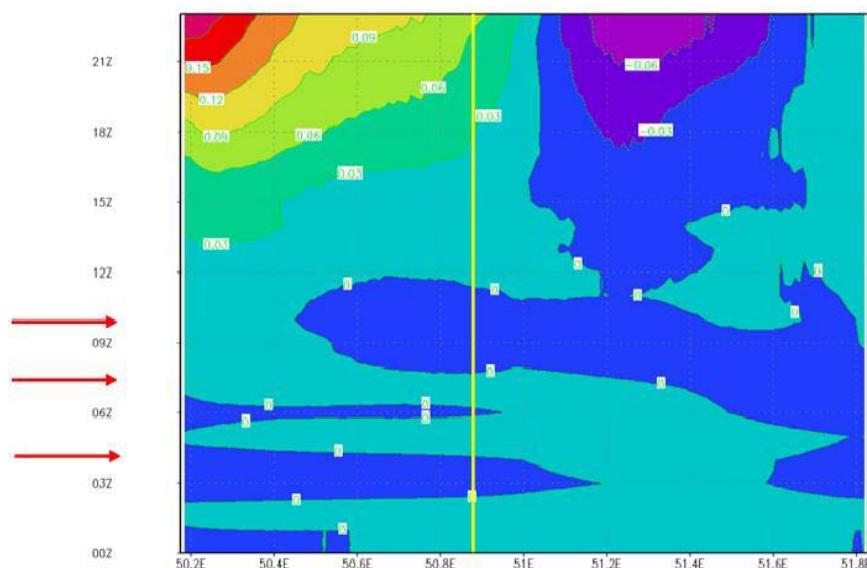
شکل ۶- ب نشانگر بارش تجمعی ۶ ساعت اول در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ در منطقه مورد بررسی است. میدان بارش حاصل از این روش نسبت به روش بدون داده‌گوار داده‌های راداری و بخش ۴-۲ کاملاً متفاوت است. در این پیش‌بینی میدان بارش جنوب شرقی به سمت مناطق شمالی‌تر جابه‌جا، و یک میدان جدید در بخش مرکزی تشکیل شده است. هرچند میدان بارش در

نداشته و میزان بارش ثبت شده در این بازه بیش از دو بازه قبلی است. ورود پربند هم‌باران ۳/۶ میلی‌متر در ۶ ساعت از جنوب غرب و افزایش گرادیان خطوط هم‌باران در آن منطقه، نکته قابل توجه در این شش ساعت است. در این زمان، خطوط هم‌باران در شمال شرق حوزه دارای سازماندهی بیشتری نسبت به شمال غرب حوزه هستند.

در شش ساعت پایانی روز ۳۱ مارس (شکل ۶- ز)، الگوی بارش برای سراسر حوزه تقریباً یکسان بوده و میزان بارش نسبت به بازه‌های زمانی قبل افزایش یافته است که این مسئله نشانگر بارش بیشتر در ساعت‌های پایانی روز ۳۱ مارس است. بارش در جنوب غرب و جنوب شرق بیشترین مقدار در کل حوزه مورد بررسی را دارد. در پایان روز ۳۱ مارس، بارش تجمعی ۲۴ ساعته نیز از همین الگو پیروی می‌کند که در شکل ۸-الف نشان داده شده است. الگوی توزیع بارش نسبت به طول جغرافیایی با توزیع عرضه شده در جدول ۱ همخوانی دارد و مدل عددی در شرق و غرب حوزه مورد بررسی، میزان بارش بیشتری را نسبت به مناطق مرکزی پیش‌بینی کرده است. با توجه به نتایج حاصل از



شکل ۸. تفاوت بارش تجمعی ۲۴ ساعته پیش‌بینی شده با و بدون استفاده از سامانه داده‌گوار در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹.



شکل ۹. تفاوت مقادیر بارش پیش‌بینی شده با و بدون استفاده از ADAS در نمودار طول جغرافیایی-زمان برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی. پیکان‌های سرخ نشانگر زمان ورود داده‌های راداری به مدل و خط زرد رنگ محل استقرار رادار تهران است.

کرج را تا حدود بسیار زیادی به مقادیر واقعی نزدیک کند و در مورد بقیه ایستگاه‌ها نیز تاثیر مثبت در جهت کم کردن خطا داشته است.

