

ارزیابی پس پردازش بارش در مدل پیش‌بینی عددی WRF در محدوده استان لرستان طی ماه‌های مارس و آوریل ۲۰۱۹

زینب اکبری^{۱*}، حسین مسعودی^۲، بهروز مرادپور^۳، روح اله داودی^۴

۱- کارشناس ارشد فیزیک، معاون توسعه و پیش‌بینی هواشناسی لرستان

۲- کارشناس ارشد فیزیک، رییس گروه تحقیقات کاربردی هواشناسی استان لرستان

۳- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، مدیر کل هواشناسی لرستان

۴- کارشناس ارشد فیزیک، رییس گروه پیش‌بینی و پیش‌آگاهی‌های جوی هواشناسی لرستان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴)

چکیده

در این پژوهش نتایج پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته بارش در مدل میان‌مقیاس WRF با دامنه‌های تو در تو و با تفکیک‌های ۱۸ و ۶ کیلومتر (اجرا شده در هواشناسی لرستان) و با تفکیک‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر (اجرا شده در پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو)، بدون طرحواره، برای یک دوره ۲ ماهه از اول مارس ۲۰۱۹ تا پایان آوریل ۲۰۱۹ بررسی و با داده‌های دیدبانی بارش برای ۱۰ ایستگاه همدیدی هواشناسی لرستان مقایسه شده‌اند. نتایج پس‌پردازش برنوداها به روش میانگین لغزان نشان داد که خروجی‌های ۲۷، ۹ و ۱۸ کیلومتر به ترتیب با مقادیر ۷/۳، ۴/۸ و ۱ درصد بیشترین افزایش دقت پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته را پس از پس‌پردازش داشته‌اند و تنها خروجی ۶ کیلومتر با ۷/۷- درصد پس از پس‌پردازش کاهش عملکرد پیدا کرده‌است. همچنین خروجی‌های ۲۷، ۱۸ و ۹ کیلومتر به ترتیب با مقادیر ۹/۴، ۷/۸ و ۴/۸ درصد بیشترین افزایش دقت پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعته را پس از پس‌پردازش داشته‌اند و تنها خروجی ۶ کیلومتر با ۰/۹- درصد پس از پس‌پردازش کاهش عملکرد پیدا کرده‌است. پهنه‌بندی پس‌پردازش برای استان مشخص ساخت که پس‌پردازش به روش میانگین لغزان وزن دار برای هر دو بازه زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعته در تصحیح برنودادهای مدل، عامل ارتفاع از سطح دریا موجب کاهش دقت پیش‌بینی‌ها گردید بطوریکه در مناطقی که دارای ارتفاع کمتری بوده‌اند موثرتر بوده‌است.

کلمات کلیدی: پس‌پردازش، پیش‌بینی عددی، بارش، میانگین لغزان، استان لرستان.

مقدمه

دهه حاضر برابر کیفیت پیش‌بینی ۲۴ ساعت قبل در دهه ۱۹۵۰ است. در واقع منافع اقتصادی و اجتماعی کاربری فناوری‌های هواشناسی در مدیریت بلایای طبیعی و اقلیمی از هزینه نسبتاً اندک به کارگیری این فن‌آوری‌ها و نیروهای متخصص به کاهش قابل توجه خسارات انسانی و مالی بلایای طبیعی و اقلیمی در کوتاه مدت و بلند مدت منتج می‌شود. به طور کلی در پیش‌بینی عددی وضع هوا، با حل عددی معادلات دیفرانسیلی حاکم بر حرکت‌های جوی سروکار داریم. نخستین بار ویلهلم برکنس در ۱۹۰۴ متوجه شد که می‌توان مسأله پیش‌بینی عددی وضع هوا را به صورت ریاضی و در قالب یک مسأله مقدار مرزی-اولیه تشریح کرد. اولین دانشمندی که تلاش کرد این معادلات را با استفاده از یک

پیش‌بینی وضع هوا از دیرباز اهمیت بسیار زیادی داشته‌است و محدوده وسیعی از زندگی روزمره را تحت تأثیر خود قرار داده‌است. بسیاری از فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی انسان‌ها به شرایط جوی و اقلیمی بستگی دارد. بنابراین همواره تلاش بر این بوده‌است که پیش‌بینی پارامترهایی همچون بارش و دما که به عنوان دو عامل مهم در بخش‌های کشاورزی و صنعت محسوب می‌شوند به کمک مدل‌های هواشناسی بهبود یابد. طی بیست سال گذشته، با توسعه نرم‌افزاری و سخت‌افزاری در زمینه علوم رایانه‌ای و روش‌های مدل‌های عددی پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در پیش‌بینی هواشناسی حاصل شده‌است. امروزه رایانه‌های بسیار پر قدرتی وجود دارند که قدرت پیش‌بینی ۵ روز قبل آنها در

روش عددی حل کند، ریچاردسون بود که با صرف شش هفته وقت یک پیش‌بینی ۶ ساعته (مربوط به ۲۰ می ۱۹۱۰) را به دست آورد (۱۹۲۲) و سپس نتایج کار خود را در کتابی منتشر کرد. البته به دلایلی از جمله عدم آگاهی در مورد وجود محدودیت برای انتخاب گام زمانی در حل عددی که چند سال بعد توسط کورانت و همکاران (۱۹۲۸) منتشر شد و همچنین مسأله آغازگری معادلات، نتیجه کار ریچاردسون به هیچ وجه قابل قبول نبود و خطای بسیاری داشت. به هر صورت این تلاش‌ها ادامه پیدا کرد تا حدود سال ۱۹۵۰ میلادی که از یک سو علم هواشناسی دینامیکی در اثر تلاش دانشمندانی نظیر راسبی و چارنی پیشرفت زیادی کرده بود و از سوی دیگر با راه اندازی رایانه انیاک در دانشگاه پرینستون (۱۹۴۶) سامانه‌ای با سرعت کافی برای انجام آن محاسبات راه‌اندازی شد. به این ترتیب چارنی، فون‌نیومان و فیورتافت اولین پیش‌بینی عددی موفقیت‌آمیز را برای پیش‌بینی ارتفاع تراز hPa500 جو با استفاده از حل عددی معادله تاوایی فشارورد انجام دادند. ده سال بعد، اولین ماهواره هواشناسی شروع به ارسال تصاویری از جو زمین و ابرها به زمین کرد و از آن زمان پیشرفت‌های بسیار در تمامی زمینه‌های مرتبط اعم از هواشناسی دینامیکی، ابداع رایانه‌های پیشرفته و ابررایانه‌ها، گسترش شبکه دیدبانی هواشناسی از نظر کمی و کیفی (افزایش تعداد و تنوع ابزارهای اندازه‌گیری جو مانند ایجاد سامانه‌های (AMDAR) و به ویژه پیشرفت‌های نوین ماهواره‌های هواشناسی، علم پیش‌بینی عددی وضع هوا را به یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین شاخه‌های دانش هواشناسی تبدیل و در میان گرایش‌های مختلف علوم پایه ریاضی و فیزیکی از اهمیت زیادی برخوردار کرده است. درستی سنجی فرآیندی است که کیفیت، مهارت و ارزش یک پیش‌بینی را از طریق مقایسه نتایج پیش‌بینی با دیدبانی متناظر تعیین می‌کند. همانطور که برای پیش‌بینی روش‌های مختلفی وجود دارد، درستی سنجی نیز به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود. یکی از روش‌های متداول درستی سنجی عملکرد مدل در پیش‌بینی بارش، در نظر گرفتن بارش بصورت یک کمیت دودویی است که برای هر کدام از آستانه‌های متفاوت بارش جدول توافقی ۲ در ۲ تشکیل می‌شود، سپس کمیت‌های

