

شبیه‌سازی عددی بارش و دمای جنوب شرق ایران با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3

راهله مدیریان^۱، ایمان بابائیان^۲، مریم کریمیان^۳

(تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۸۶/۷/۲۶)

جنوب شرق ایران به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، قرارگرفتن در حاشیه دریای عمان و اقیانوس هند و تاثیرپذیری بارش‌های تابستانه آن از الگوی مونسون هندوستان و عوارض متفاوت سطح زمین نظیر ساحل، خشکی و کوهستان، دارای پیچیدگی‌های خاص برای مدلسازی‌ها و صدور پیش‌بینی‌های اقلیمی است. لذا بکارگیری مدل‌های عددی برای پیش‌بینی‌های اقلیمی مستلزم بررسی و به کارگیری طرحواره‌های فیزیکی مناسب براساس اقلیم منطقه از لحاظ نوع بارش‌ها، توپوگرافی و نحوه رشد خطای مدل‌های عددی می‌باشد. در این مقاله از مدل اقلیمی RegCM3 برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی فصل تابستان سال ۱۹۹۵ میلادی استفاده شده است. با توجه به سهم مهم بارش‌های همرفتی در مجموع بارش‌های تابستانه این منطقه، چهار طرحواره مختلف شامل Grell-AS, Grell-FC و Emanuel برای شبیه‌سازی بارش و دمای منطقه انتخاب

چکیده

*

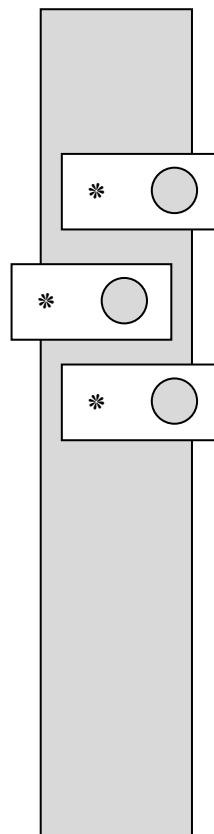
*

*

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دانشگاه آزاد، پژوهشکده اقلیم‌شناسی

۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، پژوهشکده اقلیم‌شناسی

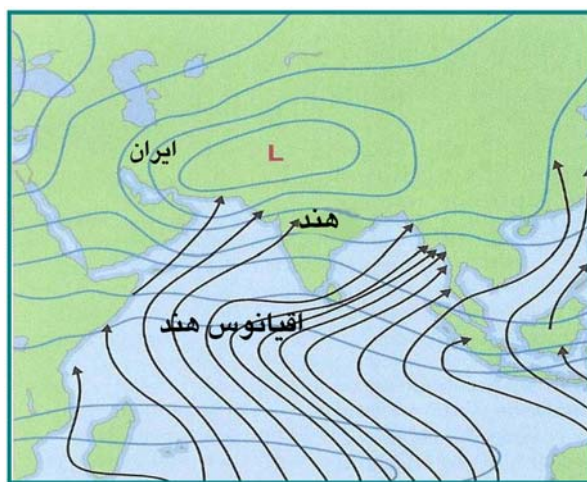
شدند. شبیه سازی‌ها با دقت مکانی ۵۰ Km برای تابستان ۱۹۹۵ صورت گرفت. داده‌های NNRPI برای شرایط اولیه و مرزی مدل، OISST برای دمای سطح متوسط دریا، GLCC و USGS برای پوشش گیاهی و ارتفاع استفاده شدند. علیرغم ضعیف بودن نتایج مدلسازی بارش‌های تابستانه منطقه، نشان داده می‌شود که این مدل دارای قابلیت‌های بسیار خوبی برای شبیه‌سازی میانگین دمای ماهانه فصل تابستان است. با بررسی نتایج حاصل از چهار طرحواره مشخص گردید که مدل RegCM3 در حد بسیار خوبی قادر به مدلسازی میانگین دمای تابستان چه بصورت ماهانه و چه بصورت فصلی است. کمترین و بیشترین درصد خطای نسبی در مدلسازی دمای تابستانه به ترتیب مربوط به طرحواره‌های Emanuel و Kuo با ۰/۹ و ۳/۶ درصد می‌باشد. به همین ترتیب کمترین و بیشترین خطای مدلسازی بارش تابستانه به ترتیب مربوط به طرحواره Emanuel و Kuo با ۳۵/۷ و ۱۵۷/۵ درصد خطای نسبی می‌باشد. **کلمات کلیدی:** مدل اقلیمی RegCM3، جنوب شرق ایران، بارش‌های مونسونی، طرحواره همرفت، داده‌های دیدبانی شده.



مقدمه

منشاء بارش‌های تابستانه جنوب شرق کشور عمدتاً ناشی از کم فشار موسمی شبه قاره هند است. در صورت تقویت این سامانه اثرات آن می‌تواند تا جنوب شرق ایران و حتی برخی مناطق مرکزی نیز ادامه داشته باشد [۲]. مونسون ویژگی خاصی از آب و هوا است که از اختلاف فصلی گرمای زمین و اقیانوس طی تغییرات فصلی در چرخه جهانی آب و هوا بوجود می‌آید. در اثر تغییر در الگوهای چرخه جهانی، اختلاف دما بین زمین و دریا و برهم کنش باد با کوه‌های هیمالیا، پدیده مونسون هند به وجود می‌آید. در بهار و تابستان، خورشید زمین و هوای مجاور آن را گرم می‌کند و یک اختلاف فشار افقی در جهت اقیانوس به خشکی، در نزدیکی سطح زمین برقرار شده و هوا مرطوب می‌شود.

گرمای خورشید موجب تشکیل جریان‌های همرفتی می‌گردد و در نتیجه هوای گرم و مرطوب صعود کرده، منبسط و سرد می‌شود و سپس پدیده بارش رخ می‌دهد. شکل ۱ جریان بادهای سطحی و الگوهای فشار در هنگام شکل‌گیری مونسون هندوستان را نشان می‌دهد [۶].



