دانشکده فیزیک

گروه هواشناسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته هواشناسی

بررسی عملکرد مدل‌های منطقه‌ای HRM، MM5 و WRF برای پیش‌بینی بارش روی ایران

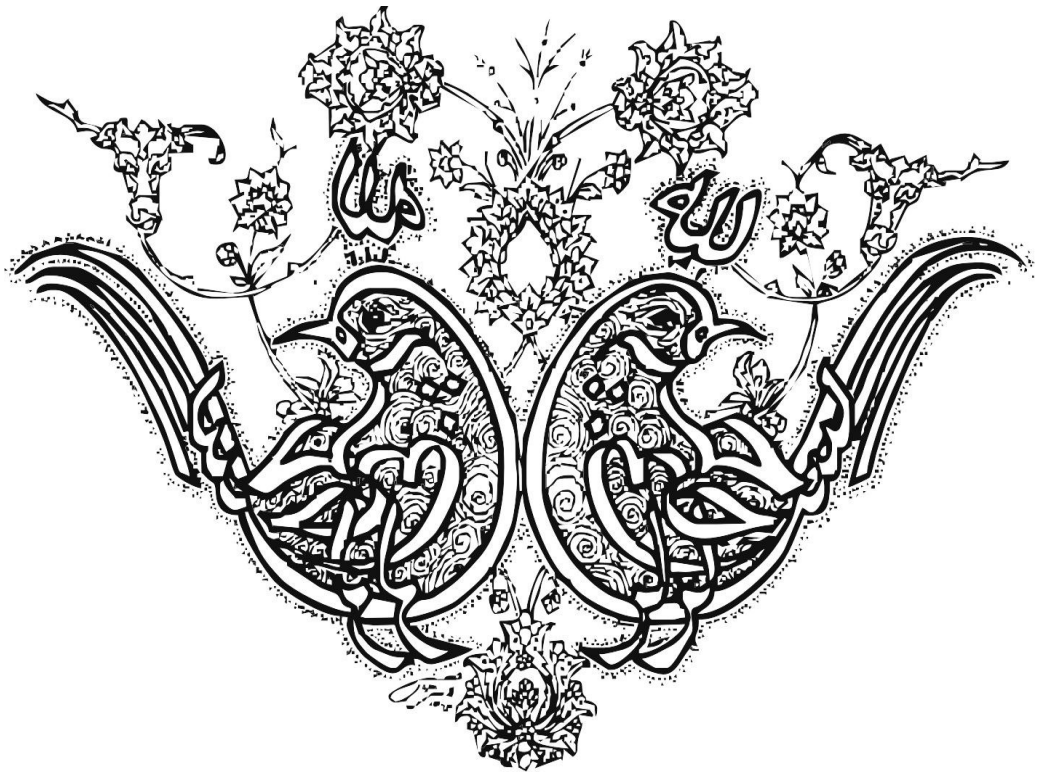
اساتید راهنما: دکتر محمد حسین معماریان

دکتر مجید آزادی

استاد مشاور: سید مجید میررکنی

پژوهش و نگارش: احسان تقی زاده

تیر ۱۳۸۹



دانشکده فیزیک

گروه هواشناسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته هواشناسی

بررسی عملکرد مدل‌های منطقه‌ای HRM، MM5 و WRF برای پیش‌بینی بارش روی ایران

اساتید راهنما: دکتر محمد حسین معماریان

دکتر مجید آزادی

استاد مشاور: سید مجید میررکنی

پژوهش و نگارش: احسان تقی زاده

تیر ۱۳۸۹

تقدیم به

پدر فداکار و مادر مهربانم که همیشه در کنار و پشتیبان من بوده‌اند.