عددی متناظر با هر جدول محاسبه می‌شود (ویلکس ۲۰۰۶) و در نهایت نتیجه‌گیری بر اساس تحلیل این کمیت‌ها بدست می‌آید. استفاده مناسب و بهینه از مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا نظیر مدل منطقه‌ای WRF (Weather Research and Forecasting) که یکی از جدیدترین مدل‌های هواشناسی توسعه داده شده طی سال‌های اخیر است، ضروری به نظر می‌رسد. بکارگیری مدل WRF برای مقاصد عملیاتی روز به روز در حال گسترش است و علاوه بر اینکه به عنوان یک ابزار مناسب برای کارشناسان هواشناسی در جهت بالا بردن کیفیت پیش‌بینی‌های صادر شده در مراکز پیش‌بینی می‌باشد، بستری مناسب در جهت انجام کارهای تحقیقاتی و تولید علم در سطح استان است. با توجه به توسعه استفاده از مدل منطقه‌ای WRF در مراکز پیش‌بینی، لزوم به کارگیری این مدل با بهینه‌یابی تفکیک‌های قائم و افقی (تعداد نقاط شبکه) در منطقه لرستان و نیز انجام مطالعاتی برای درستی سنجی برون‌داد آن در شرایط گوناگون بارشی به‌ویژه بارش-های سیل‌آسا ضروری به نظر می‌رسد. منظور از فرآیند درستی سنجی، ارزیابی برون‌داد مدل‌ها و پیش‌بینی‌های هواشناسی است که در آن نتایج فرآیند دامنه‌های تفکیکی اجرا شده مدل در پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو و دیدبانی‌های متناظر مقایسه می‌شوند. با توجه به شروع آزمایشی اجرای مدل WRF برای پیش‌بینی بارش در استان لرستان، بررسی نتایج و مقایسه آن‌ها با نتایج اجرای مدل در پژوهشگاه علوم جو و داده‌های دیدبانی اولین قدم مهم و اساسی در این زمینه به شمار آید. با توجه اینکه انتظار می‌رود با تغییر عامل اصلی دینامیکی یا ترمودینامیکی مسبب ناپایداری و بارش، تفکیک مکانی برای شبیه‌سازی مناسب‌تر تغییر نماید و کاربست یک تفکیک افقی در سامانه‌های جوی مختلف مناسب نباشد، هدف از اجرای این طرح بررسی و مقایسه نتایج تفکیک‌های مکانی افقی مدل پیش‌بینی عددی WRF برای پیش‌بینی بارش‌های شدید در استان لرستان است. در این ارتباط پس از اجرای مدل در دو دامنه تفکیکی ۱۸ و ۶ کیلومتر، نتایج حاصله با داده‌های دیدبانی و همچنین برون‌داد مدل با دامنه‌های دیگر (۲۷ و ۹ کیلومتر) مقایسه می‌شوند. نتایج این پژوهش‌ها می‌تواند در اجرای مدل WRF در اداره کل

هواشناسی استان لرستان به منظور پیش بینی بارش و به طور کلی در تمامی کارهای پژوهشی در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی دیگر از جمله استفاده از برون‌داد مدل WRF در مدل های هیدرولوژیکی و پیش بینی سیلاب مورد استفاده قرار گیرد.

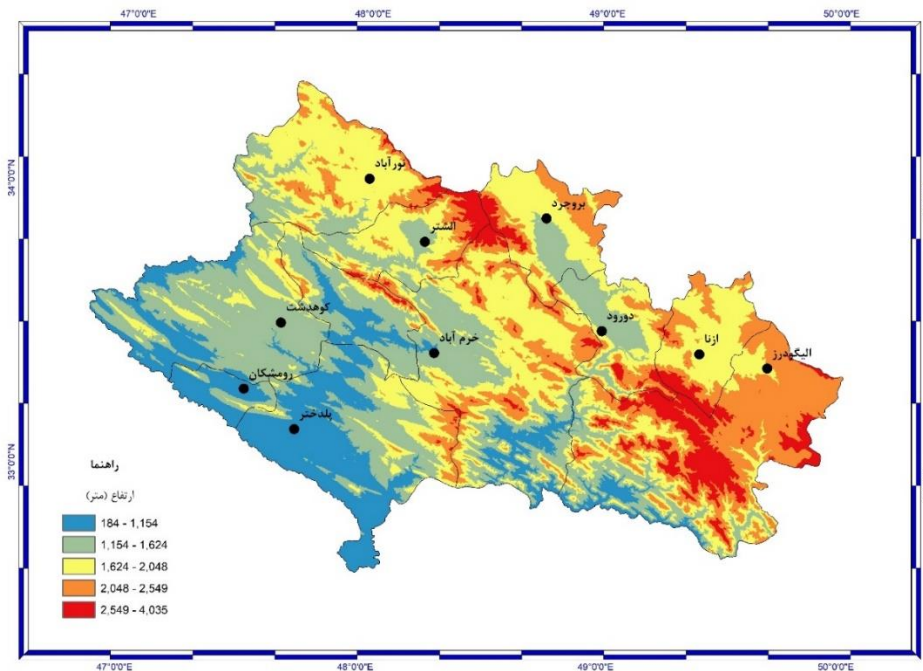
منابع داده‌ها و پردازش آن‌ها

در انجام این تحقیق منابع اطلاعاتی متفاوتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که مهمترین آن‌ها داده‌های آماری مشاهده شده بارش در ایستگاه‌های مستقر در سطح استان لرستان و نیز داده‌های حاصل از پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته بارش برون‌داد مدل WRF با دامنه‌های ۲۷ و ۹ کیلومتر (اجرا شده در پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو) و دامنه‌های ۱۸ و ۶ کیلومتر (اجرا شده در هواشناسی لرستان) هستند که اساس تحلیل‌های آماری این پژوهش می باشند.