شکل ۱- جهت جریان بادهای سطحی و الگوهای فشار در هنگام فعالیت مونسون تابستانه هندوستان

بارش‌های مونسونی در رونق کشاورزی و تأمین آب پشت سدها در کشورهای هندوستان، پاکستان و حتی جنوب شرق کشورمان تأثیر فراوانی دارد و مهار بارش‌های ناشی از آن می‌تواند در اقتصاد کشاورزی، دامپروری، شیلات و معیشت ساکنان منطقه تحول اساسی پدید آورد. بارش‌های ناگهانی و پراکنش ناهمگن بارش‌های تابستانه منطقه، باعث عدم توجه برنامه‌ریزان به نقش حیاتی این پدیده طبیعی می‌باشد [۴]. با توجه به اهمیت موضوع بر آن شدیم که بارش‌های تابستانه مونسون را با استفاده از مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM3 شبه‌سازی کنیم. مدل‌های اقلیمی با استفاده از سناریوهای مختلف می‌توانند اطلاعاتی درباره گذشته و آینده اقلیم را ارائه نمایند و این اطلاعات می‌تواند در گستره وسیعی از فعالیت‌های اقتصادی و برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار گیرند [۵]. در این مطالعه بارش‌های جنوب شرق ایران با استفاده از طرحواره‌های مختلف همرفت مدل اقلیم

منطقه‌ای RegCM3 شبیه سازی شده است. در این مقاله ابتدا به تشریح منطقه، داده‌ها و دوره مورد مطالعه می‌پردازیم سپس در بخش‌های بعدی به ترتیب به ساختار و فیزیک مدل RegCM3 پرداخته می‌شود و آخرین بخش مقاله تجزیه و تحلیل خطاها و جمع بندی آن می‌باشد.

منطقه، دوره و داده‌های مورد نیاز

جنوب شرق کشورمان شامل استان‌های سیستان و بلوچستان، بخش‌هایی از استان‌های کرمان و هرمزگان در ناحیه مورد مطالعه قرار دارند. دوره شبیه سازی مدل، تابستان ۱۹۹۵ شامل ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست انتخاب شده که یکی از سال‌های پربارش طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۸۴-۲۰۰۳) بوده است. در جدول ۱ سهم بارش‌های تابستانه منطقه از کل بارش سالانه در دوره آماری و سال ۱۹۹۵ آورده شده است. بیشترین سهم در بارش فصل تابستان را ایستگاه سراوان و کمترین را ایستگاه زابل دارد [۱]. برای بررسی دقت مدل، خروجی آن با داده‌های دیده بانی شده بارش و دما مقایسه شد. در شکل ۲ منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود.



شکل ۲- ناحیه مورد مطالعه که تحت تاثیر بارش‌های مونسونی تابستانه قرار دارند

جدول ۱- سهم بارش‌های تابستانه منطقه از بارش‌های سالانه دوره آماری و سال ۱۹۹۵

نام ایستگاه	میانگین بارش سالانه دوره آماری	میانگین بارش تابستانه دوره آماری	نسبت بارش تابستانه به کل سال	بارش تابستان ۱۹۹۵
انار	۷۹/۲	۱/۳۵	٪۱/۷	۱
بم	۵۶/۶۸	۱/۳۶	٪۲/۴	۳/۶
کرمان	۱۴۱/۱	۱/۴۸	٪۱/۰۵	۷/۸
سیرجان	۱۴۰/۶	۲/۲۶	٪۱/۶	۰
چابهار	۱۱۳/۸	۵/۴۷	٪۴/۸	۴۶/۶
ایرانشهر	۱۰۰/۴۵	۱۹/۳۵	٪۱۹/۳	۲۱/۷
کنارک چابهار	۹۸/۷۵	۵/۹۷	٪۶	۱۸/۳
سراوان	۱۰۶/۷۲	۲۰/۰۱	٪۱۸/۸	۲۵/۵
زابل	۵۹/۸۵	۰	٪۰	۰
زاهدان	۷۱/۳۱	۲/۵۱	٪۳/۵	۲۳/۴
ابوموسی	۱۲۶/۰۵	۰/۲۷	٪۰/۲۱	۴/۹
بندرعباس	۱۸۳/۷۳	۲/۰۵	٪۱/۱	۲۹/۲
بندر لنگه	۱۴۰/۵۴	۱/۸۵	٪۱/۳	۲۷
جاسک	۱۳۲/۶	۰/۸	٪۰/۶	۶
جزیره سیری	۱۱۸/۴۴	۰/۵	٪۰/۵	۱۰
کیش	۱۶۹/۴۱	۳/۳	٪۲	۵۶
میناب	۱۹۱/۳۳	۳/۱	٪۲	۱۰

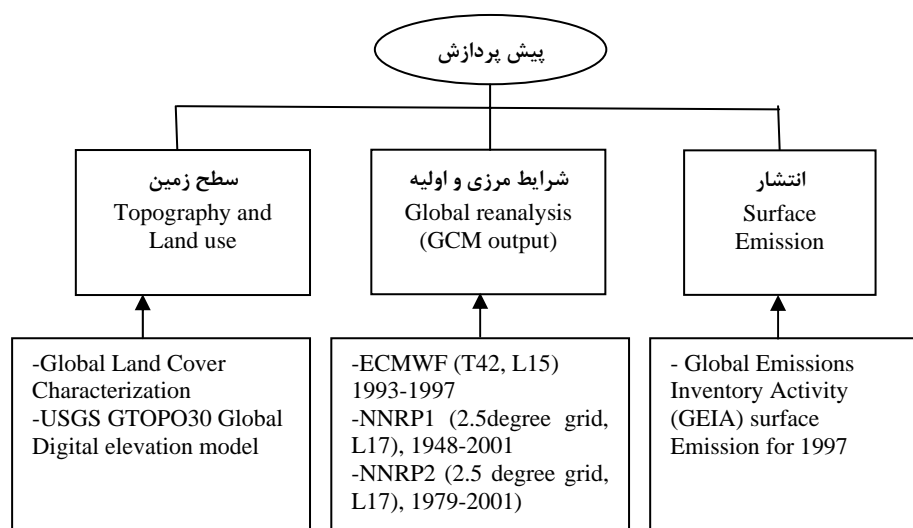
در این مدل منطقه‌ای، خروجی پارامترهای هواشناسی یک مدل GCM یا داده‌های تحلیل شده از NCEP^۱ یا ECMWF^۲ به عنوان شرایط مرزی و اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرند [۸]. در حال حاضر مدل از داده‌های USGS^۳ برای پوشش سطح زمین و از داده‌های ارتفاعی با دقت ۳۰ ثانیه قوسی استفاده می‌کند که در تولید فایل دامنه مدل به کار می‌رود. برای دمای سطح دریا از داده‌های GISST^۴ که بصورت ماهانه و با دقت یک درجه از مرکز

