

راستی آزمایی پیش‌بینی بارش مدل منطقه‌ای MM5 روی ایران

اکرم هدایتی دزفولی^{۱*} و مجید آزادی^۲

^۱ مری، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران
^۲ استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران

(دریافت: ۸۶/۱۲/۵، پذیرش نهایی: ۸۸/۷/۲۱)

چکیده

در کشور ایران استفاده عملیاتی و تحقیقاتی از مدل‌های منطقه‌ای پیش‌بینی عددی وضع هوا در چند سال اخیر متداول شده است. با وجود این هنوز تحقیقی برای راستی آزمایی این پیش‌بینی‌ها با استفاده از روش‌های آماری صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت راستی آزمایی خروجی مدل، در این تحقیق، سعی بر آن است تا خروجی‌های بارش مدل MM5 را در مناطق گوناگون ایران در یک فصل زمستان (اول دسامبر ۲۰۰۴ لغایت ۳۱ مارس ۲۰۰۵) راستی آزمایی کنیم. با این تحقیق، میزان دقت و صحت خروجی این مدل و در نتیجه کارایی مدل برای مناطق گوناگون ایران در پیش‌بینی‌های تا ۷۲ ساعته بررسی و ارزیابی می‌شود، که در این صورت این امکان داده می‌شود تا با آگاهی بیشتر، نتایج مدل را به کار بست. در این بررسی ابتدا مدل یادشده برای فصل زمستان سال ۱۳۸۳ برای به دست آوردن پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته اجرا و سپس بارندگی تجمعی ۲۴ ساعته در پیش‌بینی‌های ۲۴ تا ۷۲ ساعته برای همه ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی با مقادیر متناظر دیدبانی مقایسه می‌شود. با در نظر گرفتن ویژگی‌های ناهمواری، اقلیمی و میانگین بارش، کشور ایران به ۹ منطقه تقسیم شده و فرایند راستی‌آزمایی برای هر منطقه به طور جداگانه، به انجام می‌رسد. با در نظر گرفتن آستانه‌هایی برای بارش و تشکیل جدول توافقی برای وقوع یا نبود بارش و نیز جدول‌های توافقی چندگانه برای آستانه‌های متفاوت بارش، امتیازهای مهارتی مدل برای بارش با استفاده از این جداول محاسبه و نتایج نهایی از جمع‌بندی تحلیل‌های صورت گرفته برای هر منطقه به دست می‌آید. نتایج نشان می‌دهد که مهارت مدل در پیش‌بینی بارش برای آستانه‌های بارش بسیار کم (≤ 1) و یا زیاد (> 10) میلی‌متر در ۲۴ ساعت بیشتر است به طوری که برای آستانه‌های کم بارش در مناطق جنوبی و برای آستانه‌های زیاد بارش در مناطق شمالی و مرتفع کشور خروجی مدل دارای دقت بیشتری برخوردار است. در تحلیل ارزش اقتصادی پیش‌بینی، نتایج نشان داد که ارزش اقتصادی نسبی پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته حدود ۷۰ درصد و برای آستانه‌های بارش، در حالت کلی ۶۵ درصد است.

واژه‌های کلیدی: مدل منطقه‌ای MM5، راستی آزمایی پیش‌بینی بارش، جدول توافقی، امتیاز مهارتی، ارزش اقتصادی پیش‌بینی

Verification of MM5 forecast precipitation over Iran

Hedayati Dezfuli, A.¹ and Azadi, M.²

¹ Researcher, Atmospheric Sciences and Meteorology Research Center, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Atmospheric Sciences and Meteorology Research Center, Tehran, Iran

(Received: 24 Feb 2008, Accepted: 13 Oct 2009)

Abstract

During the last several years, application of numerical weather prediction models in the country have become common in both research and operations, even though systematic verification of the models' results using statistical methods has rarely been conducted (Sodoudi et al. 2009). This paper aims at comparing the MM5 24-hour precipitation forecasts with the corresponding observations using standard scores for categorical

forecasts associated with 2×2 contingency tables for different precipitation thresholds over different nine sub-regions of Iran. Comparison is conducted for +24h/+48h/+72h forecasts for a four winter month period from December 2004 to March 2005. Performance of the model results were assessed for all available synoptic and climatological stations scattered across the country at three different precipitation thresholds. The 0.1 mm/24h threshold was considered as the rain/no rain event. The other two intervals are: 0.1-10 and greater than 10 mm/24h for light and heavy precipitation respectively. Based on the long term means of precipitation of different parts of Iran, nine different sub-regions were defined and verification was conducted for the whole country and nine different sub-regions separately.

In this study for verification scores the quantity of precipitation is considered as a dichotomous variable by considering different precipitation thresholds. The standard approach is to record the frequencies with which the precipitation was observed and forecasted in a two-by-two table, and then to quantify forecast quality with summary measures of the table. The structure of a typical contingency table is presented in table 1.

Table 1. Rain contingency table is applied at each verification observation site over the period of verification. A threshold value (e.g., 0.1 mm day⁻¹) is chosen to separate rain from no-rain events. Here, a is the number of correct rain forecasts or hits, b is the number of false alarms, c is the number of misses, and d is the number of correct predictions of rain amount below the specified threshold. From McBride and Ebert (2000).

Predicted	Observed	
	Rain	No rain
Rain	a	b
No rain	c	d

The verification scores used in this study are as follows:

Threat score (TS), or critical success index (CSI). In terms of table 1 the threat score is computed as

$$TS = CSI = \frac{a}{a + b + c}$$

The worst possible threat score is zero, and the best possible threat score is one.

The bias

$$B = \frac{a + b}{a + c}$$

Unbiased forecasts exhibit $B = 1$. Bias greater than one indicates that the event was forecasted more often than observed, which is called over forecasting. Conversely, bias less than one indicates that the event was forecasted less often than observed, or was under forecasted. Regarding only the occurrence of event as “the” event of interest, the hit rate is the ratio of correct forecasts to the number of times this event occurred. It is

$$H = \frac{a}{a + c}$$

False alarm rate which is the ratio of false alarms to the total number of non occurrences of the event is

$$F = \frac{b}{b + d}$$

Examining the calculated scores, show that the model forecasts of the rain/no rain event for the four month period over Iran is correct for 80% of the times. But in general results show an over forecasting trend ($B=1.5$). Fairly good results of the model forecasts are mainly due to the fact that during the four month period considered here, the precipitation occurred over the country is mainly associated with large scale mid latitudes synoptic systems in which large scale advective processes are primarily responsible for producing the precipitation. Though it is a common observation by professional forecasters in Iran that the models are unable to predict the convective small scale precipitations successfully. Examining the results for different precipitation thresholds show that the model performance is different for different thresholds, so that the model results for below 0.1 and also above 10 mm/day thresholds are more accurate when compared with those of the other two thresholds. Results for different regions, show that the model performance for lower precipitation thresholds over fairly drier regions in the south and also for high precipitation thresholds over wetter regions in the north of the country are better. It should be mentioned that heavy precipitations in the south-eastern regions are mainly convective and as mentioned above, lower performance of the model is thus expected. Some of the deficiencies in the results are due to the fact that the high resolution model results are compared against the low density synoptic stations located mainly at low lands. For an extensive verification of the model results it is thus necessary to use a more dense observational network.

