



دانشگاه گواران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

## ارزیابی عملکرد مدل WRF در شبیه‌سازی بارش‌های سنگین (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کن)

لیلا گودرزی<sup>۱</sup>، \* محمدابراهیم بنی‌حبیب<sup>۲</sup> و پروین غفاریان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری منابع آب، گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، دانشیار گروه آبیاری و زهکشی،

پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، آستادیار پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** هر ساله وقوع بارش‌های سنگین در حوضه‌های سیل‌خیز کشور منجر به رخداد سیلاب و خسارت‌های هنگفتی می‌گردد. پیش‌بینی بارش‌های سنگین یکی از گام‌های ضروری در تدوین و توسعه یک سیستم هشدار سیلاب است. در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های عددی وضع هوا در پیش‌بینی بارش کاربرد گسترده‌ای داشته است. سرویس‌ها و مراکز هواشناسی مختلفی، پیش‌بینی‌های جوی را با مدل‌های عددی وضع هوا ارائه می‌کنند. لازم به ذکر است که پیش‌بینی‌های این مراکز در مقیاس بزرگ شبکه‌بندی شده‌اند. از جمله روش‌های دینامیکی که امروزه برای ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های بزرگ مقیاس بسیار مورد توجه قرار گرفته است می‌توان به مدل پژوهش و پیش‌بینی وضع هوا (WRF) اشاره کرد. در مطالعه حاضر توانایی مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین در حوضه آبریز رودخانه کن تهران مورد ارزیابی قرار گرفته است.

**مواد و روش‌ها:** شرایط مرزی و اولیه مدل از داده‌های اجرای ساعت صفر (به وقت ساعت هماهنگ جهانی) سامانه مدل‌سازی تمام کره‌ای موسوم به GFS از مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی گرفته شده است. برای اجرای مدل WRF سه دامنه در نظر گرفته شده است. دامنه بزرگ دارای تفکیک افقی ۲۷ کیلومتر، دامنه میانی دارای تفکیک افقی ۹ کیلومتر و دامنه کوچک که ارزیابی پیش‌بینی‌ها در آن صورت گرفته است دارای تفکیک افقی ۳ کیلومتر می‌باشد. ارزیابی‌ها بر روی پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت (۲۴ ساعته) انجام شده است بدین‌منظور سه مورد از بارش‌های تاریخی که منجر به رخداد سیلاب در منطقه مورد مطالعه شده، انتخاب گردید و با استفاده از مدل WRF شبیه‌سازی شد. همچنین پیش‌بینی‌های ارائه شده توسط مرکز ملی پیش‌بینی زیست‌محیطی (NCEP) نیز از طریق تارنمای این مرکز تهیه گردید. سپس نتایج حاصل از برون‌داد مدل WRF و پیش‌بینی‌های بزرگ مقیاس NCEP با مقدار بارش مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی مقایسه شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که بارش‌های پیش‌بینی‌شده توسط NCEP بسیار کم‌تر از مقدار واقعی برآورد شده‌اند، ضمن این‌که زمان وقوع بارش نیز به درستی پیش‌بینی نشده است. همچنین نتایج بیانگر عملکرد نسبتاً مطلوب مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین است به‌طوری‌که با اجرای این مدل مقدار شاخص خطا به مقدار قابل‌توجهی نسبت به

\* مسئول مکاتبه: [banihabib@ut.ac.ir](mailto:banihabib@ut.ac.ir)

مدل بزرگ مقیاس کاهش یافت. همچنین مقایسه بین سه طرح مختلف همرفت نشان می‌دهد که طرح Grell 3D ensemble scheme نسبت به دو طرح دیگر در پیش‌بینی بارش‌های سنگین در منطقه مورد مطالعه دارای خطای پیش‌بینی کم‌تری است.

**نتیجه‌گیری:** استفاده از مدل دینامیکی WRF دقت پیش‌بینی‌های بارش را نسبت به مدل جهانی افزایش می‌دهد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که در تدوین و توسعه سیستم هشدار سیلاب در حوضه‌های سیل‌خیز کشور از مدل WRF در ترکیب با مدل هیدرولوژیکی جهت پیش‌بینی سیلاب استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** پیش‌بینی، بارش‌های سنگین، مدل WRF، حوضه رودخانه کن

### مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین داده‌های ورودی به سیستم‌های هیدرولوژیکی محسوب می‌شود که مطالعه و پیش‌بینی آن از اهمیت بالایی برخوردار است. هر ساله وقوع بارش‌های سنگین در حوضه‌های سیل‌خیز کشور منجر به رخداد سیلاب و خسارت‌های هنگفتی می‌گردد. پیش‌بینی بارش‌های سنگین یکی از گام‌های ضروری در تدوین و توسعه یک سیستم هشدار سیلاب می‌باشد. تا به حال روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی پارامترهای جوی و از جمله بارش ارائه شده است. استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (۲۳)، مدل‌های سری زمانی (۱۳)، روش تئوری موجک‌ها (۲۵) و رگرسیون درختی (۱۲) از جمله روش‌هایی هستند که تا به حال در حوزه پیش‌بینی بارش به کار گرفته شده‌اند. مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا ابزاری هستند که در کنار سایر امکانات، مانند تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های راداری در ارتقا کیفیت پیش‌بینی‌ها نقش به‌سزایی دارند و در دهه اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. سرویس‌ها و مراکز هواشناسی مختلفی شامل مرکز پیش‌بینی میان‌مدت اروپا<sup>۱</sup> (ECMWF)، مرکز ملی پیش‌بینی زیست‌محیطی<sup>۲</sup> (NCEP)، آژانس هواشناسی ژاپن<sup>۳</sup> (JMA)، سازمان هواشناسی

انگلیس<sup>۴</sup> (UKMO)، سرویس هواشناسی کانادا<sup>۵</sup> (MSC) و مراکز مشابه دیگر پیش‌بینی‌های جوی را با حل مدل‌های عددی وضع هوا ارائه می‌کنند (۱۷). لازم به ذکر است که پیش‌بینی‌های این مراکز در مقیاس بزرگ شبکه‌بندی شده‌اند. بنابراین بین مقیاس این پیش‌بینی‌ها و مقیاس مورد نیاز در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی، عدم تطابق وجود دارد که این امر منجر به توسعه چندین روش ریزمقیاس‌نمایی شده است (۱۰). عمل ریزمقیاس‌نمایی به فنون مختلفی گفته می‌شود که به‌منظور تبدیل شبکه‌بندی‌های بزرگ مدل‌های اقلیمی به سطوح کوچک‌تر در حد محلی و ناحیه‌ای توسعه و کاربرد یافته‌اند و به دو دسته روش‌های دینامیکی و روش‌های آماری تقسیم می‌گردند (۱۹). در روش آماری فرض بر این است که سری زمانی داده‌ها در آینده بدون تغییر باقی خواهد ماند. همچنین جهت آموزش مدل نیاز به سری زمانی مشاهداتی بلندمدت و قابل اطمینان می‌باشد که استفاده از این روش را بر خلاف سادگی آن محدود کرده است (۱۴).

