مجله علمی و ترویجی نیوار، دوره ۴۳، شماره ۱۰۵-۱۰۴، بهار و تابستان ۱۳۹۸ (دو فصلنامه) DOI: 10.30467/NIVAR.2019.87087

شبیه‌سازی رویدادهای بارش حدی همراه با بی‌هنجاری سرد در منطقه تهران

سکینه خان‌سالاری*[۱]، علیرضا محب‌الحجه[۲]، فرهنگ احمدی گیوی[۳]

۱- استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو
۲- استاد، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران
۳- دانشیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

(دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۶، بازنگری: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶، پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۱، انتشار آنلاین: ۱۳۹۸/۰۱/۰۱)

چکیده

با توجه به موقعیّت مهّم اقتصادی و سیاسی تهران، هدف اصلی این پژوهش سعی در بهبود شبیه‌سازی بارش‌های متوسط و سنگین همراه با بی‌هنجاری سرد دمایی در این منطقه است. چون لازم است تا روزهای دارای بارش حدی همراه با بی‌هنجاری سرد دمایی در یک بازه زمانی مناسب شناسایی شود، از نتایج مطالعه خان-سالاری و همکاران در سال ۲۰۱۷ در این بررسی استفاده شده است. در مطالعه ذکر شده با استفاده از روش‌های آماری ۱۳۳ مورد بارش فرین سرد در ماه‌های اکتبر تا مه سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۳ استخراج شده و سپس با کاربست روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایه T، شش خوشه از الگوهای همدیدی به‌دست آمده است. از آنجا که در مطالعه حاضر شبیه‌سازی همهٔ این موارد با پیکربندی‌های فیزیکی مختلف، کاری زمان‌بر و دشوار بوده و همچنین پیکربندی مدل وابسته به فصل، منطقه جغرافیایی مورد مطالعه و نوع سامانه جوّی است، از هر خوشه یک روز به‌عنوان نمایندهٔ فرین که بیشترین شباهت را با الگوی میانگین خوشه داشتند، برای شبیه-سازی انتخاب شد. برای شبیه‌سازی از مدل میان‌مقیاس WRF و داده‌های ERA-Interim استفاده شده است. مدل فوق با استفاده از نُه پیکربندی متفاوت، شامل چهار طرحواره همرفتی، دو طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای، سه طرحواره خُردفیزیک، یک طرحواره لایه سطحی و دو طرحواره تابش موج کوتاه اجرا شد تا پیکربندی مناسب به‌دست آید. برای درستی‌سنجی، علاوه بر مقایسه کیفی و ظاهری، داده‌های منظم پیش‌بینیِ شبکه مدل به نقاط نامنظم ایستگاه‌های دیدبانی درون‌یابی شدند و با استفاده از کمّیّت‌های مختلف، کارایی پیکربندی‌های متفاوت در پیش‌بینی کمّی بارش با آستانه‌های متفاوت مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که در تمام محدوده‌های بارشی به طور یکسان طرحواره همرفت Tiedtke و طرحواره لایه مرزی Mellor-Yamada- Janjic در مقایسه با سایر طرحواره‌ها از دقت بیشتری برخوردار بوده‌اند.

کلمات کلیدی: بارش سنگین، مدل میان‌مقیاس WRF، درستی سنجی، تحلیل مؤلفه اصلی با آرایه T، تهران