Key Words: MM5, precipitation, statistical Performance, Iran

۱ مقدمه

متناظر مقایسه می‌شود. راستی‌آزمایی پیش‌بینی می‌تواند فرایندی باشد که در آن به بیان کیفیت هر پیش‌بینی اشاره دارد. در راستی‌آزمایی هر پیش‌بینی یک ارزیابی عینی از کیفیت پیش‌بینی به شیوه‌های متفاوت صورت می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین اهداف راستی‌آزمایی آن است که نتایج آن باید حاوی اطلاعات مفیدی باشد تا بتواند راه‌کارهای جدیدی برای پیش‌بینی بهتر به دست آورد. تحلیل آماری راستی‌آزمایی و یا سایر اجزای آن می‌تواند در ارزیابی نقاط قوت و ضعف پیش‌بینی و یا امر پیش‌بینی کمک کند. همان‌طور که برای پیش‌بینی روش‌های متفاوتی وجود دارد، راستی‌آزمایی نیز به روش‌های متفاوتی صورت می‌گیرد. جدول (۱) انواعی از این روش‌ها را برای هر نوع پیش‌بینی نشان می‌دهد (URL1).

پیش‌بینی وضع هوا در محدوده وسیعی از زندگی روزمره دارای کاربرد است. برای نمونه‌هایی از این کاربرد می‌توان به پیش‌بینی وضع هوا در زندگی عادی، مسائل اقتصادی، ورزشی، پزشکی و نظایر آن اشاره کرد. راستی‌آزمایی پیش‌بینی وضع هوا حداقل از سال ۱۸۸۴ مطرح شده است (مولر، ۱۹۴۴). پیش‌بینی وضع آب‌وهوا در امور بین‌المللی نیز ضروری به نظر می‌رسد. سازمان هواشناسی جهانی (WMO) یک گزارش فنی که بررسی جامعی از روش‌های راستی‌آزمایی پیش‌بینی مورد استفاده در دهه ۱۹۸۰ را در بر دارد منتشر کرده است (استانسکی و همکاران، ۱۹۸۹). منظور از فرایند راستی‌آزمایی همان ارزیابی کیفیت پیش‌بینی‌های هواشناسی است که در آن نتایج فرایند پیش‌بینی با دیدبانی

جدول ۱. روش‌های راستی‌آزمایی انواع پیش‌بینی.

ردیف	نوع پیش‌بینی	روش راست‌آزمایی
۱	یقینی	دیداری، دوحالتی، چنددسته‌ای، پیوسته
۲	احتمالی	دیداری، احتمالی، همادی
۳	کیفی	دیداری، دوحالتی، چنددسته‌ای
۴	سری زمانی	دیداری، دوحالتی، چنددسته‌ای، پیوسته
۵	توزیع فضایی	دیداری، دوحالتی، چنددسته‌ای، پیوسته، احتمالی، فضایی
۶	فضا و زمان	دوحالتی، چنددسته‌ای، پیوسته، احتمالی، همادی
۷	دوحالتی (آری/نه)	دیداری، دو حالتی، احتمالی، فضایی، همادی
۸	چنددسته‌ای	دیداری، چنددسته‌ای، احتمالی، فضایی
۹	پیوسته	دیداری، پیوسته، احتمالی، فضایی، همادی

دریافت کرده‌اند، مطمئن شوند.

به‌طور کلی برای ارزیابی هر پیش‌بینی سه ویژگی قایل

می‌شوند (مورفی، ۱۹۹۳):

۱- سازگاری: که درجه تناظر بین پیش‌بینی با بهترین

قضاوت پیش‌بین است،

۲- کیفیت: معیاری است برای سنجش تطابق پیش‌بینی با

آنچه در عمل اتفاق می‌افتد،

۳- ارزش: معیاری است که به کمک آن می‌توان ارزش

اقتصادی یک پیش‌بینی را در تصمیم‌گیری مرتبط با آن

سنجید.

در این طبقه‌بندی، مورفی و اپشتین (۱۹۸۹) در دیدگاه

علمی، راستی‌آزمایی پیش‌بینی را فرایابی راستی‌آزمایی

نامیدند. در این دیدگاه می‌توان به ارزیابی نقاط قوت و

ضعف مجموعه‌ای از شرایط و مراحل انجام پیش‌بینی نیز

پرداخت (ویلکس، ۱۹۹۵). اگر به این نتیجه برسیم که

پارامتری سازی فرایندهای فیزیکی که براساس آن

پیش‌بینی صورت گرفته است اشکال دارد می‌توان آن را

بررسی کرد و در صورت امکان تصحیح کرد. در پاره‌ای

از موارد تصحیحات لازم احتمالی روی بخش‌های

شاید عجیب نباشد که مورفی (۱۹۹۳) دیدگاه‌های

متفاوتی برای راستی‌آزمایی پیش‌بینی در نظر گرفته است.

اما شاید این پرسش مطرح شود که اصلاً چه نیازی به

راستی‌آزمایی داریم. هرچند پاسخ این پرسش تا حدودی

روشن به نظر می‌رسد، بریر و الن (۱۹۵۱) سه دلیل برای

آن بر شمرند:

۱- از نظر مدیریتی، سامانه پیش‌بینی باید کنترل شود؛ یعنی

بررسی شود که آیا روند کار و سامانه پیش‌بینی با گذشت

زمان بهبود می‌یابد یا نه.

۲- از نظر علمی، باید موارد قوت و ضعف سامانه پیش‌بینی

شناسایی شود تا از بازخورد آن در بهبود سامانه پیش‌بینی

بهره‌گیری شود.

۳- از دیدگاه اقتصادی، کاربران و سرمایه‌گذاران همواره

انتظار دارند نسبت به درستی پیش‌بینی‌هایی که دریافت

کرده‌اند، توجیه شوند. یا به بیان دیگر بتوانند عملکرد

سامانه‌های متفاوت پیش‌بینی را با هم مقایسه کنند. برای

نمونه اگر در کشوری کاربران در ازای دریافت خدمات

پیش‌بینی وضع هوا، مبلغی را می‌پردازند، ضروری است

که با اجرای فرایند راستی‌آزمایی، از درصد درستی آنچه

می‌دهیم:

جدول ۲. 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 عبارت‌اند از:

O₁: دیدبانی‌های مثبت (وقوع پدیده)،

O₂: دیدبانی‌های منفی (نبود پدیده)،

Y₁: پیش‌بینی‌های مثبت (وقوع پدیده)،

Y₂: پیش‌بینی‌های منفی (نبود پدیده)،

a: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتاده و وقوع آن پیش‌بینی شده باشد،

b: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتاده ولی وقوع آن پیش‌بینی شده باشد،

c: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتاده ولی وقوع آن پیش‌بینی نشده باشد،

d: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتاده و وقوع آن پیش‌بینی نشده باشد،

در ادامه این بخش کمیت‌های عددی وابسته به جدول توافقی که در این تحقیق استفاده شده است، به اختصار مرور می‌شود. برای توضیح کامل و مفصل به (URL1) رجوع شود.

۲-۱- کمیت‌های نرده‌ای وابسته به جدول توافقی ۲×۲

الف) نسبت صحیح: یکی از مشهورترین کمیت‌های نرده‌ای وابسته به جدول توافقی ۲×۲ برای سنجش دقت پیش‌بینی‌ها نسبت صحیح است. این کمیت برابر نسبت مجموع پیش‌بینی‌های صحیح به تعداد کل پیش‌بینی‌ها است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

گوناگون مدل شامل محاسبات مورد استفاده در مدل و یا چگونگی تفسیر برون‌داد مدل برای صدور پیش‌بینی ضروری به نظر می‌رسد که به کمک نتایج راستی آزمایی می‌توان به بررسی علت رخداد هر یک از آن‌ها پرداخت (جولیف و استفنسن، ۲۰۰۳).