از جمله روش‌های دینامیکی که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است می‌توان به مدل عددی WRF<sup>۶</sup> اشاره کرد این مدل با همکاری سازمان ملی

4- United Kingdom Meteorological Office  
5- Meteorological Service of Canada  
6- Weather Research and Forecasting

1- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts  
2- National Centers for Environmental Prediction  
3- Japan Meteorological Agency

وابستگی زیادی دارد، به طرحواره لایه مرزی زمین نسبتاً وابسته بوده و وابستگی آن به طرحواره‌های میکروفیزیکی بسیار کم است. نتیجه دیگری که از این مطالعه حاصل شده آن است که انتخاب یک طرحواره همرفت مناسب بسیار بهتر از افزایش قدرت تفکیک افقی، نتایج را به مشاهدات نزدیک می‌کند (۲۱). افندی و همکاران (۲۰۱۳)، به منظور ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی سیلاب‌های ناگهانی<sup>۴</sup>، به بازسازی مقدار بارش سنگین رخ داده در سال ۲۰۱۰ در مصر پرداختند. در این پژوهش از شرایط اولیه NCEP استفاده شد و نتایج نشان داد که بارش پیش‌بینی شده توسط مدل WRF به مقدار بارش مشاهداتی بسیار نزدیک است (۲). پنی و همکاران (۲۰۱۴) از مدل WRF برای شبیه‌سازی سه رویداد بارش سنگین در منطقه آبرتا استفاده کردند. در این پژوهش از ۵ طرحواره مختلف همرفت استفاده شد که نتایج نشان داد طرحواره Kain-Fritsch نتایج بهتری را ارائه می‌دهد (۲۶).

در ایران نیز پژوهش‌هایی پیرامون ارزیابی مدل WRF در پیش‌بینی بارش صورت گرفته است. ذوالجودی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی دقت مدل WRF در پیش‌بینی بارش پرداختند. نتایج این پژوهش گویای آن است که در حدود ۸۰ درصد موارد، پیش‌بینی رخداد یا عدم رخداد بارش به درستی انجام شده است (۳۳). تقوی و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت بارش در منطقه ایران با استفاده از مدل عددی WRF پرداختند. این پژوهش بر روی یک دوره یک ماهه برای فوریه ۲۰۰۷ انجام شده است که نتایج آن بیانگر عملکرد نسبتاً مطلوب مدل در پیش‌بینی بارش است (۲۹). امینی و همکاران (۲۰۱۲) از مدل WRF برای پیش‌بینی یک رویداد بارش سنگین رخ داده در اسفندماه ۱۳۹۲ در استان

پژوهش‌های جوی<sup>۱</sup> (NCAR) و حدود ۱۵۰ مؤسسه و دانشگاه امریکایی و غیرامریکایی توسعه یافته است. مدل WRF یک مدل غیرهیدرواستاتیک (با گزینه اختیاری هیدرواستاتیک در حین اجرا) است که شبکه‌بندی افقی آن شبکه-C آراکاوا<sup>۲</sup> است. در این نوع شبکه‌بندی مقادیر جرمی پارامترها مانند فشار، دما، رطوبت و غیره در مرکز سلول شبکه محاسبه می‌شود (۲۷). در این مدل از طرحواره‌های انتگرال‌گیری مرتبه دوم و سوم زمانی رانژ-کوتا<sup>۳</sup> و طرحواره‌های مرتبه دو تا شش برای فرارفت در دو راستای افقی و قائم استفاده می‌شود. این مدل از گام‌های زمانی کوچک برای مدهای اکوستیک و امواج گرانشی استفاده می‌کند (برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به ۴ و ۲۸).

تاکنون پژوهش‌های مختلفی در زمینه ارزیابی عملکرد مدل مذکور در پیش‌بینی بارش انجام گرفته است. رایزا و همکاران (۲۰۱۳) در لهستان، مدل WRF را با تفکیک مکانی ۲ کیلومتر و با فاصله زمانی ۱ ساعته برای پیش‌بینی بارش به کار برده و برون‌داد مدل را با مقادیر مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مدل مذکور با دقت قابل‌قبولی قادر به بازسازی رویدادهای بارش است اما با افزایش زمان پیش‌بینی از دقت مدل کاسته می‌شود (۲۰). لایفنگ و همکاران (۲۰۱۴) مطالعه‌ای را برای بهبود توانایی WRF در پیش‌بینی بارش‌های تابستانه در جنوب‌شرقی ایالات متحده انجام دادند. در این مطالعه تأثیر طرحواره‌های فیزیکی و قدرت تفکیک افقی بر دقت پیش‌بینی‌ها بررسی شده است. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که شبیه‌سازی بارش باران به طرحواره‌های همرفت

1- National Center for Atmospheric Research  
2- Arakawa C-grid  
3- Runge-Kutta

4- Flash flood

عددی در پیش‌بینی بارش‌های سنگین نیاز به بررسی بیشتر دارد. بنابراین در این پژوهش عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین مولد سیلاب در حوضه رودخانه کن تهران مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این راستا سعی بر این است که ۱- عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین ارزیابی گردد و ۲- دقت پیش‌بینی‌های بارش ارائه شده توسط مدل جهانی NCEP بررسی و ارزیابی شود که آیا درون‌یابی مدل‌های بزرگ مقیاس (بدون استفاده از ریزمقیاس‌نمایی) دقت کافی را برای تخمین داده‌های ایستگاهی دارد؟

### مواد و روش‌ها

حوضه آبریز کن در استان تهران با مساحت ۱۹۷ کیلومتر مربع و در فاصله بین طول‌های جغرافیایی ۱۰' ۵۱° تا ۲۳' ۵۱° شرقی و عرض جغرافیایی ۴۶' ۳۵° تا ۵۸' ۳۵° شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط حوضه ۲۴۲۸/۷ متر از سطح دریا، شیب متوسط ۴۲/۴ درصد و متوسط بارندگی سالانه حدود ۶۰۰ میلی‌متر است. این حوضه با حوضه‌های حصارک در غرب، جاجرود در شمال و شمال‌شرقی، سد کرج در شمال و شمال‌غرب، حوضه وردیج در شرق و شهر تهران در جنوب هم‌مرز می‌باشد. در طی سال‌های گذشته وقوع بارش‌های سنگین در این حوضه منجر به رخداد سیلاب و خسارت‌های هنگفتی شده است. مطالعه حاضر بر روی شبیه‌سازی سه بارش سنگین مولد سیلاب رخ داده در تاریخ‌های ۲۳ آبان‌ماه ۱۳۹۱، ۱۶ فروردین ۱۳۹۰ و ۱۹ فروردین ۱۳۸۹ انجام شده است.

