بررسی اثرتغییرتفکیک افقی مدل میان‌مقیاس MM5 در شبیه‌سازی بارش حاصل از سامانه همدیدی اکتبر ۲۰۰٤ روی ایران

مجید مزرعه فراهانی[1*]، احد وظیفه[2] و مجید آزادی[3]

[1] استادیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران
[2] دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران
[3] استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران

(دریافت: ۸۴/۱۱/۱ ، پذیرش نهایی: ۸۷/۱۱/۵)

چکیده

تاثیر تفکیک افقی مدل میان‌مقیاس منطقه‌ای MM5 در پیش‌بینی برخی کمیت‌های جوّی برای یک مورد سامانه کم‌فشار فصل سرد سال مورد بررسی قرار گرفته است. این سامانه شمال غرب و شمال ایران را در تاریخ ۱۲ تا ۱۵ اکتبر ۲۰۰۴ تحت تاثیر قرار داده است. علت انتخاب این سامانه برای بررسی شرایط خاص ایجاد شده حین تکامل آن است که مهم‌ترین آن کاهش شدید دما (ċ ۱۵-۱۰) و بارش‌های سنگین در سواحل دریای خزر و دامنه‌های شمالی البرز بوده است. تاثیر افزایش تفکیک افقی مدل MM5 با شبیه‌سازی این سامانه مورد بررسی قرار گرفته است. کمیت‌های هواشناختی جوّ با تاکید بر فشار در سطح زمین و بارش پیش‌بینی شده با مدل MM5 در تفکیک افقی ۶۰ km ، ۲۰ km و ۱۵ km با مقادیر تحلیل شده در نقشه‌های همدیدی و مقادیر دیدبانی ایستگاه‌های همدیدی و باران‌سنجی، مورد مقایسه قرار گرفته است. نقش افزایش تفکیک افقی مدل در مقادیر بارش ارزیابی شده است.

نتایج نشان می‌دهد که مدل به‌خوبی قادر به شبیه‌سازی ویژگی‌های میان‌مقیاس نظیر بارش و سامانه‌های همدیدی است و با کاهش فاصله‌شبکه‌ای به ۲۰-۱۵ km، میدان بارش از دقت کیفی قابل قبولی برخوردار می‌شود و تغییر قابل ملاحظه‌ای بین تفکیک افقی ۱۵ کیلومتر و ۲۰ کیلومتر مشاهده نمی‌شود. با توجه به تاثیر ویژه ناهمواری‌های سطح زمین، هم در میزان ارتفاع و هم در شیب ناهمواری‌ها بر میزان بارش و در اختیار نداشتن داده‌های ناهمواری با تفکیک زیاد اجراهای صورت گرفته فقط برای مجموعه‌ای از داده ناهمواری صورت گرفت. طرح‌واره‌های گوناگون موجود در مدل برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت و نتایج براساس مناسب‌ترین هماهنگی با داده‌های دیدبانی‌شده، مورد ارزیابی قرار گرفته است. دلایل تفاوت‌های مشاهده شده بین مقادیر شبیه‌سازی شده و دیدبانی شده بارش اغلب در نبود هماهنگی در روش‌ها، دستگاه‌ها و مدیریت ایستگاه‌های اندازه‌گیری که از سوی دوایر و سازمان‌های متفاوت مدیریت می‌شوند، نهفته است.

واژه‌های کلیدی: تفکیک‌افقی، پیش‌بینی عددی، مدل MM5، بارش، شبیه‌سازی

Study of the effect of horizontal resolution of MM5 mesoscale model on simulation of precipitation of October 2004 synoptical system over Iran

Mazraeh Farahani, M.[1], Vazifeh, A.[2] and Azadi, M.[3]

[1]*Assistant Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*
[2]*M.Sc. Student of Meteorology, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*
[3] *Assistant Professor, Atmospheric Sciences and Meteorology Research Center, Tehran, Iran*

(Received: 21 Jan 2006 , Accepted: 24 Jan 2009)

Abstract

In this research the effect and importance of horizontal resolution in mesoscale numerical model of MM5 on quality and magnitude of some atmospheric variables has been

*نگارنده رابط: تلفن: ۶۱۱۱۸۲۸۶-۰۲۱ دورنگار: ۸۸۶۰۹۵۶۰-۰۲۱ E-mail: mazraeh@ut.ac.ir

discussed. A case study was also carried out to verify the results of the findings. The case occurred in an unusually cold winter. This case was activated in the north of Iran during 12-15 October 2004. The main reason for selecting this case is its heavy fall in temperature (10-15 °c) and precipitation on the southern coast of the Caspian Sea and the northern side of the Alborz Mountain Range. The effect of horizontal resolution of MM5 has been studied by simulating this atmospheric system. The main variables that have been focused on are mean sea level pressure and predicted precipitation by MM5 model . These variables which are achieved from a run of MM5 with 60, 20, and 15 km, are compared with those of synoptical maps and precipitation observatories. The high resolution effect of model has been considered extensively for precipitation values.

The results revealed that the numerical model is able to simulate the mesoscale and synoptic scale characteristics such as precipitation in synoptic scale quite well. By reducing the horizontal grid size to 15-20 km which fell into mesoscale distance, the precipitation could be simulated reasonably . No distinguishing differences exist in changing the horizontal grid size from 20 to 15 km. The effect of land-use in the surface and its coverage are considered. Special attention is paid to the height fluctuations in the surface and also to the slope of the surface because of their intensive effect on precipitation but since the available data of surface topography was in a single resolution, model is run with same topography data for different grid sizes. The different options of model configurations for physical and dynamical conditions have been tested and the present results are based on the best (based on agreement with observation) output of predictions of variable with emphasis on precipitation. There are some differences in some parts and these differences are discussed and evaluated. The main reasons for disagreement of predicted variables and observations are: disagreement in methods of measurements , various instruments of measurements and different managements from different organizations.

Key words: Horizontal Resolution, Numerical predictions, MM5 model, Precipitation, Simulation

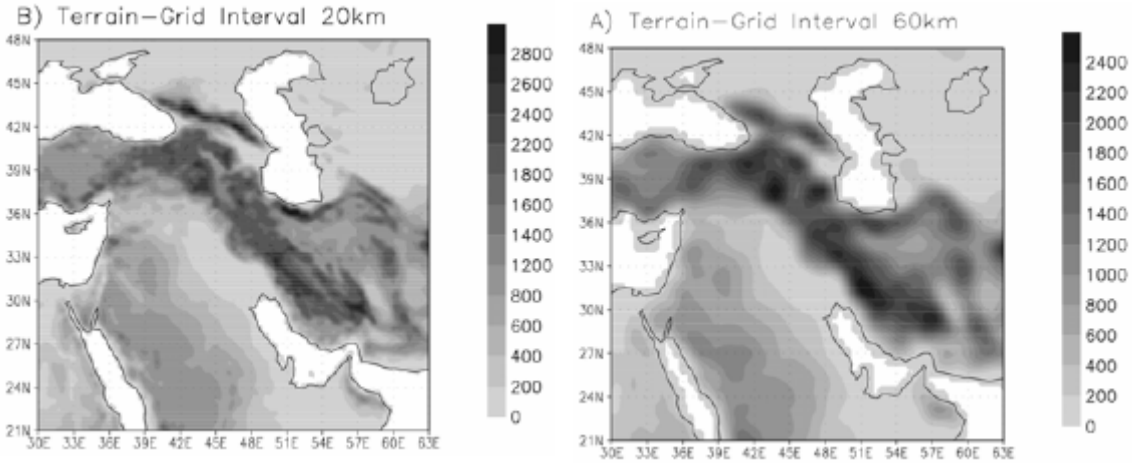
۱ مقدمه

در این تحقیق تاثیر تفکیک افقی مدل MM5 در شبیه‌سازی سامانه‌های همدیدی که در فصل سرد سال، کشور را تحت تاثیر قرار داده بررسی شده است. مدل میان‌مقیاس MM5 باتفکیک‌های افقی ۶۰، ۲۰ و ۱۵ کیلومتر برای شبیه‌سازی یک مورد سامانه چرخندی موثر روی منطقه نشان داده شده در شکل ۱ که در راستای طولی از ۳۰ تا ۶۵ درجه شرقی و در راستای عرضی از ۲۰ تا ۵۰ درجه شمالی را در بر می‌گیرد، به‌کار رفته است. این سامانه موجب بارش قابل توجه، به‌ویژه در مناطق کوهستانی و ساحلی شده است و یکی از ویژگی‌های آن این است که با مدل‌های عددی بزرگ‌مقیاس که نتایج پیش‌بینی آنها در سازمان هواشناسی کشور دریافت می‌شود، به‌خوبی نشان داده نمی‌شود. با تغییر فاصله شبکه از ۶۰km به ۱۵ km، توپوگرافی در نظر گرفته شده در شبکه مدل به‌طور قابل توجهی تغییر می‌کند. مطابق شکل ۱ بیشینه ارتفاع توپوگرافی با فاصله شبکه ۶۰ km حدود ۲۴۰۰m است و با فاصله شبکه ۲۰ km ارتفاع بیشینه توپوگرافی به بیش از ۲۸۰۰ m افزایش می‌یابد. بنابراین، با تفکیک بیشتر در مناطق کوهستانی زاگرس و البرز که دارای دره‌ها و پشته‌های بسیاری هستند، توپوگرافی و پوشش سطح مدل به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود. این افزایش دقت تا زمانی ادامه می‌یابد که داده‌های موجود

ارتفاعات سطح زمین اجازه دهد و محدود باشد. در تفکیک افقی ۶۰ km تعداد فاصله‌های شبکه در راستای طول و عرض جغرافیایی به ترتیب برابر با ۶۵ × ۵۶ نقطه است و این تعداد در تفکیک افقی ۲۰ km به ۱۹۶× ۱۶۷ نقطه و در تفکیک افقی ۱۵ km به۲۵۶ × ۱۹۵ نقطه افزایش می‌یابد.

