

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۲، شماره پیاپی ۱۰۹

M. Zoljoodi
S. M. Ghazimirsaeid
Z. Seifari

مجتبی ذوالجودی، دکتری فیزیک دریا، استادیار پژوهشکده هواشناسی
سیده مژگان قاضی میرسعید، کارشناس ارشد فیزیک دریا، سازمان هواشناسی کشور
زهرا سیفاری، کارشناس ارشد فیزیک، سازمان هواشناسی کشور

E-mail: ghmirsaeid@gmail.com

شماره مقاله: ۹۰۵

صص: ۱۹۴-۱۸۷

پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۸

وصول: ۱۳۹۱/۳/۵

بررسی صحت و دقت طرحواره‌های مختلف مدل WRF و ارزیابی پیش‌بینی بارش در ایران زمین

چکیده:

در انجام این پژوهش، سعی شده است میزان دقت و صحت برون‌داد و در نتیجه کارایی مدل در پیش‌بینی ۲۴ و ۴۸ ساعته پدیده بارش با انتخاب طرحواره‌های مختلف ارزیابی شود. از این رو، به منظور راست‌آزمایی محصول مدل، دو وضعیت بارش و عدم بارش در نظر گرفته شده و با تعیین چهار آستانه برای بارش جدول توافقی تشکیل و امتیازهای مهارتی محاسبه گردیده است. نتایج واکاوی گویای آن است که در بین پیکربندی‌های مختلف، خروجی مدل برای دو پیکربندی KFMJY و GDMYJ که در هر دو از طرحواره لایه مرزی Mellor-Yamada-Janjic استفاده شده، به واقعیت نزدیک تر و از دقت قابل قبول تری برخوردار است. نسبت صحیح (PC) چهار آستانه، بدون بارش ($0/1$)، بیشتر از $0/1$ و کمتر یا مساوی 1 میلی‌متر (1 و $0/1$)، کمتر یا مساوی 10 میلی‌متر و بیشتر از یک (10 و 1) و بیشتر از 10 میلی‌متر ($10 <$) برای پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعته مقادیر قابل قبولی؛ دارد به گونه‌ای که در مجموع در حدود ۸۰ درصد موارد، پیش‌بینی رخداد یا عدم رخداد بارش به درستی انجام شده است. مقدار H که نشان دهنده آهنگ برخورد است، برای آستانه کمتر از $0/1$ و بیش از 10 میلیمتر نزدیک به یک است؛ بدین معنی که مدل برای این دو آستانه از دقت بالاتری برخوردار است. این کمیت برای محدوده بین یک دهم تا یک میلیمتر، مقدار $0/3$ را به خود اختصاص داده است که نشان‌دهنده ضعف نسبی مدل در این محدوده است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی بارش، راست‌آزمایی، جدول توافقی، طرحواره فیزیکی، مدل WRF.

مقدمه

مدل پیشرفته WRF^۱ سامانه‌ای با قابلیت‌های فراوان است که می‌توان با استفاده از آن وضعیت‌های مختلف جو را شبیه‌سازی کرد. این مدل غیرایستایی (با گزینه ایستایی) و شبکه افقی آن، C آراکوا است. در این مدل از طرحواره‌های انتگرال‌گیری مرتبه دوم و سوم زمانی رانگ - کوتا و طرحواره‌های مرتبه دو تا شش برای فرارفت در دو راستای افقی و قائم و از گام‌های کوچک زمانی برای مدل‌های اکوستیک و امواج گرانشی استفاده می‌شود (برای اطلاعات بیشتر درباره

¹ Weather Research and Forecasting (WRF)

این مدل به (۱ و ۲) مراجعه کنید). با توجه به توسعه سامانه مدل سازی WRF در سال های اخیر و متداول تر شدن استفاده از آن در مراکز پیش بینی دنیا، انجام مطالعاتی برای راست آزمایی برونداد این مدل به عنوان پیش نیاز استفاده پژوهشی و عملیاتی از آن ضروری است. منظور از فرایند راست آزمایی، ارزیابی کیفی پیش بینی های هواشناسی است که در آن نتایج فرایند پیش بینی با دیدبانی های متناظر مقایسه می شود.

