Golestan University

Journal of the Climate Change Research

Scientific Journal of Golestan University
Vol. 6, No. 21, Spring 2025

Review of Climate Change Simulation Studies in Iran

Aida Deyrmajaei[1], Mehry Akbary[2*]

[1] Ph.D. Candidate of Climatology, Department of Physical Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran
[2] Associate Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran,
Email: mehryakbary@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024-06-06
Accepted:

Keywords:
Climate
Future
Simulation
Projection
GCMs

ABSTRACT

The emergence and manifestation of the consequences of climate change in recent decades and the importance of global warming, lead to research in the field of climate change simulation using general circulation models (GCMs) for future periods of time. A review of the references that have dealt with this matter in Iran, and evaluating of these researches, can identify their methodology and strengths and weaknesses and guide the compensation of shortcomings. The articles that have been published in the field of projection of climate change in Iran; are reviewed and almost 110 articles that were closer to the subject and purpose of the current research analyzed and the content changes of the articles in the last two decades were also compared and evaluated. the results identified the most widely used GCM models and down scale methods and the amount of content changes of the articles in using several models and scenarios and compared the validation of outputs in the last two decades and revealed their improvement and the shortcomings of the researches. also, the results showed the attention of many researchers in this field on the future of agriculture and water resources of Iran as a semi-arid country.

Cite this article: Deyrmajaei, A., Akbary, M. (2025). Review of Climate Change Simulation Studies in Iran. Journal of the Climate Change research, 6 (21), 23-48.

©The author(s)

Publisher: Golestan University
Doi: 10.30488/CCR.2024.461465.1225

نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی

فصلنامه علمی دانشگاه گلستان

سال ششم/ شماره مسلسل بیست و یکم/ بهار ۱۴۰۴ / صفحات: ۴۸-۲۳

مروری بر مطالعات شبیه‌سازی تغییر آب و هوا در ایران

آیدا دیرمجائی[۱]، مهری اکبری[۲*]

[۱] دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

[۲] دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، رایانامه: mehryakbary@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲۴

واژه‌های کلیدی:
اقلیم
آینده
مدل‌سازی
پیش‌نگری
مدل‌های گردش عمومی

چکیده

بروز و نمود پیامدهای تغییرات آب و هوایی در دهه‌های اخیر و اهمیت گرمایش جهانی، منجر به انجام پژوهش در حوزهٔ شبیه‌سازی تغییرات آب و هوایی با به‌کارگیری مدل‌های آب و هوایی گردش عمومی (GCMs) برای دوره‌های زمانی آتی شده است. مروری بر منابعی که در ایران، به این امر پرداخته‌اند، می‌تواند ضمن ارزیابی روش‌کار این پژوهش‌ها، نقاط قوت و ضعف آنها را مشخص نموده و جبران کاستی‌ها را رهنمون شود. بدین منظور، مقالاتی که در خصوص شبیه‌سازی و پیش‌نگری تغییرات آب و هوایی در ایران منتشر شده‌اند؛ بررسی و تعداد ۱۱۰ مقاله که به موضوع و هدف پژوهش حاضر نزدیک‌تر بودند گزینش شده و مورد تحلیل قرار گرفتند و میزان تغییرات محتوایی مقالات در دو دههٔ اخیر نیز مقایسه و ارزیابی شد. نتایج، پُراستفاده‌ترین مدل‌های GCM و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی را شناسایی و میزان تغییرات محتوایی مقالات به لحاظ به‌کارگیری چندین مدل و سناریو و صحت‌سنجی خروجی‌ها در دو دههٔ اخیر را مقایسه و بهبود آنها را آشکار کرد و کاستی‌های پژوهش‌ها را مشخص کرد. همچنین نتایج، گویای توجه بسیاری از پژوهشگران این حوزه بر آیندهٔ کشاورزی و منابع آبی ایران به عنوان کشوری نیمه خشک بود.