۵ بحث

در این بخش، نحوه تاثیر مکانی - زمانی داده‌های رادار در پیش‌بینی عددی بارش رخ داده در روز ۳۱ مارس مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۵ تاثیر مکانی استفاده از سامانه داده‌گواری در

پیش‌بینی بارش

در تحقیق موردی این پژوهش، یک سامانه بارش‌زا از سمت جنوب و جنوب‌غرب به منطقه موردنظر وارد شده است. مقدار بارش ثبت شده از جنوب به شمال روند کاهشی داشته و از غرب به شرق تقریباً یکنواخت بوده است و فقط در لبه‌های غربی و شرقی دو مرکز پرباران وجود دارد. نتایج حاکی از آن است که در نظر گرفتن داده‌های راداری منجر به اصلاحات بسیاری در میدان

جنوب‌غرب تغییر نیافته، ولی میزان بارش بیشتری را نسبت به شرق منطقه به خود اختصاص داده است.

در ۶ ساعت دوم (شکل ۶-د)، الگوی ۶ ساعت اول حفظ شده و فقط میزان بارش در این بازه زمانی بیش از بازه زمانی اول است. بازه ۶ ساعته سوم نیز همان الگو را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۶-و دیده می‌شود، در این بازه میزان بارش‌های پیش‌بینی شده تفاوت فاحشی با ۶ ساعت دوم ندارند.

در ۶ ساعت چهارم (شکل ۶-ح)، علاوه بر تشکیل یک میدان بارشی در غرب حوزه، میزان بارش‌های پیش‌بینی شده نیز به مراتب از بازه‌های قبلی بیشتر است. بارش تجمعی پیش‌بینی شده برای ۲۴ ساعت (شکل ۶-و) نیز با پیش‌بینی بخش قبلی تفاوت زیادی در محل قرارگرفتن خطوط هم‌باران دارد. نسبت به مقادیر ثبت شده هم تفاوت‌های چشمگیری در پیش‌بینی عددی بدون استفاده از داده‌های راداری دیده می‌شود. اجرای سامانه داده‌گواری با استفاده از داده‌های راداری توانسته است مقادیر بارش تجمعی در سه ایستگاه مهرآباد، چیتگر و

در طول زمان اجرای مدل به نمایش در می‌آید. به علت اینکه هدف در این بخش صرفاً بررسی تاثیر زمانی داده‌های رادار است، این نمودارها در یک عرض و یا طول جغرافیایی خاص عرضه شده‌اند. ذکر این نکته ضروری است که دو نمونه آورده شده در شکل‌های ۹ و ۱۰، نشانگر کل فضای منطقه مورد بررسی نیست و فقط برش‌هایی افقی در طول و عرض جغرافیایی منطبق بر محل قرارگیری رادار تهران به شمار می‌رود. علت این انتخاب، بررسی مناطقی است که در راستای شمالی-جنوبی و غربی-شرقی رادار هستند.

شکل ۹ نشان‌دهنده توزیع تفاوت میزان بارش پیش‌بینی شده با و بدون استفاده از ADAS بر حسب طول جغرافیایی - زمان در عرض جغرافیایی ۳۵/۵ درجه شرقی است. تاثیر داده‌های راداری در زمان‌های اولیه اجرای مدل و در حین وارد کردن داده‌ها محسوس نیست، ولی هرچه به زمان‌های انتهایی اجرای مدل نزدیک می‌شویم، اثرات

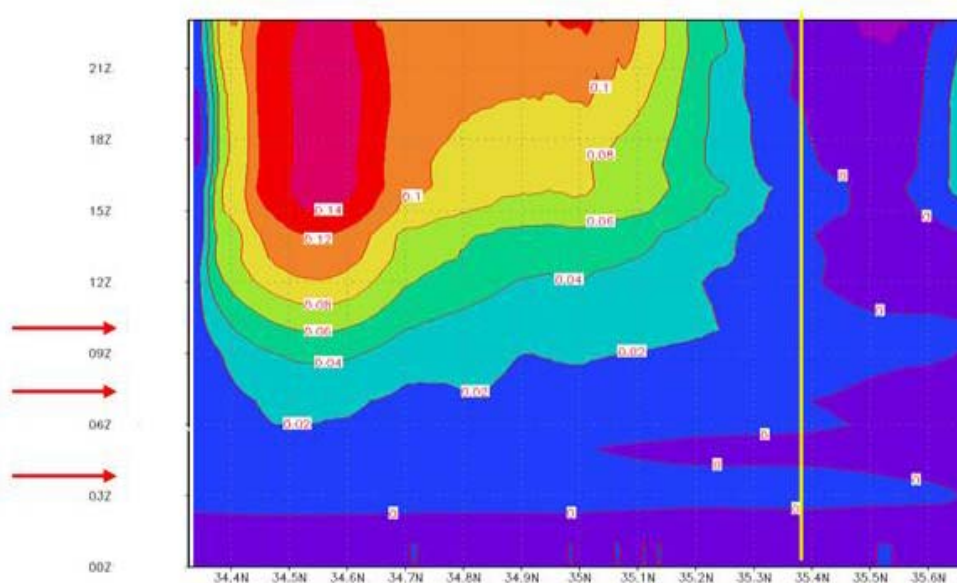
بارش می‌شود و از لحاظ کمی، در چهار ایستگاه مقادیر پیش‌بینی شده تقریباً با مقادیر دیدبانی منطبق است و در بقیه ایستگاه‌ها، خطای پیش‌بینی کاهش یافته است.