از آنجا که استفاده عملیاتی از مدل های منطقه ای پیش بینی عددی وضع هوا در چند سال اخیر در ایران متداول شده و هنوز مطالعه ای برای راست آزمایی همه محصولات مدل انجام نشده است، چنین مطالعاتی ضروری به نظر می رسد. بارش از جمله کمیتی است که پیش بینی صحیح آن از جهات مختلف اقتصادی، اجتماعی و ... دارای اهمیت است. یافتن پیکربندی مناسب در مدل در منطقه با هدف پیش بینی درست کمیت های هواشناختی، نظیر بارش به طور عمده بر ارزیابی نتایج آن مبتنی است. در این مطالعه پیش بینی مدل برای کمیت بارش به مدت شش ماه راست آزمایی شده است. می توان به برخی مطالعات مشابه در دیگر نقاط اشاره نمود. برای مثال، از این مدل در مورد بارش سنگین سال ۲۰۰۶ در شمال تایلند و با بهره گیری از طرحواره های میکروفیزیکی مختلف استفاده و نتایج حاصل از آن با هم مقایسه شده است [۸]. در سال ۲۰۰۸ نیز مقایسه ای بین پنج طرحواره میکروفیزیکی برای سامانه خط تندوزه^۲ در آلمان که در ۱۲ آگوست ۲۰۰۴ رخ داده، انجام گرفته است [۹].

از مقایسه نتایج مدل های WRF و MM5 برای بارش های سنگین حاره ای در طی نهم تا یازدهم ژانویه ۲۰۰۲ در سنگال توافق خوبی بین نتایج هر دو مدل با دیدبانی مشاهده شده است [۳]. مقایسه برونداد مدل های WRF و MM5 با مقادیر دیدبانی شده بارش، برای سیلاب سال ۱۹۹۳ در غرب ایالات متحده آمریکا انجام شده است و نتایج نشان می دهد که مدل WRF به مقادیر واقعی نزدیکتر است [۴]. در ایران نیز مطالعات تحقیقاتی در خصوص بررسی صحت بارش های مدل WRF انجام شده است که از آن جمله می توان به مقایسه پیش بینی بارش دو مدل منطقه ای بر روی ایران WRF و MM5 [۱۰]، ارزیابی عملکرد مدل WRF در ایران برای پیش بینی بارش با استفاده از طرحواره های فیزیکی مختلف: مطالعه موردی [۱۱] و ارزیابی عملکرد مدل WRF برای پیش بینی بارش بر روی ایران به مدت یکماه [۱۲] اشاره کرد.

داده ها و روش شناسی

مدل WRF برای حوضه ای شامل ایران به مدت شش ماه متوالی از یکم ژانویه ۲۰۰۸ تا یکم ژوئن ۲۰۰۸ با طرحواره های مختلف اجرا شده است. طرحواره های فیزیکی به کار رفته در اجرای مدل در جدول ۳ آورده شده است. نامگذاری این پیکربندی ها بدین صورت است که دو حرف اول معرف طرحواره همرفت مورد استفاده و سه حرف آخر معرف طرحواره لایه مرزی است.

زمان اجرای مدل از ساعت ۱۲ هر روز تا ۴۸ ساعت بعد بوده است. برونداد مدل برای بارش های تجمعی ۲۴ و ۴۸ ساعته و مقادیر دیدبانی متناظر با آنها برای ۱۲۷ ایستگاه دیدبانی ایران استخراج شده است. صحت نتایج با تشکیل جدول

توافقی (۲×۲) برای تعیین رخداد یا عدم رخداد بارش و نیز محاسبه امتیازهای مهارتی (جدول ۲) بررسی شد. از آنجایی که نقاط ایستگاه‌ها ممکن است روی نقاط شبکه قرار نگیرند، درون یابی پارامترها توسط نرم افزار GrADS انجام شده است.