1. National Center for Environmental Prediction, Reanalysis data
2. European Center for Medium-range Weather Forecasts, Reanalysis data
3. United States Geological Survey
4. Global Ice and Sea Surface Temperature

هدلی قابل دریافت می‌باشد و یا از داده‌های OISST¹ که بصورت هفتگی و با دقت یک درجه از مرکز NOAA² قابل دسترسی می‌باشد، استفاده می‌شود. برای دریافت داده‌ها می‌توان به آدرس زیر مراجعه کرد:

<http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/RegCM3/>

در شکل ۳ داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل ملاحظه می‌شود.



شکل ۳- داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل RegCM3

معرفی مدل اقلیمی RegCM3

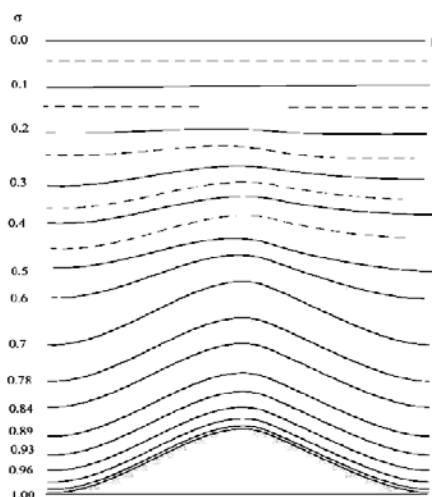
فیزیک مدل

RegCM3 مدلی اقلیمی است که برای مدلسازی‌ها و پیش بینی‌های بلندمدت منطقه‌ای طراحی شده است. این مدل درحقیقت شکل تکامل یافته مدل عددی MM4 می‌باشد. برای استفاده از مدل MM4 جهت مقاصد اقلیمی بلندمدت، یک سری پارامترهای فیزیکی که بیشتر در ارتباط با تابش و فیزیک سطح زمین هستند، اصلاح شدند که منجر به ایجاد اولین نسخه مدل RegCM شد [۱۴]. در RegCM3 برای پارامتره کردن هر یک از پدیده‌های

1. Optimum Interpolated Sea Surface Temperature
2. National Oceanic and Atmospheric Administration

فیزیکی مانند همرفت، توپوگرافی و تابش، طرحواره‌های متعددی وجود دارد. طرحواره‌های تابشی که برای مدل RegCM3 استفاده می‌شود اکثراً بر مبنای طرحواره فیزیکی آخرین نسخه CCM، CCM3 می‌باشند. در برنامه محاسبه تابش CCM2، اثرات تابشی بخار آب، ازون، اکسیژن، منواکسید کربن و ابرها لحاظ شده است. انتقال تابش خورشیدی بر اساس روش δ -Eddington صورت می‌گیرد. طرحواره CCM3 ساختاری مشابه با CCM2 دارد، با این تفاوت که اثر گازهای گلخانه‌ای (CH_4 ، CFC_s ، NO_2)، آبروسل‌های اتمسفر و محتوی یخ ابر نیز در آن لحاظ شده است [۱۶]. مهمترین ویژگی مدل، ساختار شبکه‌ای مدل است که بدین طریق قدرت تفکیک افقی مدل بطور نسبی در نواحی حاشیه‌ای افزایش می‌یابد [۱۷]. داده‌ها قبل از اینکه وارد مدل شوند در راستای مختصات عمودی مدل درون یابی می‌شوند. مدل دارای ۱۴ لایه عمودی است و مختصه قائم استفاده شده در آن بصورت terrain following در نظر گرفته شده که به این معنی است که نقاط شبکه‌ای واقع در کف مدل منطبق بر ناهمواری‌های سطح زمین هستند، در حالیکه شبکه بندی در لایه‌های بالای مدل به صورت کاملاً افقی هستند [۸] (شکل ۴). در این مدل فرایندهای فیزیکی سطح زمین با استفاده از طرحواره BATS (طرحواره تبادل اتمسفر-بیوسفر) انجام شده است [۷]. طرحواره BATS برای بیان نقش گیاهان و فعل و انفعالات رطوبت خاک در تعدیل مبادله انرژی، اندازه حرکت و بخار آب بین اتمسفر و سطح زمین طراحی شده است. طرحواره BATS شامل ۲۰ نوع پوشش گیاهی، ساختار خاک و رنگ‌های مختلف برای محاسبه آلیدوی خاک می‌باشد.

طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای مدل RegCM مبتنی بر مفهوم پخش غیرمحلی است که مسئول شارهای پادگرادیان بدست آمده از گردابه‌های بزرگ مقیاس جوی می‌باشد [۱۵]. میزان بارش همرفتی در مدل RegCM3 با استفاده از یکی از چهار طرحواره زیر محاسبه می‌شود: ۱- طرحواره Grell (با یکی از دو فرض Arakawa & Schubert یا A-S و Fritsch & chappell یا F-C)، ۲- طرحواره Kuo، ۳- طرحواره Emanuel.



