

کاربرد مدل RegCM4 در تحلیل ساختار سینوپتیک موج گرمای جولای 2000 استان خوزستان

یوسف قوبدل رحیمی^{1*}، هادی ظرافتی²، منوچهر فرج زاده‌ی اصل³

1. استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
2. دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
3. استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: 92/6/1 پذیرش: 94/8/11

چکیده

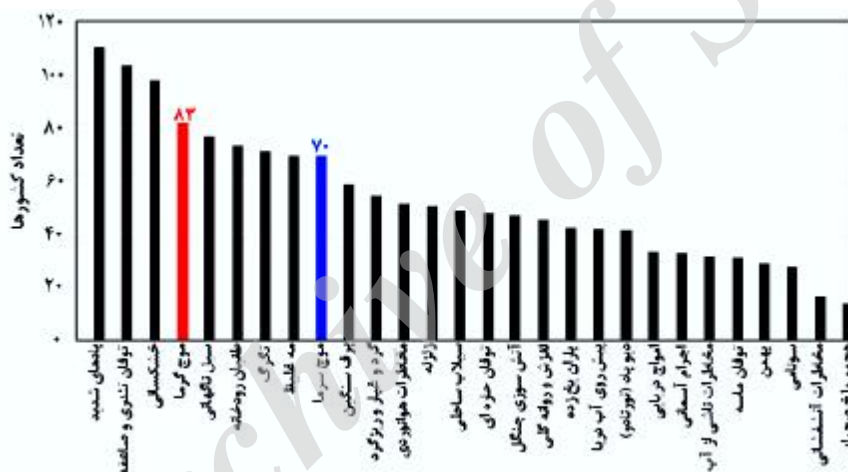
هدف این پژوهش، تحلیل سینوپتیک و بررسی ساختار امواج گرمایی استان خوزستان است. برای شناسایی ساختار گردش جو، هنگام وقوع موج گرما در این منطقه، از بررسی‌های آماری، سینوپتیک و ریزگردانی استفاده شده است؛ بدین منظور داده‌های خام روزانه بیشترین دمای دوره‌ی گرم سال (ژوئن - سپتامبر) 13 ایستگاه سینوپتیک در منطقه‌ی جنوب غرب ایران با طول دوره‌ی آماری مختلف از سازمان هواشناسی کشور دریافت و استفاده شده است. براساس نتایج بررسی‌های آماری، روز 1 جولای 2000 به‌عنوان گرم‌ترین روز در گرم‌ترین موج دوره‌ی آماری به‌منظور انجام بررسی‌های دقیق‌تر و ریزگردانی انتخاب شد. نتایج تحلیل سینوپتیک نشان داد که از یک‌سو در سطح زمین به‌دلیل وجود شرایط وضعیت کم‌فشار با منشأ کم‌فشارهای حرارتی گنگ و شبه‌جزیره‌ی عربستان و پراتفعاغ مستقل غرب آسیا در تراز 500 هکتوپاسکال و از طرف دیگر به‌دلیل انتقال هوای گرم، از عرض‌های پایین و هم از مناطق خشک داخل ایران به‌سوی منطقه‌ی مورد مطالعه، گرمای شدید روز یادشده به‌وقوع پیوسته است. نتایج خروجی از ریزگردانی مدل RegCM4 نشان داد که در سطح زمین بر زاگرس کم‌فشار قوی و در ترازهای بالای جو یک پراتفعاغ دقیقاً بر آن منطبق شده است که این پراتفعاغ سبب نزول بی‌درو هوای خشک شده و گرمای شدیدی را ایجاد کرده است. در این مطالعه معلوم شد که نقش پراتفعاغ زاگرس در وقوع و تشدید امواج گرمایی خوزستان کاملاً بارز است.

واژگان کلیدی: موج گرما، تحلیل سینوپتیک، ریزگردانی دینامیک، مدل اقلیمی RegCM4.



1. مقدمه

بر اثر گرمایش جهانی، فراوانی و شدت وقوع مخاطرات جوی افزایش چشم‌گیری پیدا کرده است. افزایش یادشده در مخاطرات ناشی از عنصر دما که به مخاطرات دماهای فرین مشهور شده است، بسیار روشن و جالب توجه بوده و اهمیت آن به اندازه‌ای است که از اثر گرمایش جهانی بر مقادیر فراوانی وقوع، شدت، استمرار زمانی و وسعت فضایی دماهای فرین به‌عنوان یکی از نشانه‌های اصلی تغییر آب‌وهوا در مناطق مختلف دنیا یاد می‌شود. آمار بانک جهانی نشان می‌دهد که از کل ممالک دنیا 82 کشور با مخاطره‌ی امواج گرمایی و هفتاد کشور به‌طور مداوم با امواج سرماییه روبه‌رو بوده و در سال‌های مختلف از مخاطرات دمایی یادشده تأثیر پذیرفته‌اند (شکل 1).



شکل 1. تعداد کشورهای مواجه با انواع مخاطرات طبیعی، به‌ویژه امواج گرمایی و سرماییه (World Bank, 2010: 4)

مخاطره‌ی جوی موج گرما سبب ایجاد تلفات شدید در زندگی بشر، تخریب محصولات کشاورزی، از بین رفتن جوامع گیاهی و اکوسیستم‌ها، آسیب به تأسیسات و سازه‌ها، به خطر افتادن امنیت غذایی و درنهایت بیماری و مرگ انسان‌ها می‌شود. شناخت ویژگی‌های محیطی و بررسی سنوپتیک سامانه‌هایی که امواج گرمایی را به‌وجود می‌آورند، می‌تواند حداقل برای پیش‌آگاهی و آمادگی روبه‌روشدن با آن‌ها مفید باشد. ویژگی‌های محیطی مانند ناهمواری‌های

منطقه، نزدیکی به دریا و ارتفاع پایین منطقه‌ی جنوب‌غرب ایران (خوزستان)، می‌تواند بر وقوع و تشدید امواج گرمایی محدوده‌ی مورد مطالعه، تأثیر بسیاری بگذارد. نخستین اقدام به‌منظور پیشگیری و کاهش آسیب‌های ناشی از آن شناسایی است؛ بنابراین نخستین گام در این مطالعه، تعریف موج گرماست؛ هرچند به‌دلیل متغیربودن شدت، گستردگی و تداوم امواج گرما معیار دقیقی برای آن تعریف نشده است (اسماعیل‌نژاد و همکاران، 1392).