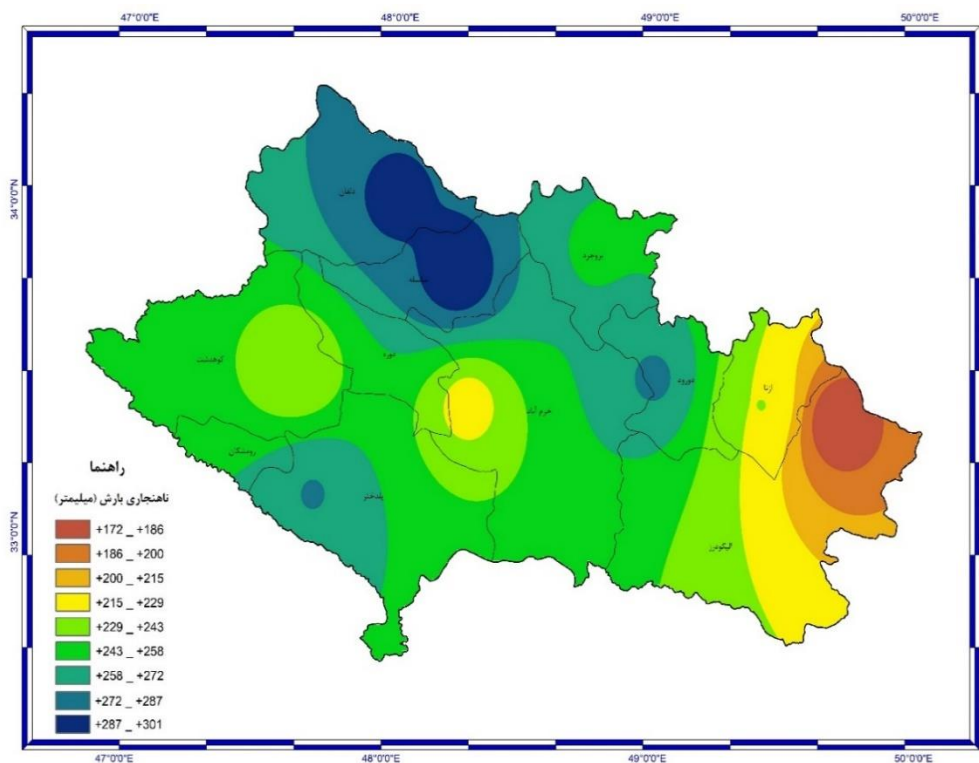
همچنین مهمترین نرم‌افزارهایی که برای تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند عبارتند از: نرم‌افزارهای

محدوده مکانی و زمانی و ویژگی آن

محدوده مکانی و زمانی مورد مطالعه، ۱۰ ایستگاه همدیدی استان لرستان با دوره آماری دو ماهه (اول مارس تا پایان آوریل ۲۰۱۹) است که ویژگی آن وقوع بارش‌های حدی و بی‌سابقه (با دوره بازگشت بیش از ۲۰۰ سال) می‌باشد که منجر به وقوع سیلاب‌های خسارت‌زا گردید. در شکل ۲ نقشه پهنه‌بندی بی‌هنجاری بارش در استان لرستان طی دوره زمانی مذکور نسبت به میانگین دوره آماری بلندمدت نشان داده شده‌است. همان‌طور که دیده می‌شود در سرشاخه‌های حوضه آبریز کرخه واقع در شمال استان لرستان بی‌هنجاری بارشی طی دو ماه مذکور نسبت به میانگین بلندمدت دوره آماری مشابه، حتی به ۳۰۰ میلی‌متر نیز رسیده‌است که به خوبی بیانگر بی‌سابقه بودن بارش طی این بازه زمانی است.



شکل (۱) نقشه توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل (۲) نقشه پهنه بندی بی هنجاری بارش از اول مارس تا پایان آوریل (۲۰۱۹) نسبت به میانگین بلندمدت

جدول (۱) مشخصات ایستگاهها

عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		نوع ایستگاه	ارتفاع	نام ایستگاه
درجه	دقیقه	درجه	دقیقه			
۳۳	۴۳	۴۸	۲۸	همدیدی	۱۱۴۸	خرم آباد
۳۳	۹۲	۴۸	۷۵	همدیدی	۱۶۲۹	بروجرد
۳۳	۴۰	۴۹	۷۰	همدیدی	۲۰۲۲	الیگودرز
۳۳	۴۵	۴۹	۴۱	همدیدی	۱۸۷۲	ازنا
۳۳	۸۱	۴۸	۲۵	همدیدی	۱۵۶۷	الشتر
۳۳	۵۱	۴۷	۶۵	همدیدی	۱۱۹۸	کوهدشت
۳۳	۱۵	۴۷	۷۱	همدیدی	۷۱۳	پلدختر
۳۴	۰۵	۴۸	۰۰	همدیدی	۱۱۸۶	نورآباد
۳۳	۱۵	۴۷	۵۰	همدیدی	۱۰۸۹	رومشکان
۳۳	۵۱	۴۹	۰۰	همدیدی	۱۵۲۲	دورود

مواد و روشها

پس پردازش

پایه‌ی مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا (NWP)، معادلات دینامیک شاره و ترمودینامیک است که از روش‌های عددی مختلف برای حل آنها استفاده می‌شود. به دلیل ساختار پیچیده و آشوبناک جو، معادلات حاکم بر آن بسیار پیچیده است و حل دقیق آنها میسر نیست. در نتیجه برون‌داد مدل‌های عددی همواره با خطا همراه است. خطای مدل‌های عددی شامل مجموع خطاهای سیستماتیک و خطاهای تصادفی می‌باشد. خطاهای سیستماتیک به خاطر تفاوت بین ناهم‌واری مدل، اروگرافی واقعی و کاربری زمین و نیز به علت وجود نقص در پراسنجی فرایندهای فیزیکی متفاوت در مدل می‌باشند. خطای تصادفی تا حد زیادی به خاطر طبیعت بی‌نظم حرکت جو می‌باشد. به عبارتی می‌توان گفت که خطاهای تصادفی خطاهایی هستند که از ضعف فیزیکی مدل‌های عددی در شبیه‌سازی الگوهای عددی در شبیه‌سازی الگوهای حرکتی متغیرهای هواشناسی ناشی می‌شوند. با توجه به آن‌چه که گفته شد برون‌داد مستقیم مدل‌ها را نمی‌توان به صورت مستقیم در اختیار کاربران قرار داد و بایستی با روش‌هایی بر روی آن‌ها عملیات پس پردازش انجام شود تا بخشی از خطاهایی که ذکر آن‌ها در بالا رفت، تصحیح شود. از این روش‌ها می‌توان به روش‌های متداول آماری:

برون‌داد مدل (MOS- Model Output Statistics) و روش پیش‌بینی کامل (PPM- Perfect Prognosis Method) اشاره کرد. کاربست این دو روش مستلزم دارا بودن داده‌های آماری بلندمدت چندساله می‌باشد که با توجه به دوره آماری دو ماهه این پژوهش استفاده از آن‌ها منطقی به نظر نمی‌رسد. در این پژوهش از روش میانگین لغزان (MA) برای پس پردازش خروجی‌های مدل استفاده شده است.