استناد: دیرمجائی، آیدا؛ اکبری، مهری. (۱۴۰۴). مروری بر مطالعات شبیه‌سازی تغییر آب و هوا در ایران. نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۶ (۲۱)، ۴۸-۲۳.

Doi: 10.30488/CCR.2024.461465.1225

ناشر: دانشگاه گلستان

© نویسندگان.

مقدمه

بر اساس گزارش‌های هیات بین‌دولتی تغییر آب و هوا IPCC[1]، تغییر اقلیم که بزرگترین چالش بشر در قرن اخیر است، پیامدهای جبران ناپذیری بر روی منابع آب، کشاورزی، گردشگری و نیاز به انرژی سرمایشی و گرمایشی تأثیر شدید خواهد داشت (Li et al., 2015). سازمان جهانی هواشناسی از سال ۱۹۸۷ بر لزوم تحقیق درباره تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب تأکید کرده است (Karl et al., 1997). به علت سرشت اثرگذاری بلندمدت تغییر اقلیم، ضرورت دارد هرگونه برنامه‌ریزی، با در نظر گرفتن دورنمای موردنظر در هر بخش، در قالب برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت سازماندهی شود (جعفری، ۱۳۹۶).

هیات بین‌دولتی تغییر آب و هوا اعلام کرده است که میزان اثر گاز کربن دی اکسید جو، از زمان انتشار نخستین گزارش IPCC یعنی سال ۱۹۹۰ تا سال های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ دو برابر خواهد شد و به‌دنبال آن، میانگین دمای جهانی بین ۱/۵ تا ۴/۵ درجه سلسیوس به‌صورت توزیع نابرابر، افزایش خواهد یافت. بررسی‌های سازمان جهانی هواشناسی نشان داده که در سطح جهانی، میانگین تراکم دی‌اکسیدکربن، در سال ۲۰۱۸ به ۴۰۷/۸ PPM[2] یعنی بالاترین میزان پس از صنعتی شدن و ۱۴۷ درصد، بیشتر از میزان آن در سال ۱۷۵۰، رسیده است. همچنین IPCC در سال ۱۹۹۶ گزارش داده است که دمای سطح زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی، درحال افزایش است چراکه تابش گسیل شده از زمین را به دام می‌اندازد و دمای هوا در چند دهه اخیر، با افزایشی بین ۰/۳ تا ۰/۶۷ درجه سلسیوس روبرو شده است که بیشترین میزان افزایش در قرن گذشته است و در صورتی که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش نیابد، تا سال ۲۱۰۰ میانگین دمای سطح زمین بین ۱ تا ۳,۵۷ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. بدین ترتیب، گرمایش جهانی در حال رخداد است و پیامدهای آن، برای مناطق مختلف، متفاوت خواهد بود (Dracup & Vicuna, 2005). از جمله این‌که، بر اثر تغییرات آب و هوایی، میانگین بارش در عرض‌های جغرافیایی شمالی، افزایش خواهد یافت ولی مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان را با کاهش بارش مواجه خواهد کرد (Rosenzweig & Parry, 1994). دمای هوا و بارش، مهم‌ترین عناصر در تغییرات آب کرهٔ زمین به‌شمار می‌روند (Zaho et al., 2015).

بنابراین با توجه به پیامدهای ناشی از تغییرات آب و هوایی و پیامدهای مخاطره‌آمیز و یا فرصت‌های ناشی از آنها، به منظور برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و ترسیم چشم‌اندازی از شرایط آب و هوایی دوره‌های زمانی آینده، لزوم انجام پژوهش و شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی آتی، آشکار است. پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی از جمله راهکارهای توصیه شده جهت برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده از منابع آب و... است (Barrow & Yu, 2005). بدین منظور، بهره‌گیری از مدل‌های آب و هوایی مورد توجه بوده است. مدل‌های آب و هوا، مهم‌ترین ابزار موجود برای افزایش درک علمی از پیچیدگی‌های سیستم آب و هوایی و پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی هستند (Yukimoto et al., 2012).

