

راستی آزمایی مدل پیش‌بینی و پژوهش وضع هوا (WRF) در پیش‌بینی بارشهای سنگین در حوضه کارون (مطالعه موردی: بارش ۲۰ تا ۲۱ بهمن ۱۳۸۴)

پروین غفاریان*^۱، سید مجید برکاتی^۲

۱- دکتری هواشناسی، عضو هیات علمی (استادیار) پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی

۲- کارشناس ارشد فیزیک و کارشناس سازمان هواشناسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۷/۲۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۳/۲۳

چکیده

در این پژوهش خروجی‌های مدل WRF برای بارشی که در منطقه‌ی کارون منجر به وقوع سیل شده است، راستی‌آزمایی شدند. داده‌های دیدبانی شده‌ی بارش و داده‌های ماهواره TRMM برای راستی‌آزمایی و داده‌های FNL به عنوان خروجی مدل استفاده شده‌اند. مدل با دو آشیانه با گام‌های شبکه‌ای ۴۵ و ۱۵ کیلومتر، برای پیش‌بینی ۲۴ و ۴۸ ساعته اجرا شده است. به منظور بررسی صحت مدل پیش‌بینی عددی WRF، نتایج حاصل از آن با واقعیت از دو دیدگاه راستی‌آزمایی چشمی و آماری بررسی شدند. نتایج راستی‌آزمایی چشمی مدل، نشان داد که الگوی بارش و میزان آن در منطقه به درستی پیش‌بینی شده است. نتایج راستی‌آزمایی آماری در سه آستانه، وقوع یا عدم وقوع بارش؛ بارش متوسط و بارش سنگین در ۲۴ ساعت اول و دوم ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل در ۲۴ ساعت اول و دوم در پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش بسیار دقیق عمل کرده و نتایج نزدیک ۱۰۰ درصد صحیح هستند. برای آستانه‌ی دوم، دقت مدل در پیش‌بینی بارش بالا است ولی در ۲۴ ساعت دوم دقت بالاتر بوده است، به گونه‌ای که در آستانه‌ی دوم و در ۲۴ ساعت دوم تعداد مواردی که به درستی پیش‌بینی شده، بالا بوده است. همچنین، در آستانه‌ی دوم در ۲۴ ساعت اول، مدل خشک بوده، بعبارت دیگر تعداد روزهایی که بارش اتفاق افتاده را کمتر پیش‌بینی نموده است. و در ۲۴ ساعت دوم مدل تر بوده، یعنی تعداد روزهایی که بارش اتفاق رخ نداده، اما مدل پیش‌بینی نموده، بالا بوده است. و در آستانه‌ی سوم، در پیش‌بینی ۲۴ ساعت اول دقت بالاتر است و در دو حالت، مدل تر بوده است. به عبارتی دیگر، برای آستانه‌ی سوم، دقت مدل در پیش‌بینی بارش‌های بسیار سنگین در منطقه متوسط بوده است. در نهایت نتایج نشان می‌دهند که در وقوع پیش‌بینی سیل در منطقه‌ی کارون نتایج مدل قابل اعتماد است.

واژگان کلیدی: راستی‌آزمایی، پیش‌بینی سیل، مدل منطقه‌ای WRF، آستانه‌های بارش، جدول توافقی.

مقدمه

WRF^۲ می‌توان به مقایسه بین دو مدل MM5 و WRF در شبیه‌سازی بارش‌های سنگین حاره‌ای در طی روزهای ۹ تا ۱۱ ژانویه ۲۰۰۲ در سنگال اشاره نمود، (Fall et al., 2007). یک مطالعه موردی به منظور مقایسه خروجی‌های شبیه‌سازی شده مدل‌های MM5 و WRF با مقادیر دیدبانی شده، در سال ۲۰۰۵ برای سیلاب سال ۱۹۹۳ غرب ایالات متحده آمریکا صورت گرفت. شایان ذکر است که توپوگرافی در اقلیم این منطقه نقش مهمی ایفا می‌کند. از مقایسه نتایج بدست آمده، مشاهده گردید که نتایج مدل WRF به مقادیر واقعی نزدیکتر است، (Shing, 2005). در تایلند نیز تحقیق مشابهی در خصوص بارندگی تجمعی حاصل از مدل WRF انجام شد. اگرچه مقدار مدل بیشتر از مقادیر دیدبانی بدست آمد، اما بین مقادیر پیش‌بینی شده مدل برای کمینه‌ها و بیشینه‌ها همخوانی قابل قبولی با مقادیر واقعی وجود داشت، (Sukhumvit, 2006). در ایران نیز تحقیقاتی در این خصوص انجام شده است، که می‌توان به کار آزادی و همکاران (۱۳۸۹)، اشاره نمود. نتایج کار آن‌ها نشان داد که به‌طور کلی با استفاده از کمیت‌های بررسی شده در آستانه‌های بارش کمتر یا مساوی ۰/۱ میلی-متر و بیشتر از ۰/۱ میلی-متر دو مدل MM5 و WRF رفتارهای وارون هم‌نشان داده‌اند به‌گونه‌ای که برای آستانه بارش بسیار کم ($\leq 0/1$ میلی-متر) رفتار مدل MM5 و در آستانه‌های بارش بیشتر از ۰/۱ میلی-متر رفتار مدل WRF پیش‌بینی‌های مثبت بیشتر است. هدف از این تحقیق راستی-آزمایی مدل عددی پیش‌بینی عددی وضع هوا (WRF)، در پیش‌بینی بارش سنگین است، تا صحت مدل برآورد شود تا در نهایت در صدور اختطاریه‌های مربوط به سیل بتوان با اطمینان بیشتری از آن استفاده نمود.

