

## شبیه‌سازی رویدادهای بارش حدی همراه با بی‌هنجاری سرد در منطقه تهران

سکینه خان‌سالاری\*<sup>۱</sup>، علیرضا محب‌الحجه<sup>۲</sup> و فرهنگ احمدی گیوی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، پژوهشکده هواشناسی

۲- استاد، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۳- دانشیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۱۶، تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۲۶)

## چکیده

با توجه به موقعیت مهم 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. با توجه به این مطلب که لازم است تا روزهای دارای بارش حدی همراه با بی‌هنجاری سرد دمایی در یک بازه زمانی مناسب شناسایی شود، از نتایج مطالعه خان‌سالاری 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 است و سپس با کاربست روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایه T، شش خوشه از الگوهای همدیدی به دست آمده است. از آنجا که در مطالعه حاضر شبیه‌سازی همه 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 جوی است، از هر خوشه یک روز به‌عنوان نماینده فرین که بیشترین شباهت را با الگوی میانگین خوشه داشتند، برای شبیه‌سازی انتخاب شد. برای شبیه‌سازی با مدل میان‌مقیاس WRF، از داده‌های ERA-Interim استفاده شده است. مدل فوق با استفاده از نه پیکربندی متفاوت، شامل چهار طرحواره همرفتی، دو طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای، سه طرحواره خردفیزیک، یک طرحواره لایه سطحی و دو طرحواره تابش موج کوتاه اجرا شده تا پیکربندی مناسب به دست آید. برای درستی سنجی، علاوه بر مقایسه ظاهری، داده‌های منظم پیش‌بینی شبکه مدل، به نقاط نامنظم ایستگاه‌های دیدبانی درون‌یابی شدند و با استفاده از کمیتهای مختلف، کارایی پیکربندی‌های متفاوت در پیش‌بینی کمی بارش با آستانه‌های متفاوت مقایسه شد. نتایج حاکی از آن است که در تمام محدوده‌های بارشی به‌طور یکسان طرحواره همرفتی Tiedtke و طرحواره لایه مرزی Mellor-Yamada- Janjic در مقایسه با سایر طرحواره‌ها از دقت بالاتری برخوردارند.

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

## ۱- مقدمه

دارد که هر یک از این طرحواره‌ها از فرمول‌بندی مختلف همراه با فرض‌ها و تقریب‌ها و روش‌های متفاوت برای پارامترسازی فرآیندهای فیزیکی جو استفاده می‌کنند. بنابراین انتظار می‌رود که تغییر طرحواره‌های فیزیکی به کار رفته در مدل تأثیر قابل توجهی در پیش‌بینی‌های مدل، به‌ویژه کمیتهای بارش، داشته باشد. با توجه به نتایج پژوهش‌های مختلف در خصوص تعیین مناسب‌ترین پیکربندی مدل عددی برای پیش‌بینی بهتر بارش می‌توان با انتخاب مناسب طرحواره‌های همرفتی و لایه مرزی مقدار بارش را بهتر پیش‌بینی نمود ([۱] و [۲]) و با انتخاب صحیح طرحواره خردفیزیک نحوه توزیع بارش را با دقت بیشتر تخمین زد [۲]. بنابراین منطقی است که در تعیین بهترین پیکربندی در این پژوهش به منظور پیش‌بینی مناسب‌تر بارش، به بررسی اختلاف نتایج در پیکربندی‌های

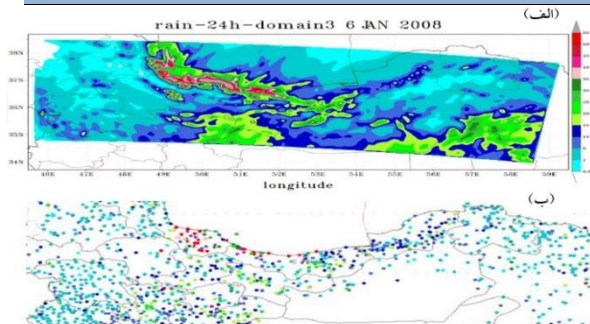
پیش‌بینی هر چه صحیح‌تر بارش از عوامل مهم و موثر در مدیریت آب و انواع طرح‌های وابسته به آن است. رویدادهای بارش سنگین اغلب باعث به‌وجود آمدن مخاطرات طبیعی برای انسان‌ها و زیرساخت‌ها می‌شوند. در نتیجه، عدم پیش‌بینی چنین رویدادهایی افزایش خطر به دلیل عدم آگاهی سازمان مدیریت بحران و سایر سازمان‌های درگیر را در پی دارد. عوامل مختلفی از جمله فصل، منطقه جغرافیایی مورد مطالعه و نوع سامانه جوی در انتخاب طرحواره‌های مناسب‌تر برای پیش‌بینی بهتر در شبیه‌سازی‌ها موثر است. مدل WRF طرحواره‌های متعددی برای بخش‌های فیزیکی شامل لایه مرزی، همرفت، خردفیزیک، لایه سطحی، تابش طول‌موج بلند و تابش طول‌موج کوتاه