از سال ۱۳۸۱ مدل MM5 در پیش‌بینی‌های سازمان هواشناسی کشور مورد استفاده قرار گرفته است و مدل هر روز با تفکیک افقی ۴۰ km برای پیش بینی ۹۶ ساعته اجرا می‌شود و خروجی مدل با مقادیر مشاهده شده مورد مقایسه عینی قرار می‌گیرد. انگیزه اجرای مدل با تفکیک بیشتر اولا این است که توپوگرافی ایران کاملا پیچیده است و رشته کوه‌های البرز و زاگرس دارای پشته‌ها و دره‌های بسیاری هستند که با فاصله شبکه افقی ۶۰ km یا ۴۰km به‌خوبی قابل تفکیک نیستند و با فاصله شبکه‌ای ۲۰km و ۱۵ km بهتر تفکیک می‌شوند. دوم اینکه بررسی‌های موردی نشان می‌دهد که افزایش توان تفکیک از ۶۰ km به ۱۵ km ساختارهای شارش و بارندگی بهتری را به وجود می‌آورد (کول و مس، ۱۹۹۶).

پیش‌بینی کمی و ارزیابی بارش، به‌ویژه در مناطق کوهستانی کشور دارای اهمیت است، چرا که بروز سیل یکی از مهم‌ترین حوادث آب و هوایی در این مناطق است و تاکنون در نقاط یادشده از مدل‌های عددی میان‌مقیاس برای پیش‌بینی کمی بارش با تفکیک زیاد استفاده عملی نشده است. کول و مس (۱۹۹۶) در امریکا از مدل MM5 برای ارزیابی میدان بارش در بررسی‌های موردی توفان‌هایی که در بسیاری از ایستگاه‌های کوهستانی جنوب‌غرب واشنگتن بین ۳۰ تا۷۰ سانتی‌متر بارندگی را سبب شده‌اند، استفاده کردند. نتایج مدل که با استفاده از داده‌های سیصد ایستگاه باران‌سنجی و تصاویر رادارهای دوپلری مقایسه شده، روشن ساخت که با افزایش تفکیک افقی از ۱۲ km به ۴ km بارش پیش‌بینی شده مدل به‌طور قابل توجهی بهتر می‌شوند ولی در مناطق بادپناه‌کوه با هر دو تفکیک، میدان بارش با چینش بیش از اندازه واقعی برآورد شد. گرچه افزایش تفکیک از ۱۲ به ۴ km منجر به بهبود قابل ملاحظه‌ای در همه جای دامنه مورد بررسی نشد ولی با تفکیک ۴ km، بارش بیشتری برآورد شد و بنابراین در بادپناه ارتفاعات نتایج بهتری به‌دست آمد. آنها همچنین روشن ساخته‌اند که روش‌های میکروفیزیکی پیچیده جاری (مثل روش Groupel)، نتایج بهتری فراهم نمی‌کند که این بیانگر آن است که پیشرفت بیشتری در جهت بهینه‌سازی طرح‌واره‌های میکروفیزیکی لازم است



شکل ۱. منطقه پوشش داده شده در آزمایش‌ها و توپوگرافی A: با تفکیک ۶۰km و B: با تفکیک ۲۰km.

تا مدل بارش را با دقت بهتری بتوان برآورد کرد.

نتایج خروجی مدل به‌منظور پیش‌بینی بارش برای شدت‌های متفاوت و مقادیر گوناگون بارش احتمالی کاربرد ندارد و همچنین اطلاعات کافی در مورد دقت کارکرد مدل برای شبیه‌سازی با تفکیک افقی بیشتر (فاصله شبکه‌ای کمتر از ۱۰ km) در دوره‌های زمانی طولانی‌تر وجود ندارد. بنابراین اجرای مدل‌های عددی میان‌مقیاس، همانند MM5 با تفکیک‌های زیاد و در دوره‌های زمانی طولانی‌تر با شرایط متفاوت، می‌تواند فرصتی مناسب برای بررسی دقت پیش‌بینی مدل‌ها و امکان پیش‌بینی کمی بارش با تفکیک بیشتر را فراهم کند. در این بررسی با تحلیل پیش‌بینی‌های مدل، سعی می‌شود تا به برخی پرسش‌های موجود در این زمینه پاسخ داده شود که مهم‌ترین این پرسش‌ها عبارت‌اند از:

- دقت پیش‌بینی بارش با تغییر تفکیک افقی مدل در منطقه کوهستانی چگونه تغییر می‌کند؟
- آیا تفاوت تغییر تفکیک افقی به‌طور جزئی از ۲۰ به km ۱۵ منجر به پیش‌بینی ساختارهای واقعی‌تری از نتایج خروجی مدل می‌شود؟

البته به‌منظور ارزیابی میدان خروجی مدل، نیاز به مقایسه آن با میدان واقعی بارش و یا کمیت‌های دیگر دارد که بایستی تا حد امکان از دقت کافی برخوردار باشند، ولی در عمل داده‌های دیدبانی بارش برحسب نوع باران‌سنج و نوع بارش و همچنین شرایط محیطی همانند وزش باد، دارای خطای جزئی هستند. برای کاهش این تاثیر بایستی باران‌سنج‌هایی با دقت بیشینه در ایستگاه‌های دیدبانی و حداقل در دوره زمانی خاص به‌منظور تحقیق و بررسی در منطقه مورد نظر نصب شود و صحت شرایط همدیدی در ترازهای متفاوت با دیدبانی متراکم جوّ بالا سنجیده شود. در این صورت با تصحیح میدان اولیه تا حد امکان از سامانه‌هایی برای بررسی استفاده می‌شود که با صحت زیاد، با مدل‌های جهانی شبیه‌سازی شده‌اند. در این تحقیق امکان هیچکدام از آنها وجود نداشته است.

برای پاسخ دادن به پرسش‌های ذکر شده، سامانه فعال در منطقه را که از ۱۲ تا ۱۵ اکتبر ۲۰۰۴ از شمال کشور عبور و فعالیت کرده است، مورد بررسی دقیق قرار می‌دهیم. توصیف وضعیت همدیدی این سامانه در بخش دوم، شبیه‌سازی آن با مدلMM5 با تفکیک‌های افقی مورد نظر در بخش سوم و نتایج در بخش ۵ آورده شده است.

۲ داده‌ها و روش‌ها

در این بخش ابتدا ساختار مدل MM5 مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها به‌طور خلاصه توصیف می‌شود. در شبیه‌سازی‌های مدل MM5 روش پارامترسازی همرفتی کین- فریچ (۱۹۹۰) در تفکیک‌های افقی ۶۰ km، ۲۰ km و ۱۵ km به‌کار رفته است. برای تامین شرایط اولیه و مرزی، از داده‌های بازتحلیل NOAA و پیش‌بینی مدل AVN استفاده شده است. در مرز بالا از شرط مرزی تابشی کلمپ و دوران (۱۹۸۳) استفاده شده است تا از بازتاب امواج گرانی از مرز بالایی مدل جلوگیری شود. مدل به‌صورت غیرهیدرواستاتیک برای هریک از تفکیک‌های افقی، به‌طور مستقل دردامنه طول جغرافیایی ۳۰ تا ۶۵ درجه شرقی و در عرض جغرافیایی ۲۰ تا ۵۰ درجه شمالی اجرا شده و بنابراین جواب‌های به‌دست آمده از تفکیک ۲۰ و ۱۵ km به‌صورت پس‌خور بر تفکیک افقی ۶۰ km تاثیرگزار نیستند. به‌علاوه با گسترش دامنه افقی، مدل از تاثیر نفوذ شرایط جانبی نیز تا حد زیادی جلوگیری می‌شود. ۲۳ تراز سیگمای (σ) غیرهمگن در راستای قائم مورد استفاده قرار گرفته که بیشینه تفکیک آنها در لایه مرزی است و داده‌های کاربری سطح زمین و توپوگرافی با تفکیک ۲ دقیقه با استفاده از روش تحلیل کرسمن (شعاع تاثیر ۱٫۵ برابر فاصله شبکه‌ای) روی شبکه مدل درون‌یابی شده است. با توجه به فقدان داده‌های پوشش

برف و دمای سطح آب، این پارامترها با اجرای مدل تعیین شده‌اند. داده‌های توپوگرافی و کاربری سطح زمین با استفاده از داده‌های (United States Geological Survey, USGS) با تفکیک ۲ دقیقه (۷ر۳کیلومتر) تعیین شده است. برای تعیین شرایط مرزی از پیش‌بینی‌های ۳ ساعته مدل جهانی AVN استفاده شده است. از نرم‌افزار Grads برای نمایش داده‌های دیدبانی ایستگاه‌های همدیدی و ترسیم خروجی‌های مدل استفاده شده است.