طیف گسترده‌ای از شیوه‌های راستی آزمایی پیش‌بینی وجود دارد. اما همه آنها شامل محاسبات ارتباط بین امر پیش‌بینی و انطباق داده‌های دیدبانی با پیش‌بینی است. بر پایه یک نظریه اساسی از مورفی و وینگر (۱۹۸۷) راستی آزمایی پیش‌بینی، شامل بررسی مشخصات مشترک داده‌های دیدبانی و پیش‌بینی است. براساس اطلاع نگارندگان، متأسفانه در ایران تاکنون بررسی یا تحقیق منتشر شده‌ای که در آن پیش‌بینی‌های مدل‌ها با استفاده از روش‌های آماری و با جزئیات مرسوم صورت گرفته باشد، وجود ندارد. در این مقاله در بخش دوم روش راستی آزمایی پیش‌بینی دو حالتی و معرفی کمیت‌های نرده‌ای وابسته به جدول توافقی توصیف می‌شود، سپس همین روش برای پیش‌بینی چندحالتی تعمیم داده می‌شود. در بخش سوم توصیف پیکربندی مدل مورد استفاده در این تحقیق بررسی شده، در بخش چهارم تعریف روش کار و در بخش پنجم، نتایج راستی آزمایی پیش‌بینی برای سه حالت وقوع یا نبود بارش، آستانه‌های متفاوت و مناطق و آستانه‌های گوناگون مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۲ روش راستی آزمایی پیش‌بینی دو حالتی (جدول توافقی ۲×۲)

برای اجرای فرایند راستی آزمایی به تابع احتمال مشترک پیش‌بینی - دیدبانی نیاز داریم. ساده‌ترین راه برای راستی آزمایی پیش‌بینی‌ها تشکیل جدول توافقی (۲×۲) است. با فرض اینکه پیش‌بینی و دیدبانی به ترتیب با Y و O نشان داده شوند، جدول (۲) را به شکل زیر تشکیل

پیش‌بینی‌های صحیح مثبت به مجموع تعداد پیش‌بینی‌های صحیح مثبت، تعداد پیش‌بینی‌های نادرست منفی و تعداد پیش‌بینی‌های نادرست مثبت. به عبارت دیگر d که پیش‌بینی‌های منفی درست است در مخرج حذف شده است، بدین معنا که هرچه پیش‌بینی منفی درست زیاد باشد (پدیده نادر) تأثیری در مقدار این کمیت ندارد.

$$TS = \frac{a}{a+b+c} \quad (۴)$$

مقدار آن نیز مشابه نسبت صحیح همواره بین صفر برای پیش‌بینی نادرست و یک برای پیش‌بینی کامل است.

ه) **آهنگ برخورد:** بنا به تعریف نسبت تعداد پیش‌بینی‌های مثبت درست به تعداد کل دیدبانی‌هایی است که پدیده مورد نظر اتفاق افتاده است:

$$H = \frac{a}{a+c} \quad (۵)$$

مقدار آن نیز بین صفر برای پیش‌بینی نادرست و یک برای پیش‌بینی کامل است.

ی) **آهنگ هشدارهای تقلبی:** بنا به تعریف نسبت تعداد کل پیش‌بینی‌های نادرست مثبت (پیش‌بینی‌های محقق نشده) به تعداد کل دیدبانی‌هایی است که پدیده مورد نظر اتفاق نیفتاده است:

$$F = \frac{b}{b+d} \quad (۶)$$

۲-۲ روش راستی‌آزمایی پیش‌بینی چندحالتی

راستی‌آزمایی پیش‌بینی تنها به حالت ۲×۲ محدود نمی‌شود بلکه این طبیعی است که در پیش‌بینی پدیده‌ها مرتبه‌های بیش از دو حالت نیز وجود داشته باشد جدول راستی‌آزمایی پیش‌بینی ۳×۳ را در نظر می‌گیریم (شکل ۱) URL1.

$$PC = \frac{a+d}{n} \quad (۱)$$

مقدار این کمیت برای پیش‌بینی کامل یک و برای پیش‌بینی کاملاً نادرست صفر است.

ب) **اریبی:** کمیت اریبی 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. طبق تعریف مقدار این کمیت از رابطه زیر به دست می‌آید:

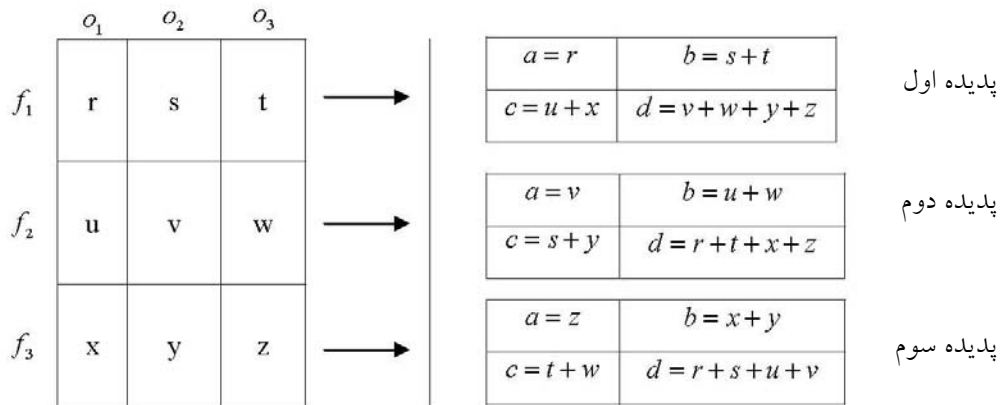
$$B = \frac{a+b}{a+c} \quad (۲)$$

بهترین مقدار این کمیت برای پیش‌بینی کامل یک است و ممکن است کمتر و یا بیشتر از یک باشد. این کمیت، کیفیت پیش‌بینی را بیان نمی‌کند، به همین دلیل ممکن است یک پیش‌بینی بسیار بد باشد اما از نظر اریبی بسیار خوب نشان دهد.

ج) **نسبت هشدارهای نادرست:** این کمیت بنا به تعریف، نسبت تعداد پیش‌بینی‌های نادرست به تعداد کل پیش‌بینی‌های مثبت است، یعنی نسبت پیش‌بینی‌هایی را که نادرست بوده‌اند اندازه می‌گیرد. بنابراین هر چه مقدار آن کوچک‌تر باشد بهتر است. مقدار این کمیت برای پیش‌بینی کامل صفر و برای پیش‌بینی کاملاً نادرست، یک می‌شود:

$$FAR = \frac{b}{a+b} \quad (۳)$$

د) **کمیت نرده‌ای دیگر که برای سنجش دقت به کار می‌رود TS است:** این کمیت مشابه نسبت صحیح است، با این تفاوت که به‌ویژه برای موقعی که فراوانی پدیده مورد نظر کوچک باشد (پدیده نادر) بسیار مناسب است. مطابق تعریف مقدار آن برابر است با نسبت تعداد



شکل ۱. جدول توافقی در حالت ۳×۳.