مقدمه

پیش‌بینی هر چه صحیح‌ترِ بارش از عوامل مهم و موثر در مدیریت آب و انواع طرح‌های وابسته به آن است. رویدادهای بارش سنگین اغلب باعث به‌وجود آمدن مخاطرات طبیعی برای انسان‌ها و زیرساخت‌ها می‌شوند. درنتیجه عدم پیش‌بینی چنین رویدادهایی افزایش خطر به‌دلیل عدم آگاهی سازمان مدیریت بحران و سایر سازمان‌های درگیر را در پی دارد. عوامل مختلفی از جمله فصل، منطقه جغرافیایی مورد مطالعه و نوع سامانه جوّی در انتخاب طرحواره‌های مناسب‌تر برای پیش‌بینیِ بهتر در شبیه‌سازی‌ها موثر است. مدل WRF طرحواره‌های متعدّدی برای بخش‌های فیزیکی شامل لایه مرزی، همرفت، خُردفیزیک، لایه سطحی، تابش طول‌موج بلند و تابش طول‌موج کوتاه دارد که هر یک از این طرحواره‌ها از فرمول‌بندی مختلف همراه با فرض‌ها و تقریب‌ها و روش‌های متفاوت برای فراسنج‌سازی فرآیندهای فیزیکی جوّ استفاده می‌کنند. بنابراین انتظار می‌رود که تغییر طرحواره‌های فیزیکی به‌کار رفته در مدل تأثیر قابل توجه در پیش‌بینی‌های مدل، به‌ویژه کمّیّت بارش داشته باشد. با توجه به نتایج پژوهش‌های مختلف در خصوص تعیین مناسب‌ترین پیکربندی مدل

* نگارنده رابط: khansalari@ut.ac.ir

عددی برای پیش‌بینی بهترِ بارش می‌توان با انتخابِ مناسب طرحواره‌های همرفتی و لایه مرزی مقدار بارش را بهتر پیش‌بینی کرد([۱] و [۲]) و با انتخاب صحیحِ طرحواره خُردفیزیک نحوه توزیع بارش را با دقت بیشتر تخمین زد [۲]. بنابراین منطقی است که در تعیین بهترین پیکربندی در این پژوهش به منظور پیش‌بینی مناسب‌ترِ بارش، به بررسی اختلاف نتایج در پیکربندی‌های مختلف مدل، عمدتاً ناشی از طرحواره‌های همرفتی، لایه مرزی و خُرد فیزیک پرداخته شود.

روش تحقیق

بر اساس موضوع مطالعه حاضر در شروع کار لازم است روزهای همراه با بارش فرین و بی‌هنجاری سرد دمایی در یک بازه زمانی شناسایی شود. بر این اساس از نتایج مطالعه خان‌سالاری و همکاران [۵] که به شناسایی الگوهای همدیدی منجر به بارش فرینِ سرد در منطقه تهران در دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۵۱پرداخته، استفاده شده است. در این مطالعه [۵] ابتدا روزهای شامل بارش‌های فرین همراه با بی‌هنجاری سرد دمایی در منطقه تهران با استفاده از داده‌های بارش روزانه زمستان گسترده ایستگاه مهرآباد در دوره ۲۰۱۳-۱۹۵۱ شناسایی شده است. بر اساس روش به‌کار رفته در این پژوهش تعداد ۱۳۳ رویداد بارشی متوسط تا سنگین همراه با بی‌هنجاری سرد دمایی برای منطقه شناسایی شده است. بنابراین در مطالعه حاضر لازم است از اطلاعات این ۱۳۳ روز استفاده شود. با توجه به این مطلب که شبیه‌سازی این تعداد روز با پیکربندی‌های فیزیکی مختلف، کاری زمان‌بر و دشوار است، بر اساس نتایج مطالعه خان‌سالاری و همکاران [۵] که با کاربست روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایه T بر روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی روزهای یاد شده ([۳] و [۴])، شش خوشه از الگوهای همدیدی شامل این ۱۳۳ روز به‌دست آمده است، از هر خوشه دو روز به‌عنوان نمایندهٔ فرین که بیشترین و کمترین شباهت را با الگوی میانگین آن خوشه داشتند، برای شبیه‌سازی انتخاب شد. به‌طورکلی در تمام الگوهای حاصل (شکل آورده نشده است)، یک پرفشار در عرض‌های بالاتر و یک کم‌فشار در عرض‌های پایین‌ترِ منطقهٔ مورد بررسی و با شدت‌های متفاوت مستقر بوده و بر روی کشور ایران شیو (گرادیان) فشار بزرگی حاکم است. همچنین در تمام الگوها، در میانه وردسپهر ناوه‌ای روی غرب ایران یا مجاورت آن با راستاها و گستردگی‌های مختلف همراه با مقادیر بزرگ تاوایی نسبی مثبت قرار دارد و در وردسپهر زیرین هم، منطقه جبهه‌ای قوی همراه با انتقال چشمگیر رطوبت حاکم است. بر اساس نتایج کاربست روش جداسازی عامل‌ها سهم مستقلِّ عاملِ کشانهٔ تاوایی پتانسیلی[۱] در وقوع بارشِ هریک از روزهای منتخب خوشه‌های دوّم تا ششم بیش از ۶۰ درصد به‌دست آمد. بدین‌ترتیب، سازوکار اصلی بارش عمدتاً از عوامل ترازهای زبَرین وردسپهر و نفوذ توده هوای سرد و خشک پوشن‌سپهری ناشی شده و عوامل ترمودینامیکی سطوح زیرین سهم کمتری داشته‌اند. برای روزهای منتخبِ یاد شده، با مدل میان‌مقیاس WRF و استفاده از داده‌های ERA-Interim و کاربست نُه پیکربندی متفاوت، شامل چهار طرحواره همرفتی، دو طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای، سه طرحواره خُردفیزیک، یک طرحواره لایه سطحی و دو طرحواره تابش موج کوتاه (جدول ۱) شبیه‌سازی‌های لازم انجام گرفت تا پیکربندی مناسب به‌دست آید. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از سه حوزه تودرتو به‌ترتیب دارای تفکیک افقی ۴۵، ۱۵ و ۵ کیلومتر که داخلی‌ترین حوزه اجرای مدل در محدوده ۳۸/۷-۳۳/۷ درجه شمالی و ۵۹/۵-۴۵/۴ درجه شرقی قرار دارد، انجام شد. برای درستی‌سنجی، علاوه بر مقایسه ظاهری (نمونه‌ای از آن برای عضو منتخبِ خوشه پنجم در شکل ۱ آورده شده است) که لازم است مقدار بارش و الگوی آن در خروجی مدل (برای مثال شکل ۱الف) و ایستگاه‌های دیدبانی (برای مثال شکل ۱ب) مطابقت داشته باشند، داده‌های منظم پیش‌بینیِ شبکه مدل به نقاط نامنظم ایستگاه‌های دیدبانی با استفاده از نرم‌افزار پس‌پردازشی UPP با دقت ۰/۱ درجه درون‌یابی شدند. سپس با استفاده از کمیت‌های مختلفِ نسبت صحیح (PC)، امتیاز تهدید (TS)، اریبی (B)، آهنگ برخورد (H)، آهنگ هشدار نادرست (F)، و هم‌چنین دو امتیاز مهارتی گیلبرت (GSS) و

