مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان
سال پنجم، شماره دوازدهم، پاییز ۱۳۹۵، صفحه ۹۵ـ۱۰۸

ارزیابی کارایی روش‌های مختلف پارامترسازی همرفت در برآورد بارش فصلی و سالانهٔ شمال شرق کشور در مدل اقلیمی RegCM4

سمیه مشاری عشق‌آباد[۱*]، ایمان بابائیان[۲]، احمد نوحه‌گر[۳]، سیروس ارشادی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۰ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۱۹**

چکیده

همرفت به مثابهٔ یکی از فرایندهای جوی که دارای تأثیرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بر سامانه‌های جوی و اقلیمی است، به‌طور فراوان مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق، روش‌های مختلف پارامترسازی همرفت در میدان بارش با نسخهٔ چهارم مدل دینامیکی اقلیم منطقه‌ای (RegCM4[۵]) ارزیابی می‌شود. مدل‌سازی برای سال ۲۰۰۴ ابتدا در دامنهٔ مادر با تفکیک افقی ۶۰×۶۰ کیلومتر اجرا شد و سپس منطقهٔ مورد مطالعه یعنی شمال شرق کشور، با دقت مکانی ۲۰×۲۰ کیلومتر داخل دامنهٔ مادر آشیانه‌گزینی گردید. مدل ۴ بار با شرایط مرزی یکسان ولی هر بار با استفاده از یکی از طرح‌واره‌های گرل آراکاوا شوبرت (AS[۶])، گرل فریچ–چپل (FC[۷])، کو و امانوئل برای دامنهٔ مادر اجرا شده سپس دامنهٔ دوم داخل دامنهٔ مادر آشیانه‌گزینی شد. پس از اجرای مدل نتایج با داده‌های مشاهداتی بارش آفرودیت مقایسه شد و معیارهای آماری مجذور مربع خطای میانگین، اریبی، همبستگی، میانگین خطای مطلق و اختلاف مقدار بارش سالانه و فصلی محاسباتی و مشاهداتی محاسبه گردید. با توجه به نتایج معیارهای آماری، بهترین طرح‌واره برای منطقهٔ مورد نظر طرح‌وارهٔ گرل آراکاوا–شوبرت است.

واژه‌های کلیدی: آشیانه‌سازی، بارش، طرح‌وارهٔ همرفت، مدل اقلیم منطقه‌ای، مدل‌سازی دینامیک اقلیم.

۱. دانشجوی دکتری، دانشگاه هرمزگان. نویسندهٔ مسئول/ Email: mashari1363@gmail.com
۲. استاد، دانشگاه تهران
۳. استادیار، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، مشهد
۴. استادیار، دانشگاه هرمزگان

5. Regional Climate Model Version 4
6. Arakawa-schubert
7. Fritsch-Chappel

مقدمه

کشور ایران از نظر اقلیم، خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و در کمربندی خشک جهان قرار دارد. میانگین بارندگی آن حدود ۱/۳ میانگین بارش سالانهٔ جهان است. علاوه بر این، پراکنش بارندگی از نظر مکانی و زمانی نامنظم بوده، که این شرایط روی هیدرولوژی و به تبع آن منابع آب تأثیر می‌گذارد. ازاین‌رو برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب و سیل را امری اجتناب‌ناپذیر می‌کند. بنابراین پیش‌بینی اقلیم در برنامه‌ریزی‌های آتی نقش بسزایی خواهد داشت. در این راستا مدل‌های اقلیم زیادی وجود دارد که به دو دسته تقسیم می‌شوند: مدل‌های آماری و مدل‌های دینامیک. مدل‌های دینامیک دارای دقت فضایی و زمانی مناسبی برای ارزیابی‌های اقلیمی بوده و همچنین فرایندهای ریزمقیاس جوی و اقلیمی تا حد ممکن در آن‌ها لحاظ می‌شوند و می‌توانند پدیده‌های اقلیمی را به‌صورت مکانی در مقیاس زمانی کمتر از یک ساعت مدل‌سازی کنند. مدل‌های آماری در مقایسه با مدل‌های دینامیک، هزینه و زمان کمتر و دقت پایین‌تری دارند و به‌صورت موردی در مقیاس زمانی حداکثر روزانه قابل اجرا هستند. برای استفاده از مدل‌های دینامیک، نیاز به پیکره‌بندی مدل برای منطقهٔ مورد نظر است. در این مطالعه، مدل دینامیک اقلیم منطقه‌ای RegCM برای شمال شرق کشور بررسی و بهترین طرح‌وارهٔ همرفت برای مدل‌سازی بارندگی انتخاب شد.

همرفت نقش کلیدی در ساختار قائم دما و رطوبت تروپوسفر دارد. بنابراین باید در مدل‌های دینامیکی اقلیمی به‌عنوان یک فرایند پایهٔ هواشناسی در نظر گرفته شود. در مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای (RCMs[1]) فرایند همرفت عمدتاً در مقیاس شبکه‌ای است که باید با استفاده از طرح‌واره‌ها محاسبه شود. هرچند چارچوب کلی مورد قبولی برای نشان دادن همرفت در مدل‌های عددی وجود ندارد، در مدل‌های RCM بایستی به فرایند همرفت که در مقیاس درون‌شبکه‌ای عمل کند، توجه کافی داشت. عملکرد درون‌شبکه‌ای همرفت مانع از آشکارسازی کامل آن می‌شود؛ در حقیقت نمایش همرفت به‌شدت به مقیاس وابسته است (گوچیس[2] و همکاران، ۲۰۰۲). در مقالات مختلف به تعداد زیادی از طرح‌واره‌های همرفت اشاره شده است (کریشنامورتی و سنجای[3]، ۲۰۰۳؛ گرل[4]، ۱۹۹۳؛ آنتس[5]، ۱۹۷۷؛ داش[6] و همکاران، ۲۰۰۶)، با این حال طرح‌وارهٔ خاصی به‌طور قطعی بهتر از بقیه نیست (کنگ و هونگ[7]، ۲۰۰۸) و کاربردهای آن‌ها برای مناطق و در موارد مختلف، دوره‌های مدل‌سازی و برای بررسی اثرات متقابل فرایندهای فیزیکی متفاوت hsj. گرچه طرح‌واره‌ها برای مدل‌سازی جریان بزرگ مقیاس مهم‌اند، برای مثال جریان‌های مناطق حاره‌ای (ونگ[8] و همکاران، ۲۰۰۷؛ تیدک[9]، ۱۹۸۹) و آسیای شرقی و مناطق موسمی جنوب آسیا (ایم[10] و همکاران، ۲۰۰۸)، ولی هنوز عدم قطعیت زیادی دارند و خطای پیش‌بینی و حساسیت مدل زیاد است؛ برای مثال پال[11] و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از طرح‌وارهٔ گرل بهترین مدل‌سازی را در سراسر قارهٔ امریکا انجام دادند. جیورجی[12] و همکاران (a,b۱۹۹۳) از سه طرح‌واره برای مدل‌سازی بارش در منطقهٔ موسمی آسیای شرقی استفاده کرده و نتیجه گرفتند که طرح‌وارهٔ کو نتایج بهتری نسبت به دو طرح‌واره دیگر می‌دهد. بائو[13] (۲۰۱۳) از طرح‌وارهٔ تیدک در مدل RegCM3 برای مدل‌سازی جریان‌های موسمی شرق آسیا در یک دورهٔ شش ساله (سپتامبر ۱۹۹۶ تا اگوست ۲۰۰۲) استفاده کرد و نتایج آن را با طرح‌وارهٔ گرل مقایسه نمود. نتایج وی نشان داد که طرح‌وارهٔ تیدک در مقایسه با گرل، توزیع بارندگی‌های موسمی تابستان را بهتر مدل‌سازی می‌کند. داش و همکاران (۲۰۰۶) بارش و جریان موسمی تابستانی هند را با استفاده از مدل RegCM3 در دورهٔ سه ساله ۱۹۹۳-۱۹۹۶ با به‌کارگیری

1. Regional Climate Models
2. Gochis
3. Krishnamurti and Sanjay
4. Grell
5. Anthes
6. Dash
7. Kang and Hong
8. Wang
9. Tiedtke
10. Im
11. Pal
12. Giorgi
13. Bao