قدردانی

سپاس از خدای ایزد رهنمای که از گنجینه بیکرانه لطف و عنایت خویش نعمتی دیگر را بر سر همه نعمتهای خویش به این بنده کمترین بخشید و چند صباحی دیگر از عمر وی را به نعمت دانش آموزی و دانش اندوزی ارزش و بها بخشید. اکنون در پایان این دوره لازم می دانم به نشانه قدرشناسی از استادان گرانمایه و فراز پایه‌ام جناب آقای دکتر محمد حسین معماریان که در طی دوره کارشناسی ارشد به عنوان استاد محبت‌های فراوانی را در حق اینجانب انجام دادند و در این پایان نامه هم به عنوان استاد راهنما کمک شایانی به اینجانب نمودند بسیار قدردانی نمایم.

از جناب آقای دکتر مجید آزادی که بخش زیادی از زحمات پایان نامه اینجانب را به عنوان استاد راهنما برعهده داشتند و با شکیبایی در انجام این پایان نامه بنده را کمک نمودند بسیار قدردانی می‌نمایم. اینجانب هرگز تجربه همکاری با ایشان را فراموش نخواهم نمود و می‌دانم که مهارت‌هایی را که در حضور ایشان آموختم در اهداف کاری آینده کمک بسیاری خواهند نمود.

از جناب آقای دکتر سید مجید میررکنی که به عنوان استاد مشاور کمک‌های فراوان و مرورهای خوبی بر پایان نامه اینجانب داشتند تشکر فراوان می‌نمایم.

همچنین از جناب آقایان دکتر موسوی نژاد داود محترم داخلی و دکتر دولتی داور محترم خارجی بسیار سپاس‌گذارم.

از جناب آقایان دکتر احمدی گیوی استاد محترم موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، دکتر حاتمی استاد محترم دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، دکتر طالبی استاد محترم دانشکده مکانیک دانشگاه یزد، دکتر ترابی استاد محترم دانشکده آمار دانشگاه یزد، دکتر مبین استاد محترم دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، دکتر هوشمند استاد محترم دانشکده ریاضی دانشگاه یزد و دیگر اساتید محترمی که دروسی از دوره کارشناسی ارشد را از محضرشان استفاده نمودم، همچنین کارمندان پرتوان دانشکده فیزیک و کتابداران محترم کتابخانه مرکزی دانشگاه یزد کمال تشکر را دارم.

در مدت تابستان ۱۳۸۸ تا تابستان ۱۳۸۹ اینجانب فرصت مطالعه و پژوهش در پژوهشکده هواشناسی و علوم جو تهران را داشتم و آن مرکز با قرار دادن امکانات آموزشی و رفاهی مناسب لطف بزرگی در انجام این پایان نامه نمود. لذا مایلم از کتابداران و تمامی افرادی که در آن پژوهشکده به اینجانب مساعدت نمودند، به خصوص ریاست محترم جناب آقایان دکتر صداقت‌کردار و دکتر زمانیان، همچنین جناب آقایان دکتر سلطان زاده و مهندس وکیلی قدردانی نمایم. از سرکار خانم مهندس ذاکری کمال تشکر را دارم که بدون کمک ایشان در اجرای مدل‌ها کار اینجانب مدت زمان بیشتری طول می‌کشید.

از دکتر اِف. مسینگر و دکتر ای. ای. ابرت که چندین مرتبه سوالات اینترنتی اینجانب را با شکیبایی فراوان پاسخ دادند تشکر فراوان می‌نمایم.

از دوست عزیز مصطفی دهقانی و کلیه دوستانی که نام آنها ذکر نشده است قدردانی می‌نمایم.

در پایان یاد معلمان و استادان بزرگواری که در طول دوره تحصیل از مدرسه تا دانشگاه از محضرشان درس‌ها آموختم را گرامی می‌دارم.