برای اجرای مدل WRF سه دامنه به صورت ارائه شده در شکل ۱ در نظر گرفته شده است. دامنه بزرگ (شماره ۱) دارای تفکیک افقی ۲۷ کیلومتر، دامنه میانی

اصفهان استفاده کردند و نشان دادند که مدل مذکور با هر درجه تفکیک، محل شدت بارش را به خوبی نشان می‌دهد اما نتایج اجرایی نمودن مدل در درجه تفکیک ۳ کیلومتر با واقعیت تطبیق بیشتری داشته است (۳). از دیگر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به راستی‌آزمایی برون‌داد بارش مدل WRF بر روی کشور ایران در دوره فوریه تا انتهای می سال ۲۰۰۹ (۳۱) و مقایسه پیش‌بینی بارش دو مدل WRF و MM5 بر روی ایران (۵) اشاره کرد. بنابراین مطالعه مدل‌های عددی وضع هوا در چند سال اخیر در ایران متداول شده است اما در این پژوهش‌ها غالباً به ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های تجمعی روزانه پرداخته شده است و ارزیابی عملکرد مدل در پیش‌بینی بارش‌های سنگین کم‌تر مورد توجه بوده است. شایان ذکر است که مقصود از بارش‌های سنگین در پژوهش حاضر، بارش‌های مولد سیلاب می‌باشد.

برخی مدل‌های اقلیمی نشان دادند که تغییرات اقلیمی در قرن ۲۱ سبب افزایش در فراوانی رویدادهای حدی شده است (۳۰). پیش‌بینی و پیش‌آگاهی بارش‌های شدید و سیلابی می‌تواند اطلاعات مفیدی برای برنامه‌ریزی شهری، بهره‌برداری از زمین، سیل و مدیریت منابع آب در یک حوضه ارائه دهد. اگر هشدار یا اخطار به موقع داده شود امکان به حداقل رساندن خسارت‌های سیل با روش‌هایی مانند تخلیه افراد و امکانات از محدوده سیل‌گیر وجود دارد (۶). در حوضه‌های کوچک، استفاده از بارش‌های مشاهداتی در سامانه هشدار سیلاب منجر به کوتاه شدن زمان پیش‌هشدار سیل می‌گردد (۷). بنابراین ضروری است که در تدوین این سامانه‌ها از بارش‌های پیش‌بینی‌شده استفاده گردد. با توجه به اهمیت پیش‌بینی بارش‌های سنگین در حوضه‌های سیل‌خیز کشور، ارزیابی دقت و عملکرد مدل‌های

ساعت‌های ۰۰، ۰۶، ۱۲ و ۱۸ به وقت ساعت جهانی در دسترس هستند. از آنجا که پیش‌بینی‌های این مرکز در مقیاس بزرگ شبکه‌بندی شده‌اند، در این پژوهش از پیش‌بینی‌های درونیابی شده استفاده شده است. جهت مقایسه مقادیر بارش پیش‌بینی‌شده توسط مدل و مقدار مشاهداتی متناظر با آن از سه شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین انحراف خطا (MBE) استفاده شده است. مقدار این شاخص‌ها از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - F_i)^2}{N}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |O_i - F_i| \quad (2)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum (O_i - F_i) \quad (3)$$

که در آن،  $F_i$  مقدار پیش‌بینی‌شده بارش،  $O_i$  مقدار دیدبانی شده متناظر با آن و  $N$  تعداد مشاهدات است. هرچه میزان این شاخص‌ها کمتر باشد، مدل از دقت بالاتری برخوردار است.

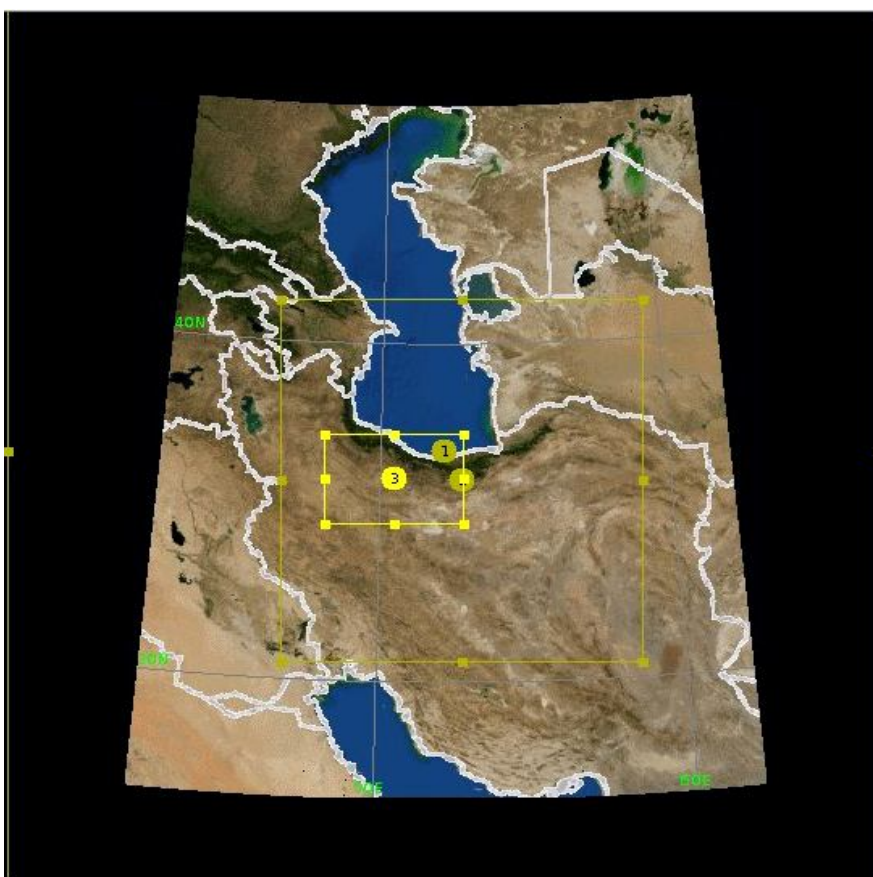
(شماره ۲) دارای تفکیک افقی ۹ کیلومتر و دامنه کوچک (شماره ۳) که ارزیابی پیش‌بینی‌ها در آن صورت گرفته است دارای تفکیک افقی ۳ کیلومتر می‌باشد. تعداد ترازهای قائم به‌کار رفته در پژوهش ۲۷ تراز می‌باشد. شرایط مرزی و اولیه مدل از داده‌های اجرای ساعت صفر (به وقت ساعت هماهنگ جهانی)<sup>۱</sup> سامانه مدل‌سازی تمام کره‌ای<sup>۲</sup> موسوم به GFS از مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی گرفته شده است. اجرای مدل به‌صورت ساعتی و یک روز قبل از وقوع رخداد بوده و در هر اجرا پیش‌بینی تا ۷۲ ساعت آینده تولید شده است.