شکل ۸ نشان‌دهنده تفاوت بارش پیش‌بینی شده با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن داده‌های راداری در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ است. بیشینه تفاوت در جنوب غرب است و در مرکز، شمال و شمال شرق منطقه این تفاوت کمتر است. همچنین این الگو نشان‌دهنده تصحیح جهت ورود سامانه بارش‌زا از جنوب غرب با سامانه داده‌گویی است. نکته دیگر، در بعضی نقاط این تفاوت مثبت و در بعضی نقاط منفی است که به معنی فقدان عملکرد یکنواخت ADAS در سراسر منطقه است.

۲-۵ تاثیر زمانی استفاده از سامانه داده‌گویی در

پیش‌بینی بارش

برای بررسی تاثیر زمانی استفاده از ADAS در بارش پیش‌بینی شده، از نمودارهایی استفاده می‌شود که در آن مولفه بارش بر حسب یکی از مختصات جغرافیایی منطقه



شکل ۱۰. مشابه شکل ۱۰ ولی با استفاده از نمودار عرض جغرافیایی-زمان برای طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی.

مدل عددی آن است که انحراف از معیار مقادیر حاصل به نحو محسوسی کمتر از واقعیت است، به طوری که فرین مشاهداتی ۳۰ و ۴۰ میلی متر در روز در آن وجود ندارد.

۳- تاثیر داده‌های رادار بر خروجی مدل در پیش‌بینی بارش تجمعی ۲۴ ساعته منطقه مورد بررسی، قابل توجه است. همان‌گونه که در نمودارهای میزان بارش نسبت به عرض و طول جغرافیایی مشاهده می‌شود، ضمن حفظ الگوی بارش ذکر شده در بند ۲، مقادیر پیش‌بینی شده نیز تغییر می‌یابند و این تغییرات فقط جنبه افزایشی ندارد، بلکه در بعضی نقاط جنبه کاهش می‌دهد.

۴- افزودن داده‌های راداری در اجرای مدل، مناطق با تفاوت فاحش بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی مدل عددی را تا حدی کاهش داده، ولی قادر به حذف کامل خطا نبوده است. لازم به ذکر است که تفاوت بسیار زیاد به علت مقادیر بسیار زیاد بارش ثبت شده بوده و این امر به علت تمایل مدل در محاسبه بیشتر بارش در سمت بادپناه کوه است (مزرعه فراهانی و همکاران، ۱۳۸۸). به طور کلی، نتایج نشان‌دهنده تاثیر داده‌های رادار در طول زمان اجرای مدل است، ولی تاثیر این داده‌ها در زمان‌های پایانی اجرای مدل محسوس‌تر است. از آنجاکه آخرین بخش داده‌های رادار در ساعت ۱۰:۳۰ UTC وارد مدل شده است، تاثیر این داده‌ها بر نتایج خروجی مدل در انتهای اجرای مدل بیشتر از ساعت‌های اولیه ورود داده‌های راداری است.

منابع

بیدختی، ع.، مرادی، م.، آزادی، م. و مشکواتی، ا.، ۱۳۸۶، شبیه‌سازی عددی نقش کوهستان در یک سامانه بارش‌زا روی ایران: مجله فیزیک زمین و فضا، ۴(۱)، ۲۵-۴۴.