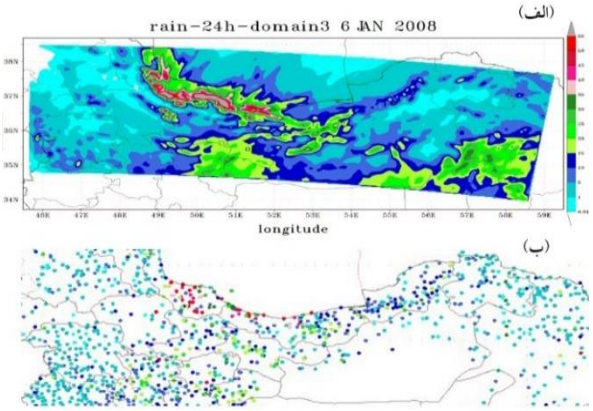
پیرس(PSS)، کارایی پیکربندی‌های متفاوت در پیش‌بینی کمّی بارش با آستانه‌های متفاوت بررسی شد. این کمیت‌ها براساس جدول توافقی برای سه بازه بارشی با درنظر گرفتن اقلیم منطقه تهران به‌ترتیب ۵-۱ (بارش سبک)، ۱۰-۵ (بارش متوسط) و بیش از ۱۰ میلی‌متر (بارش متوسط تا سنگین) محاسبه شدند. طبق مقادیر محاسبه شدهٔ کمیت‌های درستی-سنجی و مقایسهٔ ظاهری میدان بارشِ دیدبانی و برونداد مدل، نتایج حاکی از آن است که در محدوده‌های بارشی متوسط و سنگین، به‌طور یکسان طرحواره همرفتی Tiedtke و طرحواره لایه مرزی Mellor-Yamada- Janjic در مقایسه با سایر طرحواره‌ها از دقت بالاتری برخوردارند و طرحواره خُرد فیزیک Lin نحوه توزیع بارش را بهتر نشان می‌دهد. لازم به ذکر است در محدوده بارشیِ سبک، علاوه بر طرحواره همرفتی Tiedtke، طرحواره Kain-Fritsch نیز مناسب است. برای اختصار تنها نتایج مربوط به آستانه بارشی بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- پیکربندی‌های مختلف مورد استفاده در اجرای مدل WRF

طرحواره ها	همرفت	لایه مرزی	لایه سطحی	پوشش سطحی	خُرد فیزیک	تابش موج کوتاه وبلند
1	Tiedtke 6	MYJ 2	MOJ(2)	Unified Noah 2	Lin 2	Goddard/rrtm(2/1)
2	KF 1	MYJ	MOJ	Unified Noah	Lin	Goddard/rrtm(2/1)
3	BMJ 2	MYJ	MOJ	Unified Noah	Lin	Dudhia/rrtm(1/1)
4	GD Ensemble 3	MYJ	MOJ	Unified Noah	Lin	Dudhia/rrtm
5	Tiedtke 6	MYJ	MOJ	Unified Noah	Lin	Dudhia/rrtm
6	KF	YSU 1	MM5 1	Unified Noah	WSM5-Class 4	Dudhia/rrtm
7	Tiedtke 6	MYJ	MOJ	Unified Noah	Kessler 1	Dudhia/rrtm
8	KF	MYJ	MOJ	RUC 3	Kessler	Dudhia/rrtm
9	GD Ensemble	MYJ	MOJ	Unified Noah	Kessler	Dudhia/rrtm

جدول ۲- کمیت‌های درستی‌سنجی با آستانه بارشی بیشتر از ۱۰ میلی‌متر برای نُه پیکربندی. a تعداد دفعاتی که پدیده رخ داده و وقوع آن پیش‌بینی شده، b تعداد دفعاتی که پدیده رخ نداده ولی وقوع آن پیش‌بینی شده، c تعداد دفعاتی که پدیده رخ داده ولی وقوع آن پیش‌بینی نشده و d تعداد دفعاتی که پدیده رخ نداده و وقوع آن نیز پیش‌بینی نشده است.

پیکربندی	a	b	c	d	PC	TS	B	H	F	GSS	PSS
۱	۰/۱۵	۰/۶	۰/۶	۰/۱۳	۰/۷	۰/۵۵	۱	۰/۷۱	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۲۹
۲	۰/۱۵	۰/۹	۰/۷	۰/۹	۰/۶	۰/۴۸	۱/۰۹	۰/۶۸	۰/۵	۰/۱	۰/۱۸
۳	۰/۱۵	۰/۹	۰/۷	۰/۹	۰/۶	۰/۴۸	۱/۰۹	۰/۶۸	۰/۵	۰/۱	۰/۱۸
۴	۰/۱۵	۰/۹	۰/۷	۰/۹	۰/۶	۰/۴۸	۱/۰۹	۰/۶۸	۰/۵	۰/۱	۰/۱۸
۵	۰/۱۵	۰/۶	۰/۶	۰/۱۳	۰/۷	۰/۵۵	۱	۰/۷۱	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۲۹
۶	۰/۱۲	۰/۶	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۶	۰/۴۳	۰/۸۲	۰/۵۵	۰/۳۳	۰/۱۲	۰/۲۱
۷	۰/۱۲	۰/۶	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۶	۰/۴۳	۰/۸۲	۰/۵۵	۰/۳۳	۰/۱۲	۰/۲۱
۸	۰/۱۵	۰/۶	۰/۷	۰/۱۲	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۳۵
۹	۰/۱۵	۰/۶	۰/۷	۰/۱۲	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۳۵