چکیده

تاثیر پیش‌بینی صحیح وضع هوا در تمام جنبه‌های زندگی عادی و روزمره و نیز در امور تخصصی بر همگان روشن است. همچنین ضرورت استفاده از مدل‌های منطقه‌ای پیش‌بینی عددی وضع هوا برای صدور پیش‌بینی وضع هوا انکارناپذیر است به‌طوری‌که هرساله این مدل‌ها در جهان بهبود یافته و متنوع‌تر می‌شوند. اما پیش‌بینی کدام یک از مدل‌های NWP[۱] بهتر است؟ این یک سؤال مشترک بین تمام هواشناسان و حتی کاربران پیش‌بینی‌های هوشناسی است. همچنین سامانه مدل‌سازی WRF[۲] یک سامانه جدید و در حال گسترش است که براساس سامانه مدل‌سازی MM5[۳] توسعه یافته است. از مهمترین ویژگی‌های این سامانه جدید (WRF) قابلیت استفاده از توانایی داده‌گواری به‌صورت سه بعدی و چهار بعدی است. اما قبل از به‌کار بردن این مدل در چارچوب عملیاتی لازم است که از صحت نتایج اطمینان حاصل کنیم به‌گونه‌ای که نتایج آن با مدل‌های شناخته شده دیگر برابری کند. در این پژوهش برآنیم تا با کمیت‌های راست آزمایی رایج و مقایسه بین برونداد مدل‌های NWP برای سؤالات مطرح شده پاسخ‌هایی را بیان نمائیم. به این منظور در این مطالعه تنها نتایج پیش‌بینی‌های بارندگی سه مدل HRM[۴]، MM5 و WRF در بازه زمانی اول نوامبر ۲۰۰۸ تا آخر ژوئن ۲۰۰۹ (۱۰ آبان ۱۳۸۷ تا ۹ تیر ۱۳۸۸) مقایسه شده‌اند. انتخاب این بازه زمانی به این علت بوده است که بیشتر بارندگی‌های کشور به‌خصوص در منطقه جنوب غرب در همین زمان از سال رخ می‌دهد. نتایج مقایسه پیش‌بینی‌های بارندگی برای این مدل‌ها بیان‌گر آن است که کیفیت پیش‌بینی‌های WRF به اندازه کافی مناسب و قابل رقابت با برونداد مدل‌های HRM و MM5 است، به‌طوری‌که استفاده از این سامانه (WRF) برای مقاصد عملیاتی امکان‌پذیر است. همچنین سامانه

---

[۱] Numerical Weather Prediction

[۲] Weather Research and Forecasting Model

[۳] Fifth-Generation PSU/NCAR Mesoscale Model

[۴] High-resolution Regional Model

مدل‌سازی MM5 از سال ۲۰۰۵ به بعد توسعه نیافته است و بررسی‌ها نشان می‌دهد که به‌تدریج استفاده از آن در دنیا کمتر شده است.

در این پژوهش، ابتدا سه مدل یاد شده برای دوره ۸ ماهه گفته شده برای به‌دست آوردن پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته اجرا شدند. سپس بارندگی تجمعی ۲۴ ساعته دیدبانی برای تمام ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی با مقادیر متناظر پیش‌بینی مقایسه شدند. در مرحله بعد با در نظر گرفتن ویژگی‌های ناهمواری، اقلیمی و میانگین بارش، ایران را به چند منطقه تقسیم نموده و فرایند راست آزمایی برای هرمنطقه به طور جداگانه انجام شده است. سپس با در نظر گرفتن آستانه‌هایی برای بارش و نیز جدول‌های توافقی چندگانه برای آستانه‌های متفاوت بارش، کمیت‌های راست آزمایی متفاوتی برای سه مدل HRM، MM5 و WRF برای بارش با استفاده از این جداول محاسبه شده‌اند. در نهایت با استفاده از این کمیت‌ها و بررسی آن‌ها مقایسه‌ای بین سه مدل انجام شده است.

نتایج، دقت یکسانی را برای سه مدل NWP استفاده شده نشان می‌دهد به طوری‌که کمیت امتیاز تهدید برای این مدل‌ها دارای مقادیر تقریباً برابر است. اگرچه از نظر اریبی، تعداد پیش‌بینی‌ها به تعداد دیدبانی‌های بارندگی در آستانه وقوع بارش و آستانه‌های بالاتر برای مدل WRF بیشتر از دو مدل دیگر و در نتیجه به خصوص در آستانه وقوع بارش هشدارهای نادرست این مدل بیشتر از دو مدل دیگر است، اما کمیت‌هایی مانند آهنگ برخورد، ROC و ارزش اقتصادی تاحدودی کارایی بالاتر این مدل را نسبت به دو مدل دیگر نشان می‌دهند.