تقریباً از داده‌های ۲۰۰ ایستگاه همدیدی و تعدادی ایستگاه اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی در صحت‌سنجی خروجی مدل استفاده شده است. تقریباً در همهٔ ایستگاه‌های همدیدی، از باران‌سنج‌های مخزنی با دهانه قیفی شکل استفاده می‌شود. دقت این باران‌سنج‌ها در حدود ۰ر۰۱ اینچ است و تحت شرایط محیطی، همانند وزش باد، دقت آنها تغییر می‌کند. هر ۶ ساعت یک‌بار گزارش بارندگی همراه با پارامترهای دیگر در گزارش همدیدی اصلی قابل دریافت است. گزارش‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی فعال و ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی به‌صورت ماهانه با تاخیر زمانی ارسال می‌شود و بارش دیدبانی‌شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی را می‌توان از مراکز استانی در هر ۲۴ ساعت دریافت کرد.

به‌منظور صحت‌سنجی نتایج مدل، میدان پیش‌بینی بارش مدل منطقه محدود MM5 با تحلیل ذهنی داده‌های بارش دیدبانی شده مورد مقایسه قرار گرفته است. البته روش‌های دیگری نیز برای صحت‌سنجی وجود دارد که در آن از روش‌های درونیابی همانند بارنز یا کرسمن استفاده می‌شود و با درون‌یابی مقادیر دیدبانی بر روی نقاط شبکه مدل و یا بالعکس با درون‌یابی مقادیر خروجی مدل در نقاط شبکه متناهی روی ایستگاه‌های دیدبانی، نتایج مقایسه می‌شود. برخی گروه‌ها همانند گروه NCEP (National Center for Environmental Prediction) (مسینگر، ۱۹۹۶) بارش دیدبانی‌شده را در داخل هر خانه شبکه متوسط‌گیری می‌کنند، میدانی تحلیل شده از مقادیر دیدبانی روی نقاط شبکه به‌دست می‌آورند و سپس شبکه تحلیل‌شده را با شبکه خروجی مدل مقایسه می‌کنند. البته این روش را فقط در صورتی می‌توان به‌کار برد که شبکه دیدبانی متراکمی متناسب با تفکیک خروجی مدل ایجاد شده باشد. در غیر این صورت در تفکیک‌های کم، بسیاری از خانه‌های شبکه فاقد مقادیر دیدبانی هستند و ساختارهای میان‌مقیاس بارندگی، اغلب در محدوده خانه‌های شبکه رخ می‌دهد.

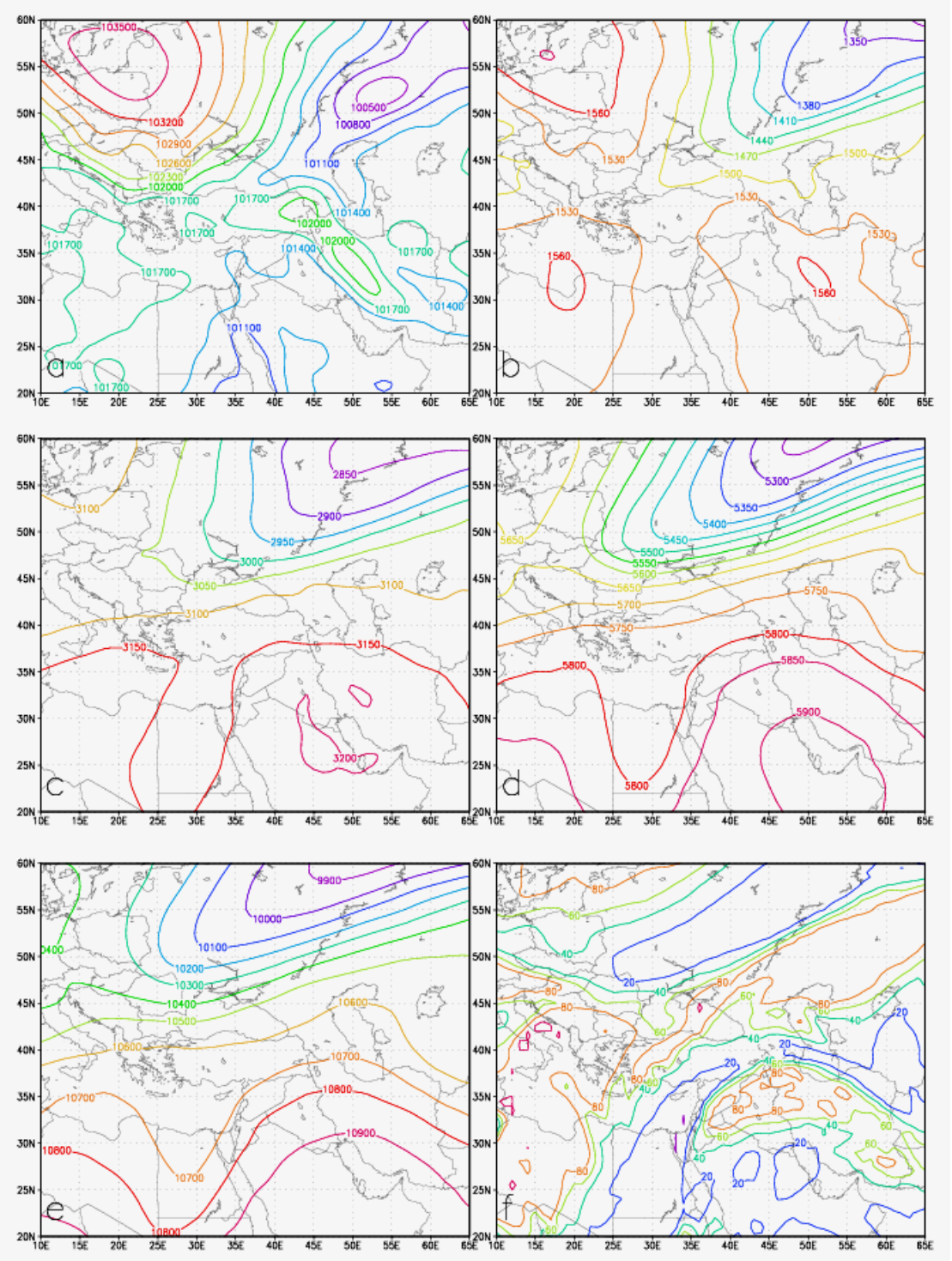
در این بخش ابتدا وضعیت همدیدی مورد انتخاب شده شرح داده می‌شود. برای درک بهتر از دینامیک این سامانه‌ها، لازم است که ساختار شکل‌گیری و تکامل آنها از ۳ روز قبل بررسی شود.

