

موثرترین طرحواره در بهبود عملکرد مدل WRF جهت پیش بینی بارش در منطقه شمال غرب ایران (مطالعه موردی: ۹۳/۱۰/۱۴)

شقایق مرادی^۱، سهیلا جوانمرد^{۲*}، سرمد قادر^۲، مجید ازادی^۲، مریم قرایلو^۴

^۱ دانشجوی دکتری، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران

^۲ دانشیار، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران

^۳ دانشیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴ استادیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۰۹ ، تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۱۰

چکیده

هدف این مقاله بررسی عملکرد طرحواره های مختلف در مدل *WRF* برای تخمین بارش زمستانی بر روی منطقه ی شمال غرب ایران است. با توجه به روابط بین طرحواره ها ابتدا با روش گام به گام بهترین طرحواره ی پارامتری سازی همرفت با استفاده از مجذور میانگین مربعات (*RMSE*) و سپس بهترین طرحواره ی خردفیزیک انتخاب گردید، سپس در بهترین پیکربندی بدست آمده در مرحله پیشین، طرحواره ی بهینه تابش موج بلند و کوتاه، لایه مرزی و سطحی انتخاب شدند. در نهایت طرحواره های *MYJ*، *Eta Similarity*، *Lin et al*، *RRTM* و *Dudhia* به عنوان طرحواره های بهینه برای شبیه سازی بارش زمستانی روی شمال غرب ایران انتخاب شد.

در این مطالعه ترکیب هایی از طرحواره ها که بیشترین و کمترین اثر را در پراکنش داده های بارش زمستانی شبیه سازی شده دارند، نیز مشخص گردید. بدین منظور ۳۶ پیکر بندی اختیار شده برای طرحواره های تابش موج بلند، تابش موج کوتاه و لایه مرزی در ۱۲ گروه سه تایی با چرخش طرحواره ی تابش موج کوتاه و ۱۲ گروه سه تایی با چرخش طرحواره ی موج بلند و در ۹ گروه ۴ تایی با چرخش طرحواره ی لایه مرزی تقسیم شد و انحراف معیار بارش شبیه سازی شده برای این ۳۳ گروه محاسبه شد. بدین طریق در بین پیکربندی های ایجاد شده، پیکربندی هایی که بیشترین و کمترین اثر را در تخمین بارش زمستانی شش ساعته و پراکندگی آنها دارند مشخص شدند. نتایج مطالعه نشان داد که تغییر در انتخاب طرحواره ی لایه مرزی هنگامی که طرحواره ی تابش موج بلند *RRTM* و طرحواره ی تابش موج کوتاه *Goddard* باشد، می تواند نتایج را به مشاهده نزدیک تر کند.

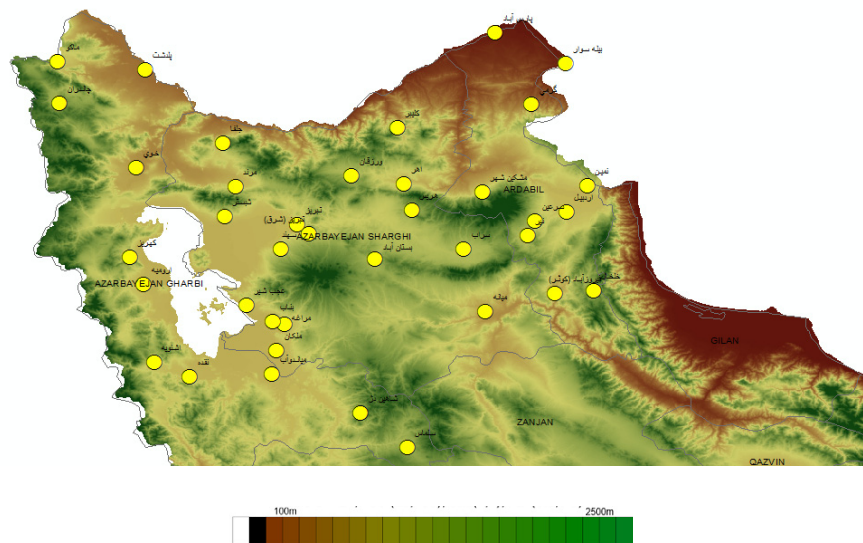
کلمات کلیدی: مدل عددی *WRF*، پیش بینی بارش زمستانی، موثرترین طرحواره، بهترین پیکربندی، شمال غرب ایران

مدل میان مقیاس پیش‌بینی وضع هوا^۱ WRF دارای طرحواره‌های پارامتری‌سازی فیزیکی متنوعی است که انتخاب یک مجموعه و پیکربندی خاصی از این طرحواره‌ها می‌تواند اثر قابل ملاحظه‌ای بر دقت پیش‌بینی‌های بارش داشته باشد. بنابراین باید با توجه به منطقه مورد مطالعه، پیکربندی مناسب انتخاب شود. برای مثال اوتکین^۲ و همکاران (۲۰۰۸) به مقایسه‌ی ساختارهای ابر تولیدشده مدل WRF با چندین طرحواره‌ی خردفیزیک شامل Beheng و WSM6.Purdue Lin, Thompson پرداختند. تمام طرحواره‌ها در بارش همادی میزان بیشتری بارش را پیش‌بینی کردند؛ اما هیچ‌یک از شبیه‌سازی‌ها رویداد بارش فرین را به دقت پیش‌بینی نکردند. اونس^۳ و همکاران (۲۰۱۱) در جنوب شرق استرالیا اثر پارامتری‌سازی‌های فیزیکی متفاوت در مدل WRF و اثر متقابل آنها بر روی بارش‌های همرفتی میان مقیاس را ارزیابی کردند. آنها با استفاده از ۳۶ پیکربندی متفاوت، مدل WRF را برای چهار روز منتخب مورد بررسی قرار داده و راستی آزمایی کردند. لایفنگ^۴ و همکاران (۲۰۱۴) مطالعه‌ای را برای بهبود توانایی WRF در پیش‌بینی بارش‌های تابستانه در جنوب شرقی ایالات متحده انجام دادند. در این مطالعه تأثیر طرحواره‌های فیزیکی و تفکیک افقی بر دقت پیش‌بینی‌ها بررسی شده است. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که شبیه‌سازی بارش به طرحواره‌های همرفت استفاده شده در اجرای مدل وابستگی زیادی دارد. به گونه‌ای که نتایج به طرحواره‌ی لایه مرزی وابستگی به نسبت بالا و به طرحواره‌های خردفیزیک وابستگی بسیار کمی دارد. نتیجه دیگری که از این مطالعه حاصل شده آن است که انتخاب یک طرحواره پارامترسازی همرفت مناسب بسیار بهتر از افزایش تفکیک افقی، نتایج را به مشاهدات نزدیک می‌کند. قصابی و همکاران (۱۳۹۳) اثر طرحواره‌های خرد فیزیک و همرفت را در مدل WRF در برآورد بارش در حوضه‌ی آبریز کارون در جنوب غرب ایران بررسی کردند. بدین منظور از دو دامنه به ترتیب با تفکیک افقی ۲۷ و ۹ کیلومتر و ۶ ترکیب مدل استفاده

کردند. آنها دریافتند که پیکر بندی‌های منتخب آنها حساسیت چندانی به نوع طرحواره‌های همرفت و خرد فیزیکی برای برآورد بارش در این مقیاس شبکه‌ای ندارد. ساسانیان و همکاران (۱۳۹۴) دقت پیش‌بینی‌های بارش ۲۴ ساعته در منطقه‌ی جنوب غرب ایران را با استفاده از ۹ پیکربندی متفاوت از مدل WRF بررسی کردند، نتایج کار آن‌ها نشان می‌دهد که مدل WRF تقریباً برای تمام آستانه‌های بارشی برای همه پیکر بندی‌های منتخب آنها دارای فراییش‌بینی است. ضیاییان^۵ و همکاران (۲۰۱۷) نیز ۲۶ پیکربندی مختلف را در منطقه‌ی شمال غرب ایران برای ارزیابی بارش‌های شدید تابستانی مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که پیکربندی Mellor-Tiedtke، Kessler.Yamada-Janji و WSM3 بهترین حالت از برآورد بارش را بیان میکند. همچنین دریافتند که با مقیاس‌کاهی ۱۵ کیلومتر به ۵ کیلومتر تغییر محسوسی در نتایج حاصل نمی‌شود. استرجیو^۶ و همکاران (۲۰۱۷) عملکرد مدل WRF را برای بارش و دما با تفکیک ۳۶ کیلومتر با روش گام به گام مورد ارزیابی قرار دادند. آنها دریافتند که بهترین پیکربندی برای مدل، در فصول تابستان و زمستان برای بارش و دما متفاوت است.

با توجه به اینکه منطقه شمال غرب توپوگرافی پیچیده‌ای دارد و سامانه‌های سینوپتیکی معمولاً از شمال غرب و غرب وارد کشور می‌شوند. از این رو منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق به شمال غرب ایران منحصر شده است. پیکربندی‌های مختلف از طرحواره‌های متفاوت برای اجرای مدل WRF از عوامل تأثیرگذار در پیش‌بینی بارش است و هرچه حالت‌های بیشتری از مجموعه طرحواره‌ها بررسی شود نتایج ارائه شده جامع‌تر خواهد بود. اما نکته قابل ملاحظه در این نوع بررسی‌ها تعداد زیاد حالت‌های مورد بررسی است. از آنجا که بررسی تک تک حالت‌ها وقت بسیار زیادی را می‌طلبد، معمولاً از طرحواره‌هایی استفاده می‌گردد که در مطالعات پیشین، پیش‌بینی‌های قابل قبولی ارائه داده است و محققین به انتخاب چند پیکربندی از بین حالت‌های موجود

5 Zeyayyan
6 Stergiou



شکل ۱. پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

۴۷ پیکربندی مختلف، توسط آماره‌ی مجذور میانگین مربعات (RMSE) در بین پیکربندی‌های منتخب محاسبه و گزارش شده است، پس از آن در بخش دوم، انحراف معیار پیکربندی‌های منتخب در حالت‌های مختلف به منظور تعیین موثرترین طرحواره در پیش بینی بارش، محاسبه شده‌است و در نهایت در بخش پایانی، نتایج مورد بحث قرار داده شده‌است.

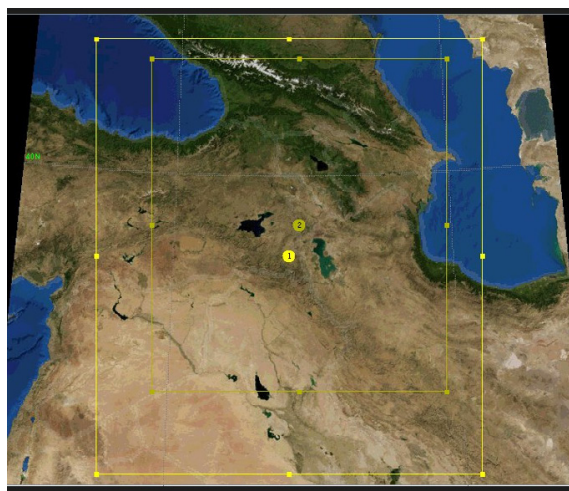
مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه در بردارنده‌ی شمال غرب ایران شامل: استانهای آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل است. در این مطالعه از ۳۷ ایستگاه هواشناسی واقع در شمال غرب ایران استفاده شده‌است. پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های همدیدی مناطق مورد نظر در شکل ۱ نشان داده شده‌است.

در این پژوهش بارندگی تجمعی ۶ ساعته در ساعت ۱۲ UTC در روز ۲۰۱۵/۱/۴ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه برای تفکیک افقی در مدل WRF، منطقه مورد نظر به صورت سطح پیوسته با تفکیک‌های ۵ و ۱۵ کیلومتر به صورت یک مجموعه‌ی متناهی از نقاط گسسته سازی می‌شود، به صورت سه دامنه تو در تو که در شکل ۲

می‌پردازند. بدین منظور در بخش دوم این مطالعه سعی بر آن بوده‌است تا برای انتخاب طرحواره‌ها حالت کلی تری ارائه شود، از این جهت موثرترین پیکربندی‌ها نسبت به پیکربندی‌های موجود در اجرای مدل، در بهبود عملکرد بارش در منطقه تعیین شده و ترکیب‌هایی از طرحواره‌ها که تغییر آنها، بیشترین و کمترین اثر را در تخمین بارش شش ساعته و پراکندگی داده‌ها به عهده دارند، معرفی شده‌اند.

مطالعات بسیاری نشان می‌دهند که طرحواره‌ی لایه مرزی اثر زیادی بر پیش بینی بارش دارد (به طور مثال، قیان^۶ و همکاران ۲۰۱۶؛ لایفنگ و همکاران ۲۰۱۴)، به گونه‌ای که با تغییر طرحواره لایه مرزی تغییر زیادی در مقدار پیش‌بینی بارش ایجاد می‌شود. در این مقاله برآن هستیم که نشان دهیم زمانی می‌توانیم در مورد تاثیر لایه مرزی در پیش‌بینی بارش صحبت کنیم که تابش موج بلند و کوتاه آن نیز مشخص باشد و نمی‌توان بدون در نظر گرفتن باقی طرحواره‌ها در پیکربندی در مورد تاثیر طرحواره‌ها گزارشی ارائه داد. در بخش اول این مطالعه بهترین پیکربندی با نزدیک ترین تخمین بارش زمستانی به مشاهده، در منطقه شمال غرب ایران از بین



شکل ۲. دامنه‌های اجرای مدل WRF

جدول ۱. طرحواره‌های مورد بررسی در این مطالعه و شماره‌های مربوط به هر طرحواره در مدل WRF

Shortwave (ra_sw_physics)	Dudhia (1)	Goddard (2)	GFD (99)			
Longwave (ra_lw_physics)	RRTM (1)	RRTMG (4)	CAM (3)			
Micro Physics Options (mp_physics)	Kessler Scheme (1)	Thompson Scheme (8)	Lin et al. Scheme (2)	Morrison 2-moment Scheme (10)		
Planetary Boundary Layer (PBL) Physics Options	Boulac (8)	MRF (99)	MYJ (2)	YSU (1)		
cu	Kain-Fritsch (1)	Betts-Miller-Janjic (2)	Grell-Freitas (3)	Grell 3D Ensemble (5)	Tiedtke 6	Grell-Devenyi (GD) (93)

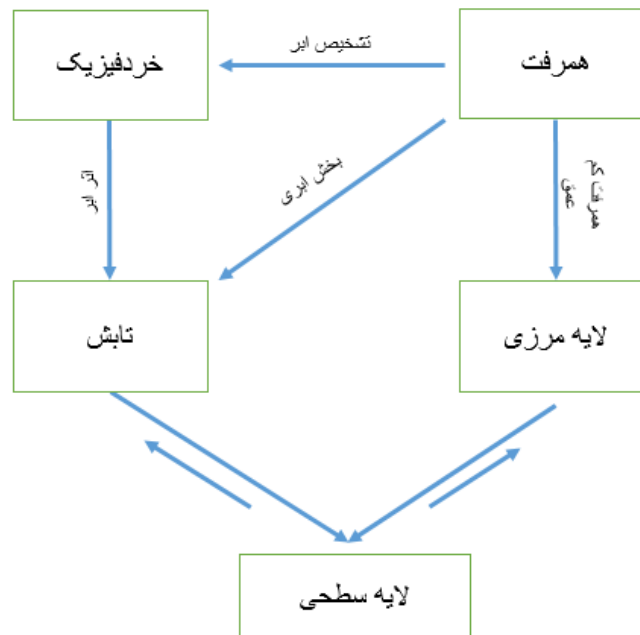
از دیگر طرحواره‌های خرد فیزیک، تابش، لایه‌ی مرزی و لایه‌ی سطحی عمل می‌کنند (بیکر و همکاران، ۲۰۰۹) (شکل ۳) و طرحواره خرد فیزیک مستقل از طرحواره‌های لایه مرزی، تابش و لایه سطحی عمل می‌کند. چون طرحواره‌های خرد فیزیک و همرفت اثر مستقیمی از طرحواره‌های لایه مرزی، تابش و لایه سطحی نمی‌گیرند، تغییر طرحواره‌های لایه مرزی، تابش و لایه سطحی اثری بر نتایج خروجی این طرحواره ندارد (استرجیو و همکاران) (۲۰۱۷).

از آنجایی که طرحواره‌های همرفت مستقل از طرحواره‌های دیگر هستند، مطابق با روش گام به گام در ابتدا شبیه سازی بارش با تغییر طرحواره‌های همرفت انجام گرفت به صورتی که باقی طرحواره‌ها ثابت بودند.

نشان داده شده‌است. جهت انجام این تحقیق برونداد مدل با استفاده از داده‌های اولیه FNL⁸، در حالت‌های مختلف با پیکربندی‌های متفاوت استخراج می‌شوند.

به منظور تحلیل حساسیت مدل در این مطالعه، پیکربندی‌های مختلف با استفاده از طرحواره‌های منتخب در مطالعات پیشین (آزادی و همکاران ۱۳۸۸، ضیاییان و همکاران ۲۰۱۷)، (جدول ۱) مورد بررسی قرار گرفته است. روش گام به گام

در این روش با توجه به روابط طرحواره‌ها و اثرات و تداخل آنها در حین اجرای برنامه پیکربندی‌های مختلف انتخاب می‌شوند، در مدل WRF طرحواره همرفت مستقل



شکل ۳. روابط طرحواره‌ها درون مدل WRF، (بیکر و همکاران، ۲۰۰۹)

که فاصله شبکه‌ای بین ۳ تا ۱۰ کیلومتر باشد نیز معمولاً از طرحواره همرفتی استفاده نمی‌شود ولی بهتر است در این مقیاس طرحواره همرفت محدوده اول و محدوده دوم شبیه به هم انتخاب شود (Dudhia, 2010).

تمام حالت‌های مختلف برای هفت طرحواره همرفت (بدون انتخاب طرحواره همرفت نیز در نظر گرفته شده است) استفاده شده در دامنه اول با تفکیک ۱۵ کیلومتر، با ثابت نگه داشتن باقی طرحواره‌های تابش، لایه مرزی، لایه سطحی و خردفیزیک بررسی شد و بهترین طرحواره همرفت که نزدیک‌ترین تخمین از بارش به مقدار مشاهداتی را داشت، انتخاب شد (جدول ۲). نام هر اجرا در این جدول بر اساس چینش طرحواره‌های استفاده‌شده در اجرا نوشته شده است؛ به طور مثال، اجرایی با طرحواره تابش موج کوتاه Dudhia (s1) - که حرف انگلیسی آن مربوط به نوع طرحواره و عدد نشان‌گر شماره‌ی طرحواره است (جدول ۱) - تابش موج بلند RRTM (l1)، لایه مرزی MRF (p99) و خردفیزیک Morrison (mp) (s1-l1-p99-mp10) و با نام (s1-l1-p99-mp10) مشخص می‌شود. نتایج بررسی‌های آماری که خلاصه‌ای از نتایج آن در

سپس در گروه شبیه‌سازی بعدی با در نظر گرفتن طرحواره همرفت منتخب با عملکرد بهینه در تخمین بارش و ثابت بودن باقی طرحواره‌ها، تغییرات طرحواره‌های خردفیزیک بر نتایج تخمین بارش بررسی شد (شکل ۳) و سپس تغییرات طرحواره‌های لایه مرزی، تابش موج بلند و موج کوتاه و لایه سطحی در ۳۶ حالت مختلف آزموده شده و بهترین ترکیب بندی با توجه به بهترین طرحواره خرد فیزیک و همرفت بدست آمد.

در انتهای هر مرحله، شبیه‌سازی اجراهای مدل با مشاهدات حاصل از اندازه‌گیری‌ها با استفاده از سنجه‌های آماری (جذر میانگین مربعات خطاها و میانگین قدر مطلق خطا) مقایسه شدند.

اجرای مدل WRF با پیکربندی‌های مختلف

به طور معمول در مدل WRF هنگامی که فاصله شبکه‌ای مساوی یا بیشتر از ۱۰ باشد نیاز است طرحواره همرفتی برای اجرای مدل انتخاب شود و هنگامی که فاصله شبکه‌ای مساوی یا کمتر از ۳ کیلومتر باشد نیاز نیست طرحواره همرفتی برای اجرای مدل انتخاب شود. هنگامی

جدول ۲. بررسی‌های آماری مربوط به اجرای حالت‌های مختلف تغییر طرحواره‌ی همرفت با ثابت نگه داشتن باقی طرحواره‌ها، شامل طرحواره‌های تابش، لایه مرزی، لایه سطحی و خردفیزیک. (کمترین RMSE پررنگ شده است)

نام اجرا	RMSE	حداکثر خطا	حداقل خطا	انحراف معیار خطا	میان خطا	میانگین خطا
Mp10-s1-l1-p8-cu3	15.636	20	-0.79	3.421	0.931	2.058
Mp10-s1-l1-p8-cu2	18.917	18.05	-0.8	3.591	1.048	2.521
Mp10-s1-l1-p8-cu6	22.523	20.48	-0.8	4.247	0.4724	2.226
Mp10-s1-l1-p8-cu1	26.187	22.32	-0.8	4.337	1.1034	2.806
Mp10-s1-l1-p8-cu93	26.244	26.17	-0.8	4.57	0.555	2.43
Mp10-s1-l1-p8-cu5	30.35	27.86	-0.8	4.922	0.819	2.599
Mp10-s1-l1-p8-cu0	4.55	18.05	-0.8	3.5	0.501	1.89

جدول ۳. بررسی‌های آماری مربوط به اجرای حالت‌های مختلف تغییر طرحواره‌ی خردفیزیک با ثابت نگه داشتن باقی طرحواره‌ها، شامل طرحواره‌های همرفت، لایه مرزی، لایه سطحی و تابش. (کمترین RMSE پررنگ شده است)

اجرای خرد فیزیک	RMSE	حداکثر خطا	حداقل خطا	انحراف معیار خطا	میان خطا	میانگین خطا
s2-l4-p2-mp1	1.169	4.58	-1	0.412	0	-0.0617
s2-l4-p2-mp2	0.7	3.61	-0.97	0.84462	0	0.078
s2-l4-p2-mp8	9.885	13.45	-0.76	2.66	0.8034	1.7308
s2-l4-p2-mp10	17.464	16.71	-0.8	3.767	0.464	1.908

است، انتخاب می‌شود.

تمرکز گروه شبیه سازی بعدی بر روی طرحواره‌های لایه مرزی، تابش موج بلند و تابش موج کوتاه است. در این مطالعه بین سه طرحواره‌ی تابش موج کوتاه، سه طرحواره‌ی تابش موج بلند و چهار طرحواره‌ی لایه مرزی موجود در مدل WRF مقایسه انجام شده است. از آنجایی که طرحواره‌ی لایه مرزی با طرحواره‌های لایه سطحی خاصی کار می‌کند (بنکر و همکاران ۲۰۱۶) و انتخاب نادرست طرحواره لایه سطحی ممکن است منجر به بیش برآورد بارش شود، انتخاب از بین ترکیب‌های خاصی از لایه مرزی و لایه سطحی صورت می‌گیرد. انتخاب طرحواره‌ی لایه سطحی بر اساس طرحواره‌ی لایه مرزی در این مطالعه در جدول ۴ نمایش داده شده است. جذر میانگین مربعات (RMSE) مربوط به حالت‌های اجرا شده در این قسمت، در جداول ۵ ارائه شده است.

نتایج حاصل از آزمون آماری RMSE در حالت‌های مختلف اجرای مدل در این قسمت (جدول ۵) نشان

جدول ۲ ارائه شده است، نشان می‌دهد بهتر است در این مطالعه، در حالی که برای دامنه با تفکیک ۵ کیلومتر طرحواره‌ی همرفتی انتخاب نمی‌شود. برای دامنه با تفکیک ۱۵ کیلومتر نیز طرحواره‌ی همرفتی انتخاب نشود. با اجرای مدل بدون استفاده از طرحواره‌ی همرفت (انتخاب همرفت صفر) و ثابت نگه داشتن این وضعیت در طی مراحل بعدی، دومین مرحله از شبیه سازی‌ها صورت گرفته است. در این مرحله بهترین طرحواره‌ی خردفیزیک بین طرحواره‌های Kessler Scheme، Lin et al. Scheme، Thompson Scheme، Morrison 2-moment Scheme با ثابت نگه داشتن باقی طرحواره‌های همرفت، لایه مرزی، تابش و سطح زمین انتخاب شد و بررسی‌های آماری برای هر اجرای مدل صورت گرفت. در جدول ۳ میانگین، میان، انحراف معیار، حداقل، حداکثر مقدار خطا و RMSE گزارش شده است. به این ترتیب که با توجه به جدول ۳ طرحواره‌ی خردفیزیک Lin et al. کمترین RMSE

جدول ۴. ترکیب طرحواره‌های لایه مرزی و لایه سطحی مجاز

PBL/Surface Layer Scheme
YSU/MM5 similarity
MYJ/Eta similarity
BouLac/MM5 similarity
MRF/MM5 similarity

جدول ۵. جذر میانگین مربعات خطا در تمام حالت‌های چرخش سه طرحواره‌ی تابش موج کوتاه، سه طرحواره‌ی تابش موج بلند، چهار طرحواره لایه مرزی و دو طرحواره‌ی لایه سطحی و طرحواره‌ی خردفیزیک موريسون بدون در نظر گرفتن طرحواره همرفت-همرفت صفر- (کمترین RMSE پررنگ شده است)

نام اجرا	RMSE	نام اجرا	RMSE	نام اجرا	RMSE
s2-l3-p99	48.334	s2-l4-p8	17.623	s1-l3-p8	29.962
s2-l3-p2	18.846	s2-l4-p99	36.769	s1-l3-p99	40.192
s2-l3-p1	35.846	s2-l4-p2	17.464	s1-l3-p2	17.097
s2-l3-p8	23.546	s2-l4-p1	27.787	s1-l3-p1	28.245
s2-l1-p8	19.861	s99-l3-p2	21.484	s99-l1-p8	25.184
s2-l1-p2	27.498	s99-l3-p1	31.431	s99-l1-p2	27.575
s2-l1-p99	47.298	s99-l3-p8	19.648	s99-l4-p1	26.842
s2-l1-p1	45.853	s99-l3-p99	29.648	s99-l4-p99	39.481
s99-l4-p1	21.889	s1-l1-p2	23.554	s1-l4-p8	23.291
s99-l4-p2	18.679	s1-l1-p8	22.523	s1-l4-p99	36.541
s99-l4-p8	23.29	s1-l1-p99	46.901	s1-l4-p2	14.863
s99-l4-p99	31.989	s1-l1-p1	26.338	s1-l4-p1	21.678

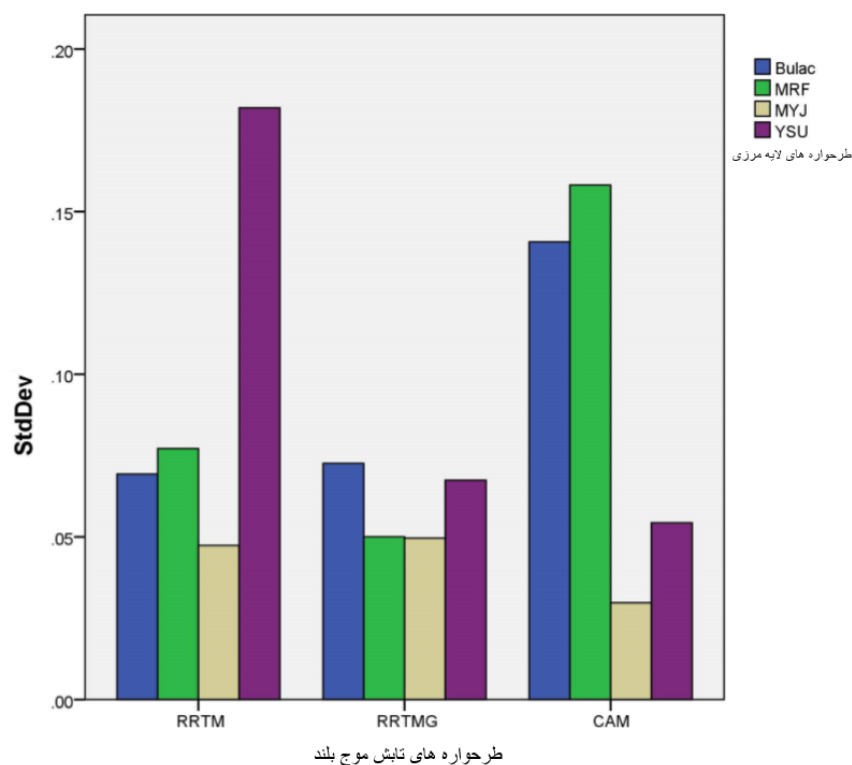
در جدول ۶، ۷ و ۸ نشان داده شده‌است؛ با نگاهی به نتایج با انتخاب طرحواره‌های لایه مرزی و تابش موج بلند (۴*۳ حالت)، در این ۱۲ حالت، در سه حالت که طرحواره لایه مرزی و طرحواره تابش موج بلند -YSU و RRTM, MRF-CAM و BULAC-CAM انتخاب شده باشند (شکل ۴ و جدول ۶)، تغییر تابش موج کوتاه می‌تواند برآوردهایی با دامنه پراکندگی زیاد از پیش‌بینی را برای یک مقدار خاص از مشاهده مقدار بارش تولید کند و به ازای انتخاب طرحواره‌های تابش موج کوتاه و تابش موج‌های بلند در ۹ (۳*۳) وضعیت ایجاد شده، به ازای چرخش ۴ طرحواره‌ی لایه‌ی مرزی (شکل ۵ و جدول ۸)، هنگامی که طرحواره‌ی تابش موج کوتاه GFD باشد، تغییرات انحراف معیار کم است. لذا در این حالت تغییر دادن طرحواره‌های لایه مرزی اثر چندانی روی اندازه و

می‌دهد که پیکربندی همراه با طرحواره‌های Dudhia, RRTM, MYJ, Eta Similarity با دقت قابل قبولی قادر به بازسازی رویدادهای بارش است.