شکل ۱- مقادیر بارش روزانه شبیه‌سازی شده (الف) و دیدبانی در ایستگاه‌های همدید، باران‌سنجی و اقلیم شناسی (ب)، (روز منتخب خوشه پنجم، ۲۰۰۸/۱/۶).

نتیجه‌گیری

توانایی پیش‌بینی صحیحِ "زمان" و "مکانِ" وقوعِ پدیده‌های جوّی فرین برای سازمان‌های هشدار سریع کشورهای مختلف بسیار مهم و حیاتی است. در این پژوهش در بازه زمانی ۶۳ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۳) و در فصل زمستان گسترده (اکتبر تا مِه) با استفاده از روش‌های آماری ۱۳۳ مورد بارش فرین همراه با بی‌هنجاری سرد در منطقه تهران استخراج شد. سپس با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایه T، شش الگوی گردش جوّی پدیدآورنده بارش‌های مهمِ تهران در فصل زمستان گسترده به‌دست آمد. با توجه به راستای موج کژفشار و موقعیت آن نسبت به جت، حالت‌های مختلفی از کج‌شدگی ناوه در وردسپهر از کج‌شدگی در راستای شمال-شرق- جنوب‌غرب در خوشه‌های اول، سوم و پنجم، بدون کج‌شدگی در خوشه دوم و چهارم تا کج‌شدگی در راستای

شمال‌غرب- جنوب‌شرق در خوشه ششم مشاهده شد. در مجموع، کج‌شدگی غالب مربوط به راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب متناظر با شکست واچرخندی موج راسبی[۶]، انتقال شمال‌سوی تکانه و انتشار جنوب‌سوی موج است. همچنین بر اساس روش جداسازی عامل‌ها سهم مستقلِ عاملِ کشانهٔ تاوایی پتانسیلی در وقوع بارشِ هریک از روزهای منتخب خوشه‌های دوّم تا ششم بیش از ۶۰ درصد به‌دست آمد. بدین‌ترتیب، سازوکار اصلی بارش نفوذ هوای سرد و خشک پوشن‌سپهری با بی‌هنجاری مثبت تاوایی پتانسیلی بوده و عوامل ترمودینامیکی سطوح زیرین سهم کمتری داشته‌اند. شبیه‌سازی همهٔ این ۱۳۳ روز با پیکربندی‌های فیزیکی مختلف، کاری زمان‌بر و دشوار است. بنابراین برای یافتن مناسب‌ترین پیکربندی در شبیه‌سازی بهتر سامانه‌های جوّی مختلفِ منجر به بارش فرین همراه با بی‌هنجاری سرد در منطقه تهران با مدل پیش‌بینی عددی WRF، از هر خوشه دو روز به‌عنوان نمایندهٔ فرین که بیشترین و کمترین شباهت را با الگوی میانگین آن گروه همدیدی داشتند، انتخاب شد. در بررسی چشمی و مقایسه کمیت‌های درستی‌سنجی بارشِ خروجی مدل و بارشِ دیدبانی شده در ایستگاه‌های همدیدی، باران‌سنجی و اقلیم شناسی، نتایج حاکی از آن است که در مورد بارش‌های در محدوده ۱۰-۵ میلی‌متر و بارش‌های سنگین بیشتر از ۱۰ میلی‌متر طرحواره همرفتی Tiedtke و طرحواره لایه مرزی Mellor-Yamada- Janjic در مقایسه با سایر طرحواره‌ها مقادیر بارش را بهتر نشان می‌دهد و همچنین طرحواره خُردفیزیک Lin در مقایسه با سایر طرحواره‌های مورد بررسی در تعیین توزیع بارش از دقت بیشتری برخوردار است.