از اواسط سال ۱۹۵۵، نخستین مدل سه بعدی گردش عمومی جو تولید شد و در دهه ۱۹۶۰ گسترش یافت و در دهه ۱۹۷۰ مدل‌های تا حدودی واقع‌گرایانه تولید شدند و همواره با گرمایش جهانی، به شکلی گسترده‌تر مورد توجه قرار گرفتند، در اواخر دهه ۱۹۹۰ به دنبال افزایش توانایی رایانه‌ها، مشکلات این مدل‌ها تا حد زیادی بر طرف شد (Weart, 2010). امروزه معتبرترین مدل آب و هوایی، مدل گردش عمومی جو (GCM[3]) است که مدل‌های عددی هستند و فرآیندهای فیزیکی جو را نشان می‌دهند و می‌توانند شرایط آب و هوایی امروز را شبیه‌سازی و شرایط آب و هوایی آینده را با سناریوهای مختلف، مدل‌سازی کنند (Miao et al., 2013). کشور ایران نیز همچون سایر

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
2. Part Per Million (PPM)
3. General Circulation Model (GCM)

نقاط جهان، متأثر از پیامدهای تغییرات آب و هوایی خواهد بود و شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی در دوره‌های زمانی آتی، همواره پس از ارائهٔ گزارش‌های IPCC و معرفی مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی، مورد توجه پژوهشگران واقع شده است. لذا ضروری است که با ارزیابی و بررسی پژوهش‌های صورت گرفته، روش‌های مورد توجه، نقاط قوت و کاستی‌ها آشکار شود، تا با به‌کارگیری مناسب‌ترین روش‌ها، کمبودهای مطالعاتی، در پژوهش‌های آتی جبران شوند و چشم‌انداز بهتری برای آینده ترسیم شود.

مبانی نظری

تغییر اقلیم به‌عنوان تغییر در الگوهای آب و هوایی عمدتاً ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای تعریف می‌شود. انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث می‌شود که گرما در جو زمین به دام افتد که عامل اصلی گرمایش جهانی است (Fawzy et al., 2020). توجه متداول عمومی به احتمال تغییرات آب و هوایی مرتبط با اثر گلخانه‌ای، اغلب بر اساس سوء تفاهمی است که این پدیده را جدید می‌انگارد، در حالی که این پدیده، یک نتیجهٔ طبیعی در حال رخداد از موازنهٔ تابشی کره زمین است و شواهد موجود، نشان می‌دهد که این اثر، چندین مرتبه در طول چند میلیون سال گذشته رخ داده است و آن‌چه جدید است، این است که فعالیت‌های انسان ممکن است به شکلی منجر به افزایش اثرات گلخانه‌ای شود که پیش‌تر، زمین با آن روبرو نبوده است (Bowma, 1990). گرمایش گلخانه‌ای زمین به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین و پُربحث‌ترین مسائل زیست‌محیطی مطرح شده است زیرا دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای که میلیاردها سال، سطح زمین را گرم کرده‌اند، در نتیجهٔ فعالیت‌های انسانی افزایش یافته و باعث افزایش اثر طبیعی گلخانه‌ای و گرم شدن آب و هوای جهانی می‌شوند (Singer et al., 1992). تغییرات در میزان دی‌اکسیدکربن، باعث تغییرات دمایی شده و بر آب و هوا تأثیر می‌گذارد، اگر دی‌اکسیدکربن جو، دو برابر شود، دمای سطح زمین ۳/۶ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد و اگر نصف شود، دمای سطح زمین ۳/۸ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد (Plass, 1956). در اواسط قرن ۱۹، مقادیر چشمگیری دی‌اکسیدکربن حاصل از سوخت‌های فسیلی به جو اضافه شد و این میزان، به‌طور پیوسته افزایش یافت (Revelle & Suess, 1957). فعالیت‌های انسانی این قرن، موجب افزایش تراکم گازهای موجود در اتمسفر شده که این گازها با جلوگیری از خروج امواج تابشی فروسرخ گرمایی، دمای هوای کره زمین را افزایش می‌دهند (Dickinson, & Cicerone, 1986).