طرحواره‌های فیزیکی مختلفی مانند میکروفیزیک ابر، تابش طول موج کوتاه، تابش طول موج بلند، طرحواره همرفت، لایه مرزی، لایه سطحی و طرحواره سطح زمین برای مدل کردن ویژگی‌های محیطی وجود دارند که امکان انتخاب و ترکیب آن‌ها وجود دارد. طرحواره‌های انتخاب شده در این پژوهش به‌شرح جدول ۱ و بر اساس نتایج پژوهش‌های گذشته انتخاب شده و تلاش شده است از طرحواره‌هایی استفاده گردد که در مطالعات پیشین، پیش‌بینی‌های قابل‌قبولی ارائه داده است. با توجه به اهمیت طرحواره همرفت در پیش‌بینی بارش، از سه طرح مختلف استفاده و نتایج حاصل از آن جهت انتخاب طرح مناسب مقایسه شده است.

از سوی دیگر پیش‌بینی‌های مدل جهانی (بدون ریزمقیاس نمایی دینامیکی) مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین‌منظور بارش‌های پیش‌بینی‌شده توسط مرکز ملی پیش‌بینی زیست‌محیطی (NCEP) از طریق تارنمای این مرکز تهیه گردید. پیش‌بینی‌های NCEP با تفکیک افقی ۲۸ کیلومتر و ۴ بار در روز در

1- Coordinated Universal Time (UTC)

2- Global Forecast System (GFS)



شکل ۱- دامنه‌های به کار رفته در شبیه‌سازی‌های مدل WRF. نسبت دامنه داخلی به دامنه والد ۱ به ۳.

Figure 1. Domain setup used in the WRF model; Parent domain and a nested domain with a 3:1 grid size ratio.

جدول ۱- فیزیک‌های انتخاب شده جهت مدلسازی با WRF.

Table 1. Selected physics for modelling by WRF.

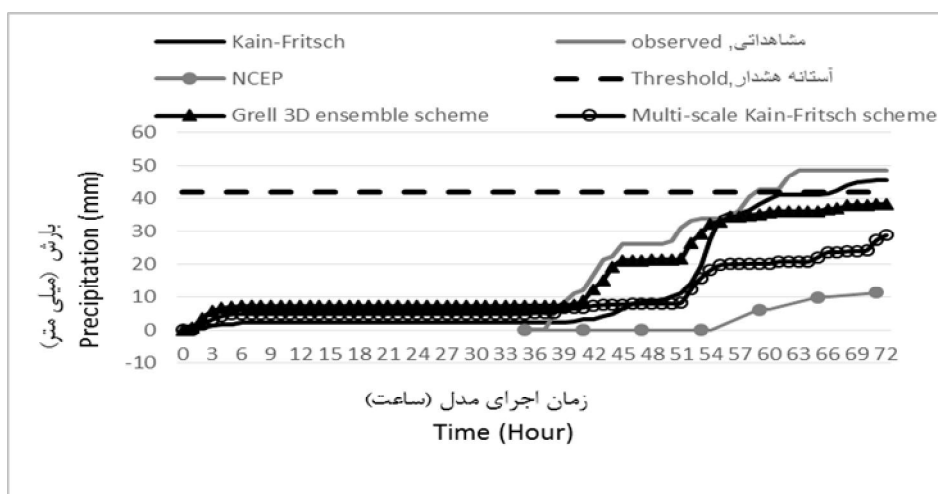
طرحواره منتخب مورد استفاده در اجرای مدل Type of the scheme that used in WRF run	فیزیک مدل Physics scheme
WSM 3-class (۱۶)	طرحواره میکروفیزیک (Microphysics)
RRTM (۱۱)	طرحواره تابش طول موج بلند (Longwave radiation)
Dudhia (۱۱)	طرحواره تابش طول موج کوتاه (Shortwave radiation)
Monin-Obukhov (۲۴)	طرحواره لایه سطحی (Surface layer)
Noah land-surface model (۹)	طرحواره سطح زمین (Land surface)
YSU (۱۵)	طرحواره لایه مرزی (Boundary layers)
Kain-Fritsch (۱۸)	
Grell 3D ensemble scheme (۱۵)	طرحواره همرفت (Cumulus parameterization)
Multi-scale Kain-Fritsch scheme (۳۲)	

نتایج و بحث

در این بخش، بارش‌های پیش‌بینی شده توسط NCEP و پیش‌بینی‌های مدل WRF با بارش‌های مشاهداتی متناظر در ایستگاه باران‌سنجی امامزاده داوود مقایسه شده است. پیش‌بینی‌های متناظر در محل ایستگاه باران‌سنجی از روش میان‌یابی نزدیک‌ترین همسایه به‌دست آمده است. ارزیابی‌ها در دامنه کوچک‌تر با قدرت تفکیک ۳ کیلومتر و بر روی سه رویداد بارش سنگین مولد سیلاب در گذشته صورت گرفته است. صدور هشدار سیلاب براساس مقایسه بارش پیش‌بینی شده با مقدار بارش آستانه هشدار سیلاب صورت می‌گیرد. با توجه به این‌که اغلب بارش با دوره بازگشت ۲۵ ساله، اساس طراحی حریم

و بستر رودخانه‌ها قرار می‌گیرد مبنای صدور هشدار سیلاب نیز دوره بازگشت ۲۵ ساله در نظر گرفته شده است (۷).