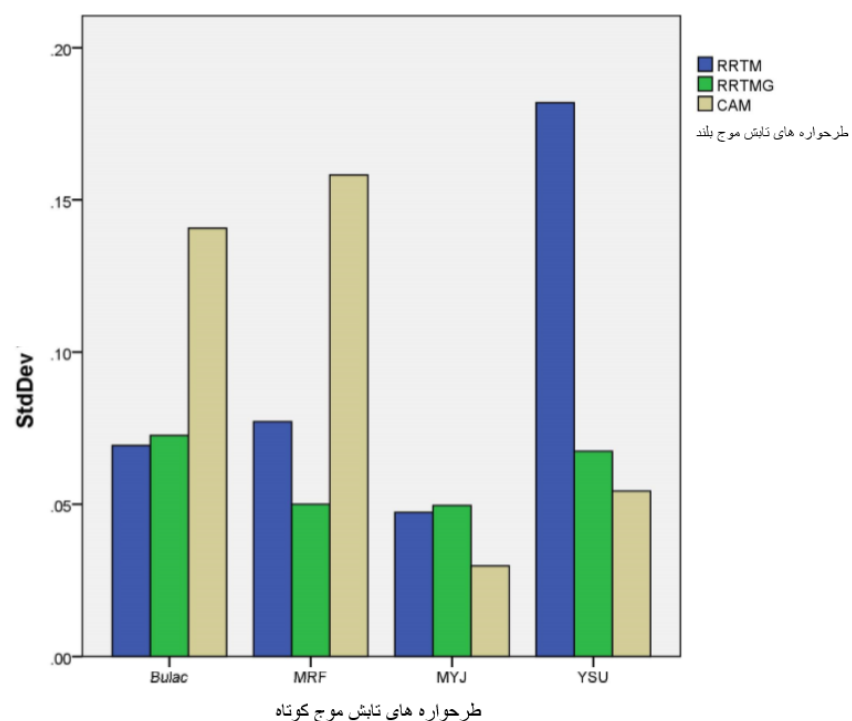
انحراف معیار پیکربندی‌ها

در این مطالعه، موثرترین پیکربندی‌ها در بهبود عملکرد بارش در منطقه به وسیله آماره انحراف معیار تعیین شده و ترکیب‌هایی از طرحواره‌ها که تغییر آنها، بیشترین و کمترین اثر را در تخمین بارش شش ساعته و پراکندگی داده‌ها به عهده دارند، معرفی شده‌اند. بدین منظور پراکندگی مقدار تخمین بارش به ازای تغییر هر گروه از طرحواره‌ها بررسی شده‌است.

انحراف معیار تخمین بارش توسط مدل WRF با تغییر طرحواره‌های مختلف، در پیکربندی‌های متفاوت



شکل ۴. انحراف معیار داده‌های بارش با انتخاب های مختلف طرحواره‌ی تابش موج کوتاه در پیکربندی اجرای مدل WRF



شکل ۵. انحراف معیار داده‌های بارش با انتخاب های مختلف طرحواره‌ی لایه‌ی مرزی در پیکربندی اجرای مدل WRF

جدول ۶. انحراف معیار داده‌های بارش خووجی مدل، با انتخاب های مختلف طرحواره‌ی تابش موج کوتاه در پیکربندی اجرای مدل FRW در گروه بندی های متفاوت (با چرخش طرحواره های تابش موج کوتاه DS(1)) - (با چرخش طرحواره های تابش موج بلند و کوتاه DS(2))

Planetary Boundary Layer (PBL) Physics Options	Longwave (ra_lw_physics)	Shortwave (ra_sw_physics)	SD(1)	SD(2)
Boulac	RRTM	Dudhia Goddard GFD	0.07	0.099
Boulac	RRTMG	Dudhia Goddard GFD	0.072	
Boulac	CAM	Dudhia Goddard GFD	0.14	
MRF	RRTM	Dudhia Goddard GFD	0.077	0.111
MRF	RRTMG	Dudhia Goddard GFD	0.05	
MRF	CAM	Dudhia Goddard GFD	0.16	
MYJ	RRTM	Dudhia Goddard GFD	0.047	0.096
MYJ	RRTMG	Dudhia Goddard GFD	0.049	
MYJ	CAM	Dudhia Goddard GFD	0.029	
YSU	RRTM	Dudhia Goddard GFD	0.18	0.137
YSU	RRTMG	Dudhia Goddard GFD	0.067	
YSU	CAM	Dudhia Goddard GFD	0.054	

شده بود، نشان داد که تغییر در انتخاب طرحواره‌ی لایه مرزی هنگامی که طرحواره‌ی تابش موج بلند RRTM و طرحواره‌ی تابش موج کوتاه Goddard باشد، می‌تواند نتایج را به مشاهده نزدیک تر کند و این در حالی است که با تغییر در انتخاب طرحواره لایه مرزی هنگامی که طرحواره‌ی تابش موج بلند RRTM و طرحواره‌ی تابش موج کوتاه GFD باشد تاثیر چندانی در تخمین مقدار

شدت بارش برآورد شده نخواهد داشت. در نتیجه زمانی می‌توانیم در مورد تاثیر لایه مرزی در پیش‌بینی بارش صحبت کنیم که تابش موج بلند و کوتاه آن نیز مشخص باشد و نمی‌توان بدون در نظر گرفتن باقی طرحواره‌ها در پیکربندی در مورد تاثیر طرحواره‌ها گزارشی ارائه داد. همچنین نتایج مطالعه‌ی پراکندگی هر گروه از داده‌های برآورد بارش که توسط انحراف معیار محاسبه

جدول ۷. انحراف معیار داده‌های بارش خروجی از مدل، با انتخاب‌های مختلف طرمواره‌ی تابش موج بلند در پیکربندی اجرای مدل FRW در گروه بندی‌های متفاوت (با چرخش طرمواره‌ی تابش موج بلند DS(1)) - (با چرخش طرمواره‌های لایه مرزی و تابش موج بلند DS(2))

Shortwave (ra_sw_physics)	Planetary Boundary Layer (PBL) Physics Options	Longwave (ra_lw_physics)	SD(1)	SD(2)
Dudhia	Boulac	RRTM RRTMG CAM	0.114	0.16
Dudhia	Boulac	RRTM RRTMG CAM	0.081	
Dudhia	Boulac	RRTM RRTMG CAM	0.105	
Dudhia	MRF	RRTM RRTMG CAM	0.098	
Goddard	MRF	RRTM RRTMG CAM	0.092	0.19
Goddard	MRF	RRTM RRTMG CAM	0.114	
Goddard	MYJ	RRTM RRTMG CAM	0.0997	
Goddard	MYJ	RRTM RRTMG CAM	0.156	
GFD	MYJ	RRTM RRTMG CAM	0.076	0.09
GFD	YSU	RRTM RRTMG CAM	0.055	
GFD	YSU	RRTM RRTMG CAM	0.102	
GFD	YSU	RRTM RRTMG CAM	0.102	