پیش‌نگری‌های آب و هوایی، اطلاعاتی بنیادین برای تعیین دامنه، نرخ و گستردگی تغییرات آب و هوایی آینده به منظور سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی سازگاری با این تغییرات هستند (Virgilio et al., 2022). مدل‌های گردش عمومی (GCMs)، از معتبرترین روش‌های شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوایی دوره‌های آتی هستند (Ghosh & Mujumdar, 2008). اجزای سامانهٔ زمین در GCM ها به‌طور کامل ارزیابی شده است (Collins et al., 2011).

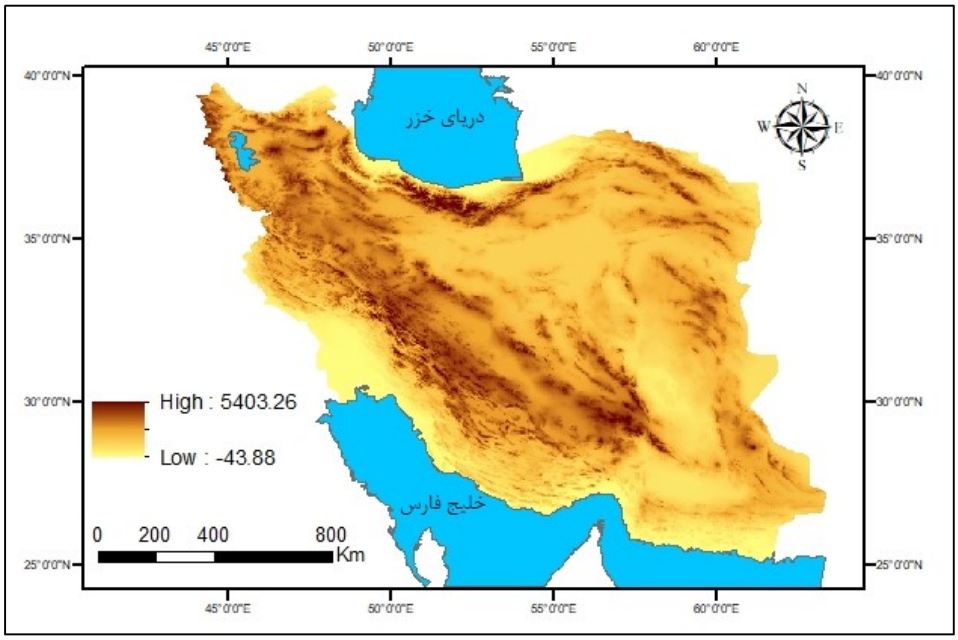
مدل‌های GCM، مدل‌های عددی هستند که مکانیسم‌های طبیعی در جو، سطح زمین و اقیانوس را توصیف می‌کنند. این مدل‌ها، سامانهٔ آب و هوایی را نشان می‌دهند که یک شبکه سه بُعدی با قدرت تفکیک افقی ۲۵۰ الی ۶۰۰ کیلومتر در سراسر جهان و ۱۰ الی ۲۰ لایه عمودی در جو و همچنین تا حدود ۳۰ لایه در اقیانوس‌ها را پوشش می‌دهند (Srinivasa & Nagesh Kumar, 2020). در حال حاضر، پروژه هم‌سنج مدل جفت شده (CMIP)[۴] به عنوان یکی از مؤلفه‌های اساسی علم آب و هوا درنظر گرفته می‌شود (Touze-Peiffer et al., 2020). این پروژه برای مطالعه و مقایسه شبیه‌سازی‌های آب و هوایی مدل‌های GCM ایجاد شده است (Meehl et al., 2000). هدف پروژهٔ CMIP درک بهتر تغییرات آب و هوایی گذشته، حال و آینده در یک زمینهٔ چندمدلی است، با این حال، استفادهٔ مناسب از این قبیل شبیه‌سازی‌ها مستلزم

1.Coupled model intercomparison project (CMIP)

آگاهی از محدودیت‌های آنها است، بنابراین ارزیابی منظم و روش‌مند مدل‌ها با داده‌های مشاهداتیِ موجود، امری ضروری است (Eyring et al., 2016).