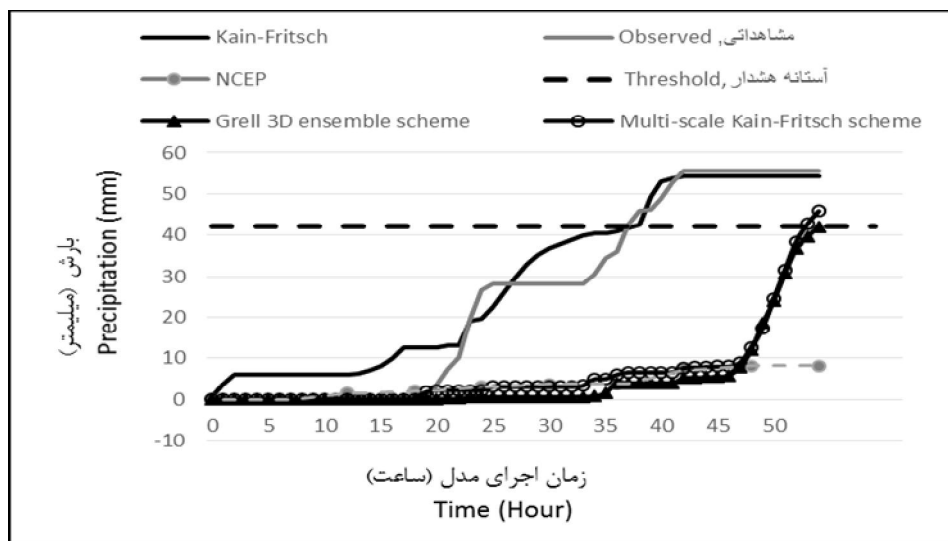
براساس پژوهشی که عباسی و همکاران در حوضه رودخانه کن انجام دادند، میزان بارش با دوره بازگشت ۲۵ ساله برابر با ۴۲/۶ میلی‌متر تعیین شده است. بنابراین در زمان پیش‌بینی یک رویداد بارش در حوضه کن، چنانچه میزان بارش از آستانه ۴۲ میلی‌متری عبور کند اعلام هشدار خواهد شد. در شکل‌های ۲ تا ۴ نمودار بارش تجمعی مشاهداتی و پیش‌بینی شده برای سه رویداد مذکور ارائه شده است. همچنین در این اشکال، آستانه هشدار سیلاب به‌صورت خط افقی ترسیم شده است.



شکل ۲- مقایسه بارش تجمعی مشاهداتی و پیش‌بینی در تاریخ ۱۳۸۹/۱/۱۹.

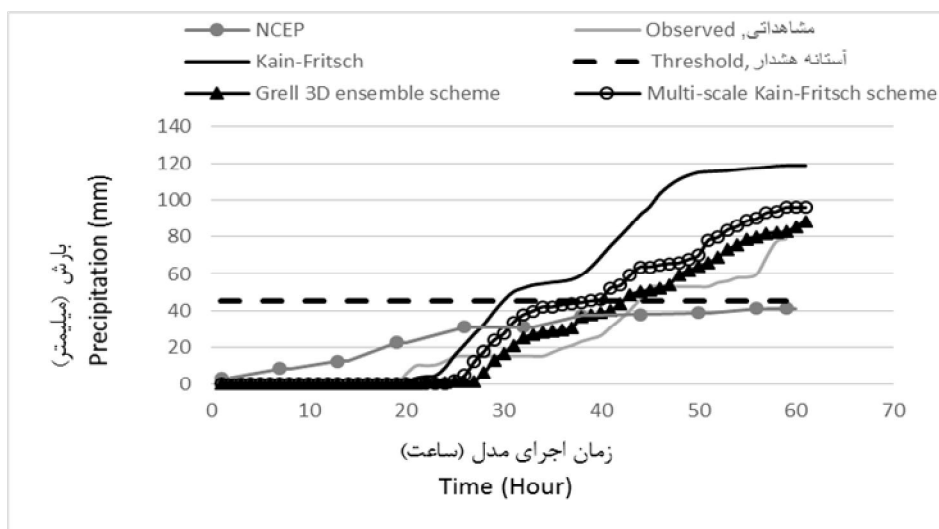
Figure 2. Comparison of forecasted and observed precipitation on 8/04/2010.





شکل ۳- مقایسه بارش تجمعی مشاهداتی و پیش‌بینی در تاریخ ۱۳۹۰/۱/۱۶.

Figure 3. Comparison of forecasted and observed precipitation on 5/04/2011.



شکل ۴- مقایسه بارش تجمعی مشاهداتی و پیش‌بینی در تاریخ ۱۳۹۱/۸/۲۳.

Figure 4. Comparison of forecasted and observed precipitation on 13/11/2012.

این‌که در هر سه رویداد مورد مطالعه مقدار بارش تجمعی مشاهداتی بالاتر از آستانه هشدار سیلاب بوده است، مقدار بارش پیش‌بینی‌شده توسط NCEP از حد آستانه هشدار سیل عبور نکرده است. مسأله دیگری که در پیش‌بینی بارش دارای اهمیت است، پیش‌بینی صحیح زمان وقوع رویداد است. در جدول ۲ زمان شروع و خاتمه بارندگی برای دو حالت

همان‌طور که در شکل‌های ۲ تا ۴ مشاهده می‌شود، پیش‌بینی‌های NCEP جهت ارزیابی وقوع یا عدم وقوع بارندگی (صرف‌نظر از مقدار بارش) مناسب می‌باشد و در هر سه رویداد مورد مطالعه وقوع بارندگی پیش‌بینی‌شده است اما از نظر کمی، مقدار بارش پیش‌بینی‌شده بسیار کم‌تر از مقدار مشاهداتی متناظر با آن برآورد شده است. با وجود



هشدار سیلاب پیش‌بینی شده است. همچنین مشاهده می‌شود که شیب منحنی بارش پیش‌بینی شده توسط مدل WRF با شیب منحنی مشاهداتی کاملاً همخوانی دارد و در ساعت‌هایی که بارش مشاهداتی متوقف شده است، نمودار بارش تجمعی پیش‌بینی شده نیز به صورت خطوط افقی درآمده است. این مدل علاوه بر برآورد نسبتاً دقیق مقدار کمی بارش، زمان وقوع آن را نیز به درستی پیش‌بینی کرده است (جدول ۲). افزایش دقت مدل WRF در پیش‌بینی زمان شروع و خاتمه بارش، به دلیل استفاده از گام‌های زمانی کوچک‌تر در اجرای این مدل نسبت به مدل جهانی است. چرا که در مدل جهانی گام زمانی در دسترس بودن پیش‌بینی‌ها ۶ ساعته است، اما در پژوهش حاضر از گام‌های زمانی ۱ ساعته در اجرای مدل WRF استفاده شده است.