جداسازی عامل‌ها سهم مستقل عامل کسانه‌تاوایی پتانسیلی (PV streamer) در وقوع بارش هریک از روزهای منتخب خوشه‌های دوم تا ششم بیش از ۶۰ درصد به دست آمد. بدین ترتیب، سازوکار اصلی بارش عمدتاً از عوامل ترازهای زیرین وردسپهر و نفوذ توده هوای سرد و خشک پوشن سپهری ناشی شده و عوامل ترمودینامیکی سطوح زیرین سهم کمتری داشته‌اند. برای روزهای منتخب یاد شده، با مدل میان‌مقیاس WRF و استفاده از داده‌های ERA-Interim و کاربست نه پیکربندی متفاوت، شامل چهار طرحواره همرفتی، دو طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای، سه طرحواره خردفیزیک، یک طرحواره لایه سطحی و دو طرحواره تابش موج کوتاه (جدول ۱) شبیه‌سازی‌های لازم انجام گرفت تا پیکربندی مناسب به دست آید. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از سه حوزه تودرتو به ترتیب دارای تفکیک افقی ۴۵، ۱۵ و ۵ کیلومتر که داخلی‌ترین حوزه اجرای مدل در محدوده ۳۸/۷-۳۳/۷ درجه شمالی و ۴۵/۴-۵۹/۵ درجه شرقی قرار دارد، انجام شد. برای درستی‌سنجی، علاوه بر مقایسه ظاهری (نمونه‌ای از آن برای عضو منتخب خوشه پنجم در شکل ۱ آورده شده است) که لازم است مقدار بارش و الگوی آن در خروجی مدل (برای مثال شکل الف) و ایستگاه‌های دیدبانی (برای مثال شکل اب) مطابقت داشته باشند، داده‌های منظم پیش‌بینی شبکه مدل به نقاط نامنظم ایستگاه‌های دیدبانی با استفاده از نرم‌افزار پس‌پردازشی UPP با دقت ۰/۱ درجه درون‌یابی شدند. سپس با استفاده از کمیته‌های مختلف 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 کمی بارش با آستانه‌های متفاوت بررسی شد. این کمیته‌ها براساس جدول توافقی برای سه بازه بارشی با در نظر گرفتن اقلیم منطقه تهران به ترتیب ۵-۱ (بارش سبک)، ۱۰-۵ (بارش متوسط) و بیش از ۱۰ میلی‌متر (بارش متوسط تا سنگین) محاسبه شدند. طبق مقادیر محاسبه شده کمیته‌های درستی-سنجی و مقایسه ظاهری میدان بارش دیدبانی و خروجی مدل، نتایج حاکی از آن است که در محدوده‌های بارشی متوسط و

مختلف مدل، عمدتاً ناشی از طرحواره‌های همرفتی، لایه مرزی و خرد فیزیک پرداخته شود.

## ۲- 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 فرین سرد در منطقه تهران در دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۵۱ پرداخته شده، 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 به کار 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 گردد. با توجه به این مطلب که شبیه‌سازی این تعداد روز با پیکربندی‌های فیزیکی مختلف، کاری زمان-بر 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 به دست آمده است، از هر خوشه دو روز به عنوان نماینده فرین که بیشترین و کمترین شباهت را با الگوی میانگین آن خوشه داشتند، برای شبیه‌سازی انتخاب شد. به‌طور کلی در تمام الگوهای حاصل (شکل آورده نشده است)، یک پرفشار در عرض‌های بالاتر و یک کم‌فشار در عرض‌های پایین‌تر منطقه 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 ناوای بر 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



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

### ۳- نتیجه‌گیری

توانایی پیش‌بینی صحیح "زمان" و "مکان" وقوع پدیده‌های جوئی 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 مه) با استفاده از روش‌های آماری ۱۳۳ مورد بارش فرین همراه با بی‌هنجاری سرد در منطقه تهران استخراج گردید. سپس با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی با آرایه T، شش الگوی گردش جوئی پدیدآورنده بارش‌های مهم تهران در فصل زمستان گسترده به دست آمد. با توجه به راستای موج کژ فشار 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 و اچرخندی موج راسبی [۶]، انتقال شمال‌سوی تکانه و انتشار جنوب‌سوی موج است. همچنین بر اساس روش جداسازی عامل‌ها سهم مستقل عامل کسانه تاوایی پتانسیلی در وقوع بارش هریک از روزهای منتخب خوشه‌های دوم تا ششم بیش از ۶۰ درصد به دست آمد. بدین ترتیب، سازوکار اصلی بارش نفوذ هوای سرد و خشک پوشن سپهری با بی‌هنجاری مثبت تاوایی پتانسیلی بوده و عوامل ترمودینامیکی سطوح زیرین سهم کمتری داشته‌اند. شبیه‌سازی همه این ۱۳۳ روز با پیکربندی‌های فیزیکی مختلف، کاری زمان‌بر و دشوار است. بنابراین برای یافتن