شایان گفتن است که این پایان نامه بخشی از پروژه‌ای است که در راستای همکاری با پژوهشکده هواشناسی و علوم جو تهران انجام شده است.

«فهرست مطالب»

عنوان .....صفحه

پیشگفتار ۱

فصل اول- راست آزمایی ۲

۱-۱ مقدمه ۳

۱-۲ راست آزمایی پیش‌بینی چیست؟ ۴

۱-۳ انواع پیش‌بینی و راست آزمایی ۵

۱-۴ مهارت پیش‌بینی ۸

۱-۵ جدول توافقی ۲ × ۲ ..... ۹

۱-۶ کمیت‌های نرده‌ای توصیف کننده جدول‌های توافقی ۲ × ۲ ..... ۱۱

۱-۶-۱ دقت ۱۲

۱-۶-۲ اریبی ۱۴

۱-۶-۳ اطمینان پذیری و تفکیک ۱۵

۱-۶-۴ تمایز ۱۵

۱-۷ امتیازهای مهارتی برای جدول‌های توافقی ۱۶

۱-۸ کمیت‌های عددی دقت ۲۰

۱-۹ فاصله‌های اطمینان: عکس آزمون‌های فرض ۲۱

۱-۱۰ نمودار ROC ۲۲

۱-۱۱ ارزش اقتصادی پیش‌بینی ۲۳

فصل دوم- مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا ۲۵

۲-۱ مقدمه ۲۶

۲-۲ فراسنج سازی‌های فیزیکی ۲۹

۲-۲-۱ فرآیندهای بارندگی ۳۰

۲-۲-۲ طرح‌واره همرفت کومه‌ای ۳۰

۲-۲-۳ تابش (موج بلند و موج کوتاه) ۳۰

«فهرست مطالب»