۳ تحلیل همدیدی سامانه کم‌فشار فعال در منطقه

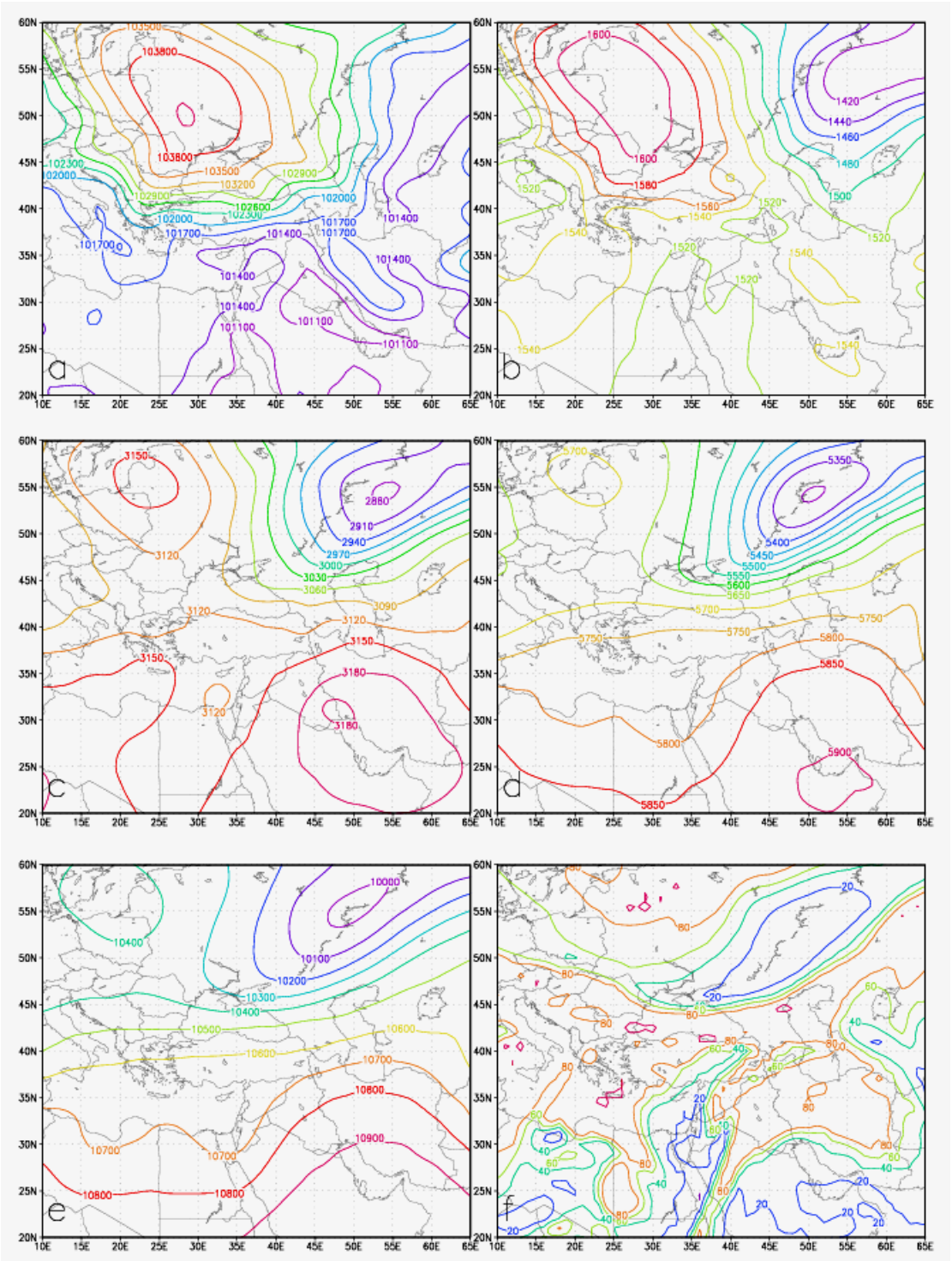
شکل‌های ۲a تا ۲f وضعیت همدیدی موجود در تاریخ ۱۲ اکتبر ۲۰۰۴ را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۲d مشاهده می‌شود، در اثر ژرف شدن ناوه ارتفاع تراز میانی جوّ از روی قطب به سوی دریای مدیترانه و گسترش آن به عرض‌های پایین‌تر، ناوه فشاری دریای‌سرخ به سوی شرق دریای‌مدیترانه گسترش می‌یابد. با شکل‌گیری کم‌فشار دینامیکی و حرکت به‌سوی شرق، بیشتر مناطق ایران تحت تاثیر قرار می‌گیرد. سامانه کم‌فشار پیش‌گفته با مرکز ۱۰۰۵ میلی‌باری (شکل ۲a) با گذر از عرض‌های میانی و شمالی دریای خزر و سپس با ورود زبانه پرفشار پشت آن در سطح زمین، موجب ریزش هوای سرد ترازهای فوقانی و عرض‌های شمالی می‌شود و بارش‌های سنگین و کاهش شدید دما در سواحل دریای خزر و دامنه‌های شمالی البرز را به دنبال دارد. از روز ۱۲ اکتبر به‌تدریج زبانه سامانه پرفشاری در سطح زمین وارد سواحل شمالی کشور می‌شود و همراه با سامانه کم‌ارتفاع تراز میانی جو که ناوه کج آن از روی روسیه تا نواحی جنوبی

دریای خزر کشیده شده است، ریزش هوای سرد از ترازهای فوقانی به ترازهای پایین‌تر را در پی دارد. توده هوا با کسب گرما و رطوبت از دریا (شکل ۲f) و ریزش هوای سرد از ترازهای فوقانی (شکل ۲e) و میانی ناپایدار می‌شود و طی چهل و هشت ساعت بعدی موجب بارش باران سنگین در سواحل دریای خزر و دامنه‌های شمالی البرز شده است. با توجه به شکل ۲a در ساعت ۰۰۰۰روز ۱۲ اکتبر در نقشه سطح زمین یک مرکز پرفشار در سمت شرق روی سیبری واقع شده و شارش‌های جنوبی را روی شرق دریای‌خزر ایجاد کرده و پربند ۱۰۱۵ هکتوپاسکال از جنوب دریای خزر تا شمال آن کشیده شده است و یک سامانه پرفشار در مناطق میانی اروپا از شمال روسیه و فنلاند تا ترکیه ویونان استقرار یافته که مرکز آن با پربند ۱۰۳۵ هکتوپاسکال بسته شده است و به‌تدریج زبانه پرفشار آن از سمت شمال‌غرب وارد کشور شده و شارش‌های شمالی را از شمال غرب تا غرب به وجود آورده است. بین این دو مرکز پرفشار، سامانه‌ای کم‌فشار قرار گرفته که مرکز آن در شمال‌شرق روسیه بسته شده است تا مناطق شمالی دریای خزر گسترش دارد و با سامانه کم‌ارتفاع قوی تراز میانی جوّ همراه است. در ترازهای ۸۵۰ ، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل‌های ۲b، ۲c و ۲d) ناوه آن از شمال‌شرق روسیه تا روی دریای سیاه گسترش دارد . با توجه به ناوه تشکیل شده در قسمت شمال شرق منطقه مورد بررسی، با محور شمال شرق- جنوب غرب در شکل ۲d و همراهی آن با مرکز پر فشار۱۰۲۰ هکتوپاسکال در سطح زمین (شکل ۲a)، جبهه سرد بسیار مشخص و عمیقی در این ناحیه تشکیل شده است. در ترازهای فوقانی، پشته‌ای نسبتا قوی استقرار یافته است که تا شمال‌شرق دریای خزر گسترش دارد. همین وضعیت در ساعت UTC ۱۲۰۰ این روز هم مشاهده می‌شود.

در روز ۱۳ اکتبر در ساعت UTC۰۰۰۰ در سطح زمین شارش‌های شمالی کاملاً بر دریای خزر حاکم شده و شارش‌های جنوب‌شرقی روز قبل از آن خارج شده‌اند و مرکز سامانه پرفشار اروپا به‌سوی شرق انتقال یافته و با پربند ۱۰۴۰ هکتوپاسکال در روی اروپای شرقی و منطقه بالکان بسته شده است (شکل ۳a). نقشه‌های واقعی در ترازهای۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال (به ترتیب شکل‌های ۳b، ۳c و ۳d) نشانگر عبور سامانه کم‌فشار دینامیکی با هسته سرد از شرق روسیه و دریای خزر و انتقال سامانه پرفشار دینامیکی عرض‌های میانی با هسته گرم به‌سوی شرق است. میدان دما و خطوط جریان در این ترازها، حضور جبهه سرد قوی را که از شمال‌شرق روسیه تا مناطق میانی دریای خزر و جنوب شرق دریای سیاه کشیده شده است، تایید می‌کند. در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال پشته‌ای روی شرق کشور قرار دارد، ناوه سامانه کم‌ارتفاع از مناطق شمالی دریای خزر به‌صورت مورب تا دریای سیاه کشیده شده است و جت نسبتا قوی با بیشینه سرعت ms^{-1} ۶۲ روی ایران ایجاد شده است. در ساعت UTC ۱۲۰۰ این روز زبانه پرفشار درسطح زمین از شرق دریای خزر عبورکرده، به‌تدریج شمال خراسان را دربرگرفته است و در مناطق جنوبی دریای خزر فشار سطح زمین به ۱۰۳۵ هکتوپاسکال افزایش یافته و مرکز کم‌فشار اروپا کاملاً به‌سوی شرق گسترش یافته و غرب دریای خزر و دریای سیاه را دربرگرفته است. مرکز پرفشار سیبری به‌سوی شرق انتقال یافته و یک مرکز کم‌فشار در این روز در شمال دریاچه اورال با مرکز ۱۰۱۰ هکتوپاسکال بسته شده است. جبهه سرد تشکیل شده از روی شمال دریاچه اورال تا جنوب دریای خزر و شمال غرب کشور کشیده شده و گرادیان شدید دمایی را در جنوب و مرکز دریای خزر به‌وجود آورده است. همچنین بارش باران از ساعت UTC ۰۲ از برخی ایستگاه‌های استان گیلان گزارش شده است.



شکل ۲. نقشه روز۱۲ اکتبر ۲۰۰٤، ساعت ۰۰:۰۰UTC a) فشار تراز میانگین دریا (Pa)، b) ارتفاع تراز ۸۵۰ hPa (m) ، c) ارتفاع تراز ۷۰۰hPa (m) ، d) ارتفاع تراز ۵۰۰hPa (m) ، e) ارتفاع تراز ۲۵۰ hPa (m) و f) رطوبت نسبی در سطح زمین (درصد).