شکل ۱) پراکندگی ۱۲۷ ایستگاه دیدبانی ایران را نشان می‌دهد.

راست آزمایی

در راست آزمایی هر پیش‌بینی به شیوه‌های مختلف، ارزیابی عینی از کیفیت پیش‌بینی انجام می‌گیرد. نتایج راست آزمایی باید حاوی اطلاعات مفیدی باشد تا بتوان راهکارهای جدیدی برای پیش‌بینی بهتر به دست آورد. همچنین، واکاوی آماری راست آزمایی می‌تواند به ارزیابی نقاط قوت و ضعف پیش‌بین و یا فرایند پیش‌بینی کمک کند.

جدول توافقی

برای انجام فرایند راست آزمایی به تابع احتمال مشترک پیش‌بینی - دیدبانی و تشکیل جدول توافقی (۲×۲) نیاز است. با فرض پیش‌بینی و دیدبانی به ترتیب با Y و O نشان داده شوند، جدول توافقی (۲×۲) به شکل جدول ۱ تشکیل داده می‌شود. در این جدول O1 تعداد دیدبانی‌های مثبت (رخداد پدیده)، O2 تعداد دیدبانی‌های منفی (عدم رخداد پدیده)، Y1 تعداد پیش‌بینی‌های مثبت (رخداد پدیده)، Y2 تعداد پیش‌بینی‌های منفی (عدم رخداد پدیده)، a بسامد رخداد پدیده و پیش‌بینی آن، b بسامد عدم رخداد پدیده و پیش‌بینی آن، c بسامد رخداد پدیده و عدم پیش‌بینی آن و d بسامد عدم رخداد پدیده و عدم پیش‌بینی آن است. راست آزمایی تنها به حالت (۲×۲) محدود نمی‌شود و می‌توان برای پدیده‌های

بیش از دو حالت جدول‌های توافقی بزرگتری (۳×۳ و ...) تشکیل داد [۷]. برای واکاوی جدول از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده می‌شود؛ برای نمونه در جدول ۲ چند شاخص آماری نرده‌ای وابسته به جدول توافقی (۲×۲) آورده شده است.

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

جدول ۲) چند شاخص آماری نرده‌ای وابسته به جدول توافقی (۲×۲)

بازه‌ی تغییرات	رابطه	کمیت
صفر تا یک: یک برای پیش‌بینی کامل و صفر برای پیش‌بینی کاملاً نادرست	$(a+d)/n$	نسبت صحیح pc
می‌تواند کمتر و یا بیشتر از یک باشد. بهترین مقدار برای پیش‌بینی کامل یک است	$(a+b)/(a+c)$	اریبی B
صفر تا یک: صفر برای پیش‌بینی کامل و یک برای پیش‌بینی کاملاً نادرست	$b/(a+b)$	نسبت هشدارهای نادرست FAR
صفر تا یک: یک برای پیش‌بینی کامل و صفر برای پیش‌بینی کاملاً نادرست	$a/(a+b+c)$	امتیاز تهدید TS
صفر تا یک: یک برای پیش‌بینی کامل و صفر برای پیش‌بینی کاملاً نادرست	$a/(a+c)$	آهنگ برخورد H
صفر تا یک: صفر برای پیش‌بینی کامل و یک برای پیش‌بینی کاملاً نادرست	$b/(b+d)$	آهنگ هشدارهای تقلبی F

یافته‌های پژوهش

راست‌آزمایی برای بارندگی تجمعی ۲۴ و ۴۸ ساعته با در نظر گرفتن رخداد یا عدم رخداد بارش و نیز با در نظر گرفتن آستانه‌های متفاوت برای بارش انجام و با تشکیل جدول توافقی، امتیازهای آماری (جدول ۲) برای سراسر ایران محاسبه شد.