منطقهٔ مورد مطالعه: منطقهٔ مورد مطالعه در این پژوهش، کشور ایران است. ایران از تنوع آب و هوایی زیادی برخوردار است، این تنوع در پراکندگی مکانی و نوسانات زمانی، مشهود است (علیجانی، ۱۳۹۱) و نیز با توجه به گستردگی و بزرگی مساحت آن و همچنین موقعیت ریاضی و جغرافیایی خاص، در معرض انواع پدیده‌ها و مخاطرات آب و هوایی مانند توفان، سیل، خشکسالی، گرد و غبار، رودباد و.... قرار می‌گیرد (ذکی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایران به لحاظ ریاضی را نمایش می‌دهد.

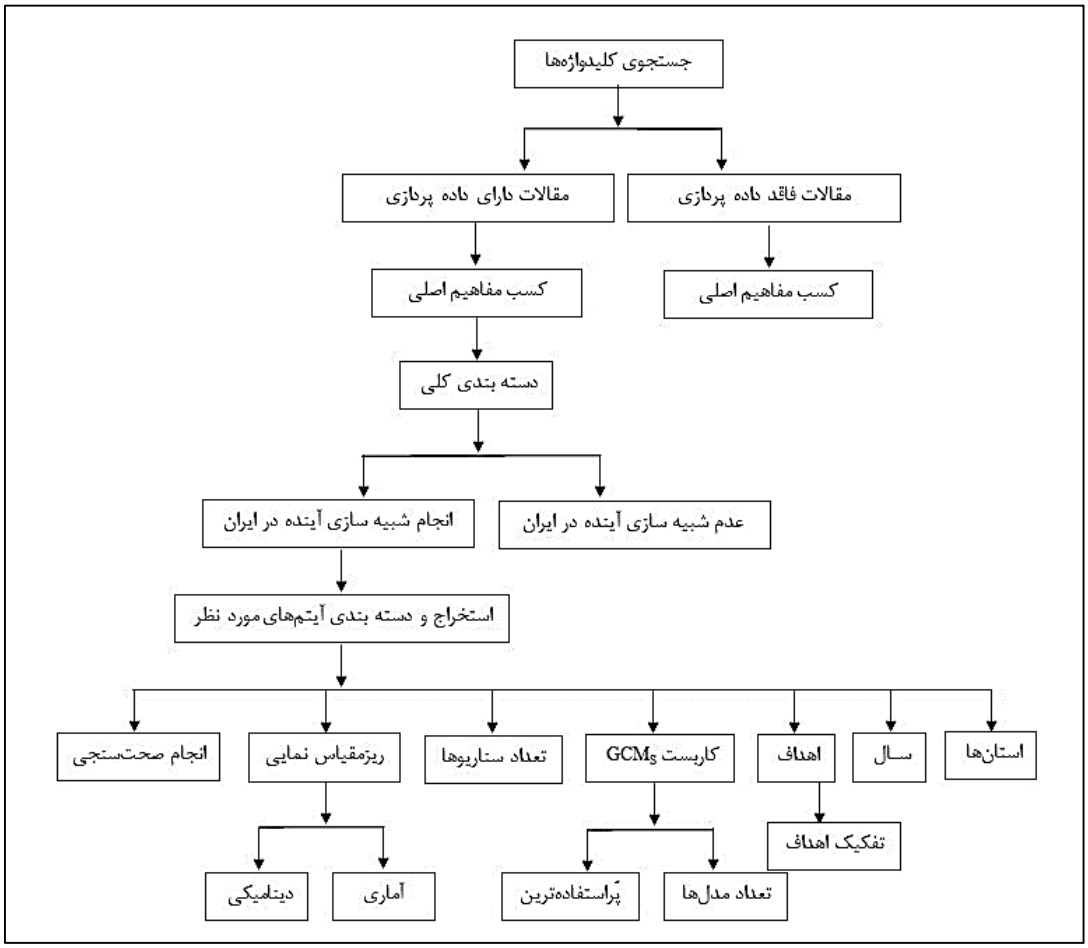
اگر ایران از دیدگاه مقدار و زمان دریافت بارش، به چهار بخش (بسیار کم‌بارش، کم‌بارش، نیمه‌پربارش و پربارش) تقسیم شود، بخش‌های بسیار کم‌بارش و کم‌بارش، حدود ۸۳ درصد از مساحت کشور (سراسر جنوب، شرق، مرکز و بخش‌هایی از شمال‌غرب ایران) را به خود اختصاص می‌دهند (مسعودیان، ۱۳۸۸). از جنوب به شمال و از شرق به غرب، از گرمای هوای ایران، کاسته می‌شود. سرد شدن هوا در جهت جنوب به شمال، عمدتاً به دلیل افزایش عرض جغرافیایی و کاهش تابش خورشید و نیز تراکم رشته کوه‌های مرتفع در شمال کشور است. کاهش دما از شرق به غرب، عمدتاً به دلیل تجمع توده هوای کوهستانی زاگرس در غرب کشور و یورش توده‌های هوایی سیبری به چاله‌های مرکزی ایران است (علیجانی، ۱۳۹۱). نوارهایی از ناهمواری در غرب ایران و ناهمواری‌های پراکنده مرکزی، نقش مهمی در تعدیل دمای ایران، ایفا می‌کنند (رعیت‌پیشه و مسعودیان، ۱۳۹۴) و بر تفاوت دمایی در نواحی مختلف کشور اثر گذارند. تنوع ویژگی‌های آب و