شکل ۴- ساختار عمودی مدل RegCM3 با ۱۴ لایه عمودی

۱- طرحواره Grell

این طرحواره ابرهایی را در نظر می‌گیرد که در آنها دو جریان همرفتی غالب وجود دارد، یک جریان صعودی و یک جریان نزولی. به استثنای جریان‌های بالارو و پائین رو، در هیچ جهتی بین ابر و هوای محیط اختلاطی رخ نمی‌دهد. شار جرم نسبت به ارتفاع ثابت است و در طول لبه‌های ابر نفوذ یا خروج جریان هوا وجود ندارد [۱۳]. سطح اولیه صعود و نزول به ترتیب با سطوح بیشینه و کمینه انرژی پتانسیل استاتیکی رطوبت مشخص می‌شود. طرحواره Grell زمانی فعال می‌شود که بسته هوای صعود کرده رطوبت همرفتی را بدست آورد. تراکم در جریان صعودی از طریق صعود شبه اشباع محاسبه می‌شود. شار جرم نزولی (m_o) به شار جرم صعودی (m_b) وابسته است که رابطه آنها به صورت زیر می‌باشد:

$$\left[m_o = \frac{\beta I_1}{I_r} m_b \right] \quad (1)$$

پارامتر I_1 میزان تراکم نرمال مربوط به جریان صعودی و I_2 میزان تبخیر نرمال مربوط به جریان نزولی است. β کسری از تراکم جریان صعودی است که در جریان نزولی، مجدداً تبخیر می‌شود. β به چینه باد بستگی دارد. این متغیر بین ۰/۳ تا ۰/۵ در تغییر است. بارش از طریق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$PCU = I_1 m_b (1 - \beta) \quad (2)$$

حرارت و رطوبت در این طرحواره از طریق شارهای جرم و نفوذ جریان هوا در قله و زیر ابر بدست می‌آید. تنها طرحواره‌ای که براساس سیستم‌های همرفتی عرضهای میانی تدوین شده، طرحواره Grell-FC می‌باشد [۱۱].

۲- طرحواره Kuo

این طرحواره براساس همگرایی رطوبت می‌باشد [۱۴]. در روش Kuo فعالیت همرفتی زمانی آغاز می‌شود که همگرایی رطوبت M در یک ستون از آستانه مشخصی بیشتر شود و ژرف سنجی عمودی ناپایداری همرفتی را نشان دهد. کسر همگرایی رطوبت β ، ستون را مرطوب می‌کند و باقی مانده آن بر طبق رابطه زیر به باران PCU تبدیل می‌شود.

$$PCU = M(1 - \beta) \quad (3)$$

β کسری از میانگین رطوبت نسبی \overline{RH} در ژرف سنجی قائم بوده که بصورت زیر می‌باشد:

$$\beta = \begin{cases} 2(1 - \overline{RH}) & \overline{RH} \geq 0.5 \\ 1/0 & \text{برای مقادیر دیگر} \end{cases} \quad (4)$$

۳- طرحواره Emanuel

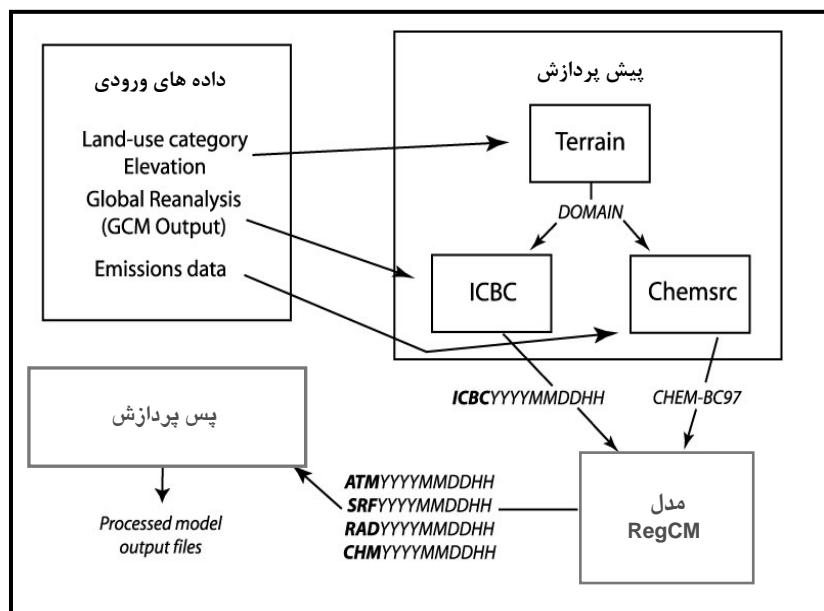
طرحواره همرفتی Emanuel، اولین بار توسط امانوئل و روتمن^۱ ارائه شد [۱۰]. مهمترین ویژگی‌های این طرحواره عبارتند از: شارش رطوبت همرفتی به داخل ابر، توانایی ایجاد همرفت عمیق، لحاظ درونشارش در ابرهای همرفتی، لحاظ جرم هوای نزولی اشباع شده که گاهی سرعت آن با سرعت هوای صعودی در ابرهای کومولوس قابل مقایسه است. حرکات نزولی هوای غیراشباع عامل مهمی برای پایداری لایه مرزی است. در این روش سطح صعود یا نزول بسته هوا با یافتن سطحی که در آن دمای پتانسیل ابر با دمای محیط برابر است، مشخص می‌شود. این طرحواره، یک معادله پیش‌بینی شارش

1. Emanuel & Rothman

جرم به همراه نرخ جریان‌های ورودی و خروجی دارد که از این طریق نیروی شناوری مشخص می‌شود. در طرحواره امانوئل تبدیل آب ابر به بارش بر مبنای فرایندهای استوکاستیک است [۹].

ساختار مدل RegCM3

قبل از اجرای مدل RegCM3 دو مرحله پیش پردازش وجود دارد. اولین مرحله معین کردن قلمرو و فاصله نقاط شبکه و درونیابی داده‌های ارتفاع و پوشش سطح زمین بر روی نقاط شبکه مدل است. این کار در زیرفهرست RegCM/PreProc/Terrain توسط برنامه terrain انجام می‌شود. برنامه ICBC داده‌های دمای سطح دریا (SST) و داده‌های تحلیلی NCEP را بر روی نقاط شبکه مدل درونیابی می‌کند. این فایل‌ها در حین شبیه سازی به عنوان شرایط مرزی و اولیه استفاده می‌شوند. کدهای اصلی مدل در زیرفهرست RegCM/Main وجود دارد. شکل ۵ ساختار کلی مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۵- ساختار مدل RegCM3