داده‌ها و روش‌ها

داده‌ها

از داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیکی و بارش‌سنجی و داده‌های بارش ماهواره‌ی TRMM^۳ با تفکیک مکانی

تاثیر پیش‌بینی صحیح وضع هوا در تمام جنبه‌های زندگی عادی و روزمره اجتناب‌ناپذیر است. استفاده از مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا می‌تواند به پیش‌بینی هر چه صحیح‌تر وضعیت هوا کمک کند. اما مدل‌ها در پیش-بینی فراسنج‌های جوی خطا دارند. عواملی همچون وجود نقص در پراکنش فرآیندهای فیزیکی، عدم توانایی مدل در شبیه‌سازی موفق پدیده‌های زیر شبکه‌ای، استفاده از درونیابی نتایج مدل برای تعیین مقادیر مربوط به نقاطی که روی نقاط شبکه نیستند، توانا نبودن مدل در نمایش حقیقی پدیده‌های کوهساری در سطوح پایین و اثر عوامل موضعی و محلی می‌تواند به ایجاد خطا در خروجی مدل منجر شود (آزادی و همکاران، ۱۳۸۵). بنابراین خروجی‌های مدل باید مورد ارزیابی قرار گیرد. راستی آزمایی^۱ پیش‌بینی وضع هوا حداقل از سال ۱۸۸۴ میلادی مطرح شده است، (Muller, 1994). منظور از فرآیند راستی‌آزمایی همان ارزیابی کیفیت پیش‌بینی‌های جوی و اقیانوسی است که در آن نتایج فرآیند پیش‌بینی با دیدبانی متناظر مقایسه می‌شود. از مهم‌ترین اهداف راستی‌آزمایی آن است که نتایج آن باید حاوی اطلاعات مفیدی باشد تا بتواند راه‌کارهای جدیدی برای پیش‌بینی بهتر ارائه دهد. تحلیل آماری راستی‌آزمایی می‌تواند در ارزیابی نقاط قوت و ضعف پیش‌بینی و یا امر پیش‌بینی کمک کند. از نظر علمی، مورفی و همکاران (Murphy, 1988)، راستی‌آزمایی را فرایابی راستی‌آزمایی نامیدند. در این دیدگاه می‌توان به ارزیابی نقاط قوت و ضعف مجموعه‌ای از شرایط و مراحل انجام پیش‌بینی نیز پرداخت، (Wilks, 1995). همچنین جولیف و استفسن (Livezey, 2003)، لیوزی (Joliffe & Stephenson, 2003) (1995)، مورفی (Murphy, 1997)، مورفی و دان (Murphy & Daan, 1985)، و استانسکی و همکاران (Stanski et al, 1989) در زمینه‌ی راستی‌آزمایی مدل‌های پیش‌بینی وضع هوا مطالعات گسترده‌ای انجام داده‌اند که نتایج کار آن‌ها منجر به گسترش این مبحث شده است. از نمونه کارهای انجام شده در خصوص راستی‌آزمایی مدل

1. Verification
3. Tropical Rainfall Measuring Mission

2. Weather Research Forecasting

از سازمان هواشناسی کشور (ایستگاه‌های همدیدی و بارانسنجی) و داده‌های بارش ماهواره TRMM، راستی-آزمایی خواهد شد.

راستی‌آزمایی

راستی‌آزمایی چشمی

روش راستی‌آزمایی چشمی یکی از قدیمی‌ترین و بهترین روش‌های راستی‌آزمایی است. در این روش دیدبانی (واقعیت) با پیش‌بینی توسط یک ناظر مشاهده می‌شود و با استفاده از قضاوت انسانی میزان خطا تخمین زده می‌شود. سری‌های زمانی و نقشه‌ها را با این روش می‌توان راستی‌آزمایی نمود. این روش بسیار خوب است به شرطی که تعداد پیش‌بینی‌ها کم باشد یا این که زمان زیادی در اختیار داشته باشیم. این روش روشی کیفی است و بستگی به سلیقه‌ی فرد ناظر دارد و در مواقع حساس باید احتیاط شود.

روش راستی‌آزمایی پیش‌بینی دو حالتی (۲×۲)

منظور از فرآیند راست‌آزمایی همان ارزیابی کیفیت پیش‌بینی‌های هواشناسی است که در آن نتایج فرآیند پیش‌بینی با دیدبانی متناظر مقایسه می‌شود. برای انجام فرآیند راست‌آزمایی به تابع احتمال مشترک پیش‌بینی-دیدبانی نیاز داریم. ساده‌ترین راه برای راست‌آزمایی پیش‌بینی‌ها تشکیل جدول توافقی (۲×۲) است. با فرض اینکه پیش‌بینی و دیدبانی به ترتیب با y و o نشان داده شوند، این جدول را به شکل زیر تشکیل می‌دهیم:

جدول ۱- جدول توافقی ۲×۲

	o_1	o_2	
y_1	a	b	$a+b$
y_2	c	d	$c+d$
	$a+c$	$b+d$	$n=a+b+c+d$

که متغیرهای آن به ترتیب عبارتند از: o_1 : تعداد دفعات وقوع پدیده، o_2 : تعداد دفعات عدم وقوع پدیده، y_1 : تعداد دفعات پیش‌بینی‌های پدیده، y_2 : تعداد دفعاتی که

درجه برای صحت سنجی مدل استفاده شده است. داده‌های وروی مدل، داده‌های FNL هستند. این داده‌ها در واقع داده‌های NCEP هستند که توسط لابراتوار منابع وابسته به NOAA مورد پردازش مجدد قرار گرفته است. این داده‌ها با تفکیک افقی ۱×۱ درجه، برای ۲۶ تراز فشاری (۱۰۰۰-۱۰۰ هکتوپاسکال) و با گام زمانی ۶ ساعته از جولای ۱۹۹۹ در دسترس هستند، (Stunder B.J.B., 1997).

پیکربندی مدل

در این تحقیق خروجی‌های مدل عددی منطقه‌ای پیش‌بینی عددی وضع هوا (WRF)، (Skamarock et al., 2008) با داده‌های دیدبانی بارش راستی‌آزمایی خواهد شد. دو آشیانه‌ی تو در تو در نظر گرفته می‌شوند. آشیانه‌ی اول ناحیه‌ای محدود به عرض جغرافیایی ۱۰ و ۵۱ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۲۰ و ۸۰ درجه شرقی و آشیانه‌ی دوم از عرض جغرافیایی ۲۳ و ۴۱ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۲ و ۶۵ درجه شرقی است که ایران را پوشش می‌دهد. تفکیک افقی آشیانه‌ها به ترتیب ۴۵ و ۱۵ کیلومتر است. تعداد تراز‌های قائم ۲۷ تراز، نگاشت مدل لامبرت است و کاربری زمین نیز از داده‌های `mmm/users/wrfhelp/WPS_GEOG` گرفته می‌شود. با مشخص شدن تعداد نقاط شبکه و موقعیت آشیانه‌ها نسبت به آشیانه مادر و نیز تنظیم تاریخ ابتدا و انتهای شبیه‌سازی، معرفی داده‌های شرایط اولیه و شرایط مرزی، فاصله زمانی پیش‌بینی و گام زمانی مدل، طرح واره‌های فیزیکی مورد استفاده برای پراسنجی فرایندهای فیزیکی، همرفت، لایه مرزی و تابش براساس مطالعات قبلی (آزادی و همکاران، ۱۳۸۹) به صورت زیر انتخاب می‌شوند: طرحواره خردفیزیک: Lin et al. Scheme، - طرحواره همرفت: Mellor-Kain-Fritsch، طرحواره لایه مرزی: Mellor-Yamada-Janjic، - طرحواره تابش موج بلند: RRTM، - طرحواره تابش موج کوتاه: Goddard. در نهایت خروجی بارش تجمعی از مدل با داده‌های دیدبانی بارش که

1. Rapid Radiative Transfer Model

امتیاز مهارتی (TS):

کمیت نرده ای دیگری که برای سنجش دقت به کار می‌رود امتیاز مهارتی (TS) است. مطابق تعریف مقدار این کمیت برابر است با نسبت تعداد مواردی که پدیده بدرستی پیش‌بینی شده است به مجموع تعداد مواردی که پدیده مورد نظر رخ داده یا پیش‌بینی شده است:

$$TS = \frac{a}{a+b+c} \quad (2)$$

مقدار آن نیز مشابه نسبت صحیح همواره بین صفر برای بدترین و یک برای بهترین حالت است. این کمیت مشابه نسبت صحیح است با این تفاوت که مواردی که پدیده رخ نداده و پیش‌بینی هم نشده (d) در نظر گرفته نشده است.

اریبی یا گرایست (B):

اریبی یا گرایست^۲ مقدار انحراف میانگین پیش‌بینی از میانگین دیدبانی متناظر آن است. این کمیت هیچ آگاهی از این تناظرها به صورت جداگانه نمی‌دهد بلکه میانگین‌ها را با هم مقایسه می‌کند و به همین دلیل ممکن است در حالی که یک پیش‌بینی بسیار بد باشد اما از نظر اریبی بسیار خوب نشان دهد. طبق تعریف مقدار این کمیت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$B = \frac{a+b}{a+c} \quad (3)$$

برای پیش‌بینی کامل مقدار B یک است. مقادیر بیشتر و کمتر از یک برای B نیز به ترتیب مربوط به حالت‌های over forecast و under forecast می‌شود.

نسبت هشدارهای نادرست (FAR):

این کمیت بنا به تعریف، نسبت تعداد پیش‌بینی‌های نادرست به تعداد کل پیش‌بینی‌های وقوع پدیده (کسری از پیش‌بینی‌ها که تحقق نیافته) است. بنابراین هر چه مقدار آن کوچک‌تر باشد بهتر است که برای بهترین حالت صفر و برای بدترین حالت یک می‌شود:

پدیده پیش‌بینی نشده، a: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتد و وقوع آن پیش‌بینی شده باشد، b: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتد ولی وقوع آن پیش‌بینی شده باشد، c: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتد ولی وقوع آن پیش‌بینی نشده باشد، d: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتد و وقوع آن نیز پیش‌بینی نشده باشد. بدیهی است که برای یک پیش‌بینی خوب باید مقادیر a و d بزرگ و b و c کوچک باشند. هر چند جدول توافقی ۲ × ۲ ساده ترین نوع پیش‌بینی را مشخص می‌کند ولی برای سنجش دقیق این نوع پیش‌بینی با این جدول به حداقل ۳ کمیت عددی (برابر با بعد مساله) نیاز است؛ به بیان دیگر عملکرد پیش‌بینی را که در این جدول نهفته است، تنها با یک عدد نمی‌توان به طور کامل مشخص کرد. کمیت‌های نرده ای متعددی برای سنجش عملکرد پیش‌بینی با استفاده از این جدول ابداع شده‌اند که بسته به کاربرد اسامی مختلفی دارند.

برخی از کمیت‌های نرده‌ای وابسته به جدول**توافقی ۲ × ۲****نسبت صحیح (PC):**

یکی از شهودی ترین کمیت‌های نرده‌ای وابسته به جدول توافقی ۲ × ۲ برای سنجش دقت پیش‌بینی‌ها «نسبت صحیح»^۱ است که از نظر مفهومی نیز درک آن بسیار آسان است و برابر نسبت مجموع پیش‌بینی‌های صحیح به تعداد کل پیش‌بینی‌هاست و در نتیجه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$PC = \frac{a+d}{n} \quad (1)$$

چنانچه مشاهده می‌شود این کمیت برای پیش‌بینی‌ها و عدم پیش‌بینی‌های پدیده وزن یکسانی قابل می‌شود و به همین دلیل ممکن است در برخی موارد سنجه مناسبی برای اندازه دقت پیش‌بینی نباشد.