پیش‌بینی و مشاهداتی ارائه شده است. براساس این جدول، در پیش‌بینی‌های NCEP زمان شروع و خاتمه بارش با زمان واقعی رخداد تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای دارد. پیش‌تر نیز ذکر شد که پیش‌بینی‌های این مرکز در مقیاس بزرگ شبکه‌بندی شده‌اند، درون‌یابی پیش‌بینی‌ها به دلیل وابستگی بارش با توپوگرافی منطقه خطای بزرگی را به همراه دارد. بنابراین استفاده از مدل‌های دینامیکی جهت ریزمقیاس‌نمایی پیش‌بینی‌ها ضروری به نظر می‌رسد و به همین منظور در این پژوهش از مدل عددی WRF استفاده شده است. مقایسه نمودار بارش تجمعی پیش‌بینی شده توسط مدل WRF با مقادیر مشاهداتی نشان می‌دهد که این مدل عملکرد مطلوبی در پیش‌بینی بارش‌های سنگین دارد و در هر سه رویداد مورد مطالعه، مقدار بارش پیش‌بینی شده همانند مقدار مشاهداتی متناظر، از آستانه هشدار سیلاب عبور کرده است و یا مقداری نزدیک به آستانه

جدول ۲- مقایسه بارش‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده از نظر مقدار و زمان وقوع بارش.

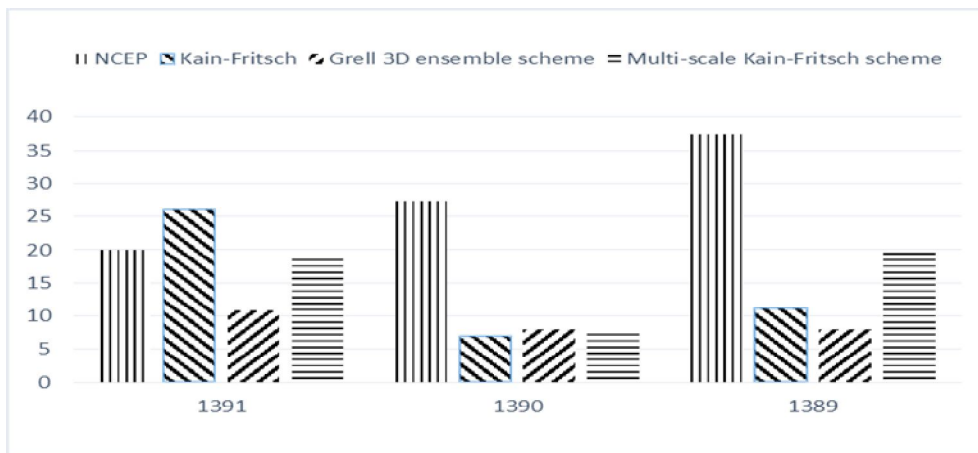
Table 2. Comparison of forecasted and observed precipitation in terms of amount and time.

زمان پایان (UTM) End Time (UTM)		زمان شروع (UTM) Start time (UTM)		بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)		مشخصه Attribute			
NCEP	WRF	واقعی observed	NCEP	WRF	واقعی observed	NCEP	WRF**	واقعی observed	رویداد Event
10.4.2010	09.4.2010	09.4.2010	09.4.2010	08.4.2010	08.4.2010	11.3	45.5	48.8	8.04.2010
00:00	22:00	15:00	06:00	18:00	15:00				
06.04.2011	06.04.2011	06.04.2011	05.04.2011	05.04.2011	05.04.2011	7.2	54.3	55.5	5.04.2011
12:00	12:00	12:00	06:00	08:00	13:00				
14.11.2012	14.11.2012	14.11.2012	13.11.2012	13.11.2012	13.11.2012	41	118	78.9	13.11.2012
06:00	10:00	10:00	00:00	18:00	19:00				

\*\* نتایج WRF برای بهترین طرحواره همرفت (Kain-Fritsch) ارائه شده است.

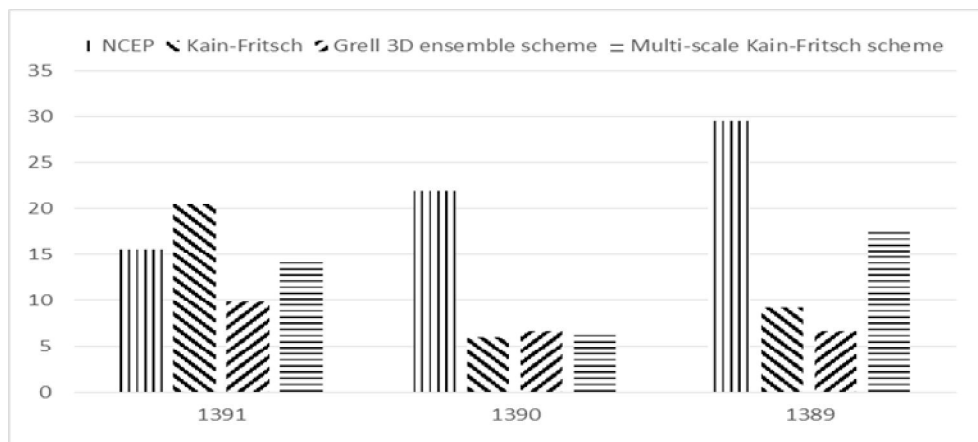
است. همچنین مقایسه بین سه طرح مختلف همرفت نشان می‌دهد که طرح Grell 3D ensemble scheme نسبت به دو طرح دیگر دارای خطای پیش‌بینی کم‌تری است. جهت بررسی اریبی خطا و ارزیابی بیش و یا کم‌برآورد پیش‌بینی‌ها از شاخص میانگین انحراف خطا استفاده و نتایج آن در شکل ۷ ارائه شده است. مطابق این شکل، پیش‌بینی‌های NCEP همواره میزان بارش را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد کرده است اما در مدل WRF پیش‌بینی‌ها دارای اریبی مشخصی نیست.

اگرچه اشکال ۲ تا ۴ به خوبی بیانگر توانایی مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین است، اما در ادامه جهت بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر و همچنین جهت مقایسه طرح‌های مختلف همرفت از سه شاخص RMSE، MAE و MBE استفاده شده است. در شکل‌های ۵ و ۶ شاخص‌های خطا برای هر سه رویداد مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، مقدار خطای مدل WRF در دو شاخص RMSE و MAE به مقدار قابل‌توجهی نسبت به پیش‌بینی‌های NCEP کاهش یافته



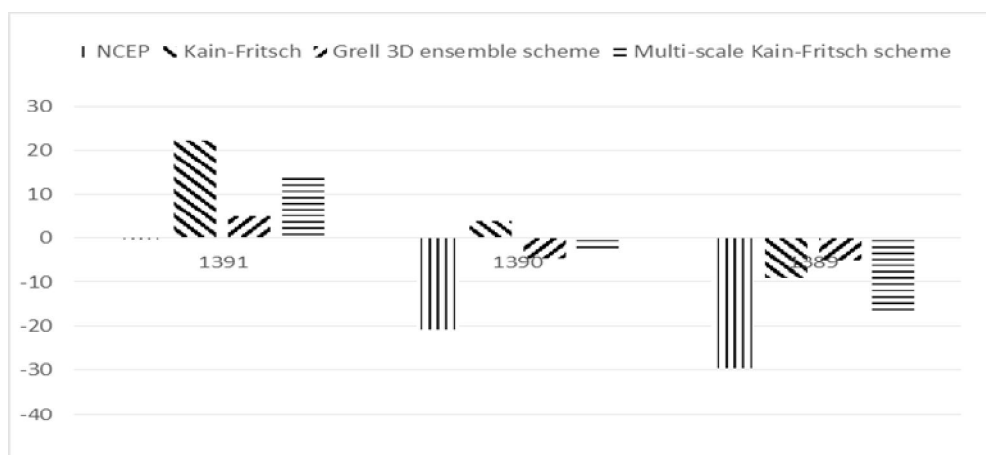
شکل ۵- شاخص RMSE در بارش‌های پیش‌بینی‌شده توسط مدل NCEP و طرح‌واره‌های مختلف WRF.