این مطالعه با دودسته از مطالعات درباره‌ی امواج گرمایی سروکار دارد که مطالعات سینوپتیک امواج گرمایی و شبیه‌سازی و ریزگردانی امواج گرمایی با مدل میان‌مقیاس RegCM است.

در آب و هواشناسی عموماً از مدل RegCM بیشتر برای شبیه‌سازی دینامیک-سینوپتیک و همچنین ریزگردانی دینامیک پدیده‌های جوی استفاده می‌شود؛ چون RegCM مدلی میان-مقیاس است، به‌راحتی این امکان را به پژوهشگر می‌دهد که با ریزگردانی دینامیک پدیده‌های جوی، بسیاری از جزئیات حذف‌شده به‌دلیل توان تفکیک کمتر داده‌های جو بالا که عموماً 2/5 در 2/5 درجه هستند، قابل مشاهده شده و در تفسیر به‌کار گرفته شوند. از این دیدگاه، عمده‌ترین کاربرد RegCM در آب و هواشناسی سینوپتیک بالابردن توان تفکیک نقشه‌های جوی در تفسیر سینوپتیک است. در این ارتباط، کارهای زیادی در سطح دنیا انجام شده که هریک از دیدگاهی خاص به موضوعات اقلیمی پرداخته‌اند؛ اما در مطالعات یادشده، امواج گرمایی مورد توجه و مطالعه قرار نگرفته‌اند. سلطان‌زاده و همکاران (1386: 51) تأثیر تغییر مقیاس شبکه‌ای مدل سطح جفت‌شده با مدل منطقه‌ای RegCM3 بر شبیه‌سازی دمای سطح زمین و بارش در ایران را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که مدل RegCM در شبیه‌سازی و ریزگردانی دما، در اجرای مرجع و همچنین در اجرای زیرشبکه‌ای موفق عمل کرده است. نتایج بررسی ایران‌نژاد و همکاران (1388: 101) نشان داده است که توان پیش‌بینی مدل RegCM3 برای میدان دما بالاتر از بارش است. مقادیر بارش مدل تفاوت بسیار زیادی با مشاهدات دارد؛ ولی مدل توزیع جغرافیایی بارش را به‌درستی شبیه‌سازی می‌کند. مدیریان و همکاران (1386: 7) برای شبیه‌سازی عددی بارش و دمای جنوب‌شرق از مدل RegCM3 استفاده کرده‌اند. شبیه‌سازی‌ها با دقت مکانی پنجاه کیلومتر و برای تابستان 1995 انجام شده است. نتایج نهایی خروجی مدل نشان داده که مدل RegCM3 قابلیت‌های بسیار خوبی برای شبیه‌سازی میانگین دمای ماهانه‌ی فصل تابستان دارد. مدیریان و همکاران (1388: 107) برای شبیه‌سازی بارش و دمای پاییزی استان خراسان از مدل RegCM3 استفاده کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که د زمین‌های پیش‌بینی‌های بارش و دما، مدل RegCM3 در آغاز دوره‌ی



پیش‌بینی، بیشترین خطا و اریبی را دارد که ناشی از در نظر نگرفتن زمان سازگاری و تنظیم مدل است. زمان تنظیم، مد لازم برای تنظیم داده‌های شرایط مرزی و اولیه‌ی مدل، متناسب با شرایط اقلیمی منطقه است. علاوه بر خطای یادشده، با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی، مناطق مختلف کره‌ی زمین با طرح‌واره‌های بارشی مختلفی هماهنگ و سازگار است که باید در مدل لحاظ شود. مرتبط‌ترین مطالعه‌ی انجام‌شده با این تحقیق، مربوط به مقاله‌ی زرین و مفیدی (1390) است. نام‌برندگان وضعیت سی ساله‌ی جو تابستانه‌ی غرب آسیا را با هدف مطالعه و پی‌بردن به این پرسش مهم بررسی کرده‌اند که آیا پرفشار جنب حاره‌ای مستقر بر ایران در تابستان زبانه‌ای از پرفشار آזור هست یا نه؟ در پژوهش یادشده از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای 1000، 850، 700 و 500 هکتوپاسکال استفاده و با استفاده از مدل *RegCM4* ثابت شده است که نخست، پرفشار مستقر بر ایران و غرب آسیا در تابستان، مستقل از پرفشار جنب حاره‌ای آזור است؛ دوم، سلسله‌جبال زاگرس نقش مهمی در گرمایش محسوس تابستانی ایران دارد. این نتایج با استفاده از شبیه‌سازی از طریق مدل *RegCM4* انجام شده و شرایط گرمایی ایران با وجود سلسله‌جبال زاگرس و بدون وجود آن شبیه‌سازی و نتایج مقایسه شده‌اند.

به‌طور کلی، پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص شبیه‌سازی و ریزگردانی امواج گرمایی با استفاده از مدل *RegCM4* در سطح دنیا بسیار اندک است. بیشتر بررسی‌های مرتبط با امواج گرما و مدل *RegCM4* مربوط به شبیه‌سازی امواج گرمایی سال‌های آینده با استفاده از ریزگردانی خروجی‌های مدل‌های گردش جهانی پیوندی جوی - اقیانوسی با مدل *RegCM* و سایر مدل‌های میان مقیاس هستند. کوفی و کوفی (2008: 153) با استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو، شاخص‌های متفاوت مربوط به موج گرما مانند شاخص دوام، شاخص فراوانی و شاخص شدت را تحت سناریوهای سه‌گانه‌ی انتشار ریزگردانی و شبیه‌سازی و پیش‌بینی کرده‌اند که در آینده افزایش چشم‌گیری در شاخص‌های یادشده به‌وجود خواهد آمد. به‌همین منظور، لمونسو و همکاران (2014: 75) تحول امواج گرمایی پاریس را در سه‌دوره‌ی مجزای 1961-1989، 2020-2049 و 2070-2099 با استفاده از خروجی‌های متوسط مدل‌ها در قالب سه سناریوی اصلی انتشار ریزگردانی و ساختار موج گرمایی را شبیه‌سازی کرده‌اند. دساری و همکاران (2014: 1) با استفاده از مدل میان مقیاس *WRF-ARW*، رخدادهای فرین دمایی اروپا را شبیه‌سازی کرده‌اند. نام‌برندگان با ریزگردانی پنجاه کیلومتری رخدادهای فرین دمایی از جمله امواج گرمایی توانسته‌اند ساختار دینامیک - سینوپتیک رخدادهای یادشده را به‌درستی شبیه‌سازی کنند. شبیه‌سازی انجام‌گرفته نشان داده که مدل

توانسته هشتاد درصد امواج گرمایی و سرمایی وقوع یافته در بازه زمانی 1970-2010 را در بخش‌های شرقی و مرکزی اروپا به‌خوبی شبیه‌سازی کند. تطابق ضعیفی هم میان شبیه‌سازی‌ها با داده‌های مشاهداتی در محدوده‌ی شبه‌جزیره‌ی ایبری و منطقه‌ی مدیترانه دیده شده است که به دلیل پیچیدگی توپوگرافی سطحی و تنوع بیش از حد آن شبیه‌سازی را مختل کرده است.