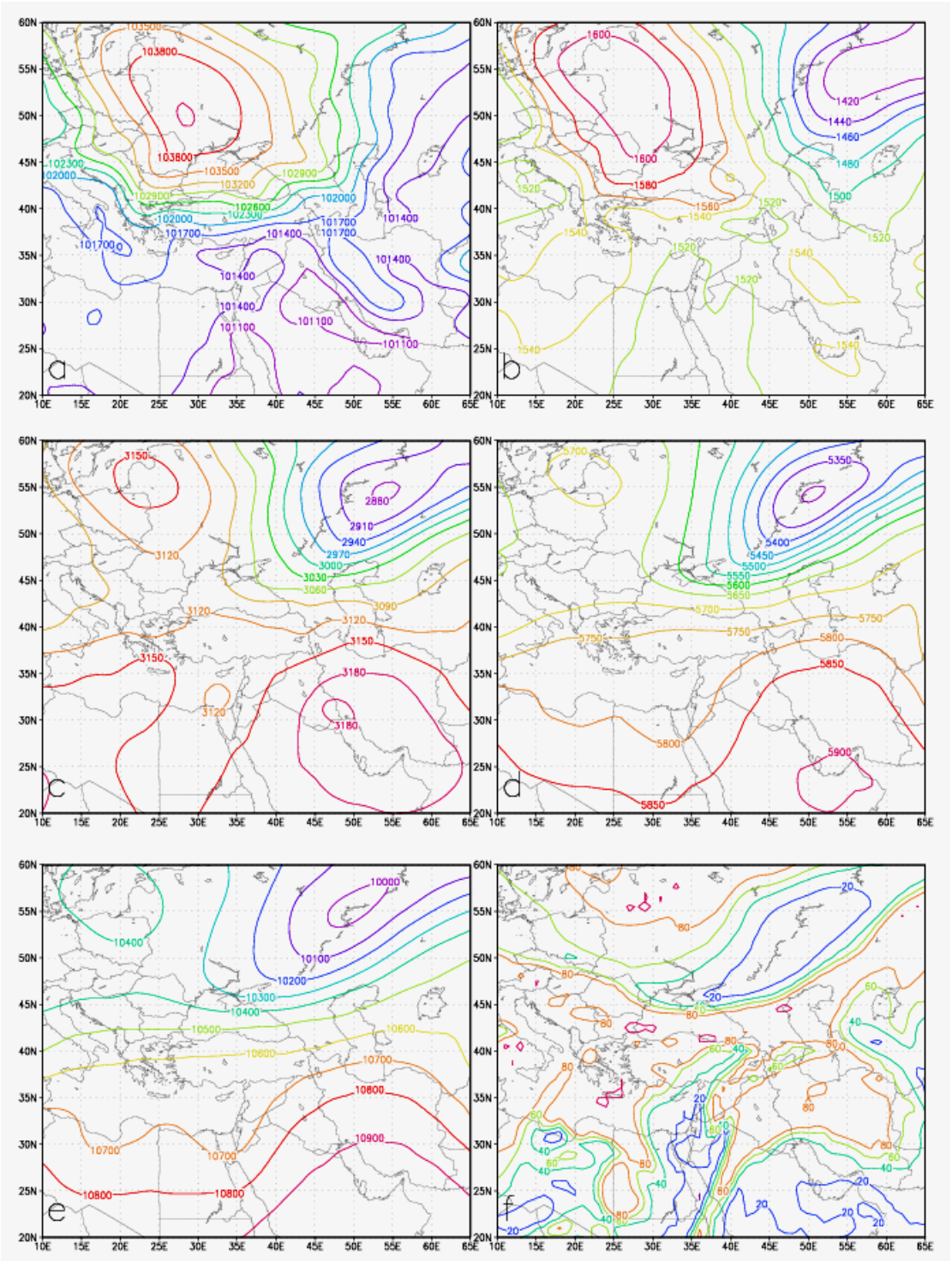
شکل ۳. مشابه شکل ۲ ولی برای روز ۱۳ اکتبر ۲۰۰۴.

در روز ۱۴ اکتبر در ساعت UTC ۰۰۰۰ (شکل ۴a) زبانه پرفشار کاملاً به سمت شرق کشیده شده، دریاچه اورال را در برگرفته و شارش‌های شمال‌شرقی و گرادیان کنتوری شدیدی را در روی جنوب دریای خزر ایجاد کرده است. مرکز کم‌فشار سطح زمین به‌سوی مناطق شمال دریاچه اورال انتقال یافته، جبهه سرد سطوح بالا، از شمال و شرق دریاچه اورال تا شمال خراسان و جنوب و شرق خزر کشیده شده است که موجب افت شدید دما در این نقاط می‌شود. در ساعت UTC ۱۲۰۰ روز ۱۴ اکتبر مرکز پرفشار، شرق ترکمنستان تا اروپای شرقی را در برگرفته، دریای خزر در مرکز آن واقع شده وشارش‌های شرقی و شمال‌شرقی در جنوب آن حاکم است.

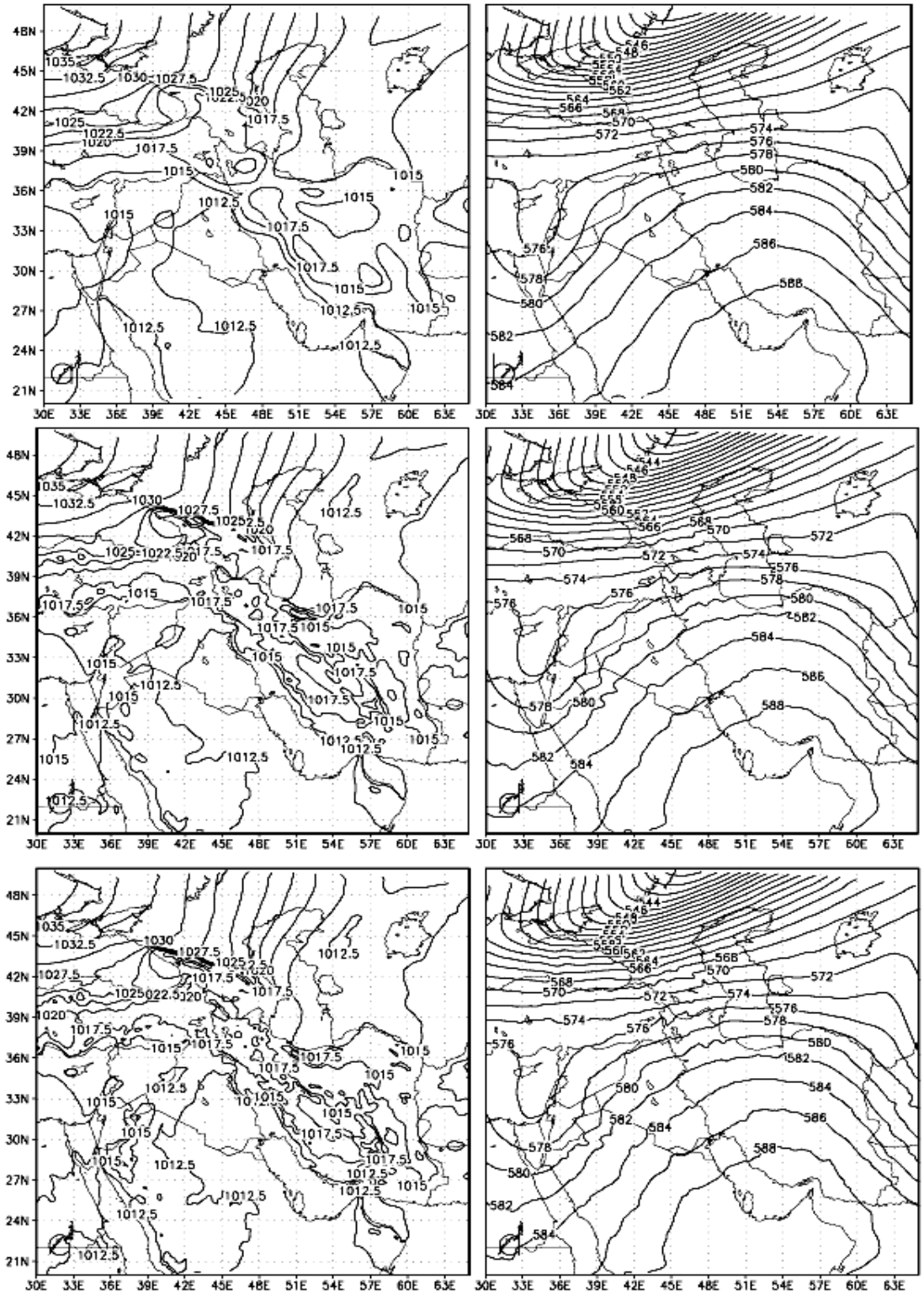
۴ شبیه‌سازی سامانه با مدل میان‌مقیاس MM5 با تفکیک‌های افقی متفاوت