Figure 5. Root Mean Square Errors of rainfall obtained from the NCEP and the various scheme of WRF.



شکل ۶- شاخص MAE در بارش‌های پیش‌بینی‌شده توسط مدل NCEP و طرح‌واره‌های مختلف WRF.

Figure 6. Mean Absolute Errors of rainfall obtained from the NCEP and the various scheme of WRF.



شکل ۷- شاخص MBE در بارش‌های پیش‌بینی‌شده توسط مدل NCEP و طرحواره‌های مختلف WRF.

Figure 7. Mean Bias Errors of rainfall obtained from the NCEP and the various scheme of WRF model.

نسبتاً مطلوب مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین است به طوری که با اجرای این مدل، مقدار شاخص‌های خطا (ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین قدرمطلق خطا) به مقدار قابل توجهی نسبت به مدل بزرگ مقیاس کاهش یافت. همچنین زمان شروع و خاتمه بارش در مدل WRF به زمان رخداد مشاهداتی بسیار نزدیک است. مقایسه بین سه طرح مختلف همرفت نشان می‌دهد که طرح Grell 3D ensemble scheme نسبت به دو طرح دیگر دارای خطای پیش‌بینی کم‌تری است. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که در تدوین و توسعه سیستم هشدار سیلاب در حوضه‌های سیل‌خیز کشور، از مدل WRF در ترکیب با مدل هیدرولوژیکی جهت پیش‌بینی سیلاب استفاده شود. استفاده از این مدل علاوه بر بهبود پیش‌بینی‌های بارش منجر به افزایش زمان پیش‌هشدار سیلاب نیز می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش عملکرد مدل WRF و مرکز ملی پیش‌بینی زیست‌محیطی در پیش‌بینی بارش‌های سنگین در حوضه رودخانه کن مورد ارزیابی قرار گرفته است. علت بررسی این منطقه به دلیل وجود سیلاب‌های فراوان و خسارات جانی و مالی وارده می‌باشد. ارزیابی‌ها بر روی سه رویداد بارش سنگین مولد سیلاب در منطقه مورد مطالعه انجام شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که پیش‌بینی‌های جهانی NCEP مقدار بارش را بسیار کم‌تر از مقدار مشاهداتی متناظر با آن برآورد کرده است، ضمن این‌که زمان وقوع رخداد بارش نیز به درستی پیش‌بینی نشده است. درونبایی پیش‌بینی‌های مدل جهانی به دلیل وابستگی بارش با توپوگرافی منطقه خطای بزرگی را به همراه دارد. بنابراین استفاده از مدل‌های دینامیکی جهت ریزمقیاس‌نمایی پیش‌بینی‌ها ضروری به نظر می‌رسد. همچنین نتایج بیانگر عملکرد

منابع

1. Abbasi, M., Mohseni Sarai, M., Kheirkhah, M., Khalighi Sigaroudi, Sh., Rostamizad, Gh., and Hosseini, M. 2010. Assessment of Watershed Management Activities on Time of Concentration and Curve Number using HEC-HMS Model. *J. Range Water. Manage. Iran. J. Natur. Resour.* 63: 3. 375-385. (In Persian)
2. Afandi, G., Morsy, M., and El Hussieny, F. 2013. Heavy rainfall simulation over Sinai Peninsula using the weather research and forecasting model. *Inter. J. Atm. Sci.* Pp: 1-11.
3. Amini, L., Parhizkar, D., and Khakian, Gh. 2012. The performance of WRF model in heavy rainfall forecasting in Esfahan province. The second national conference on flood management and engineering with the approach of urban flooding, Tehran. (In Persian)
4. Azadi, M., Shirgholami, M., Hejam, S., and Sahraean, F. 2011. WRF Model Output Postprocessing for Daily Precipitation over Iran. *Iran-Water Resour. J.* 7: 4. 71-81. (In Persian)
5. Azadi, M., Tghizade, A., and Memarian, M. 2010. Comparison of WRF and MM5 in rainfall forecasting. 14<sup>th</sup> Geophysics Conference of Iran, Tehran, Iran's geopolitical Forum. (In Persian)
6. Banihabib, M., and Arabi, A. 2010. Evaluation of the effects of watershed management practices on the lead time. *J. Environ. Sci. Technol.* 12: 1. 77-81. (In Persian)
7. Banihabib, M.E., and Arabi, A. 2016. The impact of catchment management on emergency management of flash-flood. *Inter. J. Emer. Manage.* 12: 2. 185-195.
8. Banihabib, M.E., Arabi, A., and Salha, A. 2015. A dynamic artificial neural network for assessment of land-use change impact on warning lead-time of flood. *Inter. J. Hydrol. Sci. Technol.* 5: 2. 163-178.
9. Chen, F., and Dudhia, J. 2001. Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Monthly Weather Review.* 129: 4. 569-585.
10. Cloke, H., and Pappenberger, F. 2009. Ensemble flood forecasting: a review. *J. Hydrol.* 375: 3. 613-626.
11. Dudhia, J. 1989. Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atm. Sci.* 46: 20. 3077-3107.
12. Falahi, M., Varvani, H., and Golian, S. 2011. Rainfall forecasting using the regression tree model in order to flood management. 5<sup>th</sup> National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, Kerman. (In Persian)
13. Goodarzi, L., and Roozbahani, A. 2013. Comparison of ARIMA and Holt-winters time series models in rainfall forecasting. Second National Conference on Water crisis (climate change, water and the environment), Shahrekord. (In Persian)
14. Goodess, C.M., Bárdossy, A., Haylock, M.R., and Ribalaygua, J. 2012. An intercomparison of statistical downscaling methods for Europe and European regions, Climatic Research Unit Research Publication, 11p.
15. Grell, G.A. 1993: Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. *Mon. Wea. Rev.* 121: 764-787.
16. Hong, S.Y., Noh, Y., and Dudhia, J. 2006. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Monthly Weather Review.* 134: 9. 2318-2341.
17. Hong, S.Y., Dudhia, J., and Chen, S.H. 2004. A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Monthly Weather Review.* 132: 1. 103-120.
18. Hsiao, L.F., Yang, M.J., Lee, C., Kuo, H.C., Shih, D., Tsai, C., and Lin, G.F. 2013. Ensemble forecasting of typhoon rainfall and floods over a mountainous watershed in Taiwan. *J. Hydrol.* 506: 55-68.
19. Kain, J.S., and Fritsch, J.M. 1993. Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. In *The representation of cumulus convection in numerical models.* American Meteorological Society, Pp: 165-170.