مزرعه فراهانی، م.، وظیفه، ا. و آزادی، م.، ۱۳۸۸، بررسی اثر تفکیک افقی میان‌مقیاس MM5 در شبیه‌سازی

آن بیشتر می‌شود. تاثیر داده‌های رادار در عرض جغرافیایی فوق، به صورت افزایشی در غرب و کاهش در شرق محل نصب رادار است و توزیع مکانی تفاوت بارش در این شکل با نمودارهای بخش قبل همخوانی دارد؛ بدین معنی که اثر داده‌های راداری در غرب حوزه مورد بررسی افزایشی است و این افزایش با گذشت زمان بیشتر می‌شود. نمودار توزیع تفاوت میزان بارش بر حسب عرض جغرافیایی - زمان در طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. مقایسه دو شکل ۹ و ۱۰ از لحاظ زمان تاثیرگذاری تغییراتی را نشان می‌دهد. در شکل ۱۰، تاثیر داده‌های راداری از زمان داده‌گذاری ساعت ۰۴:۳۰ پیش‌بینی آغاز می‌شود و تا انتهای زمان اجرای مدل ادامه دارد. از طرفی محدوده جغرافیایی تاثیرگذاری بسیار بزرگ‌تر از سطح تاثیرپذیر در شکل ۹ است. شکل‌های فوق، تاثیر این سامانه در غرب و جنوب منطقه را به خوبی تأیید می‌کند.

۶ نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این پژوهش به شرح زیر خلاصه می‌شود:

۱- بارش تجمعی دیدبانی شده ۲۴ ساعته در روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ به طور کلی از سمت جنوب غرب به شمال شرق منطقه روند کاهشی داشته است. در جنوبی‌ترین ایستگاه همدیدی منطقه (ایستگاه کهک قم)، بیشترین میزان بارش در ۲۴ ساعت به میزان ۸۴/۵ میلی‌متر ثبت شده و در شمالی‌ترین ایستگاه همدیدی (طالقان)، هیچ‌گونه بارشی ثبت نشده است.

۲- نتایج حاصل از اجرای مدل عددی تقریباً از همان الگوی بارش دیدبانی شده نسبت به عرض جغرافیایی تبعیت می‌کند. به بیان دیگر، روند تغییرات نتایج مدل عددی با روند افزایش و کاهش میزان بارش تجمعی دیدبانی ۲۴ ساعته سازگار است. نکته مهم در پیش‌بینی

- Xiao, Q., Kuo, Y., Sun, J., Lee, W., and Barker, D., 2006, An approach of Radar reflectivity data assimilation and its assessment with the Inland QPF of Typhoon Rusa (2002) at Landfall: *J. Appl. Meteorol.*, **46**, 14-22.
- Xue, M., Droegemeier, K. K., Wong, V., Shapiro, A., Brewster, K., Carr, F., Weber, D., Liu, Y., and Wang, D. H., 2001, The Advanced Regional Prediction System (ARPS) - A multiscale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction tool. Part II: Model physics and applications. *Meteor. Atmos. Physics.*, **76**, 134-165.
- Xue, M., Wang, D.-H., Gao, J.-D., Brewster, K. and Droegemeier, K. K., 2003, The Advanced Regional Prediction System (ARPS), storm-scale numerical weather prediction and data assimilation: *Meteor. Atmos. Physics*, **82**, 139-170.
- Xue, M., Droegemeier, K. K., and Wong, V., 1995, Advanced Regional Prediction System (ARPS) and real-time storm prediction, Preprint, International workshop on limited-area and variable resolution models. Beijing, China, 23-27 Oct. 1995.
- بارش حاصل از سامانه همدیدی اکتبر ۲۰۰۴ روی ایران: *مجله فیزیک زمین و فضا*، **۲۵**(۴)، ۱۴۶-۱۳۱.
- Biggerstaff, M., Listemaa, A., 1999, An improved scheme for convective/stratiform echo classification using radar reflectivity: *J. Appl. Meteorol.*, **34**, 2129-2162.
- Sugimoto, S., Crook, N. A., Sun J., Xiao, Q., and Barker, D., 2009, An examination of WRF 3DVAR Radar data assimilation on its capability in retrieving unobserved variables and forecasting precipitation through Observing System Simulation Experiments: *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 4011-24029.
- Rosenfeld, D., and Amitai, E., 1992, Classification of rain regimes by the three-dimensional properties of reflectivity fields: *J. Appl. Meteorol.*, **34**, 198-219.
- Stainer, M., and Houze, R., 1994, Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and raing gauge data: *J. Appl. Meteorol.*, **34**, 1978-2006.
- Xiao, Q., Kuo, Y., Sun, J., and Lee, W., 2004, Assimilation of Doppler Radar Observations with a Regional 3DVAR System: Impact of Doppler velocities on forecasts of a heavy rainfall case: *J. Appl. Meteorol.*, **44**, 768-788.