حالت‌های مختلفی از داده‌های خروجی را در دسترس ما قرار داده به گونه‌ای که یک سری از داده‌ها نزدیک‌ترین مقدار را به مشاهده داشته باشد، بدین صورت تغییر در انتخاب تابش موج کوتاه هنگامی که تابش موج بلند RRTM و لایه مرزی YSU باشد، می‌تواند نتایج را به مشاهده نزدیک‌تر کند. این نتایج روشن‌کننده آن است

بارش ندارد. از سویی دیگر، تغییر در انتخاب تابش موج کوتاه هنگامی که تابش موج بلند CAM و لایه مرزی MYJ باشد، اثری در بهبود نتایج ندارد، در حالی که تغییر در انتخاب تابش موج کوتاه هنگامی که تابش موج بلند RRTM و لایه مرزی YSU باشد، می‌تواند با ایجاد پراکندگی زیاد در مجموعه داده‌های برآورد بارش،

جدول ۸. انحراف معیار داده‌های بارش خروجی از مدل، با انتخاب های مختلف طرحواره‌ی لایه‌ی مرزی در پیکربندی اجرای مدل FRW در گروه بندی های متفاوت (با چرخش طرحواره های لایه مرزی DS(1)) - (با چرخش طرحواره‌های تابش موج کوتاه و لایه مرزی DS(2))

Longwave (ra_lw_physics)	Shortwave (ra_sw_physics)	Planetary Boundary Layer (PBL) Physics Options	SD(1)	SD(2)
RRTM	Dudhia	Boulac MRF MYJ YSU	0.136	0.138
RRTM	Goddard	Boulac MRF MYJ YSU	0.21	
RRTM	GFD	Boulac MRF MYJ YSU	0.056	
RRTMG	Dudhia	Boulac MRF MYJ YSU	0.158	0.126
RRTMG	Goddard	Boulac MRF MYJ YSU	0.155	
RRTMG	GFD	Boulac MRF MYJ YSU	0.092	
CAM	Dudhia	Boulac MRF MYJ YSU	0.169	0.157
CAM	Goddard	Boulac MRF MYJ YSU	0.199	
CAM	GFD	Boulac MRF MYJ YSU	0.094	

و دو طرحواره‌ی لایه سطحی با توجه به حالت‌ها مختلف پیکربندی با کنار هم قرار گرفتن طرحواره های متفاوت، در ۴۷ حالت، مقایسه انجام شده است. پس از محاسبه خطای مطلق و جذر میانگین مربعات، انحراف معیار در لایه های محاسباتی مختلف محاسبه گردید. با توجه به بررسی‌های آماری اجرای مدل با

که تصمیم گیری در مورد تاثیر یک سری از طرحواره‌ها از یک نوع، در برآورد بارش دقیق تر به جایگاه آن طرحواره‌ها در ترکیب پیکربندی بستگی دارد.

جمع‌بندی

در این مطالعه بین هفت طرحواره‌ی همرفت، چهار طرحواره خردفیزیک، سه طرحواره‌ی تابش موج کوتاه، سه طرحواره‌ی تابش موج بلند، چهار طرحواره لایه مرزی

در مورد تاثیر یک سری از طرحواره‌ها از یک نوع، در برآورد بارش دقیق‌تر به جایگاه آن طرحواره‌ها در ترکیب پیکربندی بستگی دارد و قضاوت در مورد انتخاب موثرترین طرحواره بدون در نظر گرفتن ترکیب آن با سایر طرحواره‌ها و یا استفاده از جملاتی از این دست که شبیه‌سازی بارش به طرحواره‌های لایه‌مرزی استفاده شده در اجرای مدل وابستگی زیادی دارد، می‌تواند درست و یا جامع نباشد و به طور کلی، بررسی حساسیت نتایج برآورد بارش به انتخاب طرحواره‌های مختلف، بدون بررسی ترکیب آنها در چیدمان‌های مختلف، نتایج کاملی آرایه نخواهد داد و انحراف معیار و دقت پیش بینی به جایگاه هر طرحواره در چیدمان‌های مختلف وابستگی زیادی دارد.

مراجع

- آزادی، م.، قاضی میرسعید، م.، جعفری، س.، ۱۳۸۸، ارزیابی عملکرد مدل WRF برای پیش بینی بارش بر روی ایران به مدت یک ماه، دوازدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، تهران، انجمن فیزیک ایران.
- ساسانیان، س.، آزادی، م و قربان فلاح، ر.، ۱۳۹۴، ارزیابی عملکرد مدل WRF با گزینه‌های فیزیکی مختلف برای پیش بینی بارش زمستانه بر روی جنوب غرب ایران، کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، تهران
- قصابی، ز.، کمالی، غ.، مشکوتی، ا.، حجام، س. و جواهری، ن.، ۱۳۹۳، ارزیابی عملکرد طرحواره‌های پارامترسازی خرد فیزیکی و همرفت مدل WRF در برآورد بارش در حوضه آبریز کارون در جنوب غرب ایران. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی (۱۹)، pp.1-10
- Baker, D., Downs, T., Mike, K., Winston, H., Sistla, G., Mike, K., Jahnson, M. and Brown, D., 2009. Sensitivity testing of WRF physics parameterizations for meteorological modeling and protocol in support of regional SIP air quality modeling in the OTR.
- Banks, R. F., Alsina, J.T., Baldasano, J.M., Rocadenbosch, F., Papayannis, A., Solomo, S., Tzanis, C. G. 2016. Sensitivity of boundary layer variables to PBL schemes in the WRF model based on surface meteorological observations, lidar, and radiosondes during the HygrA-CD campaign. Atmospheric Research 176-177(185-201)
- Dudhia, J., 2010. WRF physics options. NCAR WRF basic tutorial, 26, p.30.
- Evans, J. P. and Marie, E., F. 2011. Evaluating the performance of a WRF physics ensemble over South-East Australia.
- Laifang, L., Wenhong, L., and Jiming, J. 2014. Improvements in WRF simulation skills of southeastern United States summer rainfall: physical