مطالعات متعددی در جهان، درباره‌ی موج گرما انجام شده که از جمله‌ی آن‌ها پژوهش بالدی و همکاران (2004، 1) است که موج‌های گرمایی در منطقه‌ی مدیترانه را بررسی کردند. آن‌ها آستانه‌ی موج گرمای کوتاه‌مدت را فراتر رفتن دما از میانگین روزانه‌ی دما برای حداقل 3 تا 6 روز و آستانه‌ی موج گرمای بلندمدت را فراتر رفتن دما از میانگین روزانه‌ی دما برای حداقل هفت روز و بیشتر تعریف کرده‌اند. براساس پژوهش یادشده، موج‌های گرمایی مدیترانه بیشتر در ماه‌های ژوئیه و آگوست اتفاق افتاده و بیشتر آن‌ها با سامانه‌های واپرخندی در سطح زمین و هماهنگی با ترازهای میانی همراه بوده‌اند. هانت (2006، 3802) به‌منظور بررسی وقوع موج گرما در سراسر جهان یک شبیه‌سازی 10 هزارساله انجام داد. برای مناطقی که در آن امواج گرما به‌صورت نسبتاً مکرر، شدید و طولانی‌مدت رخ می‌دهند، توجیهات و دلایل خاص جغرافیایی وجود دارد. نقشه‌های منطقه‌ای از امواج گرما در فواصل ماهانه نشان‌دهنده‌ی توسعه‌ی قابل-توجه فضایی امواج گرما و تنوع در شدت آن‌هاست. مارشال و همکاران (2014: 1915) احتمال وقوع گرمای شدید سراسر استرالیا را در ارتباط با مدل گردش جنوبی (SAM)، آنتی سیکلون‌های پایدار روی دریای تاسمانی و نوسان مادن جولیان (MJO) ارزیابی کردند. بیشترین تأثیر MJO بر موج گرمای شدیدی است که در جنوب استرالیا (از جمله مناطق روستایی) رخ می‌دهد.

تا این اواخر در ایران درباره‌ی موج گرما پژوهش‌های زیادی انجام نشده بود؛ اما اخیراً این مخاطره به دلیل وقوع بسیار در مناطق مختلف ایران، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است؛ با وجود این، پژوهشی درباره‌ی موج گرما انجام نشده است که در آن از مدل اقلیمی RegCM4 استفاده شده باشد؛ از جمله پژوهش‌های انجام‌شده در ایران و در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: نتایج تحقیق قویدل‌رحیمی (85، 1390) نشان‌دهنده‌ی وجود یک کم‌فشار حرارتی بر شبه‌جزیره‌ی عربستان است که اثرات ناشی از فعالیت و مهاجرت کم‌فشار یادشده به‌سمت ایران، عامل اصلی گرمایش و گسیل موج آبر گرم بوده است. نتایج پژوهش عساکره و همکاران (35، 1392) بیانگر اثر شرایط جوی مانند حضور متباین فشار، قرارگرفتن یک ناوه در نواحی گرم و خشک، قرارگرفتن ایران در قسمت جلوی ناوه و وزش گرم در وقوع امواج گرمایی ایران است. تحلیل مخاطره‌ی اقلیمی امواج ابر گرم سال 1389 استان خوزستان نشان داد که استقرار



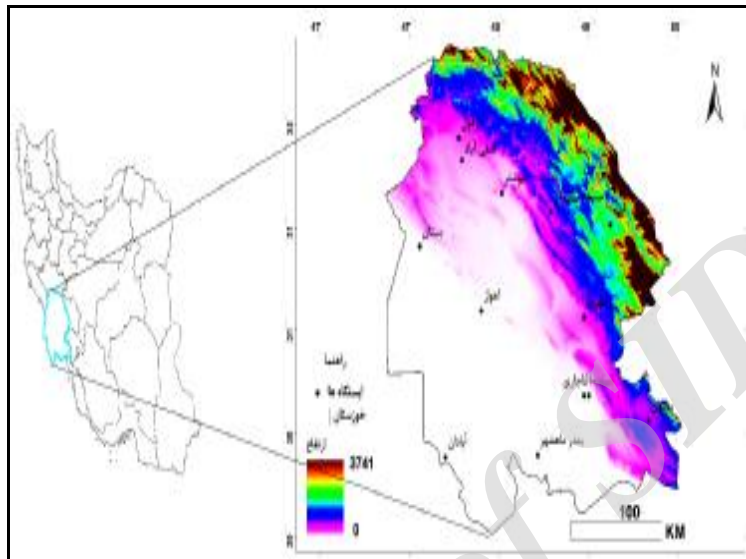
یک کم‌فشار در سطح زمین و استیلای پراارتفاع در سطوح میانی تا 500 هکتوپاسکال و افزایش ضخامت جو موجب گرمایش بیش از حد سطح زمین می‌شود و فرارفت و انتقال هوای سوزان و خشک آفریقا، شبه‌جزیره‌ی عربستان و عراق منشاء ورود گرما به خوزستان است (قویدل رحیمی، 289، 1394). علی‌رغم مطالعات انجام‌شده هنوز ساختار گردش مقیاس منطقه‌ای جو در زمان وقوع امواج گرمایی چندان آشکار نیست. بر اساس مبانی نظری تحقیقات انجام گرفته در خصوص امواج گرمایی ایران، دوره شروع و تداوم گرما با ورود زبانه‌ای از پرفشار آזור به ایران در ارتباط است که این مساله در این مقاله از طریق مدل *RegCM4*¹ بررسی و به چالش کشیده شده است. بر این اساس هدف این پژوهش، تحلیل و بررسی ویژگی‌های امواج گرمایی در جنوب‌غرب ایران با روش سینوپتیک و ریزگردانی به‌منظور بالاتر بردن دقت نقشه‌های جوی است.