عنوان .....صفحه

۲-۲-۴ فرآیندهای لایه مرزی ۳۱

۲-۳ انتخاب طرح‌واره ۳۱

۲-۴ تحلیل زمانی و مکانی اجرای مدل و محدودیت‌های آن ۳۲

۲-۵ پس پردازش ۳۴

۲-۶ مدل منطقه‌ای تفکیک بالا (HRM) ۳۶

۲-۷ سامانه مدل‌سازی MM5 ..... ۳۹

۲-۷-۱ معرفی مدل ۳۹

۲-۷-۲ حداقل نیازها برای اجرای مدل MM5 ..... ۴۱

۲-۸ مدل WRF ۴۲

۲-۸-۱ معرفی مدل ۴۲

۲-۸-۲ اجزای برنامه سامانه مدل‌سازی WRF ۴۳

۲-۸-۲-۱ WPS ۴۴

۲-۸-۲-۲ WRF-Var ۴۵

۲-۸-۲-۳ حل کننده ARW ۴۵

۲-۸-۲-۴ ابزارهای گرافیکی ۴۶

فصل سوم- داده‌ها و روش تحقیق ۴۷

۳-۱ مقدمه ۴۸

۳-۲ داده‌ها ۴۸

۳-۲-۱ داده‌های دیدبانی ۴۸

۳-۲-۲ داده‌های پیش‌بینی ۵۱

۳-۳ محاسبه کمیت‌های راست آزمایی ۵۴

۳-۳-۱ محاسبه کمیت‌های راست آزمایی برای پیش‌بینی وقوع بارش روی کشور ایران ۵۴

عنوان .....صفحه

۳-۳-۲ محاسبه کمیت‌های راست آزمایی برای پیش‌بینی بارش در آستانه‌های متفاوت روی کشور ایران ۵۵
۳-۳-۳ محاسبه کمیت‌های راست آزمایی برای پیش‌بینی وقوع بارش در مناطق مختلف ایران ۵۵
۳-۴ میانگین خطای مطلق در کشور ایران ۵۵
۳-۵ نمودار ROC پیش‌بینی بارش روی کشور ایران ۵۶
۳-۶ مقایسه ارزش اقتصادی پیش‌بینی بارش روی کشور ایران ۵۶
فصل چهارم- بحث و نتایج ۵۸
۴-۱ مقدمه ۵۹
۴-۲ نتایج ۵۹
۴-۲-۱ کمیت‌های راست آزمایی پیش‌بینی وقوع بارش روی کشور ایران ۵۹
۴-۲-۲ کمیت‌های راست آزمایی پیش‌بینی بارش برای آستانه‌های متفاوت روی کشور ایران ۶۷
۴-۲-۳ کمیت‌های راست آزمایی پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش برای مناطق مختلف ایران ... ۷۶
۴-۳ کمیت میانگین خطای مطلق پیش‌بینی بارش در کشور ایران ۸۷
۴-۴ نمودار ROC پیش‌بینی بارش در کشور ایران ۸۹
۴-۵ کمیت ارزش اقتصادی پیش‌بینی بارش برای کشور ایران ۹۰
فصل پنجم- خلاصه نتایج و پیشنهادات ۹۳
۵-۱ خلاصه نتایج ۹۴
۵-۲ پیشنهادها ۹۷
واژه نامه ۹۹
منابع ۱۰۹

«فهرست جدول‌ها»

عنوان .....صفحه

جدول ۱-۱- انواع پیش‌بینی و روش‌های راست آزمایی ۶

جدول ۲-۱- مروری کوتاه بر HRM هیدروستاتیک ۳۷

جدول ۲-۲- پارامترها ونتایج اجرای مدل HRM در NCHMF ۳۸

جدول ۳-۱- طرح‌واره‌های فراسنج سازی فیزیکی مورد استفاده در اجرای مدل‌ها ۵۲

جدول۴-۱- کمیت‌های محاسبه شده برای پیش‌بینی وقوع بارش روی کشور ایران ۶۰

«فهرست شکل‌ها»

عنوان .....صفحه

شکل ۱-۱- رابطه بین کمیت‌های جفت پیش‌بینی/رویداد برای حالت راست آزمایی غیر احتمالی ۱۱

شکل ۱-۲- شمایی از پیش‌بینی و دیدبانی که نشان دهنده اعضای جدول توافقی است ۱۱

شکل ۱-۳- نمودار ون برای B=1 در حالی که پیش‌بینی بسیار بد است ۱۵

شکل ۲-۱- نقاط شبکه‌ای و ترازهای قائم مدل ECMWF روی منطقه اروپا ۲۷

شکل ۲-۲- تصویری از اختلاف بین دنیای واقعی و نمایش آن توسط مدل‌های NWP ۳۴

شکل ۲-۳- شمای جریان عملیاتی مدل MM5 ..... ۴۰

شکل ۲-۴- شمای عملیاتی سیستم مدل‌سازی WRF-ARW ۴۴

شکل ۳-۱- پراکندگی ایستگاه‌های دیدبانی همدیدی روی کشور ایران ۴۹

شکل ۳-۲- نحوه به دست آوردن دیدبانی بارنگی تجمعی ۲۴ ساعته با استفاده از دیدبانی‌های شش ساعته ۴۹

شکل ۳-۳- نحوه به دست آوردن دیدبانی بارنگی تجمعی ۲۴ ساعته با استفاده از یک دیدبانی ۱۸ ساعته و یک دیدبانی شش ساعته ۵۰

شکل ۳-۴- دامنه بزرگ اجرای مدل که دارای تفکیک افقی ۴۵ کیلومتر است و محدوده ۵۱-۱۰ درجه شمالی و ۸۰-۲۰ درجه شرقی را می‌پوشاند ۵۲

شکل ۳-۵- دامنه کوچک‌تر اجرای مدل که دارای تفکیک افقی ۱۵ کیلومتر است و محدوده ۴۱-۲۳ درجه شمالی و ۶۵-۴۲ درجه شرقی (کشور ایران) را می‌پوشاند ۵۳