برای اینکه تغییرات بارش پیش‌بینی شده با مدل را با تغییرات تفکیک افقی مدل از ۶۰ km به ۱۵ km به‌دست آوریم، مدل MM5 با تفکیک‌های افقی ۶۰ ، ۲۰ و۱۵ km برای سامانه مورد بحث در بخش قبل، برای مدت ۲۴، ۴۸، و ۷۲ ساعت اجرا شد. ارتفاع ژئوپتانسیل شبیه‌سازی شده سامانه پیش‌گفته به‌ترتیب ساعت‌های پیش‌بینی در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند. همچنین مقدار بارش پیش‌بینی شده با مدل در منطقه مورد بررسی در شکل ۸ آورده شده است. با مقایسه الگوهای واقعی فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، برای روزهای ۱۳ و ۱۴ اکتبر (شکل‌های ۳a، ۳d و ۴a ، d ۴) و الگوهای پیش‌بینی شده با مدل (شکل‌های ۵ و۶) و همچنین نقشه‌های بارش دیدبانی شده (شکل‌های ۹ و ۱۰) و مقایسه چشمی آنها با مقادیر پیش‌بینی شده (شکل‌های ۸)، مشاهده می‌شود که نتایج پیش‌بینی نسبتاً قابل قبول است. همچنین نبود تفاوت چشمگیر بین الگوها و تاثیر کم تفکیک افقی ۲۰ و ۱۵ کیلومتر با یکدیگر به چشم می‌رسد. در تفکیک ۶۰km یک باند بیشینه بارش (mm ۱۳۵–۵۰) روی سمت رو به باد کوه‌های البرز (وجه شمالی) همراه با باندهای بارش تضعیف شونده (mm ۵۰– ۵ر۰) در سمت پشت به باد (دامنه‌های جنوبی) ارتفاعات ایجاد شده است. در تفکیک km ۲۰ توپوگرافی تفکیک بهتری دارد (برای مثال کوه‌های البرز مرکزی) و در نتیجه بیشینه بارش در سمت پشت به باد بهتر نشان داده شده است. در نتیجه تعداد هسته‌های بیشینه بارندگی در این تفکیک بیشتر است و دارای باندی با پهنای mm ۲۸۰–۵۰ است. بیشینه‌های بارش علاوه بر اینکه در سمت بادسو واقع شده‌اند، در روی ارتفاعات مجاور دریا و همچنین در روی خط ساحلی یا بلافاصله بعد از آن قرار دارند. با تغییر تفکیک افقی از ۲۰km به ۱۵km کاهش نسبی در بیشینه بارش مشاهده می‌شود. درتفکیک ۲۰km بارش بیشتری برآورد شده است که با توجه به مشکلات باران‌سنج‌های مخزنی و از طرفی با توجه به تعداد ایستگاه‌ها که دارای تراکم کافی نیست، قابل توجیه است.

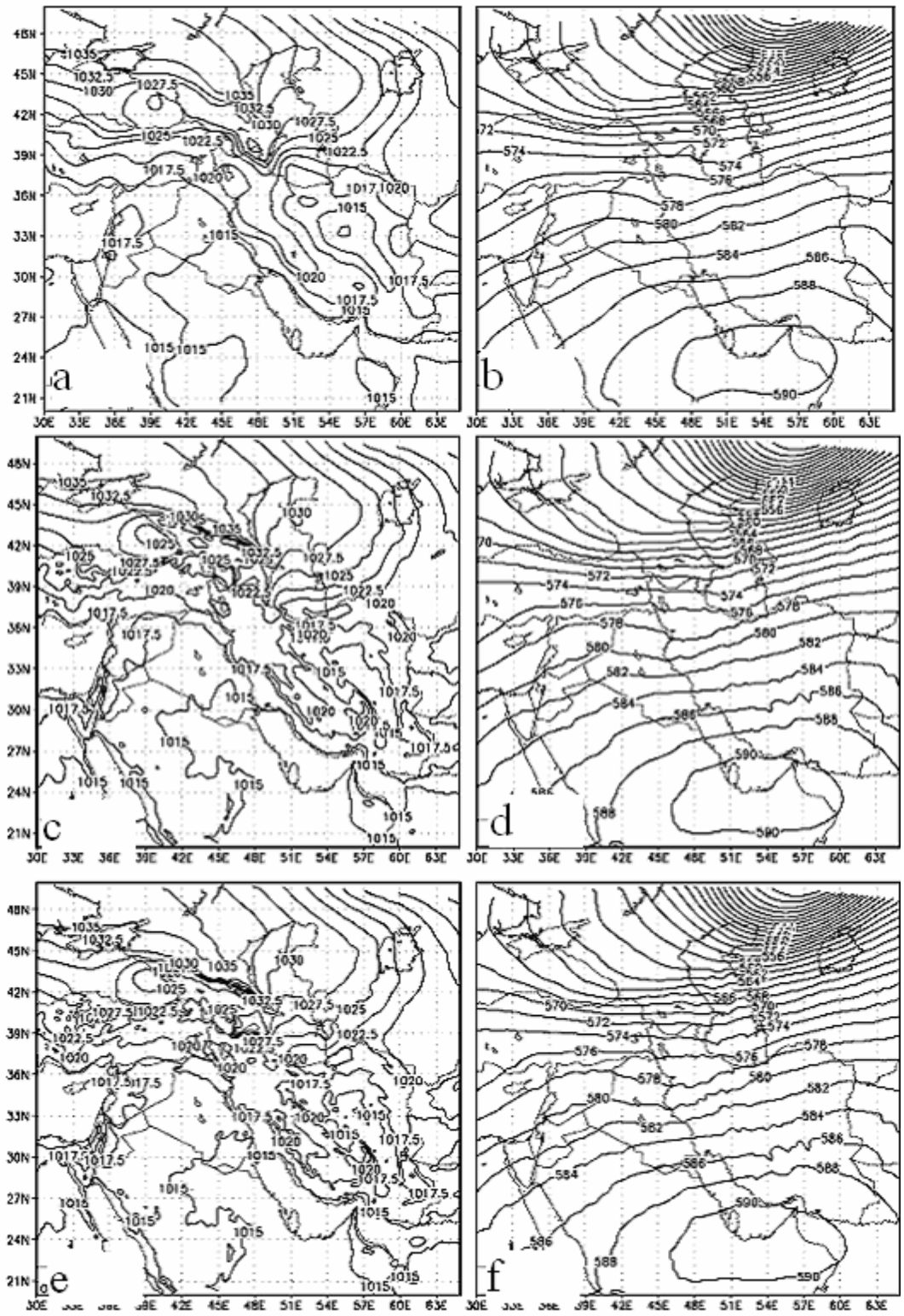
تفاوت بین نتایج تفکیک‌های افقی ۱۵km تا ۶۰km در واقع ناشی از تغییر در شبیه‌سازی بارش در دو تفکیک است در تفکیک‌های بیشتر، نقش بارش‌های همرفتی بارزتر می‌شود. با توجه به اینکه در این تحقیق طرح‌واره به‌کار رفته برای همرفت، طرح‌واره همرفتی کین–فریچ است وجود تفاوت در نتایج ۱۵ و ۲۰km با نتایج ۶۰km توانایی یا ضعف این طرح‌واره را مشخص می‌سازد. روش همرفتی سهم اندکی در مقایسه با اثر کوه در ایجاد بارش در بارش‌های فصل سرد سال دارد. زیرا بارش‌ها عمدتاً ناشی از ابرهای لایه‌ای شکل هستند. علاوه بر این بارش همرفتی کم‌عمق روی کوه‌ها ممکن است با روش کین– فریتچ آغاز نشود، زیرا این روش نیازمند عمق km ۴ ابر برای آغاز بارندگی است (وایت و همکاران، ۱۹۹۹) و این یکی از دلایل نبود تفاوت بسیار بین اجراهای مدل با تفکیک ۲۰ و ۱۵ کیلومتر است.