2. داده‌ها و روش‌ها

داده‌های خام روزانه بیشترین دمای دوره‌ی گرم سال (ژوئن - سپتامبر) 13 ایستگاه سینوپتیک در منطقه‌ی جنوب‌غرب ایران با طول دوره‌ی آماری مختلف از سازمان هواشناسی کشور برای انجام بررسی‌های آماری و انتخاب روز شاخص برای تحلیل سینوپتیک و ریزگردانی² دریافت شد. در شکل 2 پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان خوزستان نشان داده شده است. از داده‌های یادشده میانگین منطقه‌ای گرفته و با استفاده از شاخص نمرات استاندارد شده دمای حداکثر (شاخص Z)، آستانه‌ی موج گرما (46 درجه‌ی سانتی‌گراد) به‌عنوان آستانه‌ی موج گرما تعیین شد. پس از محاسبه‌ی تعداد امواج گرمایی، گرم‌ترین روز در گرم‌ترین موج ممکن، یعنی روز 1 جولای 2000 (50/23 درجه‌ی سانتی‌گراد) در موج گرم 3 روزه 30 ژوئن تا 2 جولای (میانگین دمای موج، 49/23 درجه‌ی سانتی‌گراد)، در طول دوره‌ی آماری 1961 تا 2010، به‌منظور انجام بررسی‌های دقیق‌تر انتخاب شد.

1- این مدل در بخش داده‌ها و روش‌ها توضیح داده شده است.

2. Downscaling



شکل 2. نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی و پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه

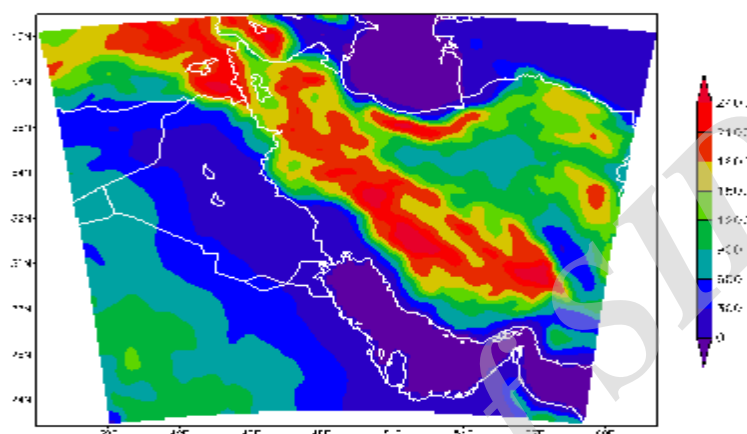
به‌منظور تعیین الگوی سینوپتیک روز بسیار گرم 1 جولای 2000 از داده‌های دوباره تحلیل‌شده در مقیاس زمانی 6 ساعته از مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR) استفاده شد. داده‌ها شامل داده‌های فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای هوا، مؤلفه‌های مداری (u) و نصف‌النهاری (v) باد برای روزهای 30 ژوئن، 1 و 2 جولای (موج گرمای سه‌روزه) در سال 2000 است. با استفاده از داده‌های بالا نقشه‌های وزش دمایی در ترازهای 700، 850 و 1000 هکتوپاسکال، نقشه‌ی ضخامت و نقشه‌ی ترکیبی فشار سطح زمین و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز 500 هکتوپاسکال ترسیم و تحلیل شد. در این تحقیق، تنها نقشه‌های زمان اوج موج گرمای یادشده، یعنی ساعت 15/30 روز 1 جولای 2000 مطرح شده است.

جدول 2. مشخصات مربوط به اجرای مدل RegCM4

داده‌های وضع جوی (NNRP1): air, air.sig 995, hgt, pres.cfc, rhum, uwnd, vwnd داده‌های سطح دریا (SST): داده‌ی دمای سطح آب داده‌های سطح زمین (SURFACE): ETOPO (عمق دریا)، GLCC (پوشش گیاهی)، CLZB (بافت و رطوبت خاک) و DEM (توپوگرافی)			داده‌های مورد استفاده
32 درجه‌ی شمالی	عرض مرکزی	49 درجه‌ی شرقی	طول مرکزی
100	تعداد شبکه‌ها در راستای عرض جغرافیایی (jx)	120	تعداد شبکه‌ها در راستای طول جغرافیایی (iy)
18	تعداد ترازها	20 کیلومتر	قدرت تفکیک افقی (ds)
18	مدل پخش (abemh)	30	مدل تابش (radfrq)
60	شرایط مرزی (dt)	120	مدل اتمسفری (abatm)
گرل	طرح‌واره‌ی فیزیکی	23 روز	دوره‌ی تطبیق spin- (up)
6 ساعته	گام زمانی (ibdyfrq)	lamcon	سیستم تصویر

از دهه‌ی 1980 مدل‌های اقلیمی برای ارائه‌ی پیش‌بینی‌های فصلی، شناسایی رفتار اقلیم منطقه‌ای، واسنجی مدل‌ها و ریزگردانی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شدند. هسته‌ی دینامیک مدل RegCM4 از مدل MM5 گرفته شده که ناهموازی آن از مشخصات سیگما پیروی می‌کند و در واقع، یک مدل هیدروستاتیک با مشخصات سیگما در امتداد قائم است. مدل یادشده با دو هدف کلی، استفاده می‌شود: 1- ریزگردانی: داده‌های جهانی را براساس قدرت تفکیک تعیین‌شده ریزتر و دقیق‌تر می‌کند. 2- شبیه‌سازی فرایندهای گوناگون اقلیمی: اگر لازم باشد می‌توان در محیط مدل تغییراتی داد. هدف از مدل‌سازی شناخت و ارزیابی هرچه بیشتر رفتار مدل نسبت به فرایندهای فیزیکی و محاسباتی است. مدل از سه قسمت اصلی پیش‌پردازشگر، بدنه‌ی اصلی مدل و پس‌پردازشگر تشکیل شده است (مفیدی و کمالی، 1391). در این پژوهش، مدل اقلیمی RegCM4 با مشخصاتی که در جدول 2 بیان شده است، برای محدوده نشان داده‌شده در شکل 3 با هدف ریزگردانی به اجرا درآمد. خروجی مدل نیز شامل سه‌دسته‌ی اصلی داده به شرح: 1- داده‌های اتمسفری (ATM)، 2- داده‌های

سطحی (SRF) 3- داده‌های تابش (RAD) است که داده‌ی مورد استفاده در این مطالعه، اتمسفری است.