شکل ۴-۱- کمیت نسبت صحیح برای وقوع بارش روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۶۱

شکل ۴-۲- کمیت امتیاز تهدید برای وقوع بارش روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۶۲

شکل ۴-۳- کمیت اریبی برای وقوع بارش روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۶۳

«فهرست شکل‌ها»

عنوان .....صفحه

شکل ۴-۴- کمیت نسبت هشدارهای نادرست برای وقوع بارش روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۶۴

شکل ۴-۵- کمیت آهنگ هشدارهای نادست برای وقوع بارش روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۶۵

شکل ۴-۶- کمیت آهنگ برخورد برای وقوع بارش روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۶۶

شکل ۴-۷- امتیاز مهارتی پیرس برای وقوع بارش روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۶۷

شکل ۴-۸- کمیت نسبت صحیح برای آستانه‌های متفاوت روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۶۸

شکل ۴-۹- کمیت امتیاز تهدید برای آستانه‌های متفاوت روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۶۹

شکل ۴-۱۰- کمیت اریبی برای آستانه‌های متفاوت روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۷۰

شکل ۴-۱۱- کمیت نسبت هشدارهای نادرست برای آستانه‌های متفاوت روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۷۲

شکل ۴-۱۲- کمیت آهنگ هشدارهای نادرست برای آستانه‌های متفاوت روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۷۳

شکل ۴-۱۳- کمیت آهنگ برخورد برای آستانه‌های متفاوت روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۷۴

شکل ۴-۱۴- امتیاز مهارتی پیرس برای آستانه‌های متفاوت روی کل کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۷۵

شکل ۴-۱۵- تقسیم بندی کشور ایران به نه منطقه مورد استفاده در این مطالعه ۷۷

عنوان .....صفحه

شکل ۴-۱۶- کمیت نسبت صحیح برای وقوع بارش روی مناطق مختلف کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۷۹

شکل ۴-۱۷- کمیت امتیاز تهدید برای وقوع بارش روی مناطق مختلف کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۷۹

شکل ۴-۱۸- کمیت اریبی برای وقوع بارش روی مناطق مختلف کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۸۰

شکل ۴-۱۹- کمیت نسبت هشدارهای نادرست برای وقوع بارش روی مناطق مختلف کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۸۲

شکل ۴-۲۰- کمیت آهنگ هشدارهای نادرست برای وقوع بارش روی مناطق مختلف کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۸۴

شکل ۴-۲۱- کمیت آهنگ برخورد برای وقوع بارش روی مناطق مختلف کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۸۵

شکل ۴-۲۲- امتیاز مهارتی پیرس برای وقوع بارش روی مناطق مختلف کشور برای پیش‌بینی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۸۶

شکل ۴-۲۳- میانگین خطای مطلق و فاصله اطمینان ٪۹۵ برای پیش‌بینی ۲۴ ساعته سه مدل NWP استفاده شده برای آستانه‌های متفاوت روی کل کشور ۸۷

شکل ۴-۲۴- میانگین خطای مطلق و فاصله اطمینان ٪۹۵ برای پیش‌بینی ۴۸ ساعته سه مدل NWP استفاده شده برای آستانه‌های متفاوت روی کل کشور ۸۸

شکل ۴-۲۵- میانگین خطای مطلق و فاصله اطمینان ٪۹۵ برای پیش‌بینی ۷۲ ساعته سه مدل NWP استفاده شده برای آستانه‌های متفاوت روی کل کشور ۸۸

شکل ۴-۲۶- نمودار ROC پیش‌بینی‌های بارندگی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته سه مدل HRM، MM5 و WRF ۹۰

عنوان .....صفحه

شکل ۴-۲۷- ارزش اقتصادی پیش‌بینی‌های ۲۴ ساعته سه مدل HRM، MM5، WRF برای بارش بیشتر از ۰/۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر در روز روی کل کشور در دوره هشت ماهه راست آزمایی ۹۱

پیشگفتار

پیش‌بینی‌های هواشناسی را به دو گروه کلی می‌توان تقسیم نمود. پیش‌بینی‌های "یقینی" یا "غیر احتمالی" که فاقد عدم قطعیت هستند در مقابل پیش‌بینی‌های "احتمالی" که وضعیت و مقدار هریک از کمیت‌های هواشناختی را به صورت احتمال بیان می‌کنند.