تحلیلی تصمیم‌گیری مورد بحث قرار می‌گیرد. یک تصمیم‌گیرنده (کاربر پیش‌بینی) برای اتخاذ تصمیم تعدادی انتخاب در پیش‌رو دارد و انتخاب او تا حدی تحت تاثیر پیش‌بینی است. کاربری را در نظر بگیرید که نسبت به یک واقعه خاص وضع هوا، A، حساس باشد. فرض کنید خسارتی که به این کاربر وارد می‌شود، در صورتی که واقعه اتفاق بیافتد و او اقدام حفاظتی در برابر آن به انجام نرسانده باشد L و در صورتی که اقدام حفاظتی را عملی کند باید هزینه C را برای این اقدام پردازد تا از خسارت L جلوگیری شود. ارزش پیش‌بینی در واقع مبلغی است که کاربر در صورت استفاده از پیش‌بینی صرفه‌جویی خواهد کرد. بنابراین پیش‌بینی در صورتی دارای ارزش اقتصادی است که بتواند هزینه کاربر را با استفاده از پیش‌بینی ($E_{forecast}$) نسبت به هزینه کاربر در صورتی که فقط به پیش‌بینی اقلیمی دسترسی داشته باشد ($E_{climate}$) کمتر کند. ارزش نسبی پیش‌بینی با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$RV = \frac{E_{climate} - E_{forecast}}{E_{climate} - E_{perfect}} \quad (11)$$

که در آن

در این جدول ۹ حالت پیش‌بینی و دیدبانی وجود دارد که جمع کل آنها $n = r + s + t + u + v + w + x + y + z$ است. برخی کمیت‌های عددی وابسته به جدول توافقی 2×2 به سادگی به ابعاد بالاتر قابل تعمیم است. این کمیت‌ها شامل H، B و PC هستند که برای جدول توافقی 3×3 به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$B_1 = \frac{r + s + t}{r + u + x} \quad (7)$$

$$B_2 = \frac{u + v + w}{s + v + y} \quad (8)$$

$$B_3 = \frac{x + y + z}{t + w + z} \quad (9)$$

$$H = \frac{a}{a + c} = \frac{r + v + z}{n} \quad (10)$$

$$PC = \frac{a + d}{n} = \frac{2r + 2v + 2z + n}{n} \quad (11)$$

تعمیم بقیه کمیت‌های گفته شده جدول 2×2 به جدول‌های مرتبه بالاتر امکان پذیر نیست و بایستی کمیت‌های عددی کلی‌تری را تعریف کرد (URL1).

۲-۳ ارزش اقتصادی پیش‌بینی

ارزش اقتصادی پیش‌بینی وضع هوا، در مدل‌های

کوچک با تفکیک افقی ۱۵ کیلومتر کل ایران را می پوشاند (۶۳-۴۴ درجه شرقی و ۴۰-۲۴ درجه شمالی). برای شبکه های مدل الگوی دوسویه انتخاب شد تا پدیده های دامنه بزرگ روی شرایط مرزی دامنه کوچک تاثیر بگذارد. تفکیک افقی داده های ناهمواری و کاربری زمینی ۲ دقیقه (حدود ۴ کیلومتر) انتخاب شد. بیشینه نقاط شبکه در جهت طول جغرافیایی ۱۸۵ و در جهت عرض جغرافیایی ۱۳۰ نقطه است. تعداد ترازهای کامل سیگما ۳۱ است.

طرح واره های انتخاب شده برای فیزیک مدل به شرح زیر است.

- طرح واره رطوبت: Simpleice

- طرح واره همرفت: دامنه بزرگ Betts-Miller و دامنه

کوچک Grell

- طرح واره لایه مرزی سیاره ای: MRF PBL

- طرح واره تابش جوئی: CC2M

- همرفت سطحی برای دامنه بزرگ وجود ندارد ولی برای دامنه کوچک در نظر گرفته شده است.

در این تحقیق پیش بینی های ۹۶ ساعته که از ساعت GMT ۱۸ هر روز شروع شده است بررسی شده و نتایج در بازه های زمانی یک ساعته در فایل خروجی ذخیره می شوند. برون داد مدل برای پیش بینی ۲۴ ساعته بارندگی با مقادیر بارش دیدبانی ۲۴ ساعته ماه های دسامبر ۲۰۰۴ و ژانویه، فوریه و مارس ۲۰۰۵ (زمستان ۱۳۸۳) ایستگاه های همدیدی از ساعت GMT ۶ تا ۲۴ ساعت بعد مقایسه شده است.

۴ روش کار

در این تحقیق محدوده کشور ایران به چند منطقه تقسیم شده است. از آنجا که مناطق گوناگون کشور، از نظر بارش دارای ویژگی های متفاوت اقلیمی اند و دقت مدل در مناطق گوناگون متفاوت است، بنابراین برای تعیین

$$(E_{climate}) = \min(C, sL)$$

S فراوانی نسبی اقلیمی واقعه یا کسری از روزها است که واقعه اتفاق می افتد.

در پیش بینی دو حالتی با تشکیل جدول توافقی (جدول ۲) می توان ارزش پیش بینی را به شکل زیر محاسبه کرد:

$$E_{forecast} = \frac{a}{n}c + \frac{b}{n}c + \frac{c}{n}l$$

که در آن n تعداد کل جفت های دیدبانی / پیش بینی است (جولیف و استفنسن، ۲۰۰۳).

برای برآورد کردن $E_{climate}$ فرض می شود که نرخ اقلیمی واقعه با نرخ وقوع واقعه در نمونه برابر است در نتیجه ارزش نسبی به این صورت نوشته خواهد شد:

$$RV = \frac{\min(\alpha, s) - F(1-s)\alpha + Hs(1-\alpha) - s}{\min(\alpha, s) - s\alpha} \quad (12)$$

که در آن:

$$\alpha = \frac{C}{L} \quad H = \frac{a}{a+c} \quad F = \frac{b}{b+d}$$

۳ توصیف پیکربندی مدل مورد استفاده

مدل میان مقیاس MM5 یک مدل منطقه محدود دارای دینامیک غیر ایستابی و مختصه سیگما در راستای قائم است. هدف اصلی از طراحی این مدل شبیه سازی یا پیش بینی جو در مقیاس میانی یا منطقه ای است. این مدل توانایی اجرا برای چند دامنه تودرتو را دارد. تقریب غیر ایستابی مدل این امکان را فراهم می آورد تا با تفکیک های افقی چند کیلومتر نیز اجرا شود. مدل با چند برنامه جانبی برای پیش برداش، پشتیبانی می شود که به مجموعه آنها سامانه مدل سازی MM5 گفته می شود.

برای اجرای مدل دو دامنه در نظر گرفته شد، دامنه بزرگ با تفکیک افقی ۴۵ کیلومتر محدوده ۸۰-۱۰ درجه شرقی و ۴۸-۱۰ درجه شمالی را در برمی گیرد و دامنه