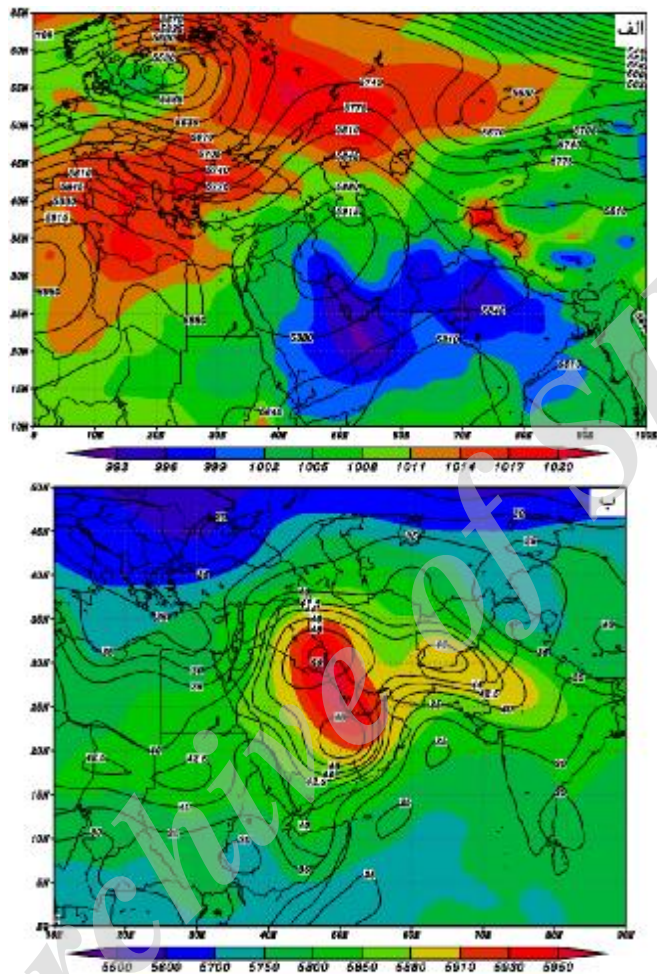
شکل 3 نقشه‌ی ارتفاعی و محدودی اجرای مدل RegCM4

3. یافته‌های تحقیق

باتوجه به بررسی‌های آماری بلندمدت درطول دوره‌ی آماری 1961 تا 2010 بر ایستگاه‌های منتخب در منطقه‌ی مورد مطالعه، روز 1 جولای 2000 (گرم‌ترین روز در گرم‌ترین موج گرمایی) به‌عنوان مورد مطالعاتی در این تحقیق انتخاب شد.

تحلیل سینوپتیک روز 1 جولای 2000

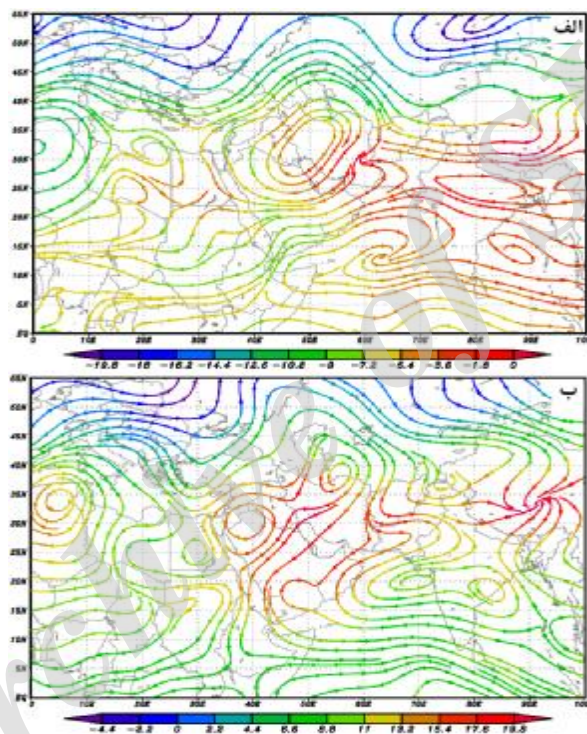
به‌منظور تحلیل سینوپتیک روز یاشده، ابتدا نقشه‌ی فشار سطح دریا و الگوی تراز 500 هکتوپاسکال به‌صورت ترکیبی (الف) و وضعیت ضخامت جو (ب) ترسیم شد که در شکل 4 می‌توان دید. همان‌گونه که دیده می‌شود، الگوی فشار حاکم بر جنوب‌غرب ایران در روز 1 جولای 2000، وضعیت کم‌فشاری بوده که منشاء آن کم‌فشارهای ادغامی گنگ و شبه‌جزیره‌ی عربستان و خلیج فارس است.



شکل 4. نقشه‌های ترکیبی ساعت 15/30 روز 1 جولای 2000 برای الف) فشار سطح زمین (نقشه‌ی رنگی) و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز 500 هکتوپاسکال (منحنی میزان‌های سیاه)، ب) وضعیت ضخامت جو (نقشه‌ی رنگی) و دمای تراز 1000 هکتوپاسکال (منحنی میزان‌های سیاه)

به دلیل قراردادن وضعیت کم‌فشار، جریان‌ها در منطقه همگرا بوده است. در این زمان زبانه‌های پرارتفاع جنب حاره‌ای با هسته‌ی پرارتفاع با 5925 ژئوپتانسیل متر بر جنوب‌غرب ایران قرار گرفته است. گردش جو بر این پرارتفاع آنتی‌سیکلونی بوده و فرونشینی هوای زیر این

پراارتفاع موجب افزایش بی‌درو دما شده و گرمایش سطح زمین را تشدید می‌کند. نقشه‌ی وضعیت ضخامت جو نیز نشانگر مطابقت با آرایش الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل بوده و ضخامت جو به دلیل گرمایش سطح زمین بالا بوده است. برای آگاهی از سرچشمه‌های گرمایی، نقشه‌های وزش یا فرارفت دمای ترازهای 500 (الف) و 700 (ب) هکتوپاسکال در روز 1 جولای 2000 ترسیم شد (شکل 5).