شبیه سازی و برآورد خطا

همانطور که گفته شد دوره شبیه سازی تابستان ۱۹۹۵ (ژوئن تا اوت) می‌باشد. در این مطالعه مرکز دامنه مدل در نقطه‌ای به طول ۷۰ درجه شرقی و عرض ۲۰ درجه شمالی، در منتهی‌الیه شمال غربی اقیانوس هند و در مجاورت سواحل جنوبی پاکستان قرار دارد. با این انتخاب بخش عمده‌ای از فعالیت‌های مونسون هندوستان در ناحیه مورد مطالعه پوشش داده می‌شود. گام مکانی و زمانی در شبیه سازی به ترتیب ۵۰ کیلومتر و ۱۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. ۸۰ نقطه شبکه‌ای در جهت شمال-جنوب و ۱۰۰ نقطه در جهت شرق-غرب قرار دارد. بطور کلی دامنه شبیه سازی مدل شامل مناطقی از اقیانوس هند و قسمت‌هایی از هیمالیا و ایران می‌باشد.

در جدول ۲ طرحواره‌های مورد استفاده، دوره و نوع داده‌های شرایط مرزی و اولیه آورده شده است.

جدول ۲- طرحواره‌های همرفتی مورد استفاده در مدل، طول دوره شبیه‌سازی و نوع داده‌های شرایط اولیه و مرزی

ردیف	نوع طرحواره همرفتی	دوره مورد مطالعه	شرایط مرزی و SST
۱	Grell, A.S	تابستان ۱۹۹۵	NNRP1/OISST
۲	Grell, F.C	تابستان ۱۹۹۵	NNRP1/OISST
۳	Kuo	تابستان ۱۹۹۵	NNRP1/OISST
۴	Emanuel	تابستان ۱۹۹۵	NNRP1/OISST

برای بررسی و ارزیابی خطای هر کدام از اجراها از روش آماری استفاده شد. قدرت کلی مدل با محاسبه بایاس، درصد خطای نسبی و ضریب همبستگی بین داده‌های دیدبانی شده، به عنوان داده‌های مرجع، با داده‌های شبیه سازی شده محاسبه گردید. بایاس و درصد خطای نسبی [۱۲] مدل با استفاده از معادلات (۶) و (۷) به دست می‌آید:

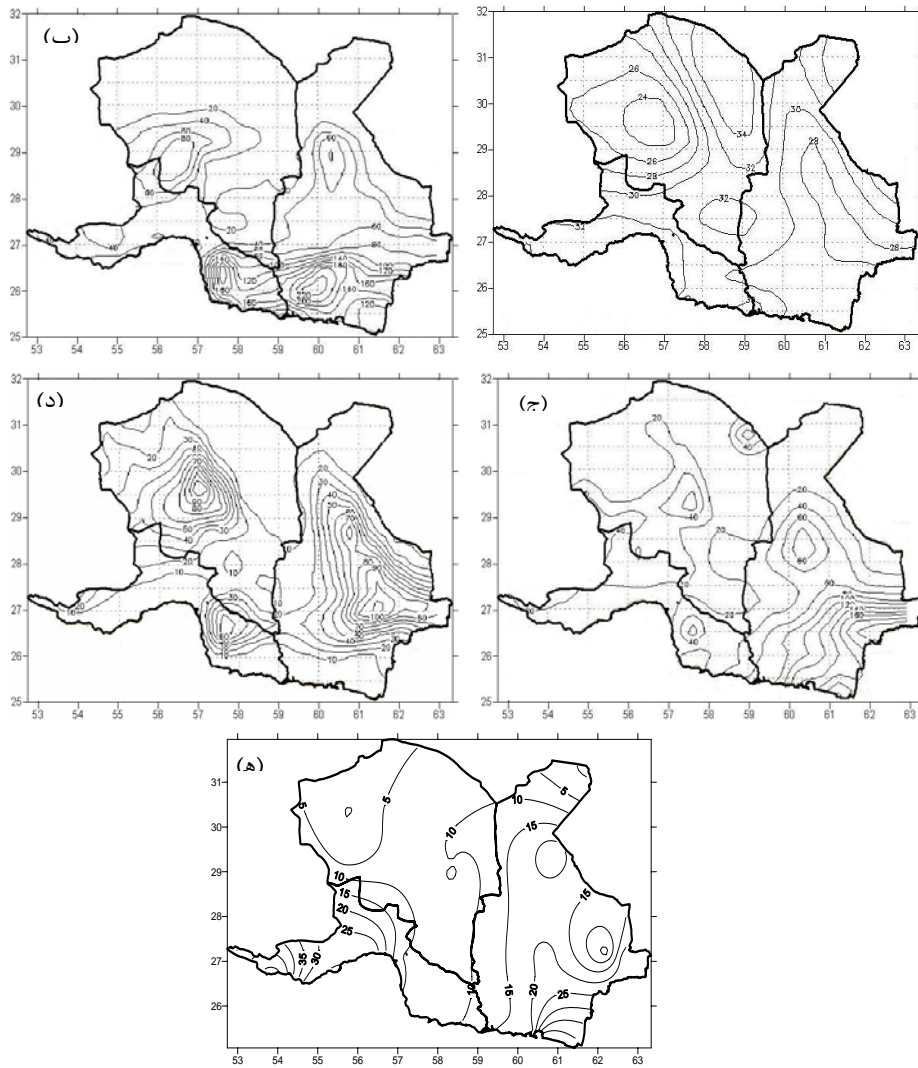
$$\text{Bias} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (۶)$$

$$\text{درصد خطای نسبی} = \frac{P_t - O_t}{O_t} \times 100 \quad (۷)$$

که در آن P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر دیده بانی شده، \bar{O} میانگین مقادیر دیده بانی شده و P_i و O_i مجموع بارندگی ماهانه شبیه سازی شده و واقعی می‌باشد.