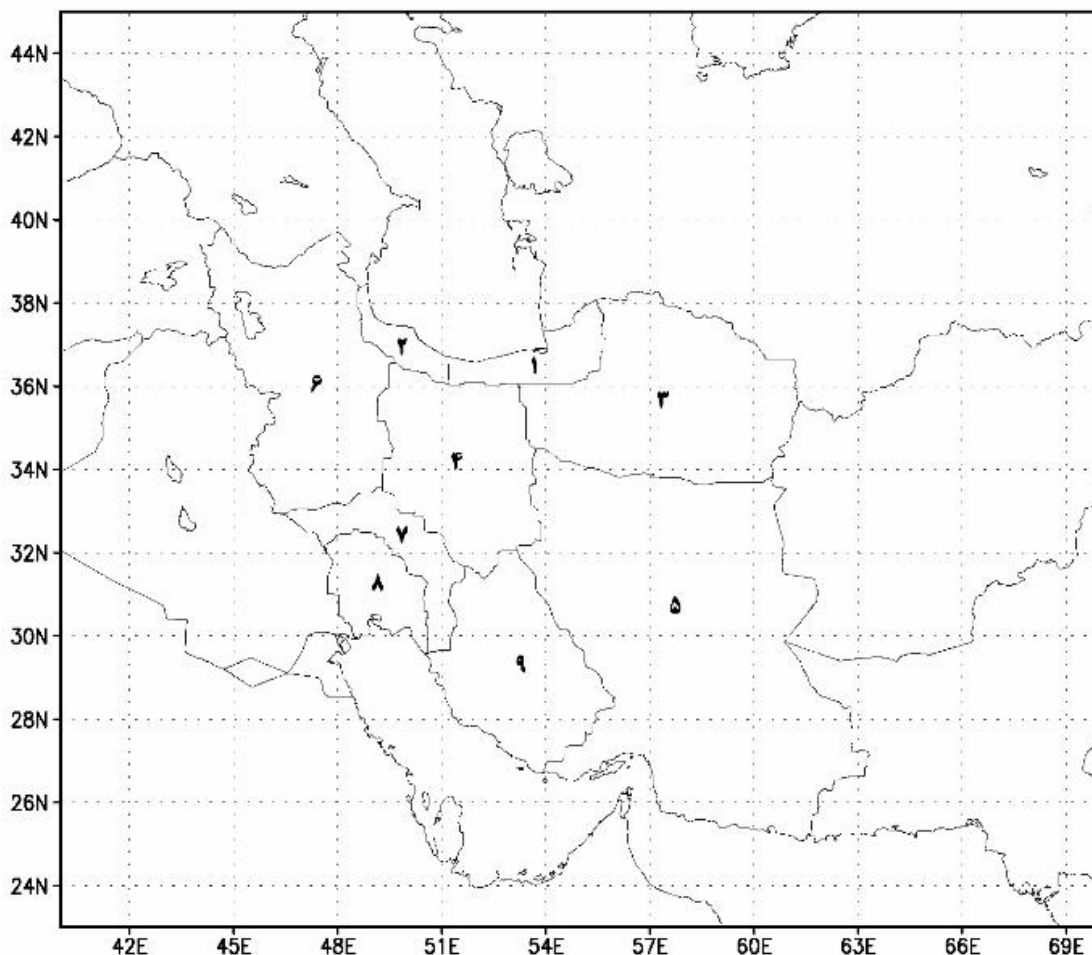
ساعته برای همه ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی با مقادیر متناظر دیدبانی مقایسه شد. نتایج در ۳ گروه تقسیم‌بندی شد:

۱-۵ نتایج راستی آزمایی پیش‌بینی وقوع یا نبود بارش در این قسمت، فرایند راستی آزمایی برای تمام کشور ایران بدون در نظر گرفتن آستانه‌ای برای بارش و یا منطقه‌بندی صورت می‌گیرد و سپس با تشکیل جدول توافقی ۲×۲، بعضی کمیت‌های نرده‌ای وابسته به این جدول محاسبه و نتایج در جدول (۳) خلاصه شده است:

دقت مدل برای هر منطقه به صورت جداگانه براساس میانگین مقدار بارش، کشور ایران به ۹ منطقه متفاوت تقسیم شده است. این تقسیم‌بندی در کار ما نقش اساسی و کلیدی ندارد و منظور از آن فقط جدا کردن مناطق با رژیم‌های متفاوت بارش از هم است. شکل (۲) این تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد.

۵ نتایج و بحث

در این بررسی، مدل برای فصل زمستان ۱۳۸۳ برای به دست آوردن پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته اجرا و سپس بارندگی تجمعی ۲۴ ساعته در پیش‌بینی‌های ۷۲ تا



شکل ۲. تقسیم‌بندی کشور به ۹ منطقه مورد استفاده در این تحقیق.

جدول ۳. نتایج راستی‌آزمایی پیش‌بینی در حالت ۲×۲.

	a	b	c	d	pc	B	FAR	TS	H
۲۴ ساعت	۳۳۸۲	۲۳۰۳	۲۸۲	۸۹۲۱	۰٫۸۳	۱٫۵۵	۰٫۴۰	۰٫۵۷	۰٫۹۲
۴۸ ساعت	۳۴۱۳	۲۲۵۳	۲۸۱	۸۸۶۷	۰٫۸۳	۱٫۵۳	۰٫۴۰	۰٫۵۷	۰٫۹۲
۷۲ ساعت	۳۳۶۳	۲۵۶۸	۳۰۸	۸۶۱۵	۰٫۸۰	۱٫۶۱	۰٫۴۳	۰٫۵۴	۰٫۹۲

پیش‌بینی منفی درست زیاد هم باشد (پدیده نادر) تأثیری در مقدار این کمیت ندارد.

H: بررسی این کمیت یا آهنگ برخورد نشان می‌دهد که ۹۲ درصد مواردی که در آنها وقوع بارش مثبت بوده است، (a+c) درست پیش‌بینی شده‌اند.

به‌طور کلی، به نظر می‌رسد نتایج راستی‌آزمایی پیش‌بینی در حالت ۲×۲ برای پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته دارای دقت نسبتاً خوبی است.

۵-۲ نتایج راستی‌آزمایی پیش‌بینی برای آستانه‌های متفاوت

در بخش ۵-۱ عملکرد مدل برای پیش‌بینی وقوع یا نبود بارش بررسی شد. اما از آنجاکه معمولاً عملکرد مدل‌ها برای وقوع یا نبود بارش در آستانه‌های گوناگون بایستی متفاوت باشد، در این بخش، فرایند راستی‌آزمایی برای تمام کشور ایران با در نظر گرفتن آستانه‌های بارش صورت گرفته، به عبارت دیگر مهارت مدل برای پیش‌بینی رخداد بارش در آستانه‌های متفاوت برای تمام کشور سنجیده شد. بدین منظور سه آستانه بارشی به صورت زیر تعریف شد.

بدون بارش ($0/1 < =$)

کمتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر ($10 < = < 0/1$)

بیشتر از ۱۰ میلی‌متر ($10 >$) تعریف شد.

جدول ۴ نتایج فرایند راستی‌آزمایی را با توجه به این سه آستانه در پیش‌بینی ۲۴ ساعته نشان می‌دهد. همان‌گونه که

کمیت‌های آورده شده در جدول فوق در بخش ۲-۱ معرفی شده است.

همان‌گونه که در جدول بالا دیده می‌شود، در ردیف مربوط به پیش‌بینی ۴۸ ساعته مقدار عددی a یا دیدبانی‌هایی مثبت که درست پیش‌بینی شده‌اند از دو ردیف پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۷۲ ساعته بیشتر است. بررسی سایر کمیت‌های این جدول از این قرار است:

PC: همان‌گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود مقدار کمیت عددی نسبت صحیح برای همه پیش‌بینی‌ها حدود ۸۰ درصد است. به عبارت دیگر در حدود ۸۰ درصد موارد پیش‌بینی وقوع یا نبود بارش مدل درست بوده است.

B: کمیت ارزیابی تقریباً مقدار عددی ۱٫۵ را دارد این مطلب نشان می‌دهد که تعداد مواردی که پیش‌بینی وقوع بارش با مدل صورت گرفته است. به طور میانگین بیش از تعداد مواردی است که بارندگی اتفاق افتاده است به عبارت دیگر مدل در پیش‌بینی رخداد بارش، برآورد اضافی دارد.

FAR: این کمیت یا نسبت هشدارهای نادرست نشان می‌دهد که نزدیک به ۴۰ درصد موارد پیش‌بینی‌ها نادرست بوده است.