شکل 5. نقشه‌های وزش دمایی ترازهای الف) 500 و ب) 700 هکتوپاسکال در ساعت 15/30 روز 1 جولای 2000

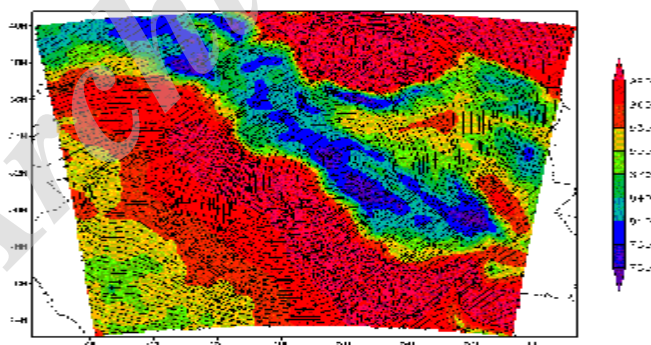
همان‌گونه که از شکل برمی‌آید در تراز 500 هکتوپاسکال پیکان‌های وزش دما نشان‌دهنده‌ی یک چرخش آنتی‌سیکلون روی کشور ایران است که از یک‌طرف هوای گرم عرض‌های پایین (عراق و عربستان) و از سوی دیگر، هوایی که از روی بیابان‌های داخل ایران عبور کرده‌اند، به سمت منطقه‌ی مورد مطالعه سوق داده شده‌اند. در تراز 700 هکتوپاسکال نیز یک چرخش

پادساعت‌گرد در قسمت شرق دریای خزر شکل گرفته و هوای گرم بیابان‌های داخلی را به سمت منطقه سوق می‌دهد، همچنین آنتی‌سیکلونی که در عرض 30 درجه‌ی شمالی در شمال دریای سرخ قرار گرفته، موجب انتقال هوای گرم عرض یادشده به منطقه‌ی جنوب‌غرب ایران شده است.

4. ریزگردانی روز 1 جولای 2000 به‌عنوان گرم‌ترین روز موج گرما

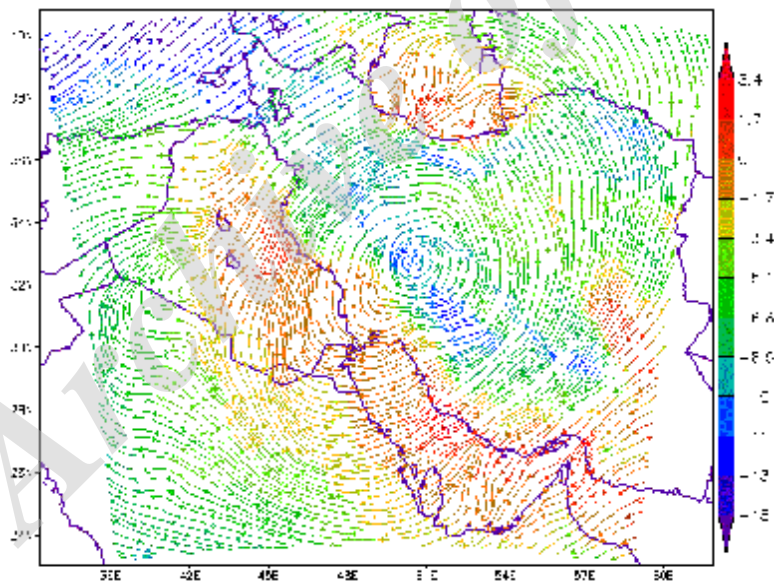
در این مرحله از کار با استفاده از مدل اقلیمی *RegCM4* ساختار جو در روز 1 جولای 2000 بررسی شد. برای انجام این کار و به‌دست آوردن نتایج بهتر، داده‌های جهانی که به خورد مدل داده شد، برای مدت 23 روز و با تفکیک فضایی 20 کیلومتر اجرا شد. با استفاده از داده‌های خروجی مدل *RCM4* به تهیه‌ی نقشه در مقیاس منطقه‌ی موردنظر پرداخته شد؛ برای این کار از متغیرهای t (دما)، ps (فشار سطح زمین)، u (باد مداری) و v (باد نصف‌النهاری) از سری خروجی‌های *ATM* استفاده شد. باتوجه به شکل 6 (نقشه‌ی ترکیبی فشار سطح زمین و خطوط جریان تراز 500 هکتوپاسکال) دیده می‌شود که بر رشته‌کوه زاگرس در سطح زمین کم‌فشار قوی (کمتر از 780 هکتوپاسکال) قرار گرفته و در تراز 500 هکتوپاسکال نیز یک پراتفاح دقیقاً بر آن منطبق شده است.

این پراتفاح با گردش واچرخندی سبب نزول بی‌درو هوای خشک شده و گرمای شدیدی را در روز 1 ژوئیه 2000 ایجاد کرده است.

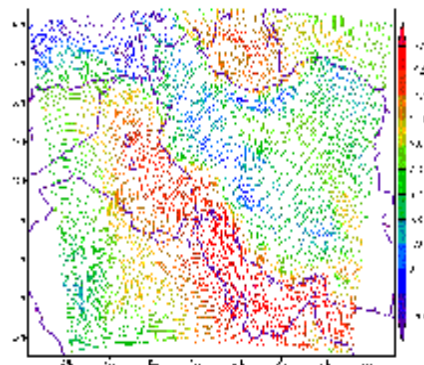


شکل 6. نقشه‌ی ترکیبی فشار سطح زمین و خطوط جریان (وزش) تراز 500 هکتوپاسکال در ساعت 15/30 روز 1 جولای 2000