روش میانگین لغزان

روش میانگین لغزان روشی مبتنی بر میانگین وزنی و فرمول‌های بازگشتی زوج داده‌های دیدبانی پایش است. این روش بدون نیاز به مدیریت داده‌های گسترده، خطای سیستماتیک برون‌داد مدل را کاهش می‌دهد. مک کالر و اشتال در سال (۲۰۰۸) یک روش جدید را ابداع کردند که

در این پژوهش جهت ارزیابی نتایج اجرای مدل پیش‌بینی عددی WRF در هواشناسی لرستان و پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو طی بازه زمانی مورد پژوهش از برون‌داد مدل WRF به عنوان یک مدل غیرهیدرواستاتیک با شبکه‌بندی آراکاوا C و داده‌ها و شرایط مرزی GFS (۵/۰ درجه) استفاده شده است. شرایط مرزی و اولیه مدل WRF از داده اجرای ساعت UTC ۱۲ سامانه مدل‌سازی تمام کره‌ای موسوم به GFS (Global Forecast System) از مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) گرفته شده است که در اجرای مدل در این بازه زمانی از کانفیگ مدل physics suite استفاده شده است و به صورت دامنه‌های تو در تو و دو طرفه با تفکیک ۲۷ کیلومتر و ۹ کیلومتر در پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو و با دامنه‌های ۱۸ کیلومتر و ۹ کیلومتر در اداره کل هواشناسی استان لرستان اجرا شده است. تعداد نقاط شبکه‌ای، ۱۲۴ در ۱۱۸ برای حوزه اول و ۲۸۹ در ۲۷۷ برای حوزه دوم و تعداد ترازهای قائم ۳۰ تراز بود. زمان انتگرال‌گیری مدل منطقه ای WRF یک دوره ۲ ماهه از یکم مارس تا ۳۰ آوریل (۲۰۱۹) انتخاب شد. اجرای مدل به صورت روزانه و برای ساعت ۱۲ گرینویچ بوده و در هر اجرا پیش‌بینی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت آینده تولید شده است. همانطور که می‌دانیم به جهت حذف نوسانات و اثرات ناخواسته خروجی مدل‌های عددی بعد از شروع اجرا نیاز به spin-up دارند تا صحت آنها مورد پذیرش قرار بگیرد. به همین منظور در این پژوهش ۱۲ ساعت نخست اجرای مدل را به عنوان spin-up در نظر گرفته و با حذف آن، خروجی‌های بعد از آن را در انجام محاسبات مورد استفاده قرار داده ایم. سپس مقادیر بارش دیدبانی شده در ۱۰ ایستگاه مورد پژوهش با مقادیر بارش متناظر شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF در بازه‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته مقایسه شده‌اند. برای پس پردازش و ارزیابی پیش‌بینی از داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های همدیدی در سطح استان و داده‌های حاصل از اجرای مدل در هر ۴ دامنه مذکور از روش میانگین لغزان وزن دار استفاده گردید.

امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق

این شاخص اشاره به اطلاعاتی درباره ارزش یک پیش‌بینی نسبت به یک پیش‌بینی مرجع دارد که هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده کیفیت بالای پیش‌بینی دارد. روش محاسبه این شاخص به صورت زیر است:

$$MAE_{Skil\ Score} = 1 - \frac{MAE_{pp}}{MAE_{DMO}} \quad (۳)$$

که در آن MAE_{pp} و MAE_{DMO} به ترتیب خطاهای مطلق قبل و بعد از پس پردازش هستند.

نتایج پس پردازش برون‌دادهای مدل برای

پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته

در جدول (۲) میانگین خطای مطلق قبل و پس از پس پردازش آمده‌است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود خطای مطلق میانگین برای ایستگاه‌ها برای تمام خروجی‌ها بجز خروجی ۶ کیلومتر با عملیات پس پردازش به روش میانگین لغزان کاهش یافته‌است.

در آن برای پیش‌بینی مقادیر کمی بارش، سنج‌های به‌عنوان درجه‌ی موازنه جرم (DMB- Degree of Mass Balance) برای تصحیح برون‌داد مستقیم مدل معرفی می‌شود. درجه‌ی موازنه جرم بیانگر نسبت آب خالص دیدبانی شده به مقدار پیش‌بینی شده برای بازه زمانی مورد نظر است که به صورت زیر فرمول بندی می‌شود:

$$DMB = \frac{\sum X_k^f}{\sum Y_k^o} \quad (۱)$$

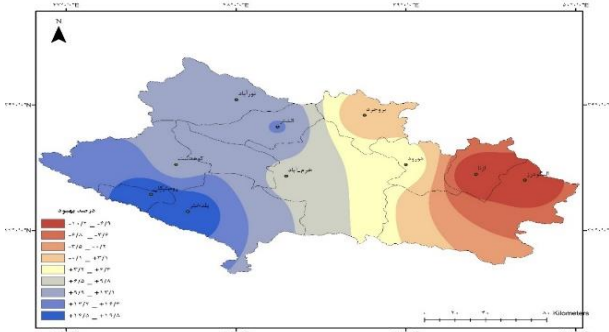
که در رابطه فوق DMB، درجه‌ی موازنه جرم برای بازه N روزه، X_k^f ، پیش‌بینی بارندگی برای روز k ام و Y_k^o دیدبانی متناظر برای روز k ام می‌باشد. درجه‌ی موازنه جرم نمی‌تواند برای یک زوج داده‌ی دیدبانی - پیش‌بینی منفرد به کار برده شود و بایستی یک دوره زمانی که در آن دوره، بارندگی دیدبانی شده است را پوشش دهد تا مخرج کسر در رابطه فوق صفر نباشد. پیش‌بینی‌های کمی تصحیح شده بارش، با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست می‌آیند:

$$QPF_c = \frac{DMO}{DMB_N} \quad (۲)$$

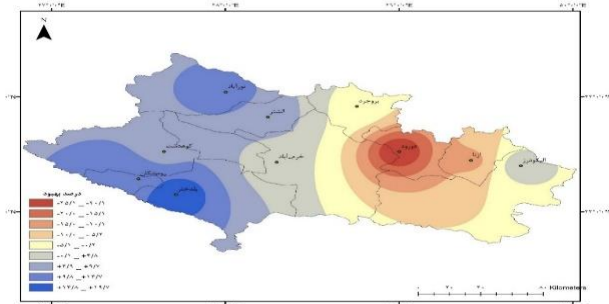
در این روابط QPF_c پیش‌بینی خام تصحیح شده، DMO برون‌داد مستقیم مدل و DMB درجه‌ی موازنه‌ی جرم برای روز N ام هستند.

جدول (۲) مقایسه میانگین خطای مطلق پیش‌بینی ۲۴ ساعته بدون پس پردازش و بعد از پس پردازش به روش میانگین لغزان برای خروجی‌های مختلف