TS: این کمیت که مشابه نسبت صحیح است، نشان می‌دهد که به‌طور میانگین در بیش از نیمی از مواردی که پیش‌بینی یا دیدبانی یا هر دو مثبت بوده‌اند پیش‌بینی درست بوده است زیرا در مخرج کسر d که پیش‌بینی‌های منفی درست است حذف شده است به‌گونه‌ای که هرچه

به‌طور جداگانه به انجام می‌رسانیم. جدول‌های (۵، ۶ و ۷) راستی‌آزمایی پیش‌بینی ۲۴ ساعته بارش را در ۹ منطقه برای سه آستانه تعریف‌شده نشان می‌دهد. مقدار کمیت PC که نشان‌دهنده نسبت صحیح است، در آستانه اول برای همه مناطق دارای مقدار قابل قبول و حدود ۰٫۸۵ است ولی برای آستانه سوم این کمیت فقط در مناطق دوم و هفتم ۰٫۹ است و در بقیه مناطق، این کمیت ضعیف است. مقدار میانگین کمیت B نیز در آستانه اول حدود یک که مقدار مطلوبی است. برای آستانه بین ۰٫۱ و ۱۰ میلی‌متر حدود ۱٫۵ و برای آستانه سوم برای مناطق گوناگون مقادیر متفاوتی دارد. مقدار H که نشان‌دهنده آهنگ برخورد است برای آستانه کمتر از ۰٫۱ حدود یک و قابل قبول است؛ برای آستانه بین ۰٫۱ تا ۱۰ میلی‌متر این مقدار به طور نسبی قدری کمتر از یک است که نشان می‌دهد مدل برای این آستانه در مناطق متفاوت کشور به‌طور نسبی دقت کمتری دارد. اما در آستانه بیش از ۱۰ میلی‌متر فقط در منطقه ۳ مقدار این کمیت بسیار کم است و در سایر مناطق مقدار قابل قبولی دارد. کمیت FAR یا نسبت هشدارهای نادرست برای آستانه کمتر از ۰٫۱ برای همه مناطق قابل قبول است و برای آستانه بین ۰٫۱ تا ۱۰ میلی‌متر بارش، این کمیت به‌طور چشمگیری افزایش پیدا می‌کند اما برای آستانه بیشتر از ۱۰ میلی‌متر قدری کاهش یافته است. همان‌گونه که در جدول‌های ۵ تا ۷ دیده می‌شود، مهارت مدل برای آستانه کمتر از ۰٫۱ در مناطق ۵، ۸ و ۹ (جنوب غرب، جنوب شرق و جنوب کشور) به طور نسبی بهتر است. برای آستانه بین ۰٫۱ تا ۱۰ میلی‌متر منطقه ۶ (غرب کشور) و برای آستانه بیش از ۱۰ میلی‌متر مناطق ۲ و ۷، دقت مدل نسبتاً بیشتر است. از این رو به‌طور کلی در نتیجه‌گیری راستی‌آزمایی پیش‌بینی بارش در فصل زمستان سال ۱۳۸۳ مناطق گوناگون ایران دیده می‌شود که مدل برای آستانه‌های کم بارش در مناطق جنوبی و برای آستانه‌های زیاد بارش، در مناطق شمالی و

در این جدول دیده می‌شود، برای آستانه‌های کمتر از ۰٫۱، a یا دیدبانی‌های وقوع بارش که پیش‌بینی درست داشته‌اند مقدار ۸۹۲۱ یا بالاترین مقدار را نسبت به دیگر آستانه‌های بارش داشته است. در بررسی سایر کمیت‌های این جدول می‌بینیم به‌طور میانگین $PC=0.85$ یا در ۸۵ درصد موارد پیش‌بینی‌ها درست صورت گرفته است. B نیز مقدار عددی ۰٫۸ را دارد، یعنی در ۲۰ درصد موارد دیدبانی‌ها، پیش‌بینی صورت نگرفته است اما برای سایر آستانه‌ها B با مقادیر بزرگ‌تر از ۱ نشان می‌دهد که مدل در پیش‌بینی بارش بر آورد اضافه نیز داشته است. مقدار FAR برای آستانه کمتر از ۰٫۱ دقیق‌تر از سایر آستانه‌ها است. مقدار این کمیت برای آستانه کمتر از ۰٫۱ گویای این مطلب است که نسبت پیش‌بینی‌های نادرست حدود ۱۰ درصد موارد کل پیش‌بینی‌ها بوده است. دو کمیت TS و H نیز با مقدار عددی ۰٫۸ در آستانه کمتر از ۰٫۱، نشان‌دهنده بیشترین دقت و نسبت تعداد پیش‌بینی‌های مثبت به کل دیدبانی‌ها را نسبت به دو آستانه دیگر نشان می‌دهد در این جدول با مقایسه کمیت‌های پیش‌گفته، کمترین مهارت برای آستانه بین ۰٫۱ و ۱۰ میلی‌متر است. کمیت‌های عددی آستانه بیش از ۱۰ میلی‌متر حاکی از آن است که مدل مهارت نسبتاً زیادی دارد. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که مهارت پیش‌بینی مدل برای آستانه‌های گوناگون بارش متفاوت است، به‌گونه‌ای که برای آستانه‌های کمتر از ۰٫۱ و بیشتر از ۱۰ میلی‌متر مهارت بیشتر است.

۳-۵ نتایج راستی‌آزمایی پیش‌بینی برای مناطق و آستانه‌های متفاوت

از آنجا که بارش در مناطق گوناگون ایران با در نظر گرفتن ویژگی‌های ناهمواری و اقلیمی، به‌خصوص در فصل زمستان بسیار اهمیت دارد از این رو راستی‌آزمایی پیش‌بینی بارش را در این بخش در ۹ منطقه تعریف‌شده در ایران

نیز مرتفع کشور دقیق تر است. شایان گفتن است که متأسفانه به علت محدود بودن تعداد داده‌های دیدبانی در دسترس در زمان اجرای این تحقیق، نتایج راستی، آزمایشی نیز با محدودیت‌هایی مواجه است.

۴-۵ نتایج ارزش اقتصادی پیش‌بینی

شکل ۳.a ارزش نسبی پیش‌بینی را برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته و شکل ۳.b ارزش نسبی را برای پیش‌بینی در حالت آستانه‌های گوناگون برحسب C/L نشان می‌دهد. محور افقی نشان‌دهنده مقدار نسبت هزینه اقدام حفاظتی (C) برای یک کاربر خاص به میزان خسارت (L) در صورت نبود اقدام حفاظتی را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر محور افقی نشان‌دهنده طیف گستره ممکن کاربران است. این اشکال با استفاده از مقادیر جدول‌های توافقی ۳ و ۴ رسم شده است. در شکل ۳.a دیده می‌شود که ارزش نسبی پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته در حدود ۷۰

درصد و بیش از پیش‌بینی ۷۲ ساعته است و این شکل نشان می‌دهد که پیش‌بینی مربوط به ۴۸ ساعته همانند پیش‌بینی ۲۴ ساعته دقت نسبتاً زیادی دارد. شکل ۳.b ارزش نسبی پیش‌بینی را برای آستانه‌های گوناگون بارش (آستانه کلی، ۱۰ میلی‌متر و بیش از ۱۰ میلی‌متر) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای آستانه کلی بارش ارزش پیش‌بینی بیش از دو ارزش نسبی دیگر و حدود ۶۵ درصد است. ارزش نسبی این آستانه‌ها در پیش‌بینی ۲۴ ساعت به‌دست آمده است. همان‌طور که در شکل اخیر دیده می‌شود، ارزش پیش‌بینی آستانه بیش از ۱۰ میلی‌متر در حدود ۵۷ درصد است. بیشینه ارزش نسبی آستانه کلی در $C/L=0.75$ و حال آنکه برای آستانه بیش از ۱۰ میلی‌متر در $C/L=0.1$ اتفاق افتاده است. از این رو در تحلیل ارزش اقتصادی پیش‌بینی و راستی‌آزمایی مدل به این نتیجه می‌رسیم که نتایج به‌دست آمده دقت خوبی داشته‌اند.