تحلیل خروجی‌های مدل

در شکل ۶ خروجی‌های مدل با استفاده از طرحواره‌های مختلف و همچنین داده‌های واقعی دیده می‌شود. منطقه مورد مطالعه را برای ارزیابی بهتر به سه زیر منطقه سیستان و بلوچستان (قسمت شرق)، هرمزگان (جنوب غربی ناحیه) و کرمان (شمال غربی منطقه) تقسیم می‌کنیم. همانطور که در شکل ۶- مشاهده می‌شود ناحیه سیستان و هرمزگان دارای بیشترین بارش با مقدار ۴۵ الی ۵۵ میلیمتر می‌باشد و در ناحیه کرمان بیشترین مقدار بارش ۱۰mm است. به جز طرحواره Grell-AS، در تمام اجراهای صورت گرفته در ناحیه سیستان بارش با الگوی داده‌های دیده بانی مطابقت دارد، اما از نظر کمی تمام طرحواره‌ها مقدار بارش را بیش از مقادیر دیده‌بانی شده مدل کرده‌اند. در ناحیه جنوب (هرمزگان) تا ۵۵ میلیمتر بارش داریم ضمن اینکه تراکم الگوهای بارش به سمت غرب هرمزگان تمایل دارد اما در آزمایش‌های شبیه سازی تراکم الگوهای بارش در سمت شرق هرمزگان بیشتر می‌باشد. طرحواره Emanuel مقدار بارش را تا ۶۰ میلیمتر، طرحواره Kuo تا ۵۰ میلیمتر، طرحواره Grell با فرض AS تا ۴۰ میلیمتر و طرحواره Grell با فرض FC تا ۱۶۰ میلیمتر پیش‌بینی کرده است. در الگوی واقعی ناحیه کرمان کمترین بارش را داشته است و مقدار آن حداکثر تا ۱۰ میلیمتر می‌باشد، اما نقشه‌های مدل شده بارش را از نظر کمی بیشتر شبیه سازی کرده‌اند. همچنین طرحواره Grell با فرض AS و Kuo کمترین مقدار بارش را مدل کرده‌اند، درحالی‌که مقادیر بارش در طرحواره Emanuel بسیار بالاتر از سایر طرحواره‌ها است.



شکل ۶- میزان بارش فصل تابستان ۱۹۹۵ در جنوب شرق کشور. (الف) RegCM3 با طرحواره Grell-AS، (ب) RegCM3 با طرحواره Grell-FC، (ج) RegCM3 با طرحواره Kuo، (د) RegCM3 با طرحواره Emanuel، (ه) داده‌های دیدبانی شده

جدول ۳ میانگین بارش برآورده شده در کل ناحیه مورد مطالعه توسط مدل RegCM3 را با استفاده از طرحواره‌های مختلف همرفت و داده‌های دیدبانی شده نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود به جز در ناحیه کرمان، الگوهای بارش در طرحواره Emanuel با الگوهای بارش واقعی مطابقت دارد. اما جدول ۳ نشان می‌دهد که بارش مدل از نظر کمی بیشتر از مقادیر دیدبانی شده می‌باشد. جدول ۴ مقادیر بایاس و درصد خطای نسبی هریک از اجراهای مختلف را در مقایسه با داده‌های واقعی برای ماه‌های تابستان نشان می‌دهد.

جدول ۳- میزان بارش‌های پیش‌بینی شده توسط طرحواره‌های مختلف

ماه	میانگین بارش				
	OBS	Emanuel	Kuo	Grell-AS	Grell-FC
ژوئن	۱/۵	۳/۷	۱	۳/۵	۲
جولای	۱۴	۱۵	۱۶/۶	۱۸/۹	۶/۴
اوت	۰/۸	۳/۵	۲۴/۷	۱۲	۲۱/۲
تابستان	۱۶/۵	۲۲/۴	۴۲/۵	۳۵	۲۹/۵

جدول ۴- بایاس و میانگین درصد خطای نسبی بارش مدل نسبت به مقادیر دیدبانی شده

ماه	بایاس (mm)			
	Emanuel	Kuo	Grell-AS	Grell-FC
ژوئن	۲/۱	-۱	۲	۰
جولای	۱/۱	۲/۷	۵	-۷/۶
اوت	۲/۸	۲۳/۹	۱۲	۲۰
تابستان	۵/۹	۲۶	۱۸/۶	۱۳
درصد خطای نسبی (تابستان)	۳۵/۷	۱۵۷/۵	۱۱۲/۸	۷۸/۹

در ماه ژوئن طرحواره Grell-FC کمترین بایاس را داشته است و در ماه‌های جولای، اوت و همچنین کل تابستان طرحواره Emanuel کمترین بایاس را نشان می‌دهد. بجز طرحواره Grell-FC برای ماه جولای و طرحواره Kuo برای ماه ژوئن که بایاس منفی دارند، سایر طرحواره‌ها به طور کلی برای همه ماه‌های تابستان دارای بایاس تر (مثبت) می‌باشد. بیشترین خطای مدل مربوط به طرحواره Kuo با ۱۵۷/۵ درصد و کمترین مربوط

به Emanuel با ۳۵/۷ درصد خطای نسبی می‌باشد.