پیکربندی‌های مختلف، حاصل از چرخش ۷ طرحواره‌ی همرفت و ثابت نگه داشتن بقیه طرحواره‌های خردفیزیک، تابش، لایه مرزی و لایه سطحی، که خلاصه‌ای از نتایج آن در جدول ۲ آرایه شده است، نتایج گویای آن است که بهتر است برای محدوده با درجه تفکیک ۱۵ کیلومتر و برای محدوده با درجه تفکیک ۵ کیلومتر طرحواره‌ی همرفتی انتخاب نشود و گزینه طرحواره همرفت صفر انتخاب شود. سپس با انتخاب طرحواره همرفت صفر، طرحواره‌ی خرد فیزیک Lin et al.، با ثابت نگه داشتن باقی پارامترها از بین تمامی حالت‌ها کمترین RMSE را داشته‌است و به عنوان دقیق‌ترین طرحواره خردفیزیک در این مطالعه انتخاب می‌شود. پس از آن بین سه طرحواره‌ی تابش موج کوتاه، سه طرحواره‌ی تابش موج بلند و ۴ طرحواره لایه مرزی و ۲ طرحواره‌ی لایه سطحی همراه با ثابت نگه داشتن طرحواره همرفت و خرد فیزیک منتخب، مقایسه انجام شده است. در نهایت طرحواره‌های خردفیزیک Lin et al.، لایه سطحی Eta Similarity، لایه مرزی MYJ، تابش موج بلند RRTM و تابش موج کوتاه Dudhia به عنوان طرحواره‌های بهینه برای شبیه‌سازی بارش روی شمال غرب ایران انتخاب شد.

پس از آن موثرترین چیدمان‌ها در بهبود عملکرد بارش در منطقه تعیین و ترکیب‌هایی از طرحواره‌ها که تغییر آنها، بیشترین و کمترین اثر را در تخمین بارش شش ساعته و پراکندگی داده‌ها به عهده دارند، معرفی شدند. بدین منظور با استفاده از انحراف معیار، پراکندگی داده‌ها به ازای تغییر هر گروه از طرحواره‌ها بررسی گردیده‌است.

نتایج نشان داد که شبیه‌سازی بارش به طرحواره‌های لایه‌مرزی استفاده شده در اجرای مدل وابستگی زیادی دارد، هنگامی که طرحواره‌ی تابش موج بلند RRTM و طرحواره‌ی تابش موج کوتاه Goddard انتخاب شده باشد و همچنین وابستگی آن به طرحواره‌های تابش موج کوتاه بسیار کم است هنگامی که طرحواره‌ی تابش موج بلند CAM و لایه مرزی MYJ انتخاب شده باشد. این نتایج روشن کننده آن است که تصمیم‌گیری

- Vazifiedoust, M. 2017. Evaluating the effect of physics schemes in WRF simulations of summer rainfall in North West Iran. *Climate*, 5(3), p.48.
- Qian, Y., Yan, H., Berg, L. K., Hagos, S., Feng, Z., Yang, B., & Huang, M. 2016. Assessing Impacts of PBL and Surface Layer Schemes in Simulating the Surface–Atmosphere Interactions and Precipitation over the Tropical Ocean Using Observations from AMIE/DYNAMO, *Journal of Climate*, 29(22), 8191-8210
- parameterization and horizontal resolution. *Climate Dynamics*. 43: 7-8. 2077-2091.
- Li, R., Jin, J., Wang, S.Y.S. and Gillies, R.R. 2014. Significant Impacts of Radiation Physics in the WRF Model on the Precipitation and Dynamics of the West African Monsoon. *Climate Dynamics*.
- Otkin J., Huang, H. L., Seifert, A. 2006. A comparison of microphysical schemes in the WRF model during a severe weather event. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, German Weather Service, Germany
- Stergiou, I., Tagaris, E. and Sotiropoulou, R.E.P. 2017. Sensitivity assessment of WRF parameterizations over Europe. In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings (Vol. 1, No. 5, p. 119).
- Zeyaeyan, S., Fattahi, E., Ranjbar, A., Azadi, M. and

The most effective scheme in improving the performance of the WRF model for precipitation over northwest Iran (a case study: 4/1/2015)

Shaghayegh Moradi¹, Sohaila Javanmard², Sarmad Ghader³, Majid Azadi², Maryam gharaylou⁴

¹ PhD student, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

² Associate Professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

³ Associate Professor, space physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, space physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: sohailajavanmard2018@gmail.com

Received: 28 March 2020, accepted: 30 June 2020

ABSTRACT

Evaluation of the performance of the parameterization schemes used in the WRF model is assessed for precipitation over northwest Iran at a 5 km by 5 km grid. Simulations are performed for a winter day. A step-wise decision approach is followed, beginning with seven simulations for the various Cumulus schemes and then four microphysics schemes; after that, 36 different configurations of the model's PBL, Long-wave, Short-wave, and Land Surface schemes were tested. Root-Mean-Squared-Error chooses the best performing scheme at each step. The concluding scheme set consists of the Lin et al. microphysics scheme, the MYJ PBL scheme, the Dudhia scheme for shortwave, the RRTM for longwave radiation, Eta Similarity option for the Land Surface scheme, and without cumulus scheme.

In this study, combinations of schemas that have the most and least effect on the distribution of simulated precipitation data were also identified. For this purpose, 36 configurations are adopted for longwave radiation, shortwave radiation, and boundary layer schemes in 12 groups of three with rotation of shortwave radiation and 12 groups of three with rotation of longwave schema, and in 9 groups of 4 with rotation of the boundary layer scheme was divided, and simulated precipitation variance and sd was calculated for these 33 groups. Thus, among the configurations created, the configurations that have the most and the least effect in estimating the six-hour rainfall and their scattering were identified. The results of the scatter study of each group of precipitation estimated data calculated by variance showed that the change in the choice of the boundary layer scheme when longwave radiation scheme is the RRTM scheme and short wave radiation scheme is the Goddard scheme, can bring the results closer to observation. Changes in the choice of shortwave radiation when longwave radiation is CAM and boundary layer scheme is the MYJ scheme has the least effect on precipitation estimation. This indicates the variability of selecting the most effective schema in precipitation prediction and can be influential in choosing the configuration in ensemble precipitation.

Keywords: WRF; Precipitation; the most effective scheme; the best configurations; northwest Iran

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Moradi, Sh.; Javanmard, S.; Ghader, S.; Azadi, M.; gharaylou, M. (2020). The most effective scheme in improving the performance of the WRF model for precipitation over northwest Iran (a case study: 4/1/2015). *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 3(3): 188-200

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