ابتدا نتایج راست‌آزمایی برای ۱۲۷ ایستگاه ایران با در نظر گرفتن آستانه بارش ۰/۱ میلی‌متر برای چندین طرحواره ارائه شده است. مقادیر a ، b ، c ، d و n طبق تعاریف آورده شده در جدول ۱، برای بارندگی ایستگاه‌های دیدبانی کشور به دست آمده و با تشکیل جدول توافقی (۲×۲)، کمیت‌های نرده‌ای وابسته به این جدول، محاسبه و نتایج در جدول ۴ خلاصه شده است. مقادیر نسبت صحیح (PC) در پیش‌بینی ۴۸ ساعته در حالت بارش ۰/۱ نشان می‌دهد که بیش از ۷۵ درصد موارد، پیش‌بینی رخداد یا عدم رخداد بارش به درستی انجام شده است و کمیت، اریبی (B) نزدیک به یک دارد؛ بدین

معنی که پیش‌بینی بارش بدرستی انجام شده و نتایج رضایت‌بخش است. از مقایسه طرحواره‌های مختلف در می‌بایم که دو طرحواره KFMJY و GDMYJ با مقادیر PC بزرگتر از ۰/۸ و B (اریبی) بزرگتر از ۱، نسبت به سایرین از دقت بالاتری برخوردار هستند.

در واکاوی کمیت نسبت هشدارهای نادرست (FAR) دیده می‌شود که به طور نسبی کمتر از ۴۰ درصد موارد پیش‌بینی‌ها نادرست بوده و بیش از ۶۰ درصد موارد نتایج پیش‌بینی پدیده منطبق بر نتایج دیدبانی‌هایی است که پدیده مورد نظر اتفاق افتاده است. آهنگ برخورد (H) مقادیر بیش از ۰/۸ را داراست و برای دو طرحواره مذکور مقادیر بالای ۰/۹ را به خود اختصاص داده است؛ بدین معنی که تعداد پیش‌بینی‌های مثبت درست به تعداد کل دیدبانی‌ها در ۹۰ درصد موارد صحیح است. پس نتایج مدل تحقیقاتی WRF در خصوص بارش ۴۸ ساعته برای آستانه بزرگتر یا مساوی ۰/۱ از دقت قابل قبولی برخوردار است. همچنین راست‌آزمایی برای پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته انجام شده و نتایج نشان می‌دهد که برای دو طرحواره فوق، مدل دارای دقت بسیار خوبی است.

سپس نتایج راست‌آزمایی برای ۱۲۷ ایستگاه ایران با در نظر گرفتن آستانه‌های بارش ارائه شده است. به عبارت دیگر، مهارت مدل برای پیش‌بینی رخداد بارش در آستانه‌های مختلف با طرحواره‌های مختلف برای تمام کشور سنجیده شده است. بدین منظور، چهار آستانه بارش تعریف شده است:

۱- بدون بارش (۰/۱)

۲- بارش کمتر یا مساوی ۱ میلی‌متر (۱ و < ۰/۱)

۳- بارش کمتر یا مساوی ۱۰ و بیشتر از ۱ میلی‌متر (۱۰ و < ۱)

۴- بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر (< ۱۰)

عملیاتی مشابه آنچه که برای راست‌آزمایی پدیده بارش مدل در آستانه مقادیر بزرگتر از یک دهم انجام شد، برای تمامی طرحواره‌های انتخابی انجام گردید که در نهایت به نتایج مشابه منتهی شد. همچنین، در بین چهار بازه تعریف شده، نتایج گویای آن است که مدل برای دو آستانه بدون بارش و بارش‌های بیشتر از ده میلی‌متر از دقت و صحت بالاتری برخوردار است که به عنوان نمونه نتایج طرحواره GDMYJ برای دو پیش‌بینی ۲۴ و ۴۸ ساعته به تفصیل آورده شده است.

جدول ۵ نتایج فرایند راست‌آزمایی را با توجه به این چهار آستانه در پیش‌بینی ۲۴ ساعته نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول دیده می‌شود، تعداد دفعاتی که پدیده رخ نداده و رخداد آن نیز پیش‌بینی نشده است، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. با بررسی امتیازهای مهارتی مشاهده می‌شود که مهارت مدل برای پیش‌بینی عدم بارش و نیز بارش بیش از ۱۰ میلیمتر بیشتر است و براساس نسبت صحیح (PC) به ترتیب در ۸۲ و ۹۴ درصد موارد، پیش‌بینی مدل درست بوده است. کمیت اریبی (B) یعنی مقدار انحراف میانگین پیش‌بینی از میانگین دیدبانی متناظر آنها به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۶۴ و نسبت هشدارهای نادرست (FAR) به ترتیب ۰/۶ و ۰/۵۵ است. این کمیت که برای پیش‌بینی کامل صفر است، نشان می‌دهد که مهارت مدل در پیش‌بینی عدم بارش بسیار بالا بوده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، مدل در پیش‌بینی بارش‌های خیلی کم (۱ و < ۰/۱) موفقیت کمتری داشته است. آهنگ برخورد (H) که مقدار ۰/۳ را دارد، نشان می‌دهد که تنها در ۳۰ درصد کل دیدبانی‌ها، رخداد پدیده درست پیش‌بینی شده است.

جدول ۶، نتایج فرایند راست آزمایی را با توجه به چهار آستانه برای پیش‌بینی ۴۸ ساعته نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول دیده می‌شود، بسامدی که پدیده اتفاق نیفتاده و رخداد آن نیز پیش‌بینی نشده است، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. در این حالت نیز مهارت مدل در پیش‌بینی عدم بارش و بارش بیش از ۱۰ میلیمتر بیشتر است. مشاهده می‌شود که مدل در پیش‌بینی بارش‌های بین یک تا ۱۰ میلیمتر از دقت پایین‌تری برخوردار است و در ۷۲ درصد موارد، درست پیش‌بینی کرده است. اگر چه نسبت صحیح مربوط به بارش‌های کمتر از یک میلیمتر در این مورد بیشتر است، اما با مقایسه دیگر امتیازها می‌توان نتیجه گرفت که در این مورد نیز مانند پیش‌بینی ۲۴ ساعته، مدل در پیش‌بینی بارش‌های کمتر از یک میلیمتر ضعیف‌تر عمل کرده است.

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر نتایج حاصل از راست آزمایی برون‌داد مدل WRF برای پیش‌بینی بارش تجمعی ۲۴ و ۴۸ ساعته مربوط به ۱۲۷ ایستگاه ایران با استفاده از چندین طرحواره ارائه شده است. راست آزمایی با در نظر گرفتن تنها رخداد یا عدم رخداد بارش و نیز با در نظر گرفتن آستانه‌های متفاوت برای بارش انجام و با تشکیل جدول توافقی چند امتیاز آماری محاسبه شده است.

بررسی‌ها نشان داد که در وضعیت رخداد یا عدم رخداد برای دو طرحواره KFMJYJ و GDMYJ نتایج مدل تحقیقاتی WRF در خصوص بارش ۲۴ و ۴۸ ساعته برای آستانه بزرگتر یا مساوی ۰/۱ از دقت قابل قبولی برخوردار است. همچنین، نتایج حاصل از راست آزمایی پیش‌بینی ۲۴ ساعته مدل در این دو طرحواره دارای دقت بسیار خوبی است. برای وضعیت چهار آستانه‌ای و برای دو پیکربندی مذکور، مهارت مدل در پیش‌بینی عدم بارش و بارش‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر در هر دو پیش‌بینی ۲۴ و ۴۸ ساعته زیاد بوده است، اما در پیش‌بینی بارش‌های کم، دقت و صحت مدل کمتر است.

نسبت صحیح (PC) در حالت بارش $< 0/1$ برای کلیه پیکربندی‌ها بجز پیکربندی NOMYJ بیش از ۸۰ درصد و در مورد پیکربندی NOMYJ در ۷۵ درصد موارد، پیش‌بینی رخداد یا عدم رخداد بارش بدرستی انجام شده است. کمیت اریبی (B) در سه پیکربندی که در آن از طرحواره لایه مرزی Mellor-Yamada-Janjic استفاده شده، مقدار عددی بیش از یک را داراست که نشان می‌دهد تعداد روزهایی که پیش‌بینی بارندگی شده بیشتر از مقدار واقعی بوده است، ولی در مورد سه پیکربندی که در آن از طرحواره لایه مرزی MRF scheme استفاده شده است، این کمیت مقداری کمتر از یک را داراست که نشان می‌دهد در این طرحواره تعداد روزهایی که پیش‌بینی بارندگی شده، کمتر از مقدار واقعی بوده است. در واکاوی کمیت نسبت هشدارهای نادرست (FAR) دیده می‌شود که به طور نسبی در کلیه پیکربندی‌ها در کمتر از ۲۵ درصد موارد، پیش‌بینی‌ها نادرست بوده و در بیش از ۷۵ درصد موارد، نتایج پیش‌بینی رخداد پدیده منطبق بر نتایج دیدبانی‌هایی است که پدیده مورد نظر اتفاق افتاده است.

جدول ۳) گزینه‌های انتخاب شده برای فیزیک مدل

WRF Model configuration	Cumulus	Planetary Boundray layer	Microphysic	Long wave radiation	Short wave radiation	Surface layer	Land surface
KFMRF	Kain-Fritsch (new Eta)	MRF	Kessler	RRTM	Dudhia	Monin_Obukhov	NOAH
GDMRF	Grell_Devenyi ensemble	MRF	Kessler	RRTM	Dudhia	Monin_Obukhov	NOAH
BMMRF	Betts_Miller Janjic	MRF	Kessler	RRTM	Dudhia	Monin_Obukhov	NOAH
NOMRF	None	MRF	Kessler	RRTM	Dudhia	Monin_Obukhov	NOAH
GDYSU	Grell-Devenyi ensemble	YSU scheme	Ferrier	RRTM	Goddard	M-O-Janic	NOAH
KFYSU	Kain_Fritsch	YSU scheme	Lin	RRTM	Dudhia	Monin_Obukhov	NOAH
KFMYJ	Kain_Fritsch	Mellor-Yamada-Janjic	Lin	RRTM	Goddard	M-O-Janic	NOAH
NOMYJ	None	Mellor-Yamada-Janjic	Ferrier	RRTM	Goddard	M-O-Janic	NOAH
GDMYJ	Grell-Devenyi ensemble	Mellor-Yamada-Janjic	WSM3	RRTM	Dudhia	Eta similarity	5 layer thermal diffusion

جدول ۴) مقادیر تعریف شده در جدول ۱ و نتایج راست‌آزمایی پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته برای بارش‌های ۰/۱

	a	b	c	d	PC	B	FAR	TS	H	F
۲۴ ساعته	۶۱۴۸	۳۰۲۱	۶۶۹	۱۰۱۹۸	۰/۸۲	۱/۳۴	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۰/۲
۴۸ ساعته	۸۹۶۳	۲۶۷۱	۸۶۱	۵۲۳۹	۰/۸۰	۱/۱۸	۰/۲	۰/۷	۰/۹	۰/۳

جدول ۵) مقادیر تعریف شده در جدول ۲ و نتایج راست‌آزمایی پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته

	PC	B	FAR	TS	H	F
۰/۱	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۰۶	۰/۷۳	۰/۸	۰/۱
۱ و <۰/۱	۰/۷۹	۱/۳۶	۰/۷۷	۰/۱۵	۰/۳	۰/۱
۱۰ و <۱	۰/۸۲	۱/۲۴	۰/۵۲	۰/۳۷	۰/۶	۰/۱
۱۰ <	۰/۹۴	۰/۶۴	۰/۵۵	۰/۳۸	۰/۷	۰/۰۴

جدول ۶) مقادیر تعریف شده در جدول ۲ و نتایج راست‌آزمایی پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعته

	PC	B	FAR	TS	H	F
۰/۱	۰/۸۰	۰/۷۷	۰/۱۴	۰/۵۹	۰/۷	۰/۰۸
۱ و <۰/۱	۰/۷۶	۱/۰۵	۰/۷۴	۰/۱۵	۰/۳	۰/۱
۱۰ و <۱	۰/۷۲	۱/۱۱	۰/۴۸	۰/۳۷	۰/۶	۰/۲
۱۰ <	۰/۸۸	۱/۵۴	۰/۵۲	۰/۴۱	۰/۷	۰/۱

منابع

- ۱) آزادی، مجید، تقی زاده، احسان، معماریان، محمد حسین، (۱۳۸۹). «مقایسه پیش بینی بارش دو مدل منطقه ای بر روی ایران WRF و MM5»، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران: تهران، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- ۲) آزادی، مجید، کلاته سیفری، زهرا، جعفری، سمیه. (۱۳۸۸). ارزیابی عملکرد مدل WRF در ایران برای پیش بینی بارش با استفاده از طرحواره های فیزیکی مختلف: مطالعه موردی، دوازدهمین کنفرانس دینامیک شارها، تهران: انجمن فیزیک ایران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.
- ۳) آزادی، مجید، قاضی میرسعید، سیده مژگان، جعفری، سمیه. (۱۳۸۸). ارزیابی عملکرد مدل WRF برای پیش بینی بارش بر روی ایران به مدت یکماه، دوازدهمین کنفرانس دینامیک شارها، تهران - انجمن فیزیک ایران: دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.
- 4) Michalakes, J., S. Chen, J. Dudhia, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff, and W. Skamarock, "Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model.", Developments in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore., pp 269-276, 2001.
- 5) Skamarock, W. C., J. B. Klemp, and J. Dudhia, "Prototypes for the WRF (Weather Research and Forecasting) Model." Preprints, Ninth Conf. on Mesoscale Processes, Fort Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc., J11-J15, 2001.
- 6) Souleymane F., D. Niyogi, U. C. Mohanty, "Application of weather prediction models for hazard mitigation planning: a case study of heavy off-season rains in Senegal", Springer Science+Business Media B.V. 2002.
- 7) Shing Y., "Verification of WRF Forecast over Northeastern United States", Department of Geology & Meteorology, Kean University, Union 07083, 2005.
- 8) Sukhumvit Rd., "Microphysics Schemes Simulation of Heavy Rain falls in the Low Pressure Trough passed the North of Thailand", Thai Meteorological Department, 2006.
- 9) Muller, R.H., "Verification of short-range weather forecasts (a survey of the literature)". Bull.Am.Meteoroi.SOC.,25,18-27,47-53,88-95
- 10) Stansky, I.R. Wilson, I. j. and Burrows, W.R. (1989). Survey of common verification methods in Meteorology World Weather Watch Technical Report No.8. World Meteorological Organization, Geneva.
- 11) Kamol Promasakha na Sakolnakhon, Microphysics Schemes Simulation of Heavy Rainfalls in low Pressure Trough passed the North of Thailand. 4353 Numerical Weather Prediction (NWP), Thai Meteorological Department, Sukhumvit Rd., Bangna, Bangkok, Thailand, 10260.
- 12) W. A. Gallus, Jr. and M. Pfeifer. Intercomparison of simulations using 5WRF microphysical scheme with dual-Polarization data for a German squall line. Adv. Geosci., 16, 109-116, 2008.