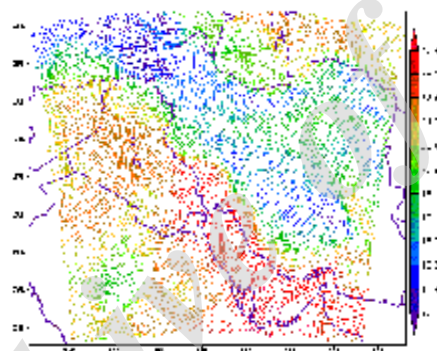
در شکل‌های 7 تا 10 نقشه‌های وزش دمایی ترازهای 500 (شکل 7)، 700 (شکل 8)، 850 (شکل 9) و 1000 (شکل 10) هکتوپاسکال ترسیم و نشان داده شده‌اند که باتوجه به نقشه‌های بالا، نقش توپوگرافی و رشته‌کوه زاگرس در وقوع و تشدید گرمای شدید در روز 1 ژوئیه 2000 بسیار بارز است. در ترازهای 1000 و 850 هکتوپاسکال در منطقه‌ی جنوب‌غرب همگرایی دمایی رخ داده و تفاوت میزان وزش دمای منطقه با سایر مناطق کشور بر اثر نقش رشته‌کوه زاگرس مشخص است. در تراز 700 هکتوپاسکال نیز دقیقاً یک جریان واچرخندی بر منطقه‌ی مورد مطالعه قرار گرفته که متأثر از توپوگرافی منطقه است. باتوجه به نقشه‌ی وزش دما در تراز 500 هکتوپاسکال، جریان واچرخندی مستقر بر فراز سلسله‌جبال زاگرس موجب وزش دمایی شده و در اثر نزول بی‌درو هوای خشک زیر این پرارتفاع، منطقه‌ی جنوب‌غرب در روز یادشده شاهد شدیدترین روز موج گرما بوده است. در اشکال مربوط به نقشه‌های ریزگردانی شده اختلاف دمای دامنه‌های جنوب‌غربی زاگرس (منطقه‌ی مورد مطالعه) با دیگر مناطق ایران فاحش است.



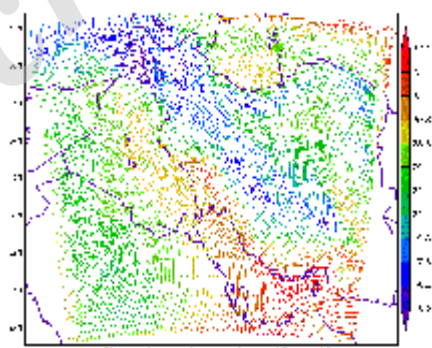
شکل 7. نقشه وزش دمایی تراز 500 هکتوپاسکال در ساعت 15/30 روز 1 جولای 2000



شکل 8 نقشه‌ی وزش دمایی تراز 700 هکتوپاسکال در ساعت 15/30 روز 1 جولای 2000



شکل 9 نقشه‌ی وزش دمایی تراز 850 هکتوپاسکال در ساعت 15/30 روز 1 جولای 2000



شکل 10 نقشه‌ی وزش دمایی تراز 1000 هکتوپاسکال در ساعت 15/30 روز 1 جولای 2000

5. نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌های آماری بلندمدت در طول دوره‌ی آماری 1961 تا 2010 بر ایستگاه‌های منتخب در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داد که باتوجه به آستانه‌ی آماری در نظر گرفته‌شده برای امواج گرمایی در این پژوهش، یعنی 46 درجه‌ی سانتی‌گراد، موج سه‌روزه‌ی 30 ژوئن تا 2 جولای با میانگین دمای 49/23 درجه سانتی‌گراد، به‌عنوان گرم‌ترین موج گرما و روز 1 جولای 2000 با مقدار دمای 50/23 درجه‌ی سانتی‌گراد، به‌عنوان گرم‌ترین روز در طی دوره‌ی آماری یادشده هستند. در تبیین ساختار سینوپتیک گرم‌ترین روز موج که روز 1 جولای 2000 است، تفسیر نقشه‌های سینوپتیک مشخص کرد که در اثر گرمایش سطح زمین، ضخامت جو زیاد شده است. الگوی فشار حاکم بر منطقه‌ی جنوب‌غرب ایران در زمان وقوع موج گرمایی مورد مطالعه، وضعیت کم‌فشار با منشأ کم‌فشارهای حرارتی گنگ و شبه‌جزیره‌ی عربستان و خلیج فارس هستند. در تراز 500 هکتوپاسکال نیز پراترفاع ایران که برخلاف تصور بسیاری از محققان مستقل از پرفشار جنب حاره‌ای آزور بوده و زبانه‌ای از آن نیست (زرین و مفیدی، 1390)، بر منطقه‌ی مورد مطالعه قرار گرفته است که گردش جو بر این پراترفاع آنتی‌سیکلونی بوده و فرونشینی هوای زیر آن سبب نزول بی‌درو هوای خشک و گرمایش سطح زمین شده است. اگر قرار است نامی برای سیستم فشار نام‌برده قابل شویم، بهتر است نام آن را پرفشار جنب حاره‌ی غرب آسیا بگذاریم. نقشه‌های وزش دمایی نیز نشان‌دهنده‌ی انتقال هوای گرم عرض‌های پایین از یک‌سو و گسیل هوای گرم بیابان‌های داخلی ایران از طرف دیگر به‌سمت منطقه‌ی مورد مطالعه است. درنهایت، نتایج خروجی مدل RegCM4 نشان داد که در سطح زمین بر زاگرس کم‌فشار قوی و در ترازهای بالای جو یک پراترفاع دقیقاً بر آن منطبق شده است که این پراترفاع سبب نزول بی‌درو هوای خشک شده و گرمای شدیدی را ایجاد کرده است. نقش پراترفاع زاگرس در وقوع و تشدید امواج گرمایی منطقه (سلسله‌جبال زاگرس موجب جذب و نگه‌داشت گرمای هوا شده و سبب دوام بیشتر موج گرما می‌شود) مورد مطالعه کاملاً بارز است. در یک نتیجه‌گیری کلی از کاربرد مدل RegCM4 در ایران می‌توان اذعان کرد که به‌طور عام مدل RegCM4 در شبیه‌سازی و ریزگردانی دما، چه در اجرای مرجع و چه در اجرای زیرشبکه‌ای موفق عمل کرده (سلطان‌زاده و همکاران، 63، 1386) و توصیه می‌شود که برای شبیه‌سازی‌های دمای سطحی در زمستان نیز بررسی شود.