آستانه‌ها جداول توافقی 2×2 تشکیل و کمیت‌های نرده‌ای نسبت صحیح (PC)، امتیاز مهارتی (TS)، اریبی یا گرایست (B) و نسبت هشدارهای نادرست (FAR) محاسبه و تحلیل شدند.

$$FAR = \frac{b}{a+b} \quad (4)$$

مطالعه‌ی موردی

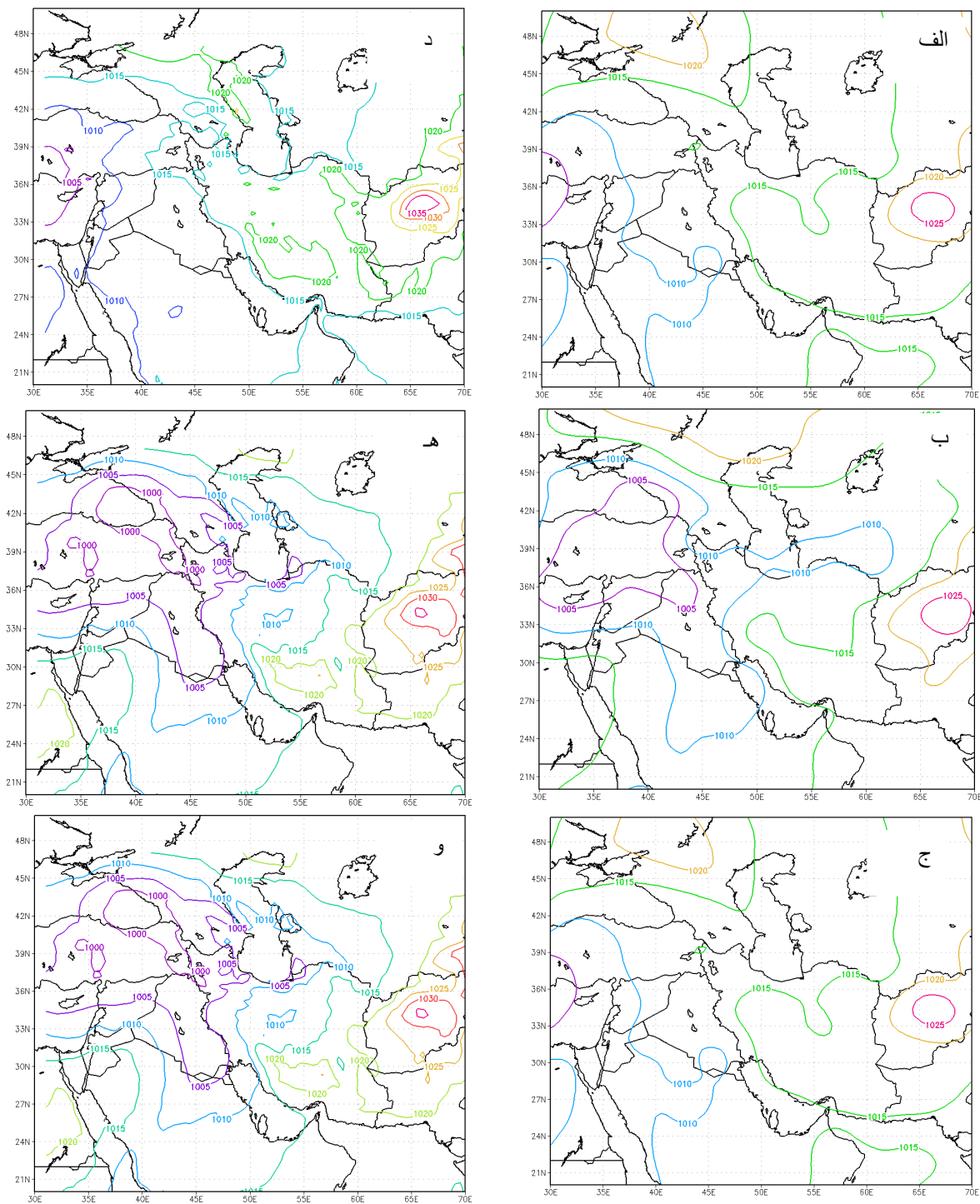
در روزهای ۱۹ تا ۲۱ بهمن ۱۳۸۴ در منطقه‌ی کارون بارش سنگین و بی سابقه‌ای گزارش شده است که موجب بروز سیل و خسارت در منطقه شده است. این بارش به علت حاکم بودن سامانه‌ای همدیدی در منطقه به وقوع پیوسته است. به منظور بررسی صحت مدل پیش بینی عددی WRF، این مدل اجرا و نتایج حاصل از آن با واقعیت از دو دیدگاه راستی آزمایی چشمی و آماری بررسی شدند. برای راستی آزمایی نتایج خروجی مدل با دیدبانی از ۴ کمیت نرده‌ای وابسته به جدول توافقی 2×2 استفاده نمودیم. راستی آزمایی برای ۲۴ ساعت اول و ۲۴ ساعت دوم (۴۸ ساعت) پیش بینی با سه آستانه‌ی متفاوت انجام شد. آستانه‌ها با توجه به میانگین بارش متوسط منطقه کارون انتخاب گردید. آستانه‌ی اول برای حالت وقوع یا عدم وقوع پیش بینی بارش مقدار $0/1$ انتخاب گردید. به این منظور که آیا مدل قادر به پیش بینی درست وقوع یا عدم وقوع بارش است. آستانه‌ی دوم با توجه به میانگین بارش منطقه در ماه فوریه (بهمن ماه) عدد ۲۰ میلی متر تعیین شد. آستانه‌ی سوم با توجه به این که این سامانه موجی ریزش بارش شدید در طی مدت ۲۴ ساعت (به تناوب) در منطقه شده است، و در برخی ایستگاه‌ها بارش بیش از ۱۰۰ میلی متر گزارش شده، عدد ۱۰۰ انتخاب شد، تا توانایی مدل در پیش بینی بارش خیلی سنگین مشخص گردد. در نهایت با توجه به مقادیر