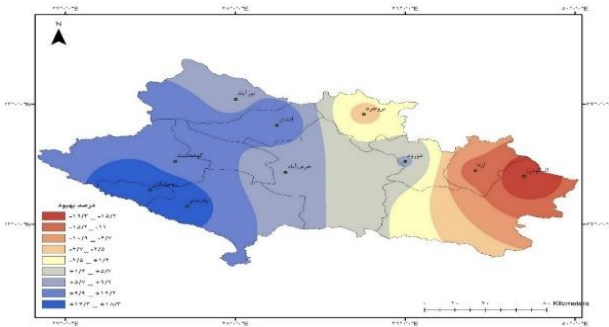
ایستگاه	بدون پس پردازش				بعد از پس پردازش			
	۶ کیلومتر	۹ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۲۷ کیلومتر	۶ کیلومتر	۹ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۲۷ کیلومتر
خرم‌آباد	۳/۸۰	۵/۴۰	۵/۳۰	۶/۵۰	۳/۴۰	۵/۰۰	۵/۳۰	۸/۶۰
بروجرد	۴/۴۰	۵/۶۰	۴/۸۰	۶/۲۰	۴/۴۰	۵/۰۰	۵/۶۰	۶/۵۰
الیگودرز	۳/۷۰	۴/۳۰	۴/۰۰	۴/۵۰	۴/۱۰	۴/۲۰	۴/۸۰	۵/۳۰
کوه‌دشت	۴/۰۰	۴/۸۰	۴/۴۰	۵/۲۰	۳/۶۰	۴/۴۰	۳/۸۰	۴/۹۰
نورآباد	۵/۸۰	۳/۸۰	۶/۱۰	۴/۴۰	۵/۱۰	۳/۳۰	۵/۵۰	۳/۸۰
پلدختر	۳/۹۰	۵/۰۰	۳/۸۰	۵/۰۰	۳/۱۰	۴/۰۰	۳/۳۰	۴/۰۰
دورود	۵/۵۰	۷/۶۰	۶/۲۰	۸/۰۰	۵/۲۰	۹/۵۰	۵/۸۰	۱۱/۱۰
الشتر	۳/۹۰	۶/۱۰	۴/۷۰	۶/۳۰	۳/۴۰	۵/۶۰	۴/۰۰	۶/۶۰
ازنا	۳/۷۰	۴/۹۰	۴/۸۰	۵/۲۰	۴/۱۰	۵/۵۰	۵/۴۰	۵/۷۰
رومشکان	۴/۲۰	۴/۴۰	۴/۱۰	۴/۴۰	۳/۴۰	۳/۸۰	۳/۴۰	۳/۶۰
میانگین	۴/۳۰	۵/۲۰	۴/۸۰	۵/۶۰	۴/۰۰	۵/۱۰	۴/۶۰	۶/۰۰



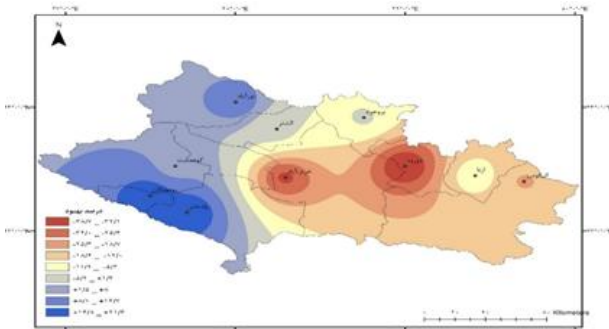
شکل (۳) نقشه پهنه‌بندی درصد بهبود عملکرد پیش‌بینی ۲۴ ساعته برای خروجی ۲۷ کیلومتر پس از پس پردازش



شکل (۴) نقشه پهنه‌بندی درصد بهبود عملکرد پیش‌بینی ۲۴ ساعته برای خروجی ۱۸ کیلومتر پس از پس پردازش



شکل (۵) نقشه پهنه‌بندی درصد بهبود عملکرد پیش‌بینی ۲۴ ساعته برای خروجی ۹ کیلومتر پس از پس پردازش



شکل (۶) نقشه پهنه‌بندی درصد بهبود عملکرد پیش‌بینی ۲۴ ساعته برای خروجی ۶ کیلومتر پس از پس پردازش

در جدول (۳) درصد بهبود پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته پس از پس پردازش آمده‌است. بهترین بهبود برای ایستگاه پلدختر و به میزان ۱۹/۸ درصد برای خروجی ۲۷ کیلومتر و بدترین نتیجه برای ایستگاه دورود برای خروجی ۶ کیلومتر به میزان ۳۸/۸- درصد برای خروجی ۶ کیلومتر رخ داده‌است. در مجموع نیز خروجی‌های ۲۷ کیلومتر، ۹ کیلومتر و ۱۸ کیلومتر به ترتیب با مقادیر ۷/۳، ۴/۸ و ۱ درصد بیشترین افزایش دقت پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته را داشته‌اند و تنها خروجی ۶ کیلومتر با ۷/۷- درصد پس از پس پردازش کاهش عملکرد پیدا کرده است.

جدول (۳) درصد بهبود خروجی‌های ۲۴ ساعته با پس پردازش به روش میانگین

لغزان

ایستگاه	خروجی			
	۶ کیلومتر	۹ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۲۷ کیلومتر
خرم‌آباد	۳۳/۴-	۵/۸	۰/۳	۹/۲
بروجرد	۴/۷-	۳/۷-	۱/۴-	۰/۴
الیگودرز	۱۹/۰-	۱۹/۳-	۲/۶	۸/۹-
کوه‌دشت	۵/۸	۱۳/۱	۸/۰	۱۰/۹
نورآباد	۱۳/۳	۹/۷	۱۳/۶	۱۱/۳
پلدختر	۲۱/۴	۱۵/۵	۱۹/۷	۱۹/۸
دورود	۳۸/۸-	۶/۱	۲۵/۱-	۵/۲
الشتر	۳/۸-	۱۳/۶	۸/۱	۱۳/۴
ازنا	۸/۷-	۱۲/۱-	۱۱/۳-	۱۰/۲-
رومشکان	۱۹/۱	۱۸/۳	۱۲/۳	۱۹/۱
میانگین	۷/۷-	۴/۸	۱/۰	۷/۳

در شکل‌های (۳) تا (۶) نقشه‌های پهنه‌بندی بهبود عملکرد پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته برای خروجی‌های مختلف نشان داده شده‌است. همان‌گونه که دیده می‌شود برای همه‌ی خروجی‌ها دقت پیش‌بینی برای ایستگاه‌های غربی استان (پلدختر، رومشکان، کوه‌دشت و نورآباد) پس از پس پردازش افزایش یافته‌است. همچنین به‌طور کلی می‌توان ادعا نمود که پس پردازش به روش میانگین لغزان برای نیمه غربی استان (حوضه آبریز کرخه) در همه‌ی خروجی‌ها موثرتر بوده‌است.

نتایج پس پردازش برون‌دادهای مدل برای

پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعته

همانگونه که مشاهده می‌شود خطای مطلق میانگین برای ایستگاهها برای تمام خروجی‌ها بجز خروجی ۶ کیلومتر با عملیات پس پردازش به روش میانگین لغزان کاهش یافته- است.

مشابه با بخش قبل نمودارهای خطاهای مطلق قبل و پس از پس پردازش پیش‌بینی ۴۸ ساعته برون‌دادهای مختلف برای ایستگاه‌های استان لرستان طی دوره آماری آزمون رسم شدند که نتایج آن‌ها در جدول (۴) آمده‌است.