راست آزمایی فرایندی است که کیفیت، مهارت و ارزش یک پیش بینی را از طریق مقایسه نتایج پیش‌بینی با دیدبانی متناظر تعیین می‌کند. همان‌طور که برای پیش‌بینی روش‌های مختلفی وجود دارد راست آزمایی نیز به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود. همچنین راست آزمایی پیش‌بینی‌های احتمالی به مهارت بیشتری نسبت به پیش‌بینی‌های یقینی نیاز دارد برای انجام فرایند راست آزمایی به تابع احتمال مشترک پیش‌بینی- دیدبانی نیاز است. یکی از روش‌های متداول برای بررسی عملکرد مدل در پیش‌بینی بارندگی آن است که ابتدا برای آستانه‌های متفاوت بارش یک جدول توافقی ۲ × ۲ تشکیل می‌شود و سپس کمیت‌های عددی متناظر با هر جدول محاسبه می‌شود (ویلکس، ۲۰۰۶)، در نهایت نتیجه‌گیری بر اساس تحلیل این کمیت‌ها به‌دست می‌آید.

فصل اول این پژوهش به فرایند راست آزمایی اختصاص داده شده است. در این فصل به طور مختصر تاریخچه‌ای از این فرایند گفته شده است، سپس مهمترین دلایل انجام آن و نیز کمیت‌های مختلفی که در این فرایند استفاده می‌شوند توضیح داده می‌شود.

در فصل دوم توضیحی درباره سه مدل NWP (HRM، MM5 و WRF) که در این پژوهش به کار رفته‌اند ارایه گردیده است. در فصل سوم به طور مختصر آن‌چه که در این پژوهش انجام شده است و چگونگی روش کار بیان شده است. در فصل چهارم درباره نتایج و نمودارهای به دست آمده بحث شده است. فصل آخر اختصاص به جمع‌بندی نتایج این پژوهش دارد.

فصل اول

راست آزمایی

۱-۱ مقدمه

پیش‌بینی‌های جوی عملیاتی براساس نقشه‌های همدیدی در ایالت متحده و چند کشور در اروپای غربی در مدت ۱۸۷۰-۱۸۵۰ که مصادف بود با ایجاد خدمات جوی منطقه‌ای و ملی آغاز شد. بنابراین خیلی زود پرسش‌هایی - و در برخی موارد بحث‌هایی- درباره کیفیت پیش‌بینی‌های این سازمان‌ها مطرح شدند. با این وجود رویه راست آزمایی پیش‌بینی - به ویژه مفاهیم و روش‌های این رویه- تا قبل از ۱۸۸۰ به طور نسبی کمتر مورد توجه قرار می‌گرفتند.

در ۱۸۸۴ جِی. پی. فاینلی، از رسته مخابرات ارتش ایالت متحده مقاله‌ای در *Amer. Meteor. J* در جولای ۱۸۸۴ منتشر کرد که در آن نتایجی از یک برنامه تجربی پیش‌بینی ترنادو قبل از آن سال را خلاصه نموده بود. او رویدادهای ترنادو را برای ۱۸ منطقه در شرق کوه‌های راکی پیش‌بینی کرده بود. پیش‌بینی‌های وی دوبار در روز انجام می‌شدند و به صورت "ترنادو" یا "بدون ترنادو" بودند. این نمونه‌ای از پیش‌بینی دو حالتی است که تنها دو انتخاب ممکن وجود دارد. وی گزارش کرد که دقت پیش‌بینی‌هایش برای سه ماه اول متجاوز از ٪۹۵ بودند. بهرحال دانشمندان دیگر به طعنه نشان دادند که اگر وی "بدون ترنادو" را برای تمام مناطق و تمام دوره زمانی پیش‌بینی می‌کرد می‌توانست دارای دقت بیش از ٪۹۸ باشد. این نتایج و خود مسئله راست آزمایی، توجه بی‌درنگ اشخاص درون و بیرون جامعه هواشناسی را جلب کرد. برخی از این اشخاص کمیت‌های دیگری برای کارایی پیش‌بینی پیشنهاد کردند و سپس با استفاده از این کمیت‌ها نشان دادند که درصد صحیح کمیت مناسبی برای کارایی در این زمینه نیست. این‌ها و رویدادهای دیگری که به اصطلاح کار فاینلی را تشکیل می‌دهند در دهه ۱۸۸۴ تا ۱۸۹۳ روی دادند و اولین بحث‌های حقیقی نشریات پایه برای توسعه روش‌ها و کمیت‌های راست آزمایی را مشخص کردند. این بحث‌ها

پیش‌بین‌ها را متوجه نیاز برای روش‌های راست آزمایی معتبر به منظور بهبود پیش‌بینی‌ها ساخت و منجر به توسعه روش‌ها و تکنیک‌های راست آزمایی شد (مورفی، ۱۹۹۶).

۱-۲ راست آزمایی پیش‌بینی چیست؟

ارزیابی یا آزمودن مدل بخش اساسی فرآیند تحقیق (کاربردی) است (آکُف ۱۹۶۲). آکف به‌طور خاص بیان کرده است که "در یک روش بنیادی هر مدل یک ابزار پیش‌بینی است" و در نتیجه "آزمودن مدل به‌طور کلی شامل آزمودن توانایی آن برای پیش‌بینی است". بنابراین راست آزمایی[۵] پیش‌بینی‌ها به‌درستی به‌عنوان نقش مهمی در زمینه هواشناسی فرض می‌شود. فرآیند ارزیابی شامل چندین مرحله مجزا و مرتب است که در هریک از این مرحله‌ها "عناصری" از این فرایند تعریف می‌شوند. توجه به این هدف منجر به تعریف دو شکل مجزا از ارزیابی می‌شود: ارزیابی *عملیاتی* که با مقدار پیش‌بینی‌ها برای کاربر سروکار دارد و ارزیابی *تجربی* یا *راست آزمایی* که با کمال پیش‌بینی‌ها یعنی هم‌خوانی بین پیش‌بینی‌ها و مشاهدات سروکار دارد. *مشخصه‌های* پیش‌بینی‌ها یعنی ویژگی‌های مطلوبِ پیش‌بینی‌ها با توجه به این اهداف تعریف می‌شوند و تعدادی از *اندازه‌گیری‌های* مشخصه‌ها برای ارزیابی تجربی بررسی می‌شوند.

روش‌های راست آزمایی پیش‌بینی از امتیازها و شاخص‌های آماری مرسوم تا روش‌هایی برای راست آزمایی فرایابی و علمی مفصل‌تر گسترش می‌یابد.

اگر واژه پیش‌بینی را به معنی *پیش‌بینی حالت آینده* (از اوضاع جوی، قیمت بورس یا هرچیز دیگری) در نظر بگیریم، بنابراین *راست آزمایی پیش‌بینی* فرایند ارزیابی کیفیت یک پیش‌بینی است. پیش‌بینی در مقابل مشاهده متناظر از چیزی که در واقع اتفاق افتاده است یا چند برآورد خوب از خروجی حقیقی، مقایسه یا *راست آزمایی* می‌شود. راست آزمایی می‌تواند کیفی ("آیا پیش‌بینی صحیح است؟") یا کمی ("چقدر پیش‌بینی دقیق است؟") باشد. در حالت دیگر راست آزمایی اطلاعاتی درباره طبیعت خطاهای پیش‌بینی می‌دهد.

[۵] عبارت‌های "راست آزمایی" و "ارزیابی" در این‌جا معادل در نظر گرفته شده‌اند.