نتایج و بحث

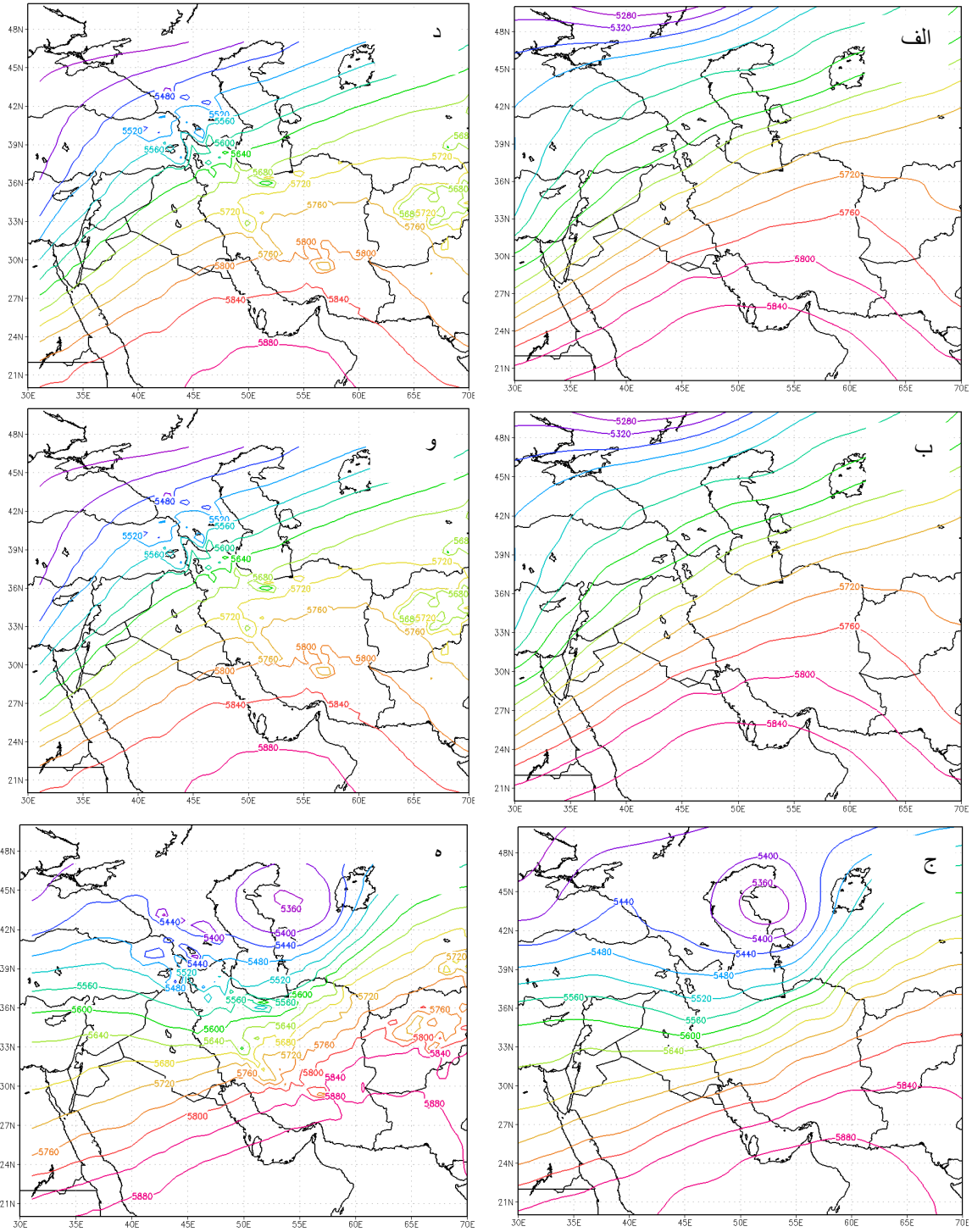
در این بخش نتایج خروجی مدل با دیدبانی از دو دیدگاه راستی آزمایی چشمی و آماری در پیش بینی وقوع بارش سنگین در منطقه‌ی کارون ارزیابی خواهد شد. راستی آزمایی چشمی برای بررسی الگوی همدیدی و الگوی بارش انجام خواهد شد.

راستی آزمایی چشمی فشار سطح متوسط دریا و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب نتایج خروجی مدل ناشی از فشار متوسط سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهند. سمت راست خروجی مدل و سمت چپ واقعیت را نمایش می‌دهد. همان گونه که از شکل‌ها نمایان است مدل در پیش بینی زبانه‌های کم فشار و پرفشار بر منطقه از دقت مناسبی برخوردار است. همچنین پیش بینی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی نیز وجود ناوهای بر روی مدیترانه و عبور امواج آن را از منطقه‌ی ایران را نمایش می‌دهد. به طور کلی مدل الگوی همدیدی را به درستی پیش‌بینی نموده است.



شکل ۱: فشار متوسط سطح دریا بر حسب هکتوپاسکال، سمت چپ خروجی مدل و سمت راست واقعیت. الف و د) مورخ ۸ فوریه ۲۰۰۶ (۱۹ بهمن ۱۳۸۴)؛ ب و ه) مورخ ۹ فوریه ۲۰۰۶ (۲۰ بهمن ۱۳۸۴)؛ ج و و) مورخ ۱۰ فوریه ۲۰۰۶ (۲۱ بهمن ۱۳۸۴)، ساعت UTC۰۰۰۰