جدول (۴) مقایسه میانگین خطای مطلق پیش‌بینی ۴۸ ساعته بدون پس پردازش و بعد از پس پردازش به روش میانگین برای خروجی‌های مختلف

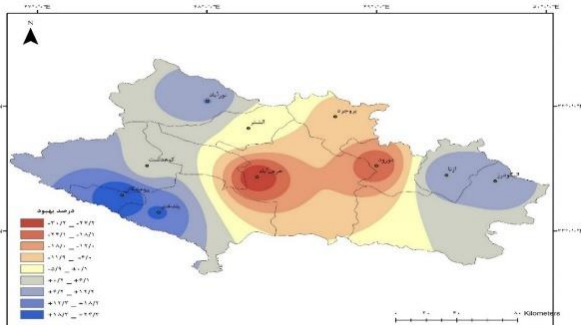
ایستگاه	بدون پس پردازش				بعد از پس پردازش			
	۶ کیلومتر	۹ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۲۷ کیلومتر	۶ کیلومتر	۹ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۲۷ کیلومتر
خرم‌آباد	۱۲/۵۰	۸/۹۰	۹/۵۰	۶/۱۰	۱۶/۳۰	۸/۱۰	۸/۹۰	۵/۵۰
بروجرد	۱۰/۹۰	۸/۳۰	۹/۶۰	۷/۵۰	۱۱/۶۰	۸/۵۰	۹/۸۰	۷/۸۰
الیگودرز	۷/۸۰	۷/۳۰	۷/۷۰	۶/۸۰	۷/۲۰	۹/۵۰	۵/۷۰	۶/۱۰
کوه‌دشت	۹/۳۰	۷/۷۰	۸/۶۰	۷/۲۰	۹/۱۰	۶/۷۰	۸/۰۰	۶/۴۰
نورآباد	۷/۷	۱۱/۵۰	۶/۳۰	۱۰/۸۰	۶/۷۰	۱۰/۳۰	۵/۷۰	۹/۶۰
پلدختر	۸/۸۰	۶/۷۰	۸/۶۰	۷/۰۰	۷/۲۰	۵/۶۰	۷/۴۰	۵/۴۰
دورود	۱۴/۸۰	۱۰/۸۰	۱۳/۵۰	۹/۶۰	۱۸/۳۰	۹/۷۰	۱۴/۹۰	۸/۵۰
الشتر	۱۱/۷۰	۸/۰۰	۱۱/۴۰	۶/۶۰	۱۱/۹۰	۶/۷۰	۱۰/۱۰	۵/۸۰
ازنا	۹/۸۰	۹/۳۰	۹/۲۰	۶/۵۰	۸/۶۰	۹/۲۰	۸/۷۰	۶/۳۰
رومشکان	۷/۴۰	۷/۲۰	۷/۴۰	۷/۰۰	۵/۶۰	۶/۱۰	۵/۸۰	۶/۰۰
میانگین	۱۰/۱۰	۸/۶۰	۹/۲۰	۷/۵۰	۱۰/۳۰	۸/۰۰	۸/۵۰	۶/۷۰

جدول (۵) درصد بهبود خروجی‌های ۴۸ ساعته با پس پردازش به روش میانگین

لغزان

ایستگاه	درصد بهبود			
	۶ کیلومتر	۹ کیلومتر	۱۸ کیلومتر	۲۷ کیلومتر
خرم‌آباد	۱۱/۰	۶/۰	۸/۴	-۳۰/۲
بروجرد	-۳/۲	-۲/۷	-۲/۲	-۶/۶
الیگودرز	۱۱/۰	۲۵/۴	-۳۰/۱	۸/۰
کوه‌دشت	۱۱/۷	۷/۰	۱۳/۱	۲/۰
نورآباد	۱۱/۳	۱۰/۰	۱۰/۴	۱۲/۴
پلدختر	۲۲/۰	۱۴/۱	۱۶/۲	۱۸/۸
دورود	۱۱/۷	-۱۱/۰	۱۰/۵	-۲۳/۶
الشتر	۱۲/۳	۱۱/۴	۱۶/۵	-۲/۰
ازنا	۲/۸	۵/۴	۱/۲	۱۲/۰
رومشکان	۱۵/۱	۲۱/۲	۱۵/۴	۲۴/۳
میانگین	۱۰/۶	۷/۲	۶/۲	-۱/۸

در جدول (۵) درصد بهبود پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعته پس از پس پردازش آمده‌است. بهترین بهبود برای ایستگاه پلدختر و به میزان ۲۲ درصد برای خروجی ۲۷ کیلومتر و بدترین نتیجه برای ایستگاه خرم‌آباد برای خروجی ۶ کیلومتر به میزان -۳۰/۲ درصد برای خروجی ۶ کیلومتر رخ داده‌است. در مجموع نیز خروجی‌های ۲۷ کیلومتر، ۱۸ کیلومتر و ۹ کیلومتر به ترتیب با مقادیر ۹/۴، ۷/۸ و ۴/۸ درصد بیشترین افزایش دقت پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعته را داشته‌اند و تنها خروجی ۶ کیلومتر با ۰/۹- درصد پس از پس پردازش کاهش عملکرد پیدا کرده‌است.



شکل (۱۰) نقشه پهنه‌بندی درصد بهبود عملکرد پیش‌بینی ۴۸ ساعته برای خروجی ۶ کیلومتر پس از پس پردازش

نتایج امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق

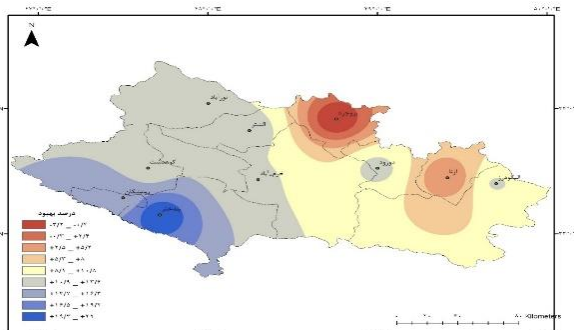
نتایج امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق که در آن خطاهای مطلق قبل و بعد از پس پردازش اعمال شده، برای دامنه‌های مختلف و در بازه پیش‌بینی ۲۴ ساعته در جداول (۶) ارائه شده‌اند.

همان‌طور که دیده می‌شود، در بازه پیش‌بینی ۲۴ ساعته بیشترین مقدار این کمیت برای ایستگاه رومشکان به میزان ۰/۱۹ در دامنه‌های ۲۷ و ۶ کیلومتر و کمترین مقدار این کمیت به میزان ۰/۳۳- برای ایستگاه خرم‌آباد در دامنه ۶ کیلومتر به‌دست آمده‌اند. همچنین بطور متوسط دامنه ۲۷ کیلومتر بیشترین امتیاز میانگین خطای مطلق و دامنه ۶ کیلومتر کمترین میزان این کمیت را به ترتیب با مقادیر ۰/۰۷ و ۰/۰۸- به خود اختصاص داده‌اند.