سنگین، به‌طور یکسان طرحواره همرفتی Tiedtke و طرحواره لایه مرزی Mellor-Yamada- Janjic در مقایسه با سایر طرحواره‌ها از دقت بالاتری برخوردارند و طرحواره خرد فیزیک Lin نحوه توزیع بارش را بهتر نشان می‌دهد. لازم به ذکر است در محدوده بارشی 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

ردیف طرحواره‌ها	همرفتی	لایه مرزی	لایه سطحی	پوشش سطحی	خرد فیزیک	تابش موج کوتاه و بلند
1	Tiedtke(6)	MYJ(2)	MOJ(2)	Unified(2) Noah	Lin(2)	Goddard/rtrtm(2/1)
2	KF(1)	MYJ	MOJ	Unified Noah	Lin	Dudhia/rtrtm(1/1)
3	BMJ(2)	MYJ	MOJ	Unified Noah	Lin	Dudhia/rtrtm
4	GD Ensemble(3)	MYJ	MOJ	Unified Noah	Lin	Dudhia/rtrtm
5	Tiedtke	MYJ	MOJ	Unified Noah	Lin	Dudhia/rtrtm
6	KF	YSU(1)	MM5 MO(1)	Unified Noah	WSM 5-Class(4)	Dudhia/rtrtm
7	Tiedtke	MYJ	MOJ	Unified Noah	Kessler(1)	Dudhia/rtrtm
8	KF	MYJ	MOJ	RUC(3)	Kessler	Dudhia/rtrtm
9	GD Ensemble	MYJ	MOJ	Unified Noah	Kessler	Dudhia/rtrtm

جدول ۲- کمیت‌های درستی سنجی با آستانه بارشی بیشتر از ۱۰ میلی‌متر برای نه 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	۱۵	۶	۶	۱۳	۰/۷	۰/۵۵	۱	۰/۷۱	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۳۹
۲	۱۵	۹	۷	۹	۰/۶	۰/۴۸	۱/۰۹	۰/۶۸	۰/۵	۰/۱	۰/۱۸
۳	۱۵	۹	۷	۹	۰/۶	۰/۴۸	۱/۰۹	۰/۶۸	۰/۵	۰/۱	۰/۱۸
۴	۱۵	۹	۷	۹	۰/۶	۰/۴۸	۱/۰۹	۰/۶۸	۰/۵	۰/۱	۰/۱۸
۵	۱۵	۶	۶	۱۳	۰/۷	۰/۵۵	۱	۰/۷۱	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۳۹
۶	۱۲	۶	۱۰	۱۲	۰/۶	۰/۴۳	۰/۸۲	۰/۵۵	۰/۳۳	۰/۱۲	۰/۲۱
۷	۱۲	۶	۱۰	۱۲	۰/۶	۰/۴۳	۰/۸۲	۰/۵۵	۰/۳۳	۰/۱۲	۰/۲۱
۸	۱۵	۶	۷	۱۲	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۳۵
۹	۱۵	۶	۷	۱۲	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۳۵

Spain using a multistep regionalization. *J. Clim.*, 24:5633–5651. doi:10.1175/JCLI-D-1100073.1 .

2- Chawla, I., Osuri, K. K., Mujumdar, P. P., and Niyogi, D., 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., Beck, C., Philipp, A., Demuzere, M., Ustrnul, Z., Cahynová, Kyselý J., and Tveito, O. E., 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., Razi, T., Mohebalhojeh, A. R., and Ahmadi-Givi, F., 2017, Moderate to heavy cold-weather precipitation occurrences in Tehran and the associated circulation types. *Theoretical and Applied Climatology*, 131(3-4), 985-1003. doi:10.1007/s00704-016-2026-0.

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

مناسب‌ترین پیکربندی در شبیه‌سازی بهتر سامانه‌های جوئی مختلف منجر به بارش فرین همراه با بی‌هنجاری سرد در منطقه تهران با مدل پیش‌بینی عددی WRF، از هر خوشه دو روز به‌عنوان نماینده فرین که بیشترین و کمترین شباهت را با الگوی میانگین آن گروه همدیدی داشتند، انتخاب شد. در بررسی چشمی و مقایسه کمیتهای درستی‌سنجی بارش خروجی مدل و بارش دیدبانی شده در ایستگاه‌های همدیدی، باران‌سنجی و اقلیمی، نتایج حاکی از آن است که در مورد بارش‌های در محدوده ۵-۱۰ 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 خردفیزیکی Lin در مقایسه با سایر طرحواره‌های مورد بررسی در تعیین توزیع بارش از دقت بالاتری برخوردار است.

## مراجع

1- Argüeso, D., Hidalgo-Muñoz, J. M., Gámiz-Fortis, S. R. Esteban-Parra, M. J., Dudhia, J., and Castro-Diez, Y., 2011, Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern