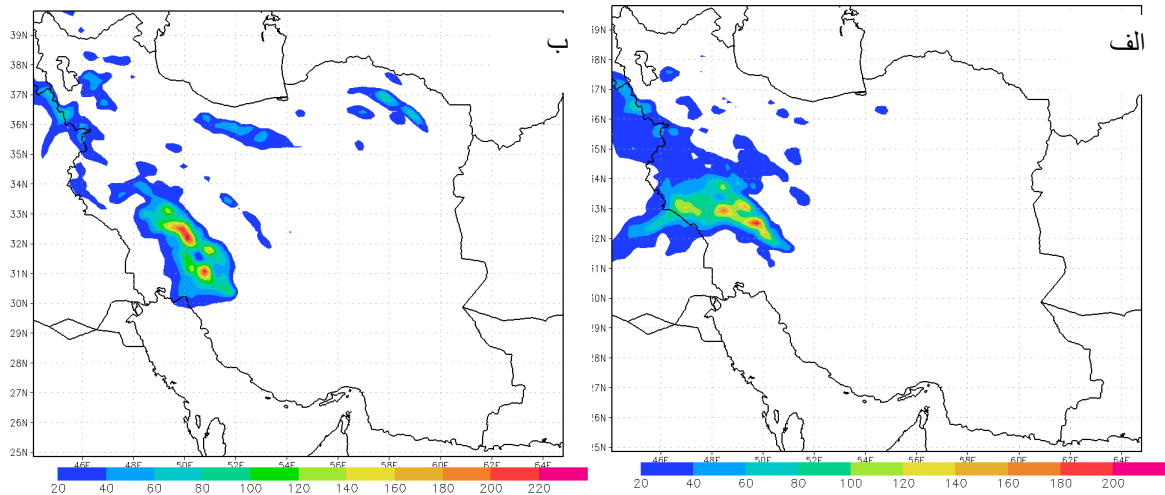


شکل ۲: ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر حسب ژئوپتانسیل متر، سمت چپ خروجی مدل و سمت راست واقعیت. الف و د) مورخ ۸ فوریه ۲۰۰۶ (۱۹ بهمن ۱۳۸۴)؛ ب و ه) مورخ ۹ فوریه ۲۰۰۶ (۲۰ بهمن ۱۳۸۴)؛ ج و و) مورخ ۱۰ فوریه ۲۰۰۶ (۲۱ بهمن ۱۳۸۴)، ساعت ۰۰:۰۰ UTC.

۳-۲ راستی آزمایی چشمی بارش

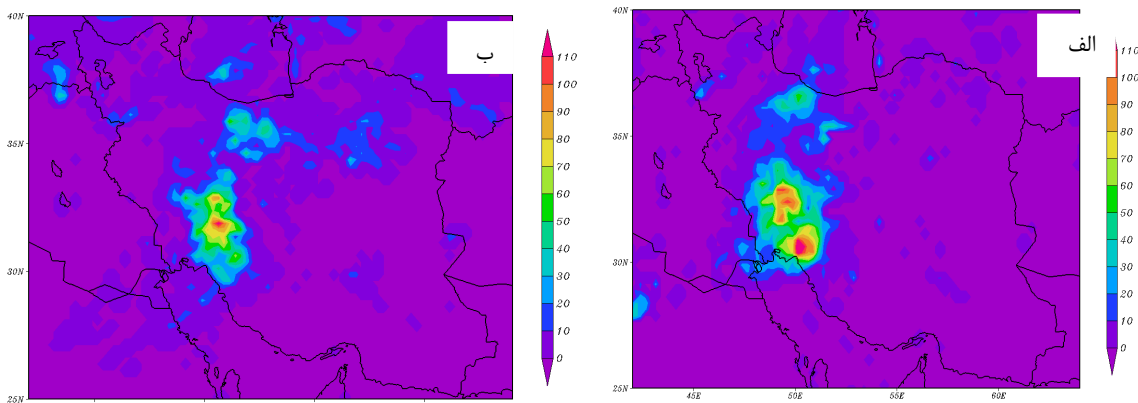
شکل ۳ (الف و ب)، پیش‌بینی ۲۴ ساعته‌ی بارش ناشی از خروجی مدل را نشان می‌دهد. در ۲۴ ساعت اول، در منطقه‌ی کارون بارش سنگینی به وقوع پیوسته است. بیشینه‌ی بارش در حدود ۲۰۰ میلی‌متر نمایان است، که در مقایسه با نتایج بارش واقعی الگوی مناسبی را نمایش داده است. در این روز (۱۹ بهمن ۱۳۸۴) در ایستگاه‌هایی مانند کوه‌رنگ بیش از ۱۵۰ میلی‌متر بارش گزارش شده است. شکل (الف-۳) در ۲۴ ساعت دوم (۲۰ بهمن ۱۳۸۴)، از

میزان بارش بر روی غرب ایران و مرزهای غربی کاسته شده، اما بیشینه‌ی بارش در منطقه‌ی کارون افزایش یافته است و به میزان ۲۲۰ میلی‌متر بر روی نقشه نمایان می‌باشد. در این روز در ایستگاه‌هایی مانند آورگان، فارسان، چمن گل، خفر و ... بارش بیش از ۱۰۰ میلی‌متر گزارش شده است و این نشان از وقوع بارش بسیار سنگین در منطقه می‌باشد که خروجی مدل، دقت مدل را در پیش‌بینی الگو و میزان بارش (کیفی و کمی) را نشان می‌دهد شکل (۳-ب).



شکل ۴ (الف و ب)، بارش تجمعی حاصل از ماهواره‌ی TRMM را به ترتیب برای ۸ و ۹ فوریه ۲۰۰۶ را نشان می‌دهد. بیشینه‌ی بارش بیش از ۱۱۰ میلی‌متر در حوضه‌ی کارون مشخص است. با مقایسه‌ی خروجی مدل با ماهواره،

ملاحظه می‌شود که مرکز بیشینه‌ی بارش در خروجی مدل کمی بالاتر از مکان واقعی برآورد شده است. اما مدل موفق بوده الگوی پراکنندگی بارش و بیشینه‌های آن را برای ۲۴ ساعت اول و دوم پیش‌بینی نماید.



شکل ۴- بارش تجمعی ماهواره‌ی TRMM الف) مورخ ۸ فوریه ۲۰۰۶ (۱۹ بهمن ۱۳۸۴): ب) مورخ ۹ فوریه ۲۰۰۶ (۲۰ بهمن ۱۳۸۴)

۳-۳ راستی آزمایی پیش‌بینی دوحالتی (۲*۲)

جدول ۲، مقادیر کمیت‌های نرده‌ای وابسته به جدول توافقی ۲ × ۲ را برای چهار کمیت نرده‌ای نسبت صحیح، امتیاز مهارتی، اریبی یا گرایست و نسبت هشدارهای

نادرست را در سه آستانه‌ی تعریف شده و در ۲۴ ساعت اول و دوم پیش‌بینی را نشان می‌دهد. هر کدام از کمیت‌ها جداگانه تحلیل شده‌اند.

جدول ۲- مقادیر کمیت‌های نرده‌ای وابسته به جدول توافقی ۲ × ۲

۲۴ ساعت دوم			۲۴ ساعت اول			کمیت‌های نرده‌ای	ردیف
آستانه ۳	آستانه ۲	آستانه ۱	آستانه ۳	آستانه ۲	آستانه ۱		
۰/۷۷	۰/۸۳	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۶۳	۰/۹۱	نسبت صحیح (PC)	۱
۰/۲۷	۰/۸۱	۰/۹۱	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۹۱	امتیاز مهارتی (TS)	۲
۱/۸	۱/۲۴	۱/۰۹	۱/۵	۰/۵۹	۱/۰۹	اریبی یا گرایست (B)	۳
۰/۶۷	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۶۷	۰/۳	۰/۰۸	نسبت هشدارهای نادرست (FAR)	۴

نسبت صحیح (PC):

برابر و مقدار آن ۰/۹۱ می‌باشد، که بسیار به عدد یک نزدیک است. بنابراین، دقت مدل در زمینه‌ی پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش بسیار بالا است و می‌توان گفت تقریباً نزدیک به

همانگونه که از نتایج جدول ۲، برای آستانه‌ی اول مشخص است، مقادیر این کمیت در ۲۴ ساعت اول و دوم

است، بنابراین، دقت مدل در زمینه‌ی پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش بالا است. در آستانه‌ی دوم که عدد ۲۰ میلی متر انتخاب شده است، مقدار این کمیت برای ۲۴ ساعت اول پیش‌بینی مقدار ۰/۵۹ و برای ۲۴ ساعت دوم برابر ۱/۲۴ می‌باشد. در واقع مدل در پیش‌بینی بارش با آستانه‌ی بیش از ۲۰ میلی متر در ۲۴ ساعت دوم از دقت بالاتری برخوردار بوده است. در ۲۴ ساعت اول کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی شده و در ۲۴ ساعت دوم، کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی شده است. یعنی در آستانه‌ی دوم در ۲۴ ساعت اول، مدل خشک بوده، بعبارت دیگر تعداد روزهایی که بارش اتفاق افتاده را کمتر پیش‌بینی نموده است. و در ۲۴ ساعت دوم مدل تر بوده، یعنی تعداد روزهایی که بارش اتفاق رخ نداده، اما مدل پیش‌بینی نموده، بالا بوده است. اما در آستانه‌ی سوم که پیش‌بینی بارش بسیار سنگین بوده و مقدار ۱۰۰ میلی متر انتخاب شده است، مقدار این کمیت در ۲۴ ساعت اول و دوم به ترتیب برابر ۱/۵ و ۱/۸ می‌باشد. به این معنا که دقت مدل در پیش‌بینی بارش‌های سنگین منطقه بالا است ولی در پیش‌بینی ۲۴ ساعت اول دقت بالاتر است و در دو حالت، مدل تر بوده است.

نسبت هشدارهای نادرست (FAR)

همانگونه که از نتایج جدول ۲، برای آستانه‌ی اول مشخص است، مقادیر این کمیت در ۲۴ ساعت اول و دوم برابر و مقدار آن ۰/۰۸ می‌باشد، که به عدد صفر نزدیک است. بنابراین، دقت مدل در زمینه‌ی پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش بالا است. در آستانه‌ی دوم، مقدار این کمیت برای ۲۴ ساعت اول پیش‌بینی مقدار ۰/۳ و برای ۲۴ ساعت دوم برابر ۰/۱۹ می‌باشد. در واقع در ۲۴ ساعت اول، تعداد دفعاتی که بارش نادرست پیش‌بینی شده، بیش از ۲۴ ساعت دوم بوده است. اما در آستانه‌ی سوم، مقدار این کمیت در ۲۴ ساعت اول و دوم مساوی و برابر ۰/۶۷ می‌باشد. به این معنا که دقت مدل در پیش‌بینی بارش‌های سنگین منطقه متوسط است.

۱۰۰ درصد درست پیش‌بینی نموده است. در آستانه‌ی دوم که عدد ۲۰ میلی متر انتخاب شده است، مقدار این کمیت برای ۲۴ ساعت اول پیش‌بینی مقدار ۰/۶۳ و برای ۲۴ ساعت دوم برابر ۰/۸۳ می‌باشد. در واقع مدل در پیش‌بینی بارش با آستانه‌ی بیش از ۲۰ میلی متر در ۲۴ ساعت دوم از دقت بالاتری برخوردار بوده است. اما در آستانه‌ی سوم که پیش‌بینی بارش بسیار سنگین بوده و مقدار ۱۰۰ میلی متر انتخاب شده است، مقدار این کمیت در ۲۴ ساعت اول و دوم به ترتیب برابر ۰/۹۱ و ۰/۷۷ می‌باشد. به این معنا که دقت مدل در پیش‌بینی بارش‌های سنگین منطقه بالا است ولی در پیش‌بینی ۲۴ ساعت اول دقت بالاتر است.

امتیاز مهارتی (TS):

همانگونه که از نتایج جدول ۲، برای آستانه‌ی اول مشخص است، مقادیر این کمیت در ۲۴ ساعت اول و دوم برابر و مقدار آن ۰/۹۱ می‌باشد، که بسیار به عدد یک نزدیک است. مقادیر این کمیت نیز نشان می‌دهد که دقت مدل در زمینه‌ی پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش بسیار بالا است و می‌توان گفت بیش از ۹۰ درصد مواردی که مدل پیش‌بینی نموده، به درستی بوده است. در آستانه‌ی دوم که عدد ۲۰ میلی متر انتخاب شده است، مقدار این کمیت برای ۲۴ ساعت اول پیش‌بینی مقدار ۰/۳۵ و برای ۲۴ ساعت دوم برابر ۰/۸۱ می‌باشد. در واقع دقت مدل در پیش‌بینی بارش با آستانه‌ی بیش از ۲۰ میلی متر در ۲۴ ساعت دوم بالاتر بوده است. در ۲۴ ساعت دوم تعداد مواردی که به درستی پیش‌بینی شده، بالا بوده است. در آستانه‌ی سوم که پیش‌بینی بارش بسیار سنگین بوده، مقدار این کمیت در ۲۴ ساعت اول و دوم به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۲۷ می‌باشد. به این معنا که دقت مدل در پیش‌بینی بارش‌های سنگین منطقه بالا نبوده است.