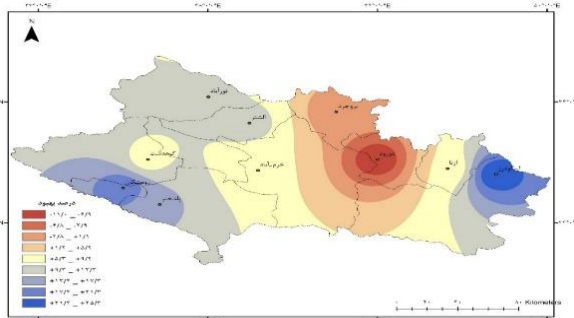
جدول (۶) امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته برای خروجی‌های مختلف

ایستگاه	برونداد		
	۶ کیلومتر	۹ کیلومتر	۱۸ کیلومتر
خرم‌آباد	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۳۳-
بروجرد	۰/۰۰	۰/۰۴-	۰/۰۵-
الیگودرز	۰/۰۹-	۰/۱۹-	۰/۰۳
کوه‌دشت	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۰۸
نورآباد	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۴
پلدختر	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۲۱
دورود	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۲۵-
الشتر	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۰۴-
ازنا	۰/۱۰-	۰/۱۲-	۰/۰۹-
رومشکان	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۲
میانگین	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۸-

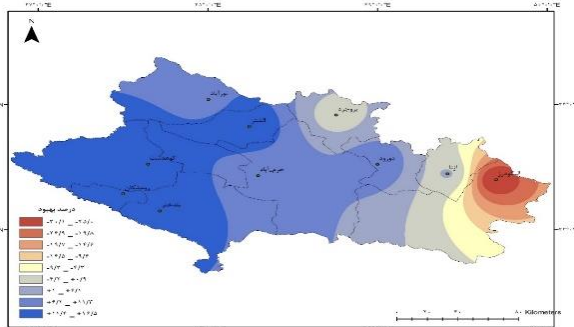
در شکل‌های (۷) تا (۱۰) نقشه‌های پهنه‌بندی بهبود عملکرد پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعته برای خروجی‌های مختلف نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که دیده می‌شود برای تمامی خروجی‌ها دقت پیش‌بینی برای ایستگاه‌های پلدختر، رومشکان، کوه‌دشت، نورآباد و ازنا پس از پس پردازش افزایش یافته است. همچنین به‌طور کلی می‌توان ادعا نمود که پس پردازش به روش میانگین لغزان برای نیمه غربی استان (حوضه آبخیز کرخه) در تمامی خروجی‌ها موثرتر بوده است.



شکل (۷) نقشه پهنه‌بندی درصد بهبود عملکرد پیش‌بینی ۴۸ ساعته برای خروجی ۲۷ کیلومتر پس از پس پردازش



شکل (۸) نقشه پهنه‌بندی درصد بهبود عملکرد پیش‌بینی ۴۸ ساعته برای خروجی ۱۸ کیلومتر پس از پس پردازش



شکل (۹) نقشه پهنه‌بندی درصد بهبود عملکرد پیش‌بینی ۴۸ ساعته برای خروجی ۹ کیلومتر پس از پس پردازش

خروجی ۶ کیلومتر با ۰/۹- درصد پس از پس پردازش کاهش عملکرد پیدا کرده‌است.

- با توجه به ناهمواری، گرادیان شدید ارتفاع از سطح دریا در استان لرستان این اختلاف قابل تامل در دامنه‌ها می‌تواند بدین دلیل رخ دهد که نقطه‌ای که محاسبات برای آن صورت گرفته با توجه به رزولوشن‌های مختلف، اختلاف ارتفاع زیادی با نقطه مورد نظر (ایستگاه یا نقطه شهری) مورد نظر ما داشته باشد که همین امر باعث اختلاف زیاد برخی پارامترها همچون بارش، دما و ... شود. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت بررسی اجرای مدل WRF در استان نیازمند رزولوشن بالا و شبکه‌های کوچکتری در تعریف دامنه‌ها باشد.

- پهنه‌بندی پس پردازش برای استان مشخص ساخت که پس پردازش به روش میانگین لغزان وزن دار برای هر دو بازه زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعته در تصحیح برونادهای مدل، عامل ارتفاع از سطح دریا موجب کاهش دقت پیش‌بینی‌ها گردید بطوریکه در مناطقی که دارای ارتفاع کمتری بوده اند موثرتر بوده‌است.

پیشنهادها

- به منظور ارزیابی دقیق‌تر مدل، انجام مطالعات موردی بیشتر در فصول مختلف سال پیشنهاد می‌گردد.

- بازه زمانی اجرای مدل افزایش یابد.

- مدل با طرحواره‌های مختلف اجرا گردد.

- از سایر روش‌های پس پردازش مانند بهترین برآورد کننده سیستماتیک جهت بررسی چگونگی بهبود برونادهای استفاده شود.

- نتایج حاصل از درستی سنجی در این پژوهش برای روزهای همراه با بارش بوده است و آستانه خاصی برای مقادیر بارش در نظر گرفته نشده است، پیشنهاد می‌گردد برای اینکه ضعف نسبی مدل بهبود یابد کمیت‌های درستی سنجی برای آستانه‌های مشخص (بارش سبک، بارش متوسط و بارش سنگین) بدست آیند.

- نتایج برونادهای این پژوهش با مدل‌های GFS و ECMWF مقایسه گردد.

نتایج امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق که در آن خطاهای مطلق قبل و بعد از پس پردازش اعمال شده، برای دامنه‌های مختلف و در بازه پیش‌بینی ۴۸ ساعته در جدول (۷) ارائه شده‌اند.

در بازه پیش‌بینی ۴۸ ساعته بیشترین مقدار این کمیت برای ایستگاه الیگودرز به میزان ۰/۲۵ در ۱۸ کیلومتر و کمترین مقدار این کمیت به میزان ۰/۲۴- برای ایستگاه دورود در دامنه ۶ کیلومتر بدست آمده‌اند. همچنین بطور متوسط دامنه ۲۷ کیلومتر بیشترین امتیاز میانگین خطای مطلق و دامنه ۶ کیلومتر کمترین میزان این کمیت را به ترتیب با مقادیر ۰/۱۱ و ۰/۰۲- به خود اختصاص داده‌اند.

جدول (۷) امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعته برای

خروجی‌های مختلف

ایستگاه	برونداد		
	۶ کیلومتر	۹ کیلومتر	۱۸ کیلومتر
خرم‌آباد	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۳۰-
بروجرد	۰/۰۳-	۰/۰۳-	۰/۰۷-
الیگودرز	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۰۸
کوه‌دشت	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۲
نورآباد	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۲
پلدختر	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۱۹
دورود	۰/۱۲	۰/۱۱-	۰/۲۴-
الشتر	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۲-
ازنا	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۲
رومشکان	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۲۴
میانگین	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۲-

نتیجه‌گیری

نتایج پس پردازش برونادهای به روش میانگین لغزان نشان داد: -خروجی‌های ۲۷، ۹ و ۱۸ کیلومتر به ترتیب با مقادیر ۷/۳، ۴/۸ و ۱ درصد بیشترین افزایش دقت پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته را پس از پس پردازش داشته‌اند و تنها خروجی ۶ کیلومتر با ۷/۷- درصد پس از پس پردازش کاهش عملکرد پیدا کرده- است. همچنین خروجی دامنه‌های ۲۷، ۱۸ و ۹ کیلومتر به ترتیب با مقادیر ۹/۴، ۷/۸ و ۴/۸ درصد بیشترین افزایش دقت پیش‌بینی‌های ۴۸ ساعته را پس از پس پردازش داشته‌اند و تنها