20. Koohi, M., Moosavi, M., Faridhoseini, A., Sanaenejad, H., and Jabari, H. 2012. Statistical downscaling and the future scenarios of extreme precipitation events. *J. Climatol. Res.* 3: 12. 35-53. (In Persian)
21. Kryza, M., Werner, M., Walszek, K., and Dore, A.J. 2013. Application and evaluation of the WRF model for high-resolution forecasting of rainfall-a case study of SW Poland. *Meteorologische Zeitschrift.* 22: 5. 595-601.
22. Laifang, L., Wenhong, L., and Jiming, J. 2014. Improvements in WRF simulation skills of southeastern United States summer rainfall: physical parameterization and horizontal resolution. *Climate Dynamics.* 43: 7-8. 2077-2091.
23. Mlawer, E.J., Taubman, S.J., Brown, P.D., Iacono, M.J., and Clough, S.A. 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophysic. Res. Atm.* 102: 14. 16663-16682.
24. Moustris, K.P., Larissi, I.K., Nastos, P.T., and Paliatsos, A.G. 2011. Precipitation forecast using artificial neural networks in specific regions of Greece. *Water resources management.* 25: 8. 1979-1993.
25. Obukhov, A.M. 1971. Turbulence in an atmosphere with a non-uniform temperature. *Boundary-layer meteorology.* 2: 1. 7-29.
26. Partal, T., and Kişi, Ö. 2007. Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for precipitation forecasting. *J. Hydrol.* 342: 1. 199-212.
27. Pennelly, C., Reuter, G., and Flesch, T. 2014. Verification of the WRF model for simulating heavy precipitation in Alberta. *Atmospheric Research.* 135: 172-192.
28. Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., and Powers, J.G. 2005. A description of the advanced research WRF version 2 (No. NCAR/TN-468+STR). National Center for Atmospheric Research Boulder Co Mesoscale and Microscale Meteorology Div.
29. Skamarock, W.C. 2008. A description of the Advanced Research WRF Version3. NCAR Tech. Note NCAR/ TN-4751STR.
30. Taghavi, F., Neyestani, A., and Ghader, S. 2013. Short range precipitation forecasts evaluation of WRF model over Iran. *J. Earth Space Physic.* 39: 2. 145-170. (In Persian)
31. Yazarloo, B., Zakerinia, M., Abdolhoseini, M., and Sharifan, H. 2014. The Prediction of Heavy Precipitation Regarding the Impacts of 21<sup>th</sup> Century Climate Changes in selected stations Golestan Province. *J. Water Soil Cons.* 22: 3. 137-150. (In Persian)
32. Zakeri, Z., Azadi, M., and Sahraean, F. 2014. WRF model output verification for rainfall on Iran. *J. Nivar.* 87-86: 3-10. (In Persian)
33. Zheng, Y., Alapaty, K., Herwehe, J.A., Del Genio, A.D., and Niyogi, D. 2016. Improving high-resolution weather forecasts using the Weather Research and Forecasting (WRF) Model with an updated Kain-Fritsch scheme. *Mon. Wea. Rev.* 117: 3. 833-860.
34. Zoljoodi, M., Ghazimirsaeid, S., and Seifari, Z. 2013. Evaluation of physics scheme of WRF model in precipitation forecasting in Iran. *J. Geographic. Res.* 28: 2. 187-194. (In Persian)



## Evaluation of the WRF model performance for heavy rainfall simulation A Case Study of the Kan Basin in Iran

L. Goodarzi<sup>1</sup>, \*M.E. Banihabib<sup>2</sup> and P. Ghafarian<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student of Water Resources, Dept. of Irrigation and Drainage, College of Aburaihan, University of Tehran,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Irrigation and Drainage, College of Aburaihan, University of Tehran,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science

Received: 08/16/2016; Accepted: 12/30/2017

### Abstract

**Background and Objectives:** Heavy rainfalls cause flood events in Iran's watersheds and huge damages every years. Forecasting of heavy rainfall is an essential step in development of a flood warning system. In recent years, the Numerical Weather Prediction (NWP) models were widely used for weather forecasting. Several meteorological centers and services offer weather forecasting using numerical models. It is necessary to mention that the forecasts of these center are meshed at a large scale. One of the widely used dynamical downscaling method is the weather research and forecasting (WRF) model. In this paper, the performance of the WRF model is evaluated for heavy rainfall simulation in Kan Watershed, Tehran.

**Materials and Methods:** The initial and boundary conditions of the model uses data at the start time of Global Forecast System (GFS) (Coordinated Universal Time). Three domains were used in the implementation of WRF model. Horizontal resolution of the domains are 27km, 9 km and 3 km for big, middle and small meshes, respectively. The evaluation was conducted on the short-term forecasting (24 hours). For this purpose, three heavy rainfall historical events which caused floods in the study area were selected and simulated using the WRF model. Precipitation forecasts were also downloaded from NCEP's Internet web site. Then, the heavy rainfall simulated by WRF model and presented by NCEP were compared to the observed rainfall data from rain gauge stations.

**Results:** The results showed that rainfall has been underestimated by NCEP forecasts and also the time of precipitation events has not been correctly predicted. Moreover, the results indicates that the WRF model functions relatively perfect in forecasting the heavy rainfall events, as by running this model, error indices were significantly reduced compared to global model. Furthermore, the comparison of three convection scheme shows that the Grell 3D ensemble scheme results less error that two other schemes in forecasting heavy rainfalls in the study area.

**Conclusion:** Applying the WRF model increased the accuracy of precipitation forecasting compared to the global model. Therefore, it is recommended to use the WRF model coupled with a hydrological model to development a flood warning systems in the flash flood-prone watersheds.

**Keywords:** Forecasting, Heavy rainfall, WRF, Kan Watershed

---

\* Corresponding Author; Email: [banihabib@ut.ac.ir](mailto:banihabib@ut.ac.ir)