دو طرح‌وارهٔ کو و گرل مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که در این منطقه، طرح‌وارهٔ گرل نتایج بهتری برای مدل‌سازی رگبار و جریان‌های موسمی دارد. ایم و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل RegCM3 اقلیم شرق و جنوب‌شرق آسیا را برای یک دورهٔ پنج ساله از نوامبر ۲۰۰۰ تا دسامبر ۲۰۰۴ با دو طرح‌وارهٔ گرل و امانوئل مدل‌سازی کرده، نتایج اجرای مدل با این دو طرح‌واره، تغییرات فصلی و مکانی موسمی شرق آسیا را به‌خوبی نشان داد، ولی نتایج طرح‌وارهٔ امانوئل از نظر توزیع زمانی بارندگی با داده‌های مشاهداتی مطابقت بیشتری داشت. بابائیان و همکاران (۲۰۰۸) طرح‌واره‌های مختلف را برای کل کشور اجرا کردند و به این نتیجه رسیدند که طرح‌وارهٔ بارش همرفت گرل FC و گرل AS برای منطقه مناسب است. مدیریان و همکاران (۲۰۱۰) مدل RegCM را در استان خراسان اجرا کردند. نتایج نشان داد که از دیدگاه کمترین اریبی، طرح‌وارهٔ کو و از دیدگاه کمترین خطای مطلق طرح‌وارهٔ گرل FC برای مدل‌سازی بارش فصل پاییز مناسب است. کریمیان و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل RegCM بارش استان خراسان را با فرض طرح‌واره‌های مختلف مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که اریبی ماهانه و فصلی طرح‌واره‌های گرل FC و AS در مقایسه با داده‌های بارش دیده‌بانی‌شده از سایر روش کمتر است. مفیدی و همکاران (۲۰۱۳) نقش دریای خزر در وقوع بارش‌های منطقه‌ای را با استفاده از مدل RegCM4 بررسی کردند. ایشان در این مطالعه از طرح‌واره همرفت آراکاوا–شوبرت استفاده کردند. نتایج این محققان نشان داد که مدل روند بارش ماهانه را به‌خوبی نشان داده است. ایران‌نژاد و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر روش‌های مختلف پارامترسازی همرفت را در مدل‌سازی بارش با نسخهٔ RegCM3 برای یک دورهٔ چهار ماهه دسامبر ۱۹۹۸ تا مارس ۱۹۹۹ برای ایران بررسی کرد. نتایج آن‌ها نشان داد مقادیر بارش تفاوت زیادی با داده‌های مشاهداتی دارد. بنابراین با توجه به هزینهٔ محاسباتی، طرح‌وارهٔ کو–آنتس را برای منطقهٔ ایران پیشنهاد کردند.

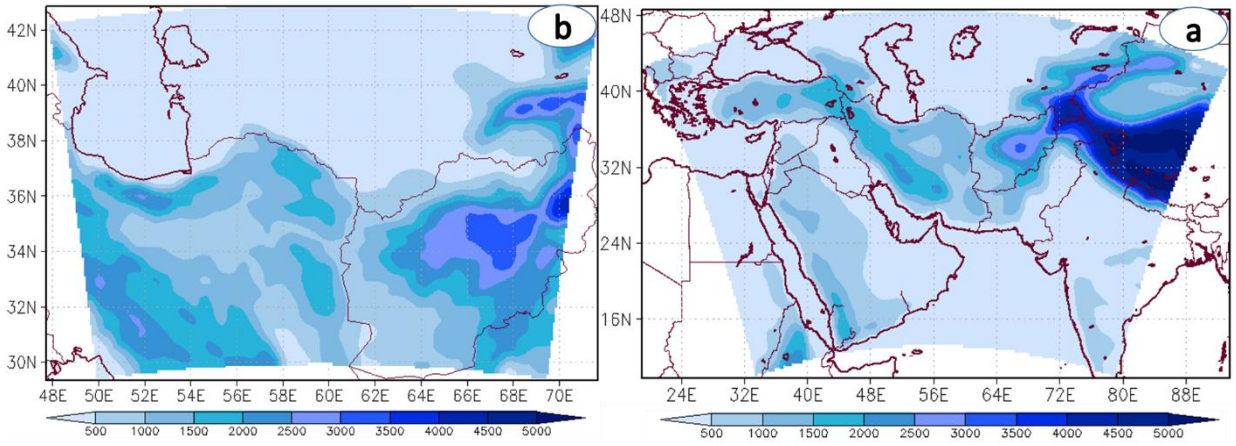
با توجه به مطالعات انجام‌شده در این زمینه مشخص شد که طرح‌واره‌های مختلف به‌صورت متفاوت در قالب‌های متفاوت عمل می‌کنند. بنابراین باید از طرح‌واره‌های مختلف برای مدل‌سازی استفاده کرد و با بررسی نتایج با داده‌های مشاهداتی، بهترین طرح‌واره را برای منطقه و هدف مورد نظر مشخص کرد. در مطالعات انجام‌شده معیارهای آماری به‌صورت عددی برای یک پهنه ارائه شده، با توجه به اینکه نتایج طرح‌واره‌های مختلف به‌صورت مکانی تغییر می‌کند، برای یک منطقه محدود بررسی مکانی یک طرح‌واره الزامی است. همچنین می‌توان از این نتایج برای یک محدودهٔ داخل دامنه نیز استفاده کرد. علاوه بر این در این مطالعه از فرایند آشیانه‌سازی برای بالابردن دقت مطالعه استفاده شده است. در این مطالعه از چهار طرح‌وارهٔ موجود در مدل RegCM4.1.1 شامل طرح‌واره‌های کو، امانوئل، گرل با فرض آراکاوا–شوبرت و گرل با فرض فریچ–چپل برای مدل‌سازی بارش منطقه استفاده شد. توپوگرافی کوهستانی و پوشش سطحی پیچیدهٔ منطقه موجب تغییر اقلیم در مقیاس کوچک شده است. مقایسهٔ دو دامنه نشان می‌دهد که یک منطقهٔ کوهستانی در دامنهٔ آشیانه شده واقعی‌تر از دامنهٔ مادر بوده که این امر نیاز به آشیانه‌سازی را نشان می‌دهد. بنابراین اجرای مدل برای چهار طرح‌واره و دو دامنه انجام شد که در مجموع، هشت اجرا انجام شد. تا پس از مقایسه با داده‌های مشاهداتی آفرودیت بهترین طرح‌واره برای منطقه مشخص شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در این پژوهش شمال شرق کشور است. برای افزایش کارایی مدل‌سازی از روش آشیانه‌سازی استفاده شد. شکل (۱) دامنهٔ مادر و دامنهٔ آشیانهٔ استفاده‌شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. دامنهٔ مادر با گام شبکهٔ ۶۰ کیلومتر با مرکزیت ۳۰ درجهٔ شمالی و ۵۶ درجهٔ شرقی و ۶۸ گام شبکه در راستای شمال–جنوب و ۹۶ گام شبکه در راستای غرب–شرق کل مساحت ایران و از شرق تا میانهٔ هندوستان، از جنوب تا بعد از باب المندب، از شمال تا انتهای شمال دریای خزر تا قسمتی از روسیه و از غرب تا غرب دریای سرخ و قسمتی از دریای مدیترانه را دربرمی‌گیرد تا همهٔ جریان‌های

تـأثیرگذار روی منطقهٔ مورد نظر را دربرگیرد. دامنهٔ آشـیانهٔ درون دامنـهٔ مـادر با گام شـبکهٔ ۲۰ کیلومتر و مرکز ۳۶/۲۵ درجهٔ شمالی و ۵۹/۶ درجهٔ شرقی و ۷۲ گام شبکه در راستای شمال–جنوب و ۹۶ گام شبکه در راستای غرب–شرق، بخش شـمال شـرقی ایران را دربرمی‌گیرد. اقلیم دامنه‌ها در مناطق مختلف متنوع و در منطقـهٔ مورد نظر براسـاس روش آمبرژهٔ خشـک و سـرد و در برخی مناطق نیمه‌خشـک سـرد اسـت، بارش متوسـط سـالانه ۲۵۰ میلی‌متر و حداکثر دما ۴۰ درجه بالای صـفر در تیرماه و حداقل دما ۲۰ درجه زیر صفر در ماه بهمن و دی است.