6. منابع

- اسماعیل‌نژاد، مرتضی، محمود خسروی و بهلول علیجانی و سیدابوالفضل مسعودیان، «شناسایی امواج گرمایی ایران»، *مجله‌ی جغرافیا و توسعه*، شماره‌ی 33، صص 39-54، 1392.
- زرین، آذر، عباس مفیدی، «آیا پرفشار جنب حاره‌ی تابستانه بر روی ایران پرفشار آזור است؟»، *یازدهمین کنگره‌ی جغرافی‌دانان ایران*، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، 24-25 شهریور 1390.
- سلطان‌زاده، ایمان، فرهنگ احمدی‌گیوی و پرویز ایران‌نژاد، «بررسی سه‌ماهه‌ی تأثیر رشته-کوه‌های زاگرس بر جریان‌های میان مقیاس منطقه‌ی شرق زاگرس با استفاده از مدل منطقه‌ای *RegCM4*»، *مجله‌ی فیزیک زمین و فضا*، شماره 33، صص 51-33، 1386.
- عساکره، حسین، سیدابوالفضل مسعودیان و حسن شادمان، «تحلیل سینوپتیک پوشی فراگیرترین روز گرم ایران طی سال 1340 تا سال 1386»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره‌ی 7، صص 35-52، 1392.
- قویدل رحیمی، یوسف، «تحلیلی از مخاطره‌ی اقلیمی امواج ابرگرم سال 1389 استان خوزستان»، *نشریه‌ی علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال 19، شماره‌ی 51، صص 309-289، 1394.
- قویدل رحیمی، یوسف، «شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابرگرم تابستان 1389 ایران»، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، سال اول، شماره‌ی 3، صص 85-100، 1390.
- مدیریان، راهله، ایمان بابائیان و مریم کریمیان، «شبیه‌سازی عددی بارش و دمای جنوب شرق ایران با استفاده از مدل اقلیمی *RegCM3*»، *مجله نیوار*، شماره 68، صص 25-7، 1386.
- مدیریان، راهله، ایمان بابائیان و مریم کریمیان، «پیکربندی بهینه‌ی مدل *RegCM3* برای شبیه‌سازی بارش و دما در فصل پاییز منطقه‌ی خراسان در دوره‌ی 1991-2000»، *مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره‌ی 70، صص 107-120، 1388.
- مفیدی، عباس و سمیه کمالی، «بررسی و تحلیل ساختار توفان‌های گرد و غبار در دشت سیستان با استفاده از مدل مقیاس منطقه‌ای *RegCM4* (مطالعه‌ی موردی؛ 30 ژوئیه‌ی 2001)»، *اولین همایش ملی بیابان*، دانشگاه تهران، 1391.

- Asakereh, H., S. A. Masoodian & H. Shadman., “Synoptic and Dynamic Analysis of Most Pervasive Hot Day in Iran During 1964 to 2009”, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, No. 7, pp. 35-52, 2013. (in Persian فارسی)
- Baldi, M., M. Pasqui, F. Cesarone & G. De Chiara, “Heat Wave in the Mediterranean Region: Analysis and Model Result”, *Institute of biometeorology*, pp. 1-12, 2004.
- Dasari, H. P., R. Salgado, J. Perdigao & V. Srinivas Challa, “A Regional Climate Simulation Study Using WRF-ARW Model over Europe and Evaluation for Extreme Temperature Weather Events”, *International Journal of Atmospheric Sciences*, 2014.
- Esmaeilnejad, M., M. Khosravi, B. Alijani & S. A. Masoudian, “Identifying Heat Waves of Iran”, *Journal of Geography and Development*, No. 33, pp. 39-53, 2014. (in Persian فارسی)
- Ghavidel Rahimi, Y., “An Analysis of Super Heat Wave Climatic Hazard Occurred in 2010 Summer in Khuzestan Province”, *Journal of Geography and Planning*, No. 51, pp. 289-309, 2015. (in Persian فارسی)
- Ghavidel Rahimi, Y., “Identification, Classification and Synoptic Analysis of Iran Super Heat”, *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, No.3, pp. 85-100, 2011. (in Persian فارسی)
- Hunt, B. G., “A Climatology of Heat Waves from a Multimillennial Simulation”, *Journal of Climate*, No. 20, pp. 3802–3821, 2006.
- Koffi, B. & E. Koffi, “Heat Waves across Europe by the End of the 21st Century: Multiregional Climate Simulations”, *Climate Research*, No. 36, pp. 153-168, 2008.
- Lemonsu, A., A. L. Beuland, S. Somot & V. Masson, “Evolution of Heat Wave Occurrence over the Paris Basin (France) in the 21st Century”, *Climate Research*, No. 61, pp. 75–91, 2014.
- Marshall, A. G., D. Hudson, M. C. Wheeler, O. Alves, H. H. Hendon, M. J. Pook & J. S. Risbey, “Intra-seasonal Drivers of Extreme Heat Over Australia in Observation and POAMA-2”, *Climate Dynamics*, No. 43, pp. 1915-1937, 2014.
- Modirian, R., I. Babaeian & M. Karimian., “Simulation Rainfall and Temperature of South Eastern Part of Iran Using Regional Climate Model (RegCM)”, *Journal of Nivar*, No.68, Pp. 7-25,

2008. (in Persian فارسی)
- Modirian, R., I. Babaeian & M. Karimian., “The Optimum Configuration of Regcm3 Model for Simulation of Precipitation and Temperature at Autumn over Khorasan Region in 1991-2000”, *Quarterly Journal of Physical Geography*, No. 70, pp. 107-120, 2010. (in Persian فارسی)
 - Mofidi, A. & S. Kamali., “Investigating the Structure of Dust Storm Events in Sistan Region Using Regional Climate Model RegCM4; Case Study July 30, 2001”, in *The 1st National Desert Conference*, Desert International Research Center, University of Tehran, Tehran, Iran, June 17-18, pp. 1-16, 2012. (in Persian فارسی)
 - Soltanzadeh, I., P. Irannezhad & F. Ahmadi Givi, “A Three-month Study of the Effects of Zagros Mountain Range on Meso-scale Currents in East of Zagros Using Regional Model, RegCM”, *Journal of the Earth & Space Physics*, No. 33, pp. 31-50, 2007. (in Persian فارسی)
 - World Bank, “Natural Hazards, Unnatural Disasters: the Economics of Effective Prevention”, Washington, DC: The World Bank Publications, 2010.
 - Zarrin, A. & A. Mofidi., “Does Summertime Subtropical Anticyclone over Iran is an Extension of Azors High?”, in *11th Congress of Iranian Geographers*, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, September 15-16, pp. 1-15, 2011. (in Persian فارسی)