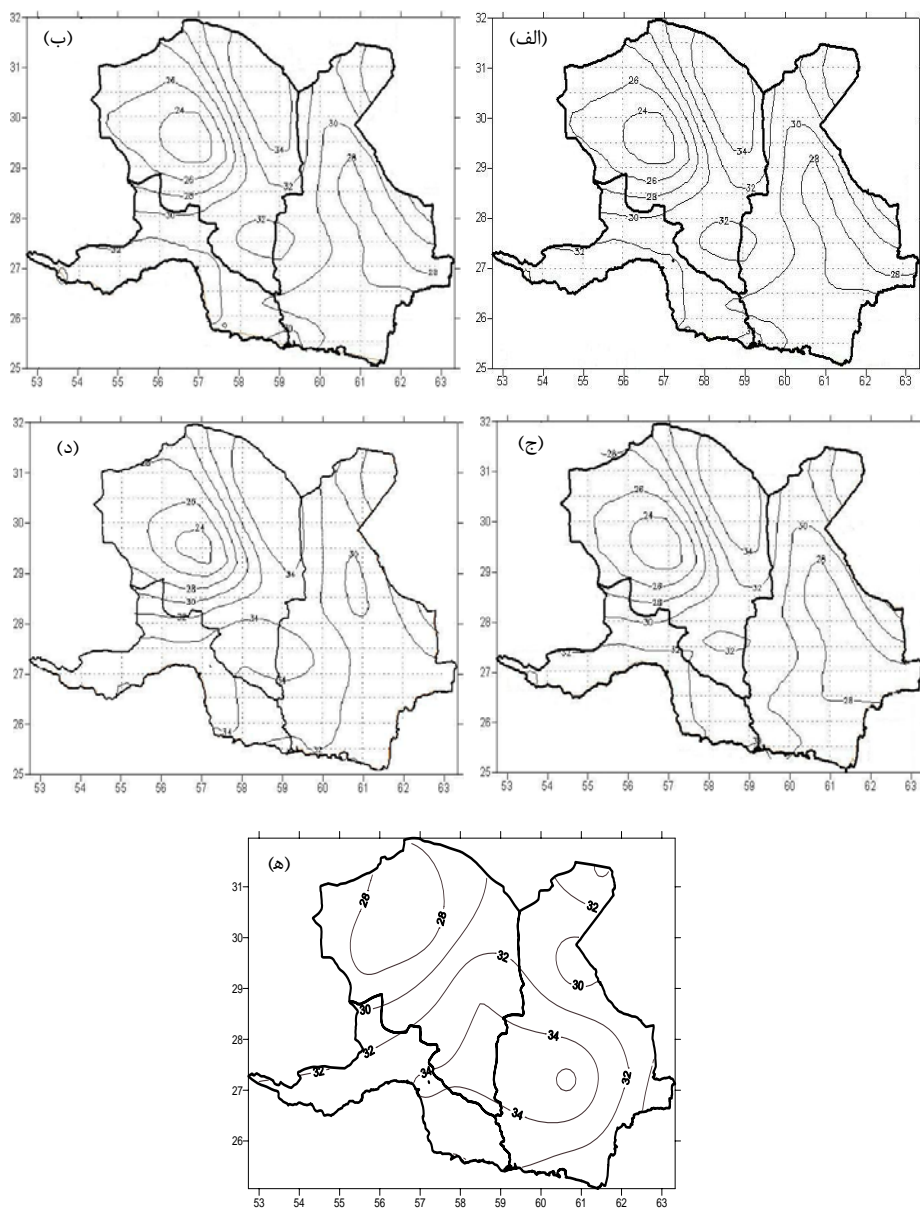
توزیع دمای مدل و دیدبانی شده در شکل ۷ مشاهده می‌شود، در تمام مناطق مورد مطالعه الگوهای دمای شبه‌سازی شده با الگوهای دمای واقعی مطابقت دارد. در جدول ۵ میانگین دمای پیش‌بینی شده توسط مدل با طرحواره‌های مختلف همرفت و داده‌های واقعی در سطح منطقه آورده شده است. با توجه به میانگین‌های دمایی جدول ۵ می‌توان گفت مقادیر شبه‌سازی شده در طرحواره امانوئل به میانگین‌های دمایی داده‌های واقعی بسیار نزدیک است. این موضوع حاکی از توانمندی بسیار خوب مدل RegCM برای مدلسازی میانگین ماهانه دمای جنوب شرق کشور در مقایسه با بارش ماهانه می‌باشد.

جدول ۶ بایاس و درصد خطای نسبی دما را برای هر کدام از اجراهای مختلف نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود طرحواره Emanuel در ماه‌های ژوئن، جولای و میانگین تابستانه در تمامی شبه‌سازی‌ها دارای بایاس سرد بوده و مقادیر آن بسیار ناچیز و صرف‌نظر کردنی است. در مجموع می‌توان گفت طرحواره Emanuel برای تابستان ۱۹۹۵ کمترین بایاس و درصد خطای نسبی را دارد.

جدول ۷ مقدار ضریب همبستگی بین داده‌های مدل شده و واقعی را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی در واقع یک شاخص آماری است که با آن می‌توان درجات مختلف ارتباط بین دو متغیر وابسته را با استفاده از فرمول ذیل تعیین کرد.

$$r = \frac{\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2}} \quad (8)$$

در این فرمول P_i و O_i به ترتیب بارش‌های شبه‌سازی شده و واقعی هستند و میانگین آنها با \bar{P} و \bar{O} نشان داده شده است. مقدار ضریب همبستگی بین $-1 \leq r \leq 1$ تغییر می‌کند، اگر $0/4 \leq r \leq 0/69$ همبستگی ضعیف، برای $0/69 \leq r \leq 0/9$ همبستگی متوسط، $0/9 \leq r \leq 1$ همبستگی قوی و اگر $0/9 \leq r \leq 1$ باشد همبستگی بسیار قوی می‌باشد [۳]. با توجه به جدول ۷ مشاهده می‌شود ضریب همبستگی دما در حد متوسط تا قوی می‌باشد و طرحواره Emanuel بهترین همبستگی را با داده‌های واقعی دارد.



شکل ۷- میانگین دمای فصل تابستان ۱۹۹۵ در جنوب شرق کشور. (الف) RcgCM3 با طرحواره Grell-AS، (ب) RegCM3 با طرحواره Grell-FC، (ج) RegCM3 با طرحواره Kuo، (د) RegCM3 با طرحواره Emanuel، (ه) داده‌های دیدبانی شده

جدول ۵- میانگین‌های دمایی مدل شده توسط طرحواره‌های مختلف و مقادیر مشاهده شده

برای فصل تابستان ۱۹۹۵

ماه	میانگین دما				
	OBS	Emanuel	Kuo	Grell-A.S	Grell-F.C
ژوئن	۳۰/۷	۳۰/۴	۳۰/۴	۳۰/۵	۳۰
جولای	۳۲/۴	۳۳	۳۰/۶	۳۰/۸	۳۱
اوت	۳۱/۳	۳۱/۹	۳۰	۳۰/۱	۳۰/۱
تابستان	۳۱/۵	۳۱/۸	۳۰/۳	۳۰/۵	۳۰/۴