اریبی یا گرایست (B):

همانگونه که از نتایج جدول ۲، برای آستانه‌ی اول مشخص است، مقادیر این کمیت در ۲۴ ساعت اول و دوم برابر و مقدار آن ۱/۰۹ می‌باشد، که به عدد یک نزدیک

نتیجه‌گیری

1. Azadi, M., Jafari, S., Mirzaee, E., and Arabli, p, 2006: Post processing of MM5 model outputs for maximum and minimum 2 meter temperature by using simple kalman filter. The sixth Conference of numerical weather forecasting, Tehran, Iran.
2. Azadi, M., Taghizadeh, E. and Memarian, M. H, 2012: Verification of WRF Precipitation Forecast Over Iran Country during Nov. 2008-Jun. 2009. Iran-Water Resources Research, Volume 8, No. 2, Fall 2012, 48-59 pp.
3. Fall, S; Niyogi, D; Mohanty, UC; Kumar, 2007: A Application of weather prediction models for hazard mitigation planning: a case study of heavy off-season rains in Senegal NATURAL HAZARDS, Vol.41.00 Issue. 1 pp.227-243.
4. Jolliffe and D.B. Stephenson, 2003: Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science, John Wiley and Sons, 240pp.
5. Livezey, R.E., 1995a. Field intercomparison. In: H. von Storch and A. Navarra, eds., Analysis of Climate Variability. Springer, 159-176.
6. Muller, R.H., 1944. Verification of short-range weather forecasts (a survey of the literature). Bulletin of the American Meteorological Society, 25, 18-27, 47-53, 88-95.
7. Murphy, A.H., 1988. Skill scores based on the mean square error and their relationships to the correlation coefficient. Monthly Weather Review, 116, 2417-2424.
8. Murphy, A.H., 1997. Forecast verification. In: R.W. Katz and A.H. Murphy, Eds., Economic Value of Weather and Climate Forecasts. Cambridge, 19-74.
9. Murphy, A.H., and H. Daan, 1985. Forecast evaluation. In: A.H. Murphy and R.W. Katz, eds., Probability, Statistics, and Decision Making in the Atmospheric Sciences. Boulder, Westview, 379-437.
10. Shing Y., 2005: Verification of WRF Forecast over Northeastern United States", Department of Geology &

در روزهای ۱۹ تا ۲۱ بهمن ۱۳۸۴ در منطقه‌ی کارون بارش سنگین و بی سابقه‌ای گزارش شده است که موجب بروز سیل و خسارت در منطقه شده است. این بارش به علت حاکم بودن سامانه‌ای هم‌دیدگی در منطقه به وقوع پیوسته است. به منظور بررسی صحت مدل پیش‌بینی عددی WRF، این مدل اجرا و نتایج حاصل از آن با واقعیت از دو دیدگاه راستی آزمایی چشمی و آماری بررسی شدند. نتایج راستی آزمایی مدل، نشان داد که الگوی بارش و میزان آن در منطقه به درستی پیش‌بینی شده است. نتایج آماری راستی آزمایی آماری در سه آستانه، وقوع یا عدم وقوع بارش؛ بارش متوسط منطقه و بارش سنگین در ۲۴ ساعت اول و دوم ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل در ۲۴ ساعت اول و دوم در پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش بسیار دقیق عمل کرده و نتایج نزدیک ۱۰۰ درصد صحیح هستند. برای آستانه‌ی دوم، دقت مدل در پیش‌بینی بارش بالا است ولی در ۲۴ ساعت دوم دقت بالاتر بوده است، به گونه‌ای که در آستانه‌ی دوم و در ۲۴ ساعت دوم تعداد مواردی که به درستی پیش‌بینی شده، بالا بوده است. همچنین، در آستانه‌ی دوم در ۲۴ ساعت اول، مدل خشک بوده، بعبارت دیگر تعداد روزهایی که بارش اتفاق افتاده را کمتر پیش‌بینی نموده است. و در ۲۴ ساعت دوم مدل تر بوده، یعنی تعداد روزهایی که بارش اتفاق رخ نداده، اما مدل پیش‌بینی نموده، بالا بوده است. و در آستانه‌ی سوم، در پیش‌بینی ۲۴ ساعت اول دقت بالاتر است و در دو حالت، مدل تر بوده است. به عبارتی دیگر، برای آستانه‌ی سوم، دقت مدل در پیش‌بینی بارش‌های بسیار سنگین در منطقه متوسط بوده است. گرچه نتایج نشان می‌دهند که خروجی مدل برای پیش‌بینی سیل در منطقه‌ی کارون قابل اعتماد است، اما با توجه به توپوگرافی پیچیده‌ی ایران استفاده از پیکربندی مناسب مدل و روش‌های پیش‌بینی هماد می‌تواند نتایج را بهبود دهد.

منابع

- No. 8, World Meteorological Organization, TD No. 358, 114 pp.
13. Sukhumvit Rd., 2006: "Microphysics Schemes Simulation of Heavy Rainfalls in the Low Pressure Trough passed the North of Thailand", Thai Meteorological Department.
14. Stunder B.J.B., (1997), NCEP Model Output – FNL ARCHIVE DATA, TD
15. Wilks, D.S., 1995: Statistical methods in the atmospheric sciences, elsevier academic press, 649 PP.
- Meteorology, Kean University, Union 07083.
11. Skamarock, W.C., J.B. Klemp, J. Dudhia, D. Gill, D. Barker, W. Wang, J.G. Powers, 2008: A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR.
12. Stanski, H.R., L.J. Wilson, and William R. Burrows, 1989. Survey of Common Verification Methods in Meteorology. World Weather Watch Technical Report