جدول ۴. نتایج راستی‌آزمایی پیش‌بینی ۲۴ ساعته با در نظر گرفتن آستانه بارش.

	a	b	c	d	pc	B	FAR	TS	H
≤ 0.1	۸۹۲۱	۵۵۵	۲۳۰۳	۳۳۸۲	۰.۸	۰.۸	۰.۱	۰.۸	۰.۸
$0.1 < \leq 1.0$	۲۱۶۹	۲۵۷۵	۹۰.۸	۹۵۰۹	۰.۸	۱.۵	۰.۵	۰.۴	۰.۷
> 1.0	۵۳۸	۴۰۳	۳۲۲	۱۳۸۹۸	۰.۹۵	۱.۱	۰.۴	۰.۴	۰.۶

جدول ۵. نتایج راستی‌آزمایی پیش‌بینی ۲۴ ساعته در حالت بدون آستانه در ۹ منطقه کشور.

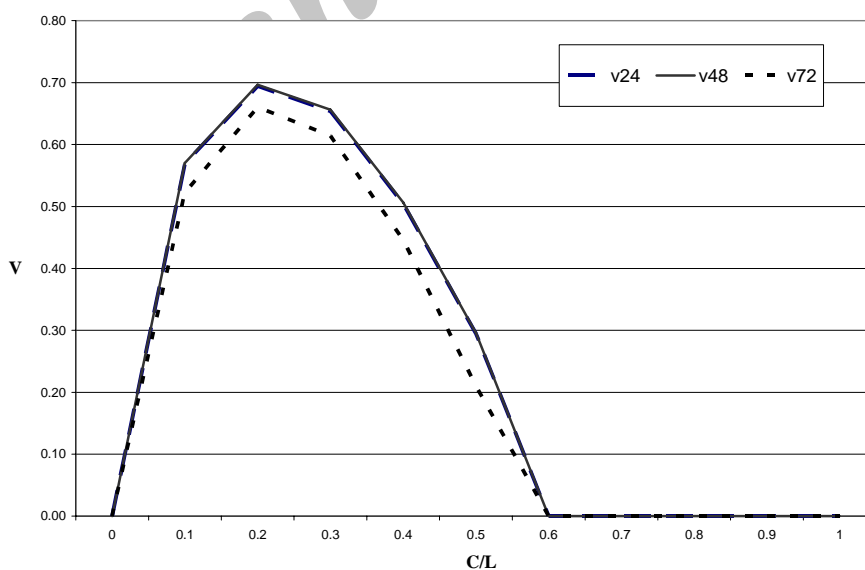
	a	b	c	d	pc	B	H	FAR	TS
منطقه اول	۳۴۸	۴۱	۵۸	۱۵۸	۰.۸	۱	۰.۹	۰.۱	۰.۸
≤ 0.1	منطقه دوم	۴۴۸	۴۸	۱۸۵	۲۸۷	۰.۸	۰.۸	۰.۷	۰.۰۹
	منطقه سوم	۸۴۴	۶۷	۲۶۶	۳۹۶	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۰۷
	منطقه چهارم	۶۴۷	۴۲	۱۵۹	۲۴۱	۰.۸	۰.۹	۰.۸	۰.۰۶
	منطقه پنجم	۱۸۱۷	۹۸	۲۴۴	۳۸۷	۰.۹	۰.۹	۰.۹	۰.۰۵
	منطقه ششم	۲۴۲۶	۱۰۸	۱۰۹۹	۱۲۰۷	۰.۸	۰.۷	۰.۷	۰.۰۴
	منطقه هفتم	۵۳۳	۴۰	۶۱	۲۱۳	۰.۹	۱	۰.۹	۰.۰۷
	منطقه هشتم	۶۵۸	۴۴	۴۵	۱۳۱	۰.۹	۱	۰.۹	۰.۰۶
	منطقه نهم	۶۶۵	۳۲	۸۴	۱۸۷	۰.۹	۰.۹	۰.۹	۰.۰۴

جدول ۶. نتایج راستی آزمایی پیش‌بینی ۲۴ ساعته برای آستانه کمتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر در ۹ منطقه کشور.

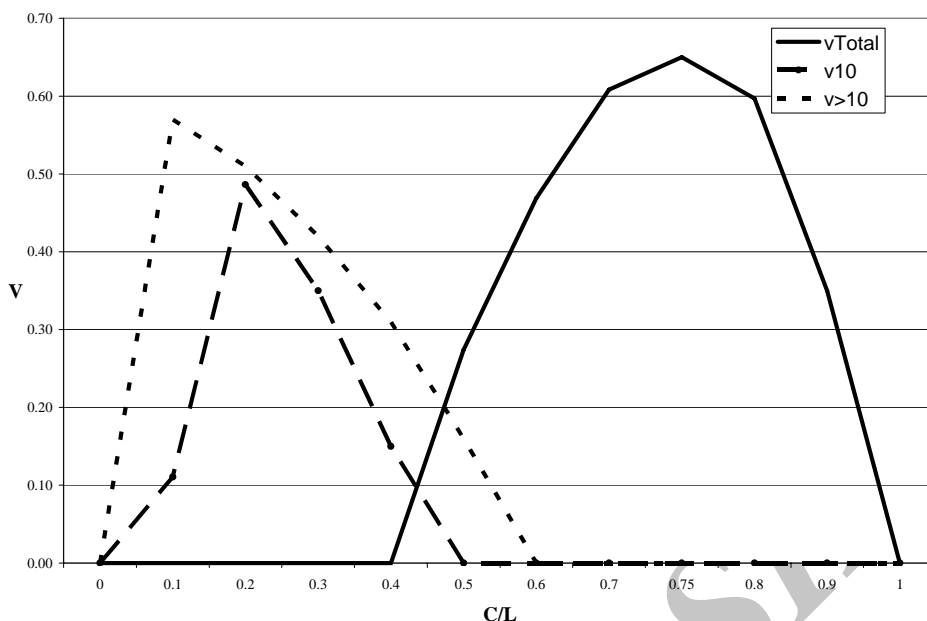
	a	b	c	d	pc	B	H	FAR	TS
منطقه اول	۹۳	۷۷	۵۰	۳۸۵	۰٫۸	۱٫۲	۰٫۷	۰٫۵	۰٫۴
۰٫۱ < <= ۱۰	منطقه دوم	۱۵۸	۲۰۹	۸۳	۵۱۸	۰٫۷	۱٫۵	۰٫۷	۰٫۶
	منطقه سوم	۳۱۲	۳۰۴	۹۷	۸۶۰	۰٫۷	۱٫۵	۰٫۸	۰٫۵
	منطقه چهارم	۱۵۸	۱۸۰	۷۰	۶۸۱	۰٫۸	۱٫۵	۰٫۷	۰٫۵
	منطقه پنجم	۲۴۰	۲۸۱	۱۳۹	۱۸۸۶	۰٫۸	۱٫۴	۰٫۶	۰٫۵
	منطقه ششم	۸۴۴	۱۱۷۲	۲۳۴	۲۵۹۰	۰٫۷	۱٫۹	۰٫۸	۰٫۶
	منطقه هفتم	۹۰	۹۴	۶۱	۶۰۲	۰٫۸	۱٫۲	۰٫۶	۰٫۵
	منطقه هشتم	۶۵	۵۵	۶۶	۶۹۲	۰٫۹	۰٫۹	۰٫۵	۰٫۳
	منطقه نهم	۹۳	۹۴	۵۰	۷۳۱	۰٫۹	۱٫۳	۰٫۷	۰٫۵

جدول ۷. نتایج راستی آزمایی پیش‌بینی ۲۴ ساعته برای آستانه بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در ۹ منطقه کشور.