هوایی در ایران از یک سو و از سوی دیگر،کمبود بارش و قرارگیری در نواحی خشک و نیمه‌خشک، لزوم انجام مطالعاتی در سرتاسر کشور ایران را جهت دستیابی به چشم اندازی از شرایط آب و هوایی دوره‌های زمانی آتی به منظور تدوین برنامه‌هایی برای مقابله و سازگاری با پیامدهای ناگوار و نیز بهره‌مندی از فرصت‌های احتمالی تغییرات آب و هوایی را آشکار می‌سازد.



شکل ۱: نقشه محدوده مورد مطالعه در ایران

داده‌ها و روش پژوهش

از آنجاکه هدف پژوهش حاضر، دستیابی به ارزیابی جامعی از مطالعات صورت گرفته در زمینهٔ شبیه‌سازی آب و هوایی دوره‌های زمانی آتی در کشور ایران می‌باشد، لذا برای انجام مطالعهٔ مروری، رویکرد پژوهش کتابخانه‌ای در پیش گرفته شد. نخست با جستجوی کلیدواژه‌های مربوطه در پایگاه‌های استنادی معتبر بین‌المللی و داخلی، از جمله SID، Magiran و ScinceDirect؛ مقالات مرتبط دریافت، دسته بندی، مطالعه و تحلیل شدند. کلیدواژه‌های جستجو شامل عبارت "شبیه سازی تغییر اقلیم"، "شبیه‌سازی تغییرات آب و هوایی" و "پیش‌نگری تغییرات آب و هوا" در عناوین، چکیده و کلیدواژه‌ها بود. سپس، مقالاتی که دقیقاً به شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی آینده با مدل‌های GCM در ایران تمرکز داشتند، گزینش شدند که تعداد مقالات مذکور ۱۱۰ مقاله در میان ۲۴۶۷ است و سپس بر اساس اهداف و موارد مدنظر در پژوهش حاضر، تفکیک و طبقه‌بندی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، شکل (۲) مراحل انجام این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲: مدل مفهومی پژوهش