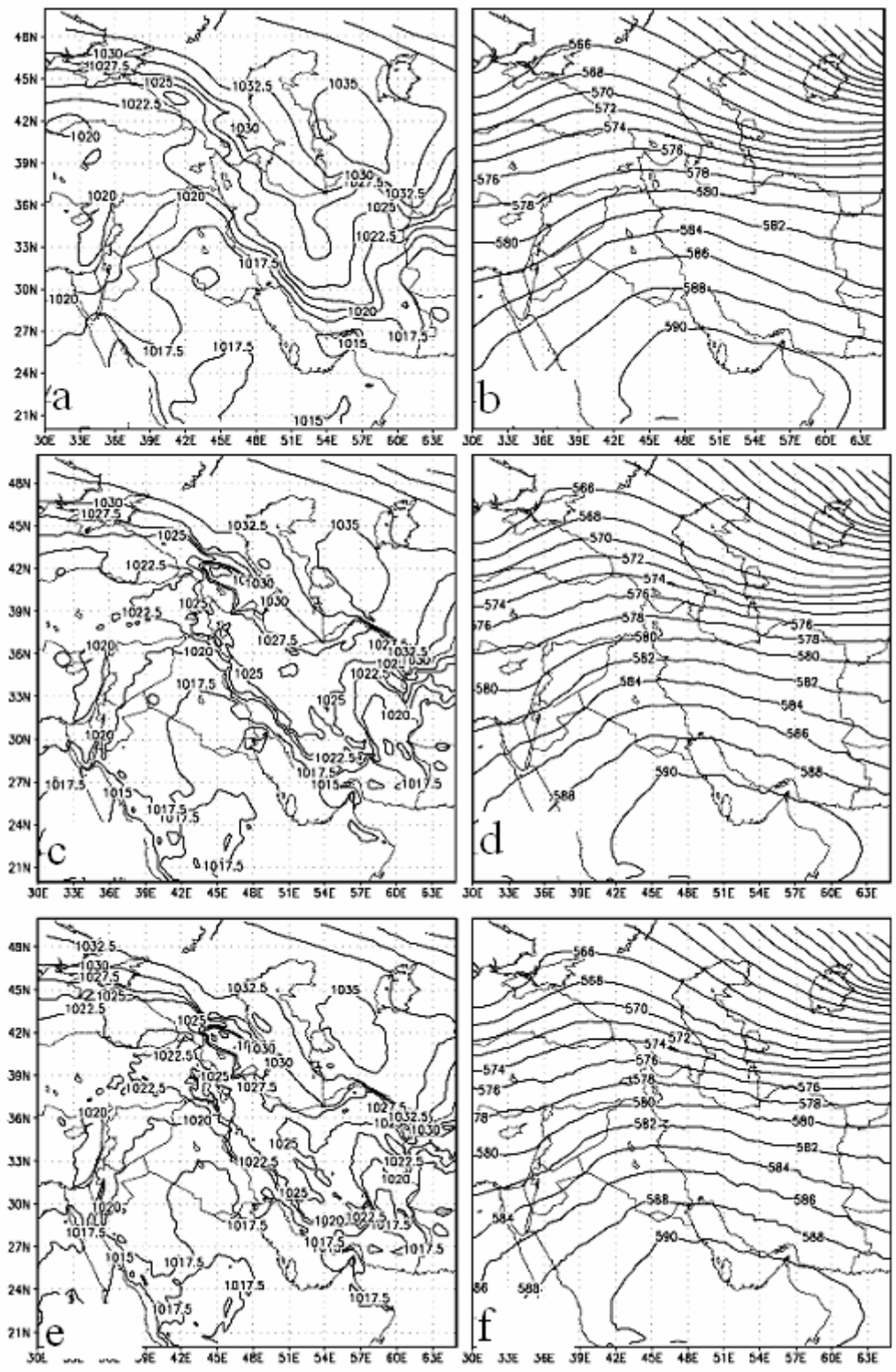
شکل ٤. مشابه شکل ۲ ولی برای روز ١٤ اکتبر ۲۰۰٤.



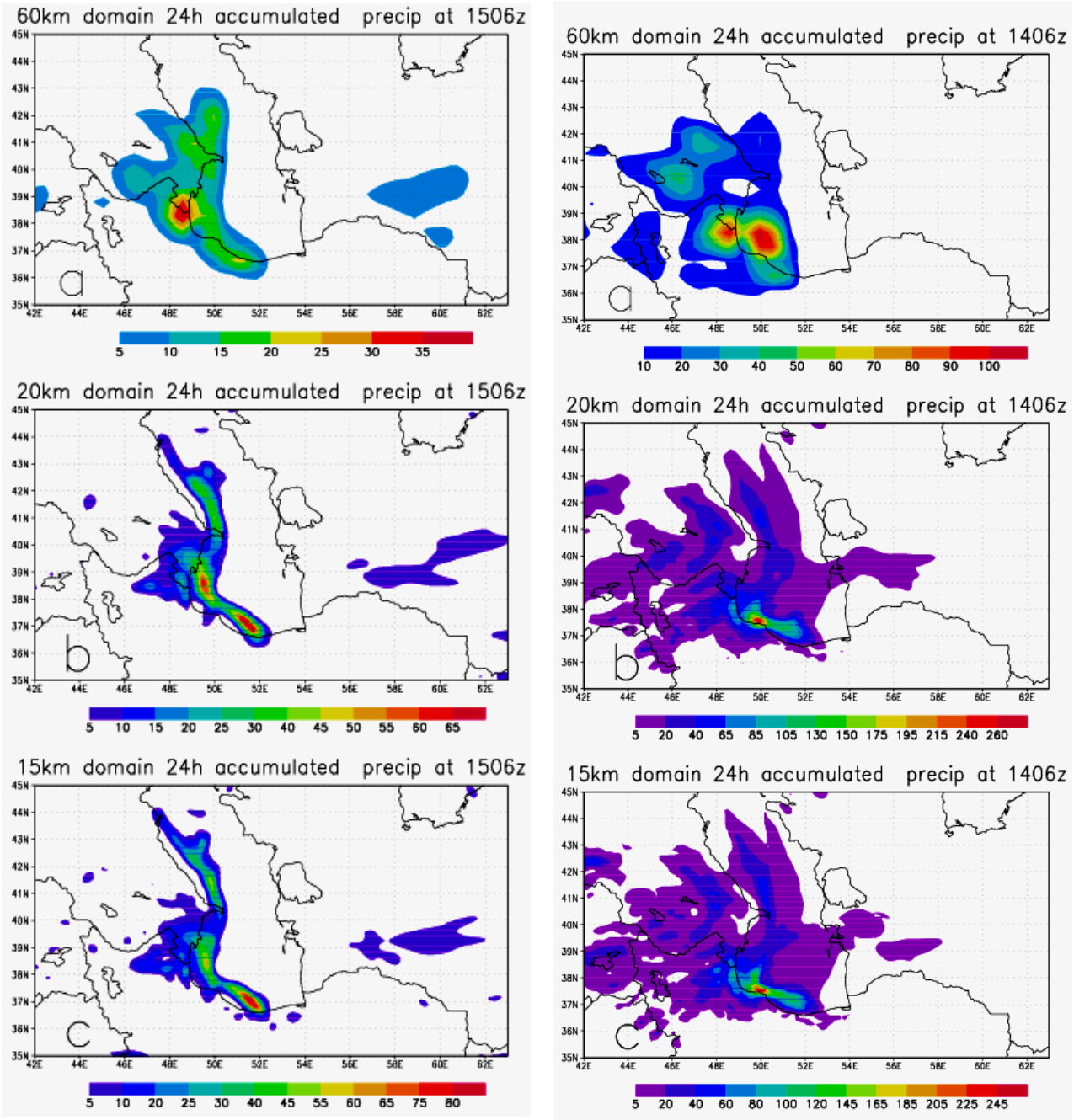
شکل ۵. نقشه پیش‌یابی ۲۴ ساعته ارتفاع hPa ۵۰۰ (dm) و فشار سطح زمین (hPa) در ساعت ۰۰۰۰UTC روز ۱۳ اکتبر ۲۰۰۴، a و b در شبکه ۶۰km، c و d در شبکه ۲۰km، e و f در شبکه ۱۵ km.



شکل٦ . نقشه پیش‌یابی ٤٨ ساعته ارتفاع hPa ٥٠٠ (dm) و فشار سطح زمین (hpa) در ساعت ٠٠٠٠UTC روز ١٤ اکتبر ٢٠٠٤ در تفکیک‌هـای: a و b) ٦٠km، c و d) ٢٠km، e و f) ١٥ km.

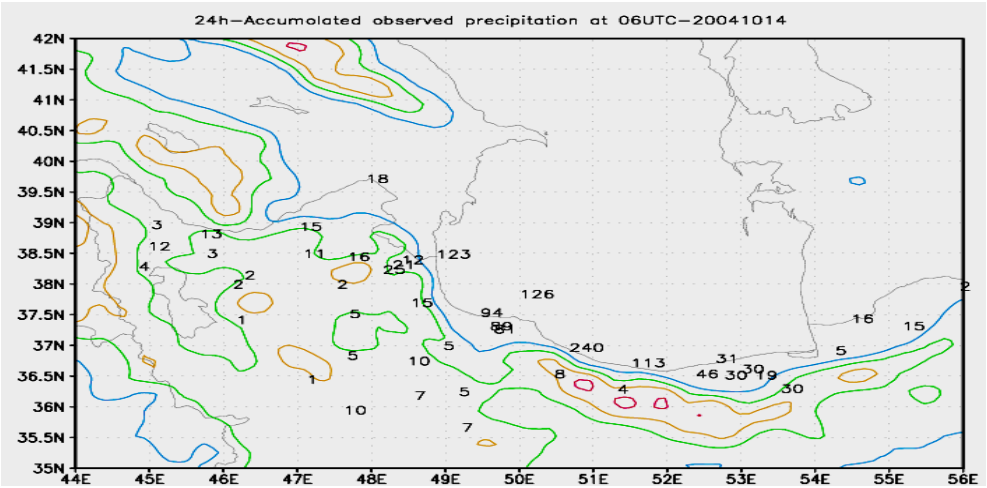


شکل۷ . نقشه پیش‌یابی ۷۲ ساعته ارتفاع hPa ۵۰۰ (dm) و فشار سطح زمین (hPa) در ساعت ۰۰۰۰UTC روز ۱۵ اکتبر ۲۰۰٤ در تفکیک‌های: a و b) ٦۰km، d و c) ۲۰km، f و e) ۱۵ km.