	a	b	c	d	pc	B	H	FAR	TS
منطقه اول	۳۶	۱۰	۲۰	۵۳۹	۰٫۱	۰٫۸	۰٫۶	۰٫۲	۰٫۵
> ۱۰	منطقه دوم	۵۹	۴۶	۳۵	۸۲۸	۰٫۹	۱٫۱	۰٫۶	۰٫۴
	منطقه سوم	۱۲	۳۴	۴۲	۱۴۸۵	۰٫۱	۰٫۹	۰٫۲	۰٫۷
	منطقه چهارم	۳۲	۳۰	۲۳	۱۰۰۴	۰٫۱	۱٫۱	۰٫۶	۰٫۵
	منطقه پنجم	۶۲	۴۸	۴۴	۲۳۹۲	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۶	۰٫۴
	منطقه ششم	۱۵۱	۱۳۹	۸۶	۴۴۶۴	۰٫۱	۱٫۲	۰٫۶	۰٫۵
	منطقه هفتم	۶۹	۲۱	۳۳	۷۲۴	۰٫۹	۰٫۹	۰٫۷	۰٫۲
	منطقه هشتم	۳۱	۲۵	۱۳	۸۰۹	۰٫۱	۱٫۳	۰٫۷	۰٫۴
	منطقه نهم	۶۲	۲۲	۱۴	۸۷۰	۰٫۱	۱٫۱	۰٫۸	۰٫۳



شکل ۳. (a) ارزش نسبی پیش‌بینی‌های ۲۴ تا ۷۲ ساعت بر حسب نسبت هزینه برای حفاظت به میزان خسارت.



شکل ۳. (b) ارزش نسبی پیش‌بینی ۲۴ ساعت برای آستانه‌های کلی، ۱۰ میلی‌متر و بیش از ۱۰ میلی‌متر.

۶ نتیجه‌گیری

بررسی نتایج نشان می‌دهد که پیش‌بینی مدل در دوره ۴ ماهه حدود ۸۰ درصد موارد برای وقوع یا نبود بارش صحیح بوده است هرچند در کل تعداد موارد پیش‌بینی وقوع بارش برآورد اضافی نشان می‌دهد ($B=1.5$).

به‌طور کلی در دوره ۴ ماهه مورد بررسی بیشتر مناطق کشور تحت تأثیر بارندگی‌های ناشی از سامانه‌های مقیاس همدیدی در عرض‌های میانی بوده است. بدیهی است که با بررسی صرفاً یک فصل زمستان نمی‌توان به‌طور قطعی در مورد مهارت مدل قضاوت کرد. اما از آنجا که امکان اجرای مدل برای مدت چند سال در این بررسی وجود نداشت، مجبور به قضاوت براساس یک نمونه چندماهه هستیم. در این سامانه‌ها نقش ناپایداری کژفشاری در مقایسه با ناپایداری‌های همرفتی چیره است. با توجه به این موضوع و اهمیت بیشتر بخش دینامیک مدل در این پیش‌بینی‌ها، موفقیت نسبی مدل در این پیش‌بینی‌ها مورد انتظار است.

نتایج راستی‌آزمایی پیش‌بینی برای آستانه‌های متفاوت حاکی از تفاوت مهارت در این آستانه‌ها است به‌گونه‌ای که برای آستانه‌های کمتر از ۰٫۱ و نیز بیشتر از ۱۰ میلی‌متر مهارت مدل بیشتر و برای آستانه بین ۰٫۱ و کمتر از ۱۰ میلی‌متر مهارت کمتر است. شایان‌ذکر است که بخشی از کاستی‌های مهارت مدل در پیش‌بینی بارندگی مربوط به نبود اندازه‌گیری‌های دقیق بارش می‌شود. به‌عبارت‌دیگر نبود توافق برون‌داد مدل و دیدبانی در برخی از نقاط مربوط به ناکامل بودن دیدبانی است، مثلاً هسته‌های بیشینه بارندگی معمولاً در نقاط خاصی از ارتفاعات رخ می‌دهد که تعداد دیدبانی‌های در دسترس در این نقاط کمتر است. دیدبانی‌ها معمولاً به‌طور میانگین در کوهپایه‌ها و در دره‌ها صورت تا در نقاط شاخص و قله‌ها.

نتایج راستی‌آزمایی پیش‌بینی برای مناطق گوناگون در آستانه‌های متفاوت مبین آن است که دقت مدل برای آستانه‌های کم بارش در مناطق جنوبی و برای آستانه‌های

- Analysis of scale dependence of quantitative precipitation forecast verification: A case study over the Mackenzie River basin. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **132**, 2107 – 2125.
- Brier, G. W. and Allen, R. A., 1951, Verification of weather forecasts. In: T. F. Malone, ed., *compendium of Meteorology*, American Meteorological Society, 841-848.
- Joliffe, I. T. and stephensons, D. B., 2003, *Forecast verification: A Practitioners Guide in Atmospheric Science*, John Wiley and sons, Ltd.
- Muller, R. H., 1944, Verification of short – range weather forecasts (a survey of the literature). *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **25**, 88-95.
- Murphy, A. H. and Epstein, E. S., 1989, Skill scores and correlation coefficient in model verification. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 572-581.
- Murphy, A. H. and Winkler, R. L., 1987, A general framework for forecast verification. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1330-1338.
- Murphy, A. H., 1993, What is a good forecast? An essay on the nature of goodness in weather forecasting. *Weather and forecasting*, **8**, 281–293.
- Sodoudi, S. Noorian, A. Geb, M. and Reimer, E., 2009, Daily precipitation forecast of ECMWF verified over Iran. *Theoretical Applied Climatology*, **99**, 39-51.
- Stanski, H. R., Wilson, L. J. and Burrows, W. R., 1989, Survey of common verification Methods in Meteorology. *World Weather Watch Technical Report No.8*. World Meteorological Organisation, Geneva.
- Wilks, Daniel S., 1995, *statistical methods in the atmospheric sciences*, Academic press.
- پربارش، در مناطق شمالی و نیز مرتفع کشور، بیشتر است. بارندگی مناطق جنوبی و دور از ارتفاعات کشور بیشتر جنبه محلی و در نتیجه مقیاس میانی را دارد. در این سامانه ها نقش همرفت و در نتیجه تأثیر فیزیکی مدل چیره است که با توجه به نقص در فراسنجی‌های فیزیکی، همان گونه که نتایج نشان می دهد انتظار دقت کمتری از مهارت مدل می رود. برای بهبود نتایج مدل در این مناطق و نیز آزمون مدل در شرایط جوئی تحت تأثیر سامانه های میان مقیاس با چیرگی اثر همرفت، انتظار می رود استفاده از پیش بینی های احتمالی نتایج را تا حدی بهبود دهد (آزادی و همکاران، ۱۳۸۶) هر چند برای بهبود اساسی نتایج مدل در پیش بینی این گونه بارش ها، استفاده از داده های دیده بانی با تراکم زیاد نظیر رادار برای آغازگری مناسب مدل اجتناب ناپذیر است (بوسکوت و همکاران، ۲۰۰۶).
- تشکر و قدردانی**
- این پژوهش در قالب طرح "راستی‌آزمایی پیش‌بینی بارش مدل منطقه‌ای MM5 روی ایران" در پژوهشکده هواشناسی صورت گرفته است. بدین وسیله از استاد ارجمند آقای دکتر هوشنگ قائمی به خاطر راهنمایی‌ها و نظرات سازنده‌شان، به ویژه در بخش منطقه‌بندی ایران سپاسگزاری می‌شود. از سرکار خانم سمیه جعفری نیز به خاطر تهیه و در اختیار قرار دادن برون داد مدل تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- آزادی، م.، ذاکری، ز. و عربلی، پ.، ۱۳۸۶، به دست آوردن پیش بینی احتمالی بارندگی از برون داد مدل های یقینی، مجموعه مقالات هفتمین همایش پیش بینی عددی وضع هوا، سازمان هواشناسی کشور، تهران، آذر ۱۳۸۶.
- Bousquet, O. Lin, A. C. and Zawadzki, I., 2006,