منابع

- ۹- امینی، لیلا؛ پرهیزکار، داود؛ خاکیان، غلامرضا؛ ۱۳۹۳، "نقش مدل عددی WRF در عددی نمودن پیش‌بینی بارش‌های سنگین در استان اصفهان با درجه تفکیک ۲۷ و ۹ و ۳ کیلومتر"، دومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب با رویکرد سیلاب‌های شهری.
- ۱۰- آزادی، مجید؛ تقی‌زاده، احسان؛ معماریان، محمد حسین؛ ۱۳۹۱، "درستی سنجی پیش‌بینی بارش مدل تحقیقات آب و هوایی و پیش‌بینی وضع هوا (WRF) روی کشور ایران در دوره هشت ماهه نوامبر ۲۰۰۸ تا ژوئن ۲۰۰۹". مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال هشتم، شماره ۲، ۴۸-۵۹.
- ۱۱- نوری، حمید؛ غیور، حسعلی؛ مسعودیان، ابوالفضل؛ آزادی، مجید؛ ۱۳۹۲ "بررسی الگوهای هم‌دید-دینامیک رویدادهای بارش سنگین همرفت و غیر همرفت" تحقیقات جغرافیایی، ۱۰۹، ۲۳۹-۲۱۵.
- ۱۲- گودرزی، لیلا؛ بنی‌حیب، محمدابراهیم؛ غفاریان، پروین؛ ۱۳۹۷، "بررسی الگوهای هم‌دید - دینامیک رویدادهای بارش سنگین همرفت و غیرهمرفت"، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۲۵ شماره ۱، ۲۴۲-۲۲۹.
- ۱۳- رنجبر، عباس؛ تاجبخش، سحر؛ مرادی، محمد؛ ۱۳۹۷، "مطالعه بارش‌های همرفتی کوتاه مدت منجر به رخداد سیل در منطقه کن و سیجان (مطالعه موردی: ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴)"، هواشناسی و علوم جو، دوره ۱ شماره ۲، ۱۷۶-۱۶۳.
- 14- Jankov I., W.A. Jr. Gallus, M. Segal, B. Shaw, S. E. Koch, 2005, The Impact of Different WRF Model Physical parameterizations and Their Interactions on Warm Season MCS Rainfall. Wea. Forecasting, No. 20, pp. 1048-1060.
- 15- Hong S. Y., J. O Jade Lim, 2006, *The WRF Single-Moment 6-Class Microphysics Scheme (WSM6)*. Journal of Korean Meteorological Society, No. 42, 2, pp. 129-151.
- 16- Cunningham, J., T. Nobis, E. Kuchera, S. Rentschler, S Rugg, M. Sittel, 2007, *Jont Ensemble Forecast System (JEFS) Project UPDATE*. Air Force Weather Agency, Offutt AFB, NE 68113.
- 17- Afandi, G., Morsy, M., El Hussieny, F. 2013. Heavy rainfall simulation over Sinai Peninsula using the weather research and forecasting model. Inter. J. Atm. Sci. pp: 1-11
- 18- 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
- ۱- آزادی، مجید؛ واشانی، سعید؛ حجام، سهراب؛ ۱۳۹۱، "پیش‌بینی احتمالاتی بارش با استفاده از پس‌پردازش (post processing) برون‌داد یک سامانه همادی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۸ شماره ۳، ۲۰۱۶-۲۰۳.
- ۲- قصابی، زهرا؛ کمالی، غلامعلی؛ مشکوتی، امیرحسین؛ حجام، سهراب؛ جواهری، نصراله؛ ۱۳۹۳، "ارزیابی عملکرد طرحواره‌های پارامترسازی خرد فیزیکی و همرفت مدل WRF در برآورد بارش در حوضه آبریز کارون در جنوب غرب ایران"، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال پنجم، ۱-۱۰.
- ۳- آزادی، مجید؛ رضازاده، پرویز؛ میرزایی، ابراهیم؛ وکیلی، غلامعلی؛ ۱۳۸۲، "پیش‌بینی عددی سیستم‌های زمستانی روی ایران: مطالعه مقایسه ای پارامتری سازی‌های فیزیکی"، هشتمین کنفرانس دینامیک شارها.
- ۴- هدایتی، اکرم؛ آزادی، مجید؛ ۱۳۸۹، "راستی آزمایی پیش‌بینی بارش مدل منطقه‌ای MM5 روی ایران"، مجله فیزیک زمین و فضا دوره ۲۶، شماره ۳، ۱۲۹-۱۱۵.
- ۵- آزادی، مجید؛ تقی‌زاده، احسان؛ معماریان، محمد حسین؛ ۱۳۸۹ "مقایسه پیش‌بینی بارش در مدل منطقه‌ای MM5 و WRF بر روی ایران"، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۱۵۲-۱۴۸.
- ۶- مرادی، محمد؛ مرتضی‌پور، سامان؛ ۱۳۹۷، "پس پردازش خروجی مدل WRF به روش میانگین لغزان برای دما، دمای نقطه شبنم، دمای بیشینه و دمای کمینه، در ایستگاه هواشناسی فرودگاه رشت"، هواشناسی و علوم جو، شماره ۲، ۱۵۲-۱۴۸.
- ۷- ذوالجودی، مجتبی؛ قاضی میرسعید، مژگان؛ سیفوری، زهرا؛ ۱۳۹۲، "بررسی صحت و دقت طرحواره‌های مختلف مدل WRF و ارزیابی پیش‌بینی بارش در ایران زمین"، تحقیقات جغرافیایی، ۱۰۹، ۱۹۴-۱۸۷.
- ۸- تقوی، فرحناز؛ نیستانی، ابوالفضل؛ سرمد، قادر؛ ۱۳۹۲، "بررسی صحت و دقت طرحواره‌های مختلف مدل WRF و ارزیابی پیش‌بینی بارش در ایران زمین"، مجله فیزیک زمین و فضا دوره ۳۹ شماره ۲، ۱۷۰-۱۴۵.

- the Unified Model and WRF, Q.J.R. Meteorol. Soc., 146-732, 3450-3465.
- 22- Partridge, T. F., Winter, J. M., Kendall, A. D., Hyndman D.W., 2021, Cross-scale evaluation of dynamic crop growth in WRF and Noah-MP-Crop, *Agricultural and Forest Meteorology*, 296, 108217.
- 23-Warner, T., 2010: *Numerical Weather and Climate Prediction*. Cambridge: Cambridge University Press. 125.
- 24- (URL1) <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users>
- 25- (URL2) <http://www.vapor.ncar.edu>
- 26-(URL3) <http://www.dtcenter.org/met/users/>
- 27- (URL4) <http://www.Asmerc.ac.ir>
- case study of SW Poland. *Meteorologische Zeitschrift*. 22: 5. 595-601.
- 19- Azadi M., P. Rezazadeh, E. Mirzaei, G. A. Vakili, 2003, Numerical Forecast of Winter Systems over Iran: Comparision Study of Physic parameterization, 12th Fluid Conference, Iran.
- 20- Kalverla, P., Steeneveld, G., Ronda, R., Holtslag, A., 2019, Evaluation of three mainstream numerical weather prediction models with observations from meteorological mast IJmuiden at the North Sea, *Wind Energy*, 22, 34-38.
- 21- Jucker, M., Lane, T. P., Vincent, C. L., Webster, S., Wales, S. A., Louf, V., 2020, Locally forced convection in subkilometre-scale simulations with