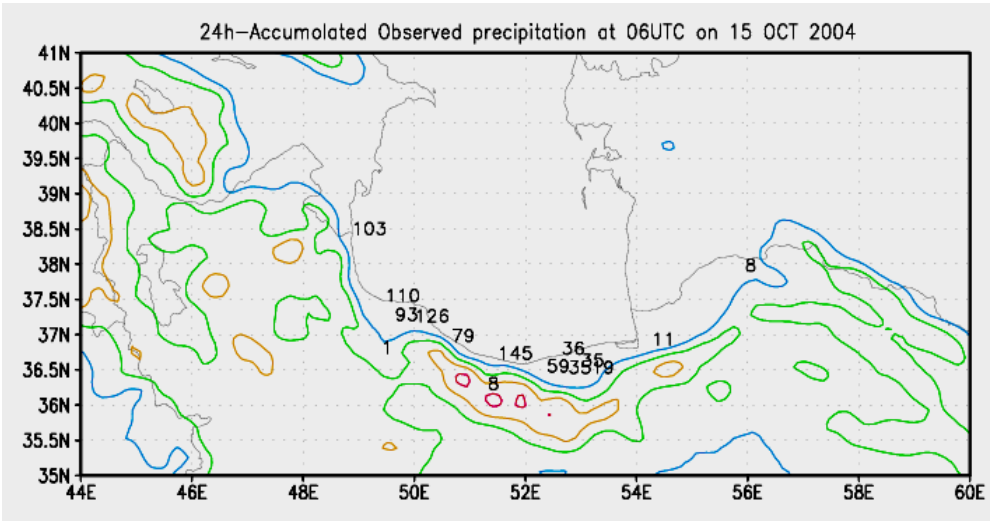


الف ب

شکل ۸ . الف- نقشه بارش تجمعی (mm) ۲٤ ساعته مدل برای ساعت ۰٦ روز۱٤ اکتبر۲۰۰٤ در تفکیک‌های: a) ٦۰km، b) ۲۰km، c) ۱۵ km و ب- نقشه بارش تجمعی (mm) ۲٤ ساعته مدل برای ساعت ۰٦ روز ۱۵ اکتبر ۲۰۰٤ در تفکیک‌های، a) ٦۰km b) 20km c) ۱۵ km.



شکل ۹ . بارش تجمعی (mm) دیدبانی در ساعت۰٦ روز ١٤ اکتبر ۲۰۰٤ و توپوگرافی البرز (خطوط رنگی با فاصله ۵۰۰m).



شکل ۱۰ . بارش تجمعی (mm) دیدبانی در ساعت ۰٦ روز ۱۵ اکتبر ۲۰۰٤ و توپوگرافی البرز (خطوط رنگی با فاصله ۵۰۰m).

بارش پیش‌بینی شده با مدل، با تغییر تفکیک افقی از ۶۰km به ۱۵ km تغییر می‌کند. در تفکیک ۶۰ km بیشینه بارش دارای باندی با پهنای بیشتر در طول مناطق کم‌ارتفاع و رو به جریان باد است و به‌طور نسبی بارش کمتری را در منطقه پشت به جریان باد شبیه‌سازی کرده است. بارش کوهستانی در تفکیک افقی ۱۵ km با داشتن بیشینه بارش مجزا در منطقه بادسو در دامنه‌های شمالی و با شبیه‌سازی بیشتر بارش در ارتفاعات و مناطق ساحلی، به واقعیت نزدیک‌تر است. در تفکیک ۶۰ و ۱۵ km سهم طرح‌واره پارامترسازی همرفتی (کین- فریچ) در بارش کلی اندک است. این نتایج با شبیه‌سازی‌های قبلی MM5 در مورد حوادث بزرگ سیلابی در مناطق دیگر جهان مطابقت دارد. اگر داده‌های ایستگاه‌های مرتفع برف و باران سنجی وجود داشته باشد، با وارد کردن این نوع داده‌ها، نتایج

صحت‌سنجی بهتر مقایسه می‌شود. بنابراین داده‌های این نوع ایستگاه‌ها، منابع ارزشمندی برای بررسی آشکارسازی بعدی در مناطق کوهستانی کشور هستند. به‌طورکلی، این مسئله اهمیت استفاده از دیدبانی‌های دارای تفکیک مناسب را، برای صحت‌سنجی نشان می‌دهد. در این گونه بررسی‌ها، نقصان اندازه‌گیری مقادیر واقعی بارش در فصل سرد سال در برخی ایستگاه‌های مرتفع مجهز به باران‌سنج مخزنی، برآورد کردن را ضروری می‌سازد. مطابق بررسی‌های صورت گرفته در سایر نقاط دنیا، نقصان اندازه‌گیری در این نوع باران‌سنج‌ها در ایستگاه‌های مرتفع به ۳۵ تا ٪۴۰ و در مناطق پست به ۵ تا ٪۱۰ بالغ می‌شود (کول و همکاران، ۱۹۹۹) و این یکی از دلایل نبود اطمینان به نتایج اندازه‌گیری‌ها است و در نتیجه به ضعف در صحت‌سنجی نتایج مدل منجر می‌شود.

۵ خلاصه و نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که مدل قادر به شبیه‌سازی ویژگی‌های میان‌مقیاس سامانه‌ها از جمله ارتفاعات ژئوپتانسیلی ترازهای متفاوت و بارش در حد قابل قبولی است و ثانیاً با کاهش تفکیک افقی، میدان بارش به‌دست آمده از دقت بیشتری برخوردار است و با ارزیابی دامنه تفکیک افقی ۲۰km بهبودی قابل توجهی درمیدان بارش مشاهده می‌شود. با کاهش تفکیک افقی از ۲۰km به ۱۵km تغییرات اندکی در میدان بارش مشاهده می‌شود که برای ارزیابی بهتر، نیازمند شبکه دیدبانی متراکم است.

مقایسه توزیع بارش شبیه‌سازی شده مدل و میدان بارش دیدبانی روی مناطق کوهستانی، نشان می‌دهد که در شبیه‌سازی مدل MM5 با تفکیک افقی ۲۰ km، بارش در سمت بادسو بیش از مقدار واقعی برآورد شده است و در پشت ارتفاعات کوهستانی (Leeward Side) به‌دلیل فقدان داده‌های دیدبانی، مقایسه امکان پذیر نیست.

در مقایسه الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیلی در تفکیک‌های متفاوت، مشاهده می‌شود که چین‌خوردگی‌ها در تفکیک‌های بیشتر، زیاد است که این احتمالاً می‌تواند ناشی از اثرامواج گرانی و توانایی مدل در آشکارسازی آنها باشد. این مسئله نیازمند تحقیق و بررسی بیشتری است.

منابع

Clifford, F., Mass, C. F., Westrick, K. J. and Colle, B., 1999, Does incrising horizontal resolution produce more skillful forecast? Weather Forecast, **14**, 137-154.

Colle, B. A. and Mass, C. F., 1996, An observational and modeling study of the interaction of low-level southwesterly flow with the Olympic Mountains during COASTIOP4, Mon. Weather. Rev., **124**, 2152-2175.

Colle, B. A., Westrick, K. J., and Mass, C. F., 1999, Evaluation of MM5 and Eta-10, precipitation forecasts over the Pacific Northwest during the cool season, Weather Forecast, **14**, 137-154.

Cressman G. P., 1959, An operational objective analysis system, Mon. Weather. Rev., **87**, 367-374.

Kain, J. S., and Fritch, J. M., 1990, A one-dimensional entraining/detraining plumemodel and its application in convective parameterization, J. Atmos. Sci., **47**, 2784-2802.

Klemp, J. B., and Durran, D. R., 1983, An upper boundary condition permitting integral gravity wave radiation in numerical mesoscale models, Mon. Weather. Rev., **111**, 430-444.

Mesinger, F., 1996, Improvements in quantitative precipitation forecasts with the Eta regional model at the National Center for Environmental Prediction: The 48-Km upgrade, B. Am. Meteorol Soc., **77**, 2637-2649.

White, G. B., Paegle, J. and Steenburgh, W. J., 1999, Short-term forecast validation of six models, Weather Forecast, **14**, 84-108.