یافته‌های پژوهش

سرآغاز شبیه‌سازی‌های آب و هوایی در جهان و ایران

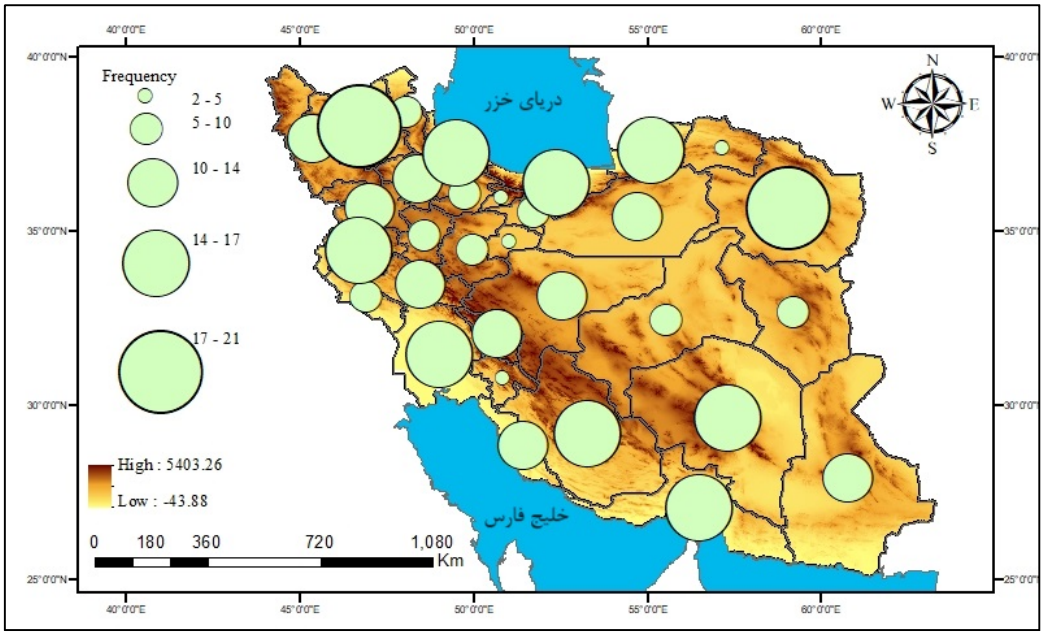
ایران: نخستین گزارش[5] IPCC در سال ۱۹۹۰ منتشر شد و پس از آن، انجام پژوهش‌هایی با به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو، در جهان آغاز شد که این پژوهش‌ها مبتنی بر مدل‌های محدودی بود که در نخستین و دومین گزارش[6] IPCC ارائه شده بودند. در سال ۱۹۹۸، IPCC کمیته‌ای را با هدف گردآوری برونداد مدل‌های GCM به نام DDC[7] تشکیل داد، یکی از اهداف عمدهٔ این مرکز، گردآوری برونداد مدل‌های GCM برای به‌کارگیری در پژوهش‌های مربوط به تغییر آب و هوا بود (شمسی پور، ۱۳۹۲). در سال ۲۰۰۱، IPCC سناریوهای انتشار SRES[8] را در سومین گزارش[9]، منتشر و از آنها در چهارمین گزارش[10] ارزیابی استفاده نمود. سناریوهای معرفی شده، در دو گروه A و B بودند و هر کدام شامل زیرگروه‌های مختلفی می‌شدند، در این سناریوها، جنبه‌های متفاوت رشد جمعیت، تغییرات انرژی، کاربری زمین، توسعه اقتصادی و مسائل زیست‌محیطی از نگاه