شکل (۱): (a) مدل رقومی ارتفاع محدودهٔ دامنهٔ مادر (۶۰ کیلومتر)، (b) مدل رقومی ارتفاع محدودهٔ دامنهٔ آشیانه (۲۰ کیلومتر)

داده‌ها و شرایط اجرای مدل

در این مطالعه برای مدل‌سـازی دامنهٔ مادر و دامنهٔ آشـیانه ۱۸ تراز قائم در نظر گرفته شـد. مدل‌های منطقه‌ای را می‌توان با شـرایط اولیه و شـرایط مرزی از داده‌های جهانی یا خروجی یـک مـدل GCM[1] اجرا کرد. در این مطـالعـه از داده‌های باز تحلیل NNRP1[2] اسـتفاده شـده که با مقیاس ۲/۵*۲/۵ درجه توسـط مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی(NCEP[3]) تهیه شـده اسـت. مدلRegCM از داده‌های GLCC[4] وGTOPO[5] برای اطلاعات پوشـش گیاهی و توپوگرافی اسـتفاده می‌کند. داده‌های GLCC با اسـتفاده از سـنجندهٔ AVHRR[6] از آوریل ۱۹۹۲ تا مارس ۱۹۹۳ به‌دسـت آمده و براسـاس نوع پوشـش گیاهی و سـطح زمین توسط BATS[7] تعیین می‌شود. داده‌های شـرایط مرزی مدل RegCM شـامل دما، ارتفاع ژئوپتانسـیل، فشـار سـطح زمین، فشـار سطح متوسط دریا، رطوبت نسبی، سـمت و سـرعت باد، از گروه هوا، فیزیک و اقلیم مرکز بین‌المللی عبدالسلام واقع در ICTP[8] ایتالیا دریافت شد. برای دمای سـطح دریا داده‌های OISST[9] که به‌صورت هفتگی و با دقـت یـک درجه (در طول و عرض جغرافیایی) از مرکز NOAA[10] قابل دریافت است استفاده شد. در این مطالعه برای تعیین روش مناسـب پارامترسـازی همرفت از سـال ۲۰۰۴ اسـتفاده شـد. بدین سـبب که سـال‌های اخیر میزان بارندگی خیلی کم بوده و سـال ۲۰۰۴ نزدیک‌ترین سـال با بارندگی نرمال اسـت. از طرفی بهترین داده‌های بارندگی مشـاهداتی برای ایران داده‌های بارش آفرودیت می‌باشد که تا سال ۲۰۰۷ قابل دسـترس اسـت، به همین دلیل سـعی شـد تا سال مورد مطالعه در این بازه زمانی و دارای بارندگی نرمال باشد.

مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM

RegC اولین مدل منطقه‌ای محدود اسـت که برای شبیه‌سازی طولانی مدت اقلیم منطقه‌ای به‌کار رفته اسـت و توسـط افراد زیـادی برای طیف وسـیعی از مطالعات اقلیمی منطقه‌ای، از مطالعات فرایندی تا اقلیم دیرینه و اقلیم آتی به‌کار رفته است

1. General circulation model
2. NCEP/NCAR Reanalysis Product version 1
3. National Center for Environmental Prediction
4. Global Land Cover Characterization
5. Global Topographic data
6. Advanced Very High Resolution Radiometer
7. Biosphere Atmosphere Transfer Scheme
8. International Centre for Theoretical Physics
9. Optimum Interpolation Sea Surface Temperature
10. National Oceanic and Atmospheric Administration

(جیورجی و میرنز[1]، ۱۹۹۹). آزاد و پرتابل بودن کدهای آن استفادهٔ آن را برای کاربران در هر نقطه‌ای از دنیا راحت و قابل استفاده برای عموم نموده است. این مدل توسط شبکه تحقیقات اقلیمی منطقه‌ای (RegCNET) که یک شبکهٔ گسترده از محققان هماهنگ با بخش فیزیک هوا و اقلیم در مرکز بین‌المللی فیزیک نظری عبدالسلام (ICTP) است، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. اولین نسل NCAR RegCM زیر نظر مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR) دانشگاه ایالت پنسیلوانیا با نام مدل MM4[2] در اواخر دههٔ ۱۹۸۰ ساخته شد (دیکینسون[3] و همکاران، ۱۹۸۹). ساختار داخلی مدل RegCM3 طی دههٔ گذشته تحول زیادی پیدا کرده است، به‌طوری‌که هم‌اکنون مدل اقلیمی RegCM3 از مدل هواشناسی MM4 کاملاً متمایز شده است (ایران‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۹). هستهٔ دینامیکی مدل RegCM4 از مدل MM5 اخذ شده که ناهمواری آن از مختصات سیگما تبعیت کرده و یک مدل هیدرواستاتیک است. مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM با دو هدف کلی ریزمقیاس نمایی و مدل‌سازی فرایندهای گوناگون اقلیمی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل از طرح‌وارهٔ بیوسفر–اتمسفر (BATS) برای مدل‌سازی فرایندهای سطحی استفاده می‌کند و طرح‌وارهٔ لایهٔ مرزی آن براساس مفهوم پخش غیر محلی به‌وسیلهٔ هولتسلگ[4] و همکاران (۱۹۹۰) ارائه شده است. مدل برای محاسبهٔ تابش از طرح‌وارهٔ تابش مدل CCM3[5] استفاده می‌کند (کیل[6] و همکاران، ۱۹۹۶). تابش ابر برحسب ابرناکی و میزان آب موجود در آن برآورد می‌شود (هسی[7] و همکاران، ۱۹۸۴). بارش‌های همرفت از طرح‌واره‌های شارش جرمی گرل با دو فرضیهٔ AS و FC و همچنین از طرح‌واره‌های امانوئل و کو برای مدل‌سازی تشکیل ابر استفاده می‌کند (گرل، ۱۹۹۳). در طرح‌وارهٔ گرل دو جریان همرفت غالب برای ابر در نظر گرفته می‌شود: جریان صعودی و جریان نزولی. به جز جریان‌های مذکور در هیچ جهتی بین ابر و هوای محیط اختلاطی رخ نمی‌دهد؛ شارش جرم نسبت به ارتفاع ثابت است و در طول لبه‌های ابر نفوذ و خروج جریان هوا رخ نمی‌دهد. طرح‌وارهٔ گرل زمانی فعال می‌شود که بسته هوای صعود کرده، رطوبت لازم برای همرفت را به‌دست آورد (گرل، ۱۹۹۵). در طرح‌وارهٔ کو، همرفت زمانی آغاز می‌شود که در یک ستون، همگرایی رطوبت β، ستون را مرطوب و باقی‌مانده آن بر طبق رابطهٔ (۱) به بارش P^{cu} تبدیل می‌شود.

$$p^{cu} = M(1-\beta) \qquad (۱)$$

β کسری از میانگین رطوبت نسبی در ژرف‌سنجی قائم است (جیورجی و مارینوچی[8]، ۱۹۹۱). طرح‌وارهٔ کو برخلاف طرح‌وارهٔ گرل، علاوه بر دو جریان صعودی و نزولی، نفوذ و جریان هوا در طول لبه‌های ابر را نیز در نظر می‌گیرد. طرح‌وارهٔ امانوئل یک معادلهٔ پیش‌بینی شارش جرم به همراه نرخ جریان‌های ورودی و خروجی دارد که از این طریق نیروی شناوری مشخص می‌شود. در طرح‌وارهٔ امانوئل تبدیل آب ابر به بارش بر مبنای فرایندهای کاتوره‌ای است. استفاده از این فرایندها موجب درک بهتر فرایند خرد فیزیک تبدیل قطره‌های آب در ابر به بارش می‌گردد (بتس[9]، ۱۹۸۶).

روش کار

در این تحقیق، مدل ۴ بار برای کل سال با شرایط مرزی یکسان ولی هر بار با استفاده از یکی از طرح‌واره‌های گرل آراکاوا شوبرت (AS)، گرل فریچ–چپل (FC)، کو و امانوئل برای دامنهٔ مادر و با تفکیک افقی ۶۰×۶۰ کیلومتر اجرا شد، سپس خروجی چهار اجرای مذکور در آشیانهٔ مورد نظر (شمال شرق کشور) به‌عنوان شرایط مرزی اولیه در نظر گرفته شده و با تفکیک افقی ۲۰×۲۰ کیلومتر اجرا شد. بدین ترتیب مدل در کل ۸ بار برای سال ۲۰۰۴ اجرا شد. دورهٔ سازگاری مدل یک ماه (دسامبر سال ۲۰۰۳) در نظر گرفته شد که خروجی آن در نتایج لحاظ نگردید. پس از اجرای مدل نتایج با داده‌های مشاهداتی بارش آفرودیت مقایسه شد و معیارهای

1. Giorgi and Mearns
2. Mesoscale Meteorological Model, Version 4
3. Dickinson
4. Holtslag
5. Community Climate Model Version 3
6. Kiehl
7. Hsie
8. Giorgi and Marinucci
9. Betts

آماری مجذور مربع خطای میانگین، اریبی، همبستگی، میانگین خطای مطلق و اختلاف مقدار بارش سالانه و فصلی محاسباتی و مشاهداتی محاسبه گردید و به هر کدام از معیارها براساس اولویت از ۱ تا ۴ امتیاز داده شد. بدین ترتیب که بهترین نتیجهٔ امتیاز ۱ و بدترین نتیجهٔ امتیاز ۴ گرفت. سپس برای هر فصل و کل سال میانگین امتیازات محاسبه و براساس آن بهترین طرح‌واره برای فصول مختلف و کل سال تعیین شد.

روش‌های ارزیابی آماری

الف. مجذور مربع خطای میانگین (RMSE)

مجذور مربع خطای میانگین در بهترین حالت صفر است و تا بی‌نهایت تغییر می‌کند. با استفاده از رابطهٔ (۲) در نرم‌افزار گردس به‌صورت مکانی محاسبه شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Ps_i - Po_i\right)^2} \qquad (۲)$$

در اینجا Psi و Poi به‌ترتیب بارش‌های مدل‌سازی شده و مشاهداتی در گام زمانی i می‌باشد (میلیمتر)، و n تعداد گام زمانی در دوره مدل‌سازی است (ویلکس[1]، ۲۰۱۱).

ب. اختلاف بارش

برای مقایسهٔ نتایج از تفاضل بارش مشاهداتی و محاسباتی استفاده شد، که با این روش اختلاف واقعی بارش مدل‌سازی‌شده با واقعیت محاسبه گردید:

$$Diff = Ps_i - Po_i \qquad (۳)$$

ج. همبستگی

در این مطالعه، ضریب همبستگی در همهٔ گام‌های زمانی برای هر پیکسل در دورهٔ مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار CDO به‌صورت مکانی محاسبه شد:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \qquad (۴)$$

که در آن x و y به‌ترتیب بارش‌های مدل‌سازی شده و مشاهداتی در گام زمانی i می‌باشد (میلیمتر)، و n تعداد گام زمانی در دورهٔ مدل‌سازی است (همان).

د. اریبی

اریبی مدل میزان کم برآوردی یا بیش برآوردی مدل را نشان می‌دهد. مقادیر کمتر آن نشان‌دهندهٔ کارایی بهتر است که مقدار صفر آن نشان‌دهندهٔ مدل‌سازی مناسب بارش می‌باشد. به‌صورت مکانی در نرم‌افزار گردس با رابطهٔ زیر محاسبه شد (یعقوبی و بهره‌مند، ۲۰۱۱):

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Ps_i - Po_i)}{\sum_{i=1}^{n} Po_i} \qquad (۵)$$

ه. میانگین خطای مطلق

میانگین خطای مطلق برای ارزیابی قابلیت مدل‌سازی مدل با استفاده از رابطهٔ (۶) در نرم‌افزار گردس محاسبه شد، مقدار صفر آن نشان‌دهندهٔ مدل‌سازی خوب و مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهندهٔ خطا در مدل‌سازی است (ویلکس، ۲۰۱۱).

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Ps_i - Po_i\right| \qquad (۶)$$

نتایج

نتایج معیارهای ارزیابی مدل به‌صورت مکانی در نرم‌افزار گردس تهیه شد. برای نمایش نتایج محدودهٔ گسترده‌تری انتخاب شد که نتایج در قسمت‌های مختلف دامنه به‌صورت مکانی قابل مشاهده باشد، ولی در انتخاب طرح‌واره، منطقه‌ای محدود (کادر مشکی داخل نقشه‌ها) مد نظر بوده است. شایان ذکر است که در مدل‌های دینامیک اقلیم به‌دلیل استفاده از داده‌های مرزی باز تحلیل شده، ممکن است نتایج آن با داده‌های مشاهداتی تفاوت بیشتری از سایر مدل‌های مورد استفاده در عرصهٔ منابع طبیعی داشته باشد، زیرا این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی کالیبره نمی‌شوند و تنها بخش تعیین روش پارامترسازی همرفت در آن قابل مطالعه و تغییر است که در این مطالعه برای منطقهٔ مورد نظر انجام شد. به همین سبب معیارهای ارزیابی فقط برای تعیین بهترین طرح‌واره استفاده می‌شوند و دامنهٔ معنی‌داری در آن متفاوت است؛ یعنی در حقیقت نتایج بین طرح‌واره‌های مختلف به‌صورت نسبی مقایسه می‌شود. برای این مقایسه از روش‌های مختلف ارزیابی استفاده شد.

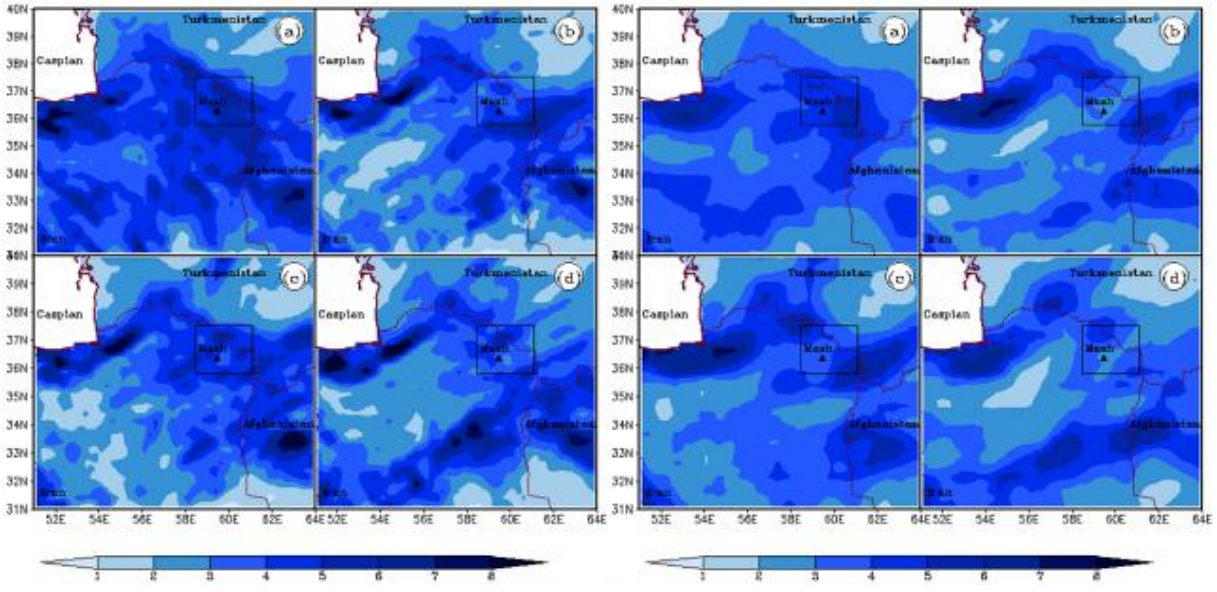
1. Wilks

۱. ارزیابی روش‌های مختلف پارامترسازی

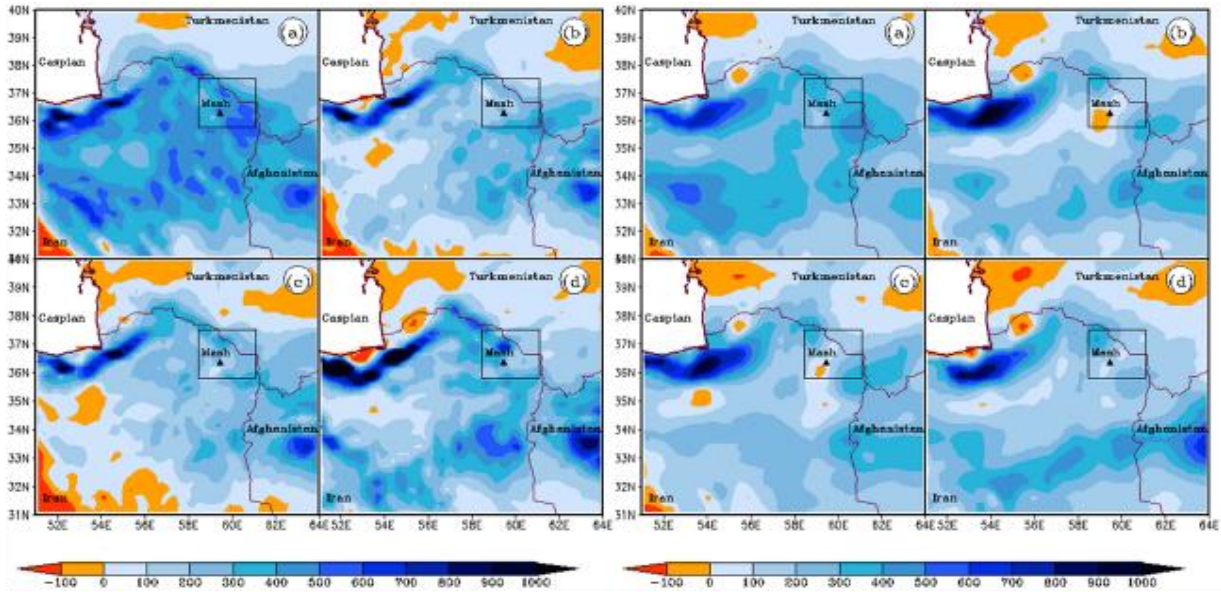
نتایج ارزیابی سالانهٔ بارش با مجذور مربع خطای میانگین، اختلاف بارش، اریبی و میانگین خطای مطلق به‌ترتیب در شکل‌های (۲)، (۳)، (۵) و (۶) نشان داده شده است. با توجه به این نقشه‌ها مشخص شد که خطای مدل‌سازی در مناطق مختلف متفاوت است. خطای مدل‌سازی در مناطق کوهستانی نسبتاً زیاد بوده که ممکن است به‌دلیل کمبود ایستگاه باران‌سنجی و دقت پایین‌تر داده‌های مشاهداتی در این مناطق باشد. از طرفی دامنهٔ انتخاب‌شده برای منطقهٔ مورد نظر بوده و ممکن است برای همهٔ مناطق نتیجهٔ خوبی نداشته باشد. علاوه بر این نتایج در فصول مختلف سال نیز به‌دلیل نوع سیستم‌های تأثیرگذار در بارش متفاوت است. همچنین همان‌طور که در نقشهٔ خطای مطلق، RMSE، اریبی و اختلاف بارش دیده می‌شود، میزان خطا در دامنهٔ آشیانه بیشتر از دامنهٔ مادر است. در این مطالعه، همهٔ معیارهای ارزیابی برای فصول نیز به‌صورت نقشه تهیه شد که به‌صورت نسبی با هم مقایسه شد و به‌ترتیب برای هر معیار به هر طرح‌واره اولویت ۱ تا ۴ داده شد. در نهایت با میانگین اولویت در هر فصل نیز طرح‌وارهٔ مناسب انتخاب شد (جدول ۱). با توجه به نتایج این ۴ معیار طرح‌وارهٔ گرل AS بهترین نتایج را در منطقهٔ مورد نظر نشان داده است.

نتایج معیار همبستگی نیز در حالت فصلی و سالانه به‌صورت نقشه تهیه شد. مقایسهٔ فصلی در جدول (۱)، و مقایسهٔ سالانه به‌صورت نقشه در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به این نقشه، همبستگی در مناطق مختلف و در طرح‌واره‌های مختلف متفاوت است. در منطقهٔ مورد نظر طرح‌وارهٔ کو بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد. همچنین با توجه به نقشه مشخص شد که میزان همبستگی با داده‌های مشاهداتی در دامنهٔ آشیانه بیشتر از دامنهٔ مادر است.

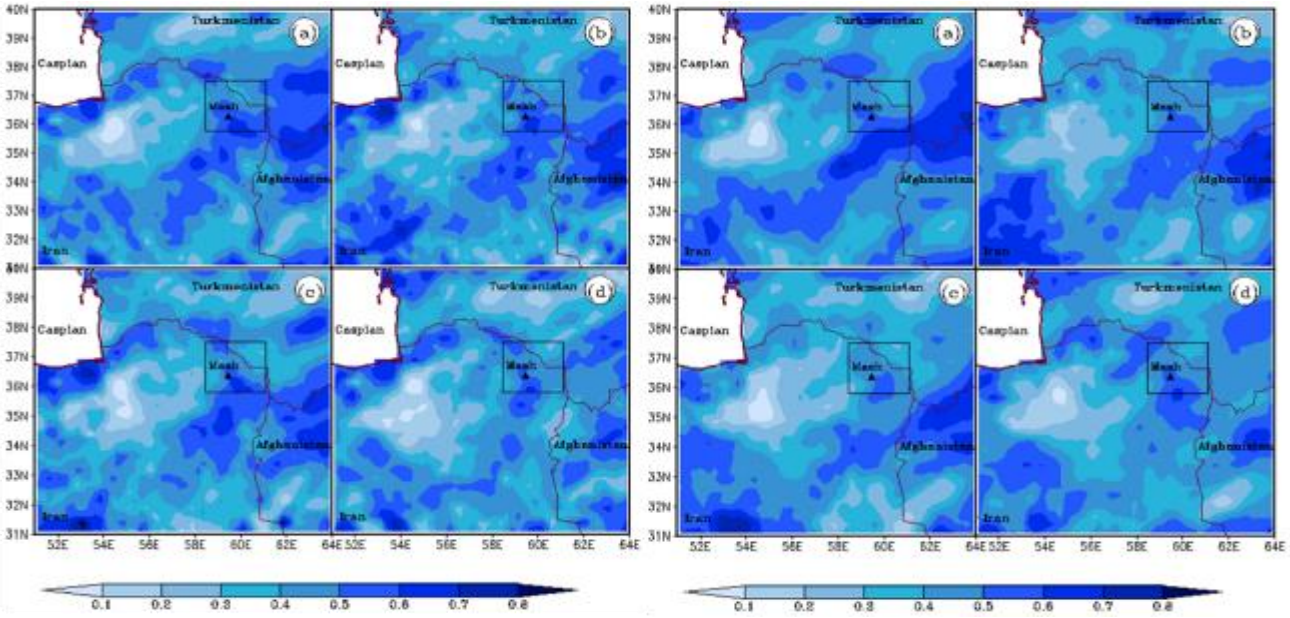
با توجه به ارزیابی‌های آماری طرح‌وارهٔ گرل AS بهترین نتیجه را در مدل‌سازی بارش سالانه (میانگین اولویت ۱/۴) و فصول بهار (میانگین اولویت ۱/۴) و تابستان (میانگین اولویت ۱/۸)، و گرل FC بهترین نتیجه را در مدل‌سازی بارش فصول پاییز (میانگین اولویت ۱/۶) و زمستان (میانگین اولویت ۱/۲) نشان داده است (جدول ۱).



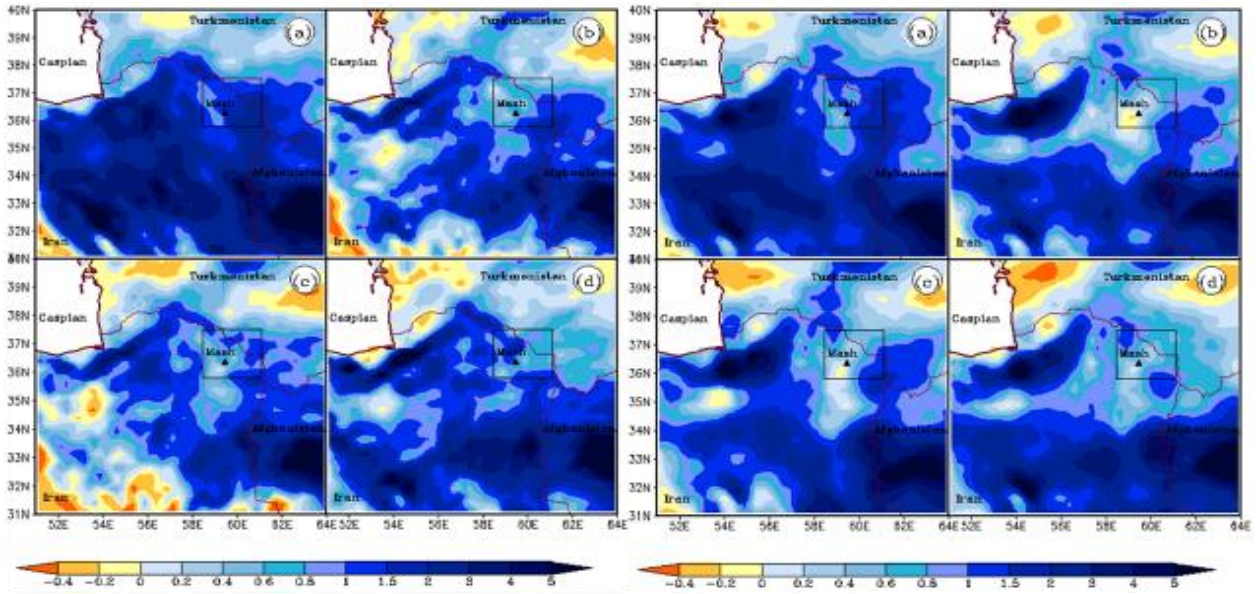
شکل (۲): مجذور مربع خطای میانگین بارش مدل‌سازی‌شدهٔ سال ۲۰۰۴ در دامنهٔ مادر (سمت راست: دقت ۶۰ کیلومتر) و دامنهٔ آشیانه (سمت چپ: دقت ۲۰ کیلومتر)، a) طرح‌وارهٔ کو، b) طرح‌وارهٔ گرل AS، c) طرح‌وارهٔ گرل FC ، d) طرح‌وارهٔ امانوئل



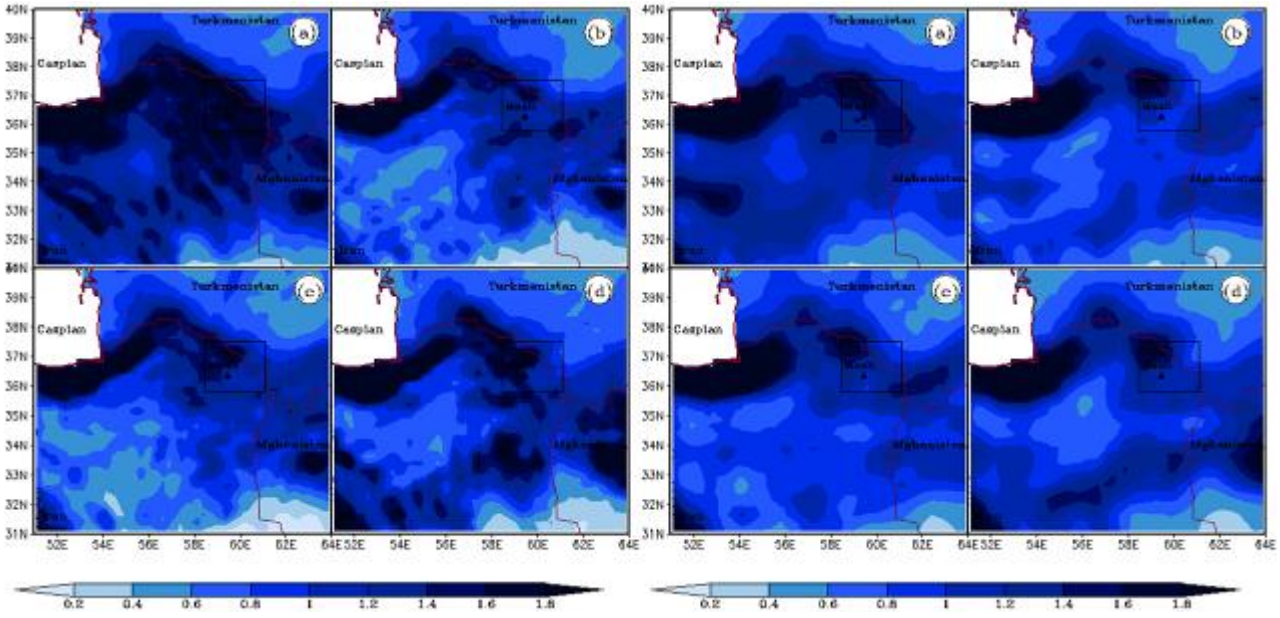
شکل (۳): تفاضل بارش مدل‌سازی‌شده و مشاهداتی سال ۲۰۰۴ در دامنهٔ مادر (سمت راست: دقت ۶۰ کیلومتر) و دامنهٔ آشیانه (سمت چپ: دقت ۲۰ کیلومتر)، **a**) طرح‌وارهٔ کو، **b**) طرح‌وارهٔ گرل **AS**، **c**) طرح‌وارهٔ گرل **FC** ، **d**) طرح‌وارهٔ امانوئل



تصویر (۴): همبستگی بارش مدل‌سازی‌شده و مشاهداتی سال ۲۰۰۴ در دامنهٔ مادر (سمت راست: دقت ۶۰ کیلومتر) و دامنهٔ آشیانه (سمت چپ: دقت ۲۰ کیلومتر)، **a**) طرح‌وارهٔ کو، **b**) طرح‌وارهٔ گرل **AS**، **c**) طرح‌وارهٔ گرل **FC** ، **d**) طرح‌وارهٔ امانوئل



تصویر (۵): اریبی بارش مدل‌سازی‌شده و مشاهداتی سال ۲۰۰۴ در دامنهٔ مادر (سمت راست: دقت ۶۰ کیلومتر) و دامنهٔ آشیانه (سمت چپ: دقت ۲۰ کیلومتر)، **a**) طرح‌وارهٔ کو، **b**) طرح‌وارهٔ گرل **AS**، **c**) طرح‌وارهٔ گرل **FC** ، **d**) طرح‌وارهٔ امانوئل



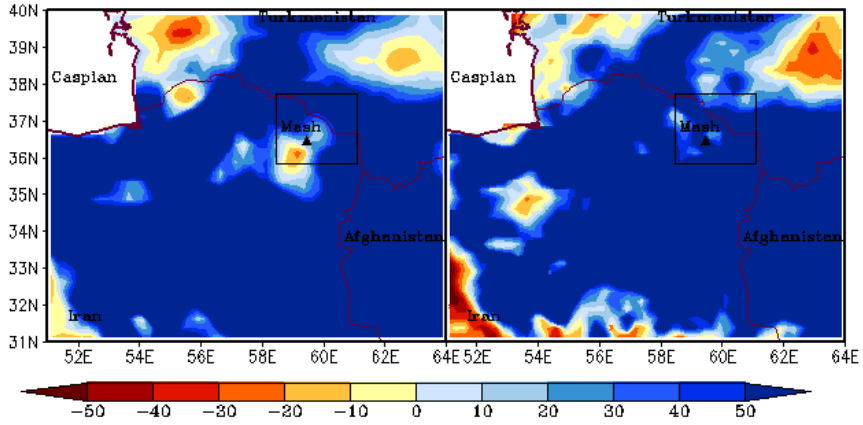
تصویر (۶): میانگین خطای مطلق بارش مدل‌سازی‌شدهٔ سال ۲۰۰۴ در دامنهٔ مادر (سمت راست: دقت ۶۰ کیلومتر) و دامنهٔ آشیانه (سمت چپ: دقت ۲۰ کیلومتر)، **a**) طرح‌وارهٔ کو، **b**) طرح‌وارهٔ گرل **AS**، **c**) طرح‌وارهٔ گرل **FC** ، **d**) طرح‌وارهٔ امانوئل

جدول (۱): تعیین مناسب‌ترین روش پارامترسازی برای بارش‌فصل‌های مختلف طرح‌واره‌ها

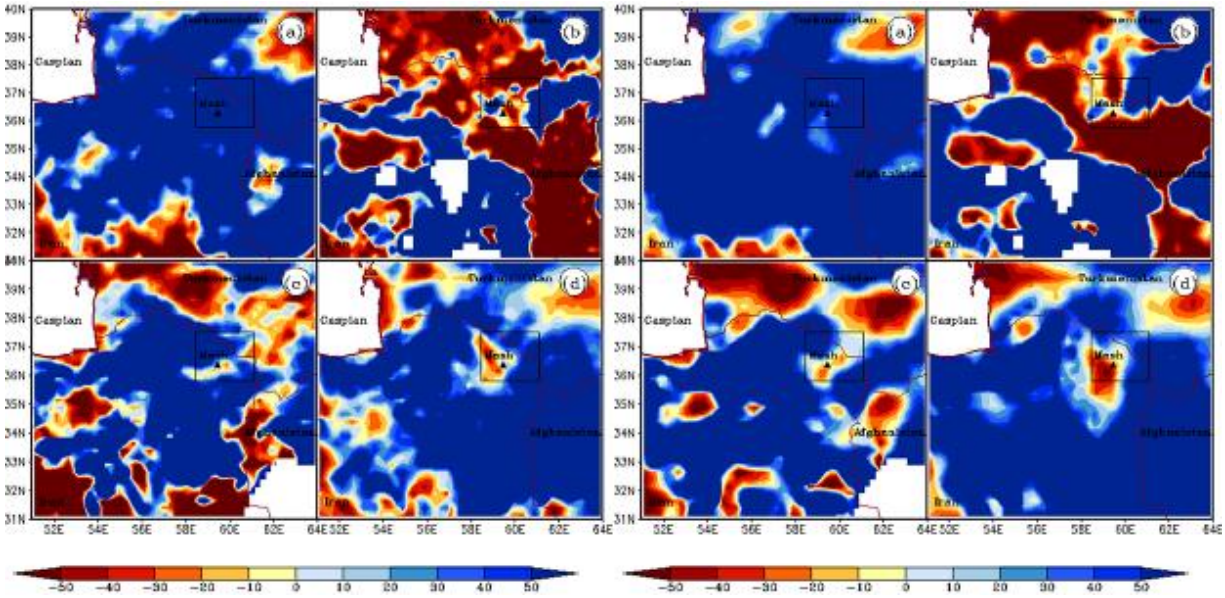
معیارهای ارزیابی	طرح‌واره‌ها (روش‌های پارامترسازی)																			
	کو					گرل AS					گرل FC					امانوئل				
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
RMSE	۴	۲	۴	۴	۴	۲	۳	۳	۲	۱	۳	۴	۲	۱	۳	۱	۱	۱	۳	۲
همبستگی	۱	۱	۴	۴	۱	۲	۲	۳	۱	۳	۳	۴	۲	۲	۴	۴	۳	۱	۳	۲
اریبی	۴	۳	۴	۴	۴	۱	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۱	۱	۲	۳	۴	۳	۳	۳
اختلاف	۴	۳	۴	۴	۴	۱	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۱	۱	۲	۳	۴	۳	۳	۳
MAE	۴	۱	۴	۴	۴	۱	۲	۳	۲	۱	۲	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۱	۳	۳
میانگین	۳/	۲	۴	۴	۳/	۱/	۱/	۲/	۱/	۱/	۲/	۳/	۱/	۱/	۲/	۲/	۳/	۱/	۳	۲/

۲. مدل‌سازی بارش

با توجه به نتایج، بارش برای فصول مختلف و کل سال با طرح‌واره‌های مناسب مدل‌سازی شده و برای نمایش میزان کاربردی بودن آن، درصد اختلاف بارش مدل‌سازی‌شده با بارش مشاهداتی در شکل (۷) و (۸) نشان داده شد. با توجه به شکل (۷) در دامنهٔ مادر مشخص می‌شود که در بهترین حالت در منطقهٔ مورد نظر، به‌خصوص اطراف ایستگاه مشهد درصد اختلاف بارش مدل‌سازی‌شده با مشاهداتی کمتر از ۱۰ درصد است. ولی این اختلاف در دامنهٔ آشیانه بیشتر شده است. نتایج نشان داده شده در تصویر (۷) نیز نشان می‌دهد که میزان اختلاف در دامنهٔ مادر کمتر از دامنهٔ آشیانه است. کمترین درصد اختلاف نیز مربوط به فصل پاییز است.



تصویر (۷): درصد اختلاف بارش مدل‌سازی‌شده و مشاهداتی سال ۲۰۰۴ در دامنهٔ مادر (سمت چپ: دقت ۶۰ کیلومتر) و دامنهٔ آشیانه (سمت راست: دقت ۲۰ کیلومتر) با بهترین طرح‌واره (گرل AS)



تصویر (۸): درصد اختلاف بارش فصلی مدل‌سازی‌شده و مشاهداتی سال ۲۰۰۴ در دامنهٔ مادر (سمت راست: دقت ۶۰ کیلومتر) و دامنهٔ آشیانه (سمت چپ: دقت ۲۰ کیلومتر) با بهترین طرح‌واره، a) بهار (گرل AS)، b) تابستان (گرل AS)، c) پاییز (گرلFC) ، d) زمستان (گرل FC).

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نقش مهم همرفت در مدل‌سازی بارش منطقه‌ای، به‌ویژه هنگامی که بارش‌های ناگهانی مورد نظر باشد، تعیین بهترین طرح‌واره در منطقه ضروری است. در این مطالعه کارایی انواع طرح‌واره‌های مختلف همرفت شامل گرل آراکاوا شوبرت (AS)، گرل فریچ–چپل (FC)، کو و امانوئل برای مدل‌سازی بارش منطقهٔ شمال شرق کشور مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌سازی در دو تفکیک افقی ۶۰×۶۰ کیلومتر برای

دامنهٔ مادر و تفکیک افقی ۲۰×۲۰ کیلومتر برای دامنهٔ آشیانه اجرا شد. کارایی مدل‌سازی با استفاده از معیارهای مجذور مربع خطای میانگین، اریبی، همبستگی و میانگین خطای مطلق مورد مطالعه قرار گرفت و برای هر معیار طرح‌واره‌های مختلف به‌ترتیب اولویت برای فصول مختلف مشخص شدند. با توجه به نتایج معیارهای آماری یادشده، بهترین طرح‌واره برای منطقهٔ مورد نظر طرح‌وارهٔ گرل آراکاوا-شوبرت است که با نتایج بابائیان و همکاران (۲۰۰۸) و کریمیان و همکاران (۲۰۰۸)، مثال پال و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد. مفیدی و همکاران (۲۰۱۳) نیز از این طرح‌واره برای بررسی نقش دریای خزر در بارش‌های منطقه‌ای استفاده کرد. بسیاری از مطالعات نیز به‌صورت بزرگ‌مقیاس انجام شده، مانند مطالعهٔ جریان‌های حاره‌ای که به‌دلیل مقیاس فرایند و جریان‌های تأثیرگذار، با سایر طرح‌واره‌ها نتایج بهتری را ارائه داده‌اند. ازآنجاکه طرح‌واره‌ها به مقیاس‌های مختلف حساس‌اند، با تغییر مقیاس نتایج تغییر خواهد کرد. با توجه به نتایج پارامترهای آماری به‌صورت مکانی، مشخص شد که در مناطق مختلف طرح‌واره‌های مختلف مناسب است. بنابراین با توجه به اینکه در این مطالعه، ناحیهٔ محدودی مورد نظر می‌باشد ممکن است طرح‌واره انتخاب‌شده با سایر مطالعات متفاوت باشد. با توجه به هدف مدل‌سازی بارش نیز می‌توان طرح‌وارهٔ مورد نظر را انتخاب کرد. در اکثر مناطق خشک و نیمه‌خشک، سیل‌های مخرب در فصل بهار و تابستان رخ می‌دهد. بنابراین طرح‌واره‌ای که این فصول را به‌خوبی مدل‌سازی کند، کارایی بهتری خواهد داشت، که در اینجا طرح‌وارهٔ گرل AS مناسب است. اگر هدف مطالعهٔ منابع آب باشد، مدل‌سازی بارش فصل زمستان و مقدار بارش سالانه اهمیت پیدا می‌کند که می‌توان با استفاده از آن، طرح‌وارهٔ مورد نظر را انتخاب کرد. در این مطالعه برای کل سال طرح‌وارهٔ گرل AS و برای فصل زمستان گرل FC مناسب است.

نتایج نشان داد که آشیانه‌سازی باعث افزایش اختلاف بین بارش محاسباتی و مشاهداتی شده، ولی میزان همبستگی را بالا برده است. بنابراین در صورتی که اجرا برای اقلیم آینده مد نظر باشد، در صورتی که تصحیح با اریبی انجام شود، آشیانه‌سازی معقول بوده و نتایج را بهبود می‌بخشد، ولی در صورتی که از خروجی مدل به‌صورت مستقیم استفاده شود، نتایج آشیانه‌سازی مقادیر غیر واقعی از بارندگی را نشان خواهد داد.

در اکثر مطالعات انجام‌شده، معیارهای آماری برای یک پهنه به‌صورت عددی ارائه شده است که در این صورت نتایج برای سایر مناطق کاربردی نخواهد بود. در این مطالعه پهنهٔ وسیع‌تری از پهنهٔ مورد نظر در نقشه‌ها ارائه شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج همهٔ طرح‌واره‌ها برای منطقهٔ شمال شرق بهتر از سایر مناطق بود و میزان خطا مخصوصاً در مناطق شمالی کشور که میزان بارندگی بیشتر و توپوگرافی آن متنوع‌تر است، بیشتر می‌باشد. همچنین در منطقهٔ جنوب شرقی میزان خطا بیشتر بوده است؛ این خطا به دلایل مختلف از جمله دامنهٔ انتخابی، مرکز دامنه و اندازهٔ پیکسل شبکه یا دقت مکانی آن بستگی دارد. در مدل‌های اقلیمی بسته به محدودهٔ مورد نظر و جریان‌های تأثیرگذار دامنه تعیین شده و دقت مدل در مرکز دامنه بیشتر است. بنابراین با دیدن نتایج به‌صورت مکانی، محدودهٔ مورد قبول از نظر معیارهای آماری مشخص شده و در صورت مشاهدهٔ تفاوت زیاد، مدل برای منطقهٔ مورد نظر با مشخصات جدید اجرا خواهد شد.

تشکر و قدردانی

از همکاری پژوهشکدهٔ اقلیم‌شناسی مشهد و پشتیبانی سخت‌افزاری این مرکز تشکر می‌شود. از همکاری علمی و فنی خانم نرگس صالح‌آبادی، خانم دکتر آذر زرین، دکتر عباس مفیدی، خانم راحله مدیریان و آقای کامل آزرم سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1. Anthes, R. A., 1977. A Cumulus Parameterization Scheme Utilizing a One-Dimensional Cloud Model. Monthly Weather Review 105: 270–86.
2. Babaeian, I., Karimian, M., Modirian, R., Habibi Nokhandan, M., 2008. Simulating the rainfall of

cold months in 1376 to 1379 using climate model RegCM3. Geography and Development Iranian Journal. 10: 55-72.

3. Bao, Y., 2013. Simulations of Summer Monsoon Climate over East Asia with a Regional Climate Model (RegCM) Using Tiedtke Convective Parameterization Scheme (CPS). Atmospheric Research 134: 35–44.
4. Betts, A. K. 1986. A New Convective Adjustment Scheme. Part I: Observational and Theoretical Basis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 112(473): 677–91.
5. Dash, S. K., Shekhar, M. S., Singh, G. P., 2006. Simulation of Indian Summer Monsoon Circulation and Rainfall Using RegCM3. Theoretical and applied climatology. 86: 161-172.
6. Dickinson, R. E., Errico, R. M., Giorgi, F., Bates, G. T., 1989. A Regional Climate Model for the Western United States. Climatic Change 15(3): 383-422.
7. Giorgi, F., Marinucci, M. R., 1991. Validation of a Regional Atmospheric Model over Europe: Sensitivity of Wintertime and Summertime Simulations to Selected Physics Parametrizations and Lower Boundary Conditions. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 117(502): 1171–1206.
8. Giorgi, F., Marinucci, M. R., Bates, G. T., 1993a. Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part I: Boundary-Layer and Radiative Transfer Processes. Monthly Weather Review 121(10): 2794–2813.
9. Giorgi, F., Marinucci, M. R., Bates, G. T., De Canio, G., 1993b. Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part II: Convective Processes and Assimilation of Lateral Boundary Conditions. Monthly Weather Review 121(10): 2814–32.
10. Giorgi, F., Mearns, L. O., 1999. Introduction to Special Section: Regional Climate Modeling Revisited. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 104: 6335–52.
11. Gochis, D. J., Shuttleworth, W. J., Yang, Z. L., 2002. Sensitivity of the Modeled North American Monsoon Regional Climate to Convective Parameterization. Monthly Weather Review 130(5): 1282–1298.
12. GRELL, G. A. 1995. A Description of the Fifth-Generation Penn State/ NCAR Mesoscale Model (MM5), NCAR/TN-398+STR. NCAR TECHNICAL NOTE. 121pp. Available at: http://ci.nii.ac.jp/naid/10016459788/en/.
13. Grell, GA. 1993. Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. Monthly Weather Review 121: 764-787.
14. Holtslag, A. A. M., De Bruijn, E. I. F., Pan. H-L., 1990. A High Resolution Air Mass Transformation Model for Short-Range Weather Forecasting. Monthly Weather Review 118(8): 1561–75.
15. Hsie, E. Y., Anthes, R. A., Keyser, D., 1984. Numerical Simulation of Frontogenesis in a Moist Atmosphere. Journal of the Atmospheric Sciences 41(17): 2581–94.
16. Im, E. S., Ahn, J. B., Remedioc, A. R., Kwon, W. T., 2008. Sensitivity of the Regional Climate of East/Southeast Asia to Convective Parameterizations in the RegCM3 Modelling System. Part 1: Focus on the Korean Peninsula. Encyclopedia of Atmospheric Sciences 28: 1861–77.
17. Irannejad, P., Ahmadi-Givi, F., Pazouki, R., 2009. The role of convection parameterization in the simulation of the winter temperature and precipitation fields over Iran using Regional Climate Model (RegCM3). Journal of Earth and Space Physics 35(1): 101-120.
18. Kang, H. S., Hong, Y. H., 2008. Sensitivity of the Simulated East Asian Summer Monsoon Climatology to Four Convective Parameterization Schemes. Journal of Geophysical Research Atmospheres 113(15): 1–17.
19. Karimian, M., Babaeian, I., Modirian, R., 2008. Evaluation the capability of climate model RegCM3 in modeling precipitation and temprature in Khorasan Province, case studey: winter of 1991 to 2000. Geographical Research 97: 167-186.
20. Kiehl, J. T., Hack, J. J., Bonan, G. B., Boville, B. A., Briegleb, B. P., 1996. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). Technical Note. Avalable at: http://www.osti.gov/scitech/biblio/442361
21. Krishnamurti, T. N., Sanjay, J., 2003. A New Approach to the Cumulus Parameterization

Issue. Tellus, Series A: Dynamic Meteorology and Oceanography 55(4): 257–300.

22. Modirian, R., Babaeian, I., Karimian, M., 2010. Configuretion the RegCM model to simulate the temperature and precipitation in autumn in Khorasan region from 1991 to 2000. Physical Geography Research Quarterly 70: 107-120.
23. Mofidi, A., Kamali, S., Zarrin, A., 2013. Evaluation of the RegCM4 model coupled with Dust module on identification of dust storm features over the Sistan region. Quarterly of Geography (Regional Planning) 3: 51-70.
24. Pal, J. S., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., Rauscher, S. A., Gao, X., Francisco, R., Zakey, A., Winter, J., Ashfaq, M., Syed, F. S., Sloan, L. C., Bell, J. L., Diffenbaugh, N. S., Karmacharya, J., Konaré, A., Martinez, D., da Rocha, R. P., Steiner, A. L., 2007. Regional Climate Modeling for the Developing World: The ICTP RegCM3 and RegCNET." Bulletin of the American Meteorological Society 88(9): 1395–1409.
25. Tiedtke, M. 1989. A Comprehensive Mass Flux Scheme for Cumulus Parameterization in Large-Scale Models. Mon. Weather Rev. 117(8): 1179–1800.
26. Wang, Y., Zhou, L., Hamilton, K., 2007. Effect of Convective Entrainment/Detrainment on the Simulation of the Tropical Precipitation Diurnal Cycle. Monthly Weather Review 135(2): 567–85.
27. Wilks, D. S., 2011. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Academic Press is an imprint of Elsevier. San Diego, USA. 704p.
28. Yaghoubi, F. and A.R. Bahremand. 2011. Streamflow Simulation using Spatially Distributed Hydrologic Model, WetSpa in Chehel-Chai Watershed in Golestan Province. Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 18(3): 185-205.

Evaluate the efficiency of different convective parameterization methods for estimating seasonal and annual precipitation in North East of Iran in climate model (RegCM)

Somaye Mashari Eshghabad[1]*, Iman Babaeian[2], Ahmad Nohegar[3], Cyrus Ershadi[4]

Received: 31/7/2016 Accepted: 28/10/2016

Abstract

Convection as a short-term and long-term atmospheric processes that affect the climate and weather system, has been much studied. In this study, different types of parameterizing convection in precipitation field will be assessed in fourth version of the dynamic model of regional climate (RegCM4). The simulations are conducted for 2004 with 60*60 km grid spacing in mother domain, then the North East region of Iran was nested in mother domain with 20*20 km grid spacing. RegCM4 was run four times, keeping all the components of the model and the initial and boundary conditions the same, by each time coupling one the convection schemes (Kou, Grell Arakawa-Schubert, Grell Fritch-Chappell, Emanuel) with the model, then the results were nested. After running the model, results were compared with Aphrodite precipitation data and the statistical criteria, including Root Mean Square Error, Bias, Correlation, Mean Absolut Error and Differences in annual and seasonal observed and simulated precipitation were calculated. According to statistical criteria, the best scheme for this area is Grell Arakawa-Schubert scheme.

Keywords: Convection scheme, Dynamic climate modeling, Nesting, Precipitation, Regional climate model.

1. Ph.D. student, Hormozgan University. Corresponding author (mashari1363@gmail.com)
2. Assistant Professor, I.R.OF IRAN Meteorological Organization, Climatological Research Institute-Mashhad
3. Professor, Tehran University
4. Assistant Professor, Hormozgan University