جدول ۶- بایاس و درصد خطای نسبی دمایی مدل نسبت به دمای دیدبانی شده

ماه	بایاس (C°)				درصد خطای نسبی			
	Emanuel	Kuo	Grell-A.S	Grell-F.C	Emanuel	Kuo	Grell-A.S	Grell-F.C
ژوئن	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۷	۱/۱	۰/۸	۲/۳	۰/۹۴
جولای	۰/۶	-۱/۸	-۱/۶	-۱/۴	۵/۵	۴/۸	۴/۳	۱/۷
اوت	۰/۶	-۱/۳	-۱/۲	-۱/۲	۴/۱	۳/۷	۳/۷	۱/۹
تابستان	۰/۳	-۱/۱	-۱	-۱/۱	۳/۶	۳/۲	۳/۵	۰/۹

جدول ۷- ضریب همبستگی بین داده‌های شبه‌سازی شده و دیدبانی شده دما

ماه	ضریب همبستگی			
	Emanuel	Kuo	Grell-A.S	Grell-F.C
ژوئن	۰/۸	۰/۷	۰/۷	۰/۷
جولای	۰/۵	۰/۳	۰/۴	۰/۴
اوت	۰/۶	۰/۴	۰/۴	۰/۵
تابستان	۰/۷	۰/۵	۰/۶	۰/۵

نتیجه‌گیری

در این مطالعه توانمندی مدل اقلیمی RegCM3 برای شبه‌سازی مجموع بارش تابستان سال ۱۹۹۵ و همچنین میانگین دمای آن با استفاده از چهار طرحواره مختلف همرفتی مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن عمدتاً عبارتند از:
 - مقادیر ماهانه بارش مدل به شدت با نوع طرحواره منتخب متغیر است، اما کمترین

خطا مربوط به طرحواره Emanuel می باشد،
 - هیچکدام از مدل‌ها نتوانسته‌اند بارش ماه اوت را در حد قابل قبول مدل نمایند. با بررسی کلیه شبیه سازی‌های انجام شده برای بارش، ملاحظه شد که بهترین شبیه سازی مربوط به مجموع بارش فصل جولای با طرحواره Emanuel است که دارای ۷/۷ درصد خطا در مقایسه با داده‌های دیدبانی شده می باشد،
 - برای مدلسازی دما طرحواره Emanuel بیشترین تطابق را با داده‌های دیدبانی شده دارد. در این طرحواره درصد خطای نسبی دمای میانگین پیش‌بینی شده تابستان توسط مدل در مقایسه با مقدار دیدبانی شده، در حد ۰/۹ درصد است،
 - در مدلسازی دما نتایج حاصل نشان می دهد که طرحواره Kuo کمترین تطابق را با داده‌های دیدبانی شده دارد. درصد خطای نسبی شبیه سازی‌های انجام شده ۳/۶ درصد است که برای شبیه سازی دمای میانگین تابستانه قابل قبول می باشد،
 - در طرحواره Emanuel الگوهای بارش شبیه سازی شده با الگوهای واقعی بارش همخوانی دارد، اما برای شبیه سازی دقیق بارش‌های مونسونی لازم است تصحیحاتی در پارامترهای میکروفیزیکی، ترمودینامیکی و محاسباتی مدل اعمال شود.

منابع

- ۱- بانک اطلاعات سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۵.
- ۲- بوشر، ک.، ترجمه هوشنگ قائمی، ۱۳۶۲، آب و هوای کره زمین، تهران، نشر دانشگاهی.
- ۳- کاویانی، م.، ب.، علیجانی، ۱۳۷۴، مبانی آب و هواشناسی، تهران، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
- ۴- نجارسلیقه، م.، ۱۳۸۰، الگوهای سینوپتیکی بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال شانزدهم، پاییز، شماره ۳.
- ۵- هندرسون-سلز، ای و کی.، مک گوفی، ترجمه ابوالفضل مسعودیان و حسنعلی غیور، ۱۳۸۰، نخستین گام در مدلسازی اقلیمی، دانشگاه اصفهان.
- 6- Ackerman, S.A. & Knox, J.A., 2003, "Meteorology Understanding the Atmosphere".
- 7- Dickinson, R., Henderson-Sellers, A. & Kennedy, P., 1993, " Biosphere-atmosphere Transfer Scheme (beta) Version 1e as Coupled to the NCAR

- Community Climate Model", Technical Report, National Center for Atmospheric Research.
- 8- Elguindi, N., et.al., 2003, "RegCM Version 3.0 User's Guide", Physics of Weather and Climate Group of International Centre for Theoretical Physics.
 - 9- Emanuel, K. A., 1991, "A Scheme for Representing Cumulus Convection in Large-scale Models", *J., Atmos., Sci.*, 48(21), 2313–2335.
 - 10- Emanuel, K. A. and Zivkovic-Rothman, M., 1999, "Development and Evaluation of a Convection Scheme for Use in Climate Models", *J. Atmos. Sci.*, 56, 1766–1782.
 - 11- Fritsch, J. M. and Chappell, C. F., 1980, "Numerical Prediction of Convectively Driven Mesoscale Pressure Systems, Part I: Convective Parameterization", *J. Atmos., Sci.*, 37, 1722–1733.
 - 12- Gabele, T., 1998, Snowmelt Runoff Model (SRM), User's Manual, version 4.0.
 - 13- Grell, G., 1993, "Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations", *Mon. Wea. Rev.*, 121, 764–787.
 - 14- Giorgi, F., Bates, G., 1989, "The Climatological Skill of a Regional Model over Complex Terrain", *Monthly Weather Review* Volume 117, Issue 11 (November 1989) pp. 2325–2347
 - 15- Holtslag, A., de Bruijn, E. & Pan, H.-L., 1990, "A High Resolution Air Mass Transformation Model for Short-range Weather Forecasting" *Monthly Weather Review*.
 - 16- Kiehl, J., Hack, J., Bonan, G., Boville, B., Breigleb, B., Williamson, D. and Rasch, P., 1996, "Description of the NCAR Community Climate Model (ccm3)" Technical Report, National Center for Atmospheric Research.
 - 17- Qian, J.-H., Giorgi, F. & Fox-Rabinovitz, M., 1999, "Regional Stretched Grid Generation and its Application to the NCAR RegCM", *Journal of Geophysical Research*.