منابع

1- Argüeso, D., J. M. Hidalgo-Muñoz, S. R. Gámiz-Fortis, M. J. Esteban-Parra, J. Dudhia and Y. Castro-Diez, 2011, Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization, J. Clim., 24: 5633–5651.

2- Chawla, I., K. K. Osuri, P. P. Mujumdar and D. Niyogi, 2018, Assessment of the Weather Research and Forecasting (WRF) model for simulation of extreme rainfall events in the upper Ganga Basin, Hydrology and Earth System Sciences, *22*(2), 1095-1117.

3- Huth, R., 1996, An inter comparison of computer-assisted circulation classification methods, Int. J. Climatol., 16: 893- 922.

4- Huth, R., C. Beck, A. Philipp, M. Demuzere, Z. Ustrnul, J. Kyselý and O. E. Tveito, 2008, Classifications of atmospheric circulation patterns: Recent advances and applications, Trends and Directions in Climate Research, Ann. N.Y. Acad. Sci., 1146: 105–152.

5- Khansalari, S., T. Raziei, A. R. Mohebalhojeh and F. Ahmadi-Givi, 2017, Moderate to heavy cold-weather precipitation occurrences in Tehran and the associated circulation types, Theoretical and Applied Climatology, 131(3-4): 985-1003.

6- Thorncroft, C. D., B. J. Hoskins and M. E. McIntyre, 1993, Two paradigms of baroclinic-wave life-cycle behavior, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 119: 17–56.

Simulation of Extreme Precipitation Events Accompanied with Cold Anomaly over Tehran Area

S. Khansalari[*1], A. R. Mohebalhojeh[2], F. Ahmadi Givi[3]

1- Assistant Professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran
3- Associate Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 07 Aug 2018, Revised: 17 Nov 2018, Accepted: 31 Jan 2019, Published online: 21 Mar 2019)

Abstract:

The main purpose of this research is to improve the simulation of moderate and heavy precipitation events associated with cold anomaly in Tehran. To detect extreme precipitation events along with cold anomaly in Tehran in a sufficiently long period, the results of Khansalari et al. in the study carried out in 2017 are used. In the latter study, using statistical methods, 133 days with extreme precipitation along with cold anomaly in October to May in the 1951–2013 period were identified based on which six clusters of synoptic patterns were obtained by application of the T-mode principle component analysis to the whole dataset of 133 days. In the present study, from each cluster, one day with maximum similarity with the average pattern of the cluster was selected for numerical simulation by WRF model using the ERA-Interim data. To reach the optimal prediction of extreme precipitation events in Tehran by WRF, nine configurations consisting of four convections, two boundary-layers, three microphysics, and two short waves radiation schemes, as well as one surface-layer scheme were used. For verification, in addition to visual comparison, the forecasted data of model regular network were interpolated to irregular observation stations. Then using various verification indices, the performance of different configurations in predicting rainfall was assessed quantitatively with different thresholds. Results showed that across all the ranges of rainfall, the Tiedtke convection scheme and Mellor-Yamada-Janjic boundary-layer scheme lead to greater accuracy and better prediction of precipitation. It should also be noted that for light precipitation events, in addition to the Tiedtke convection scheme, the Kain-Fritsch scheme is also suitable.

Keywords: Heavy precipitation, WRF mesoscale model, Verification, T-mode principle component analysis, Tehran.

[*] Corresponding author:
Email Address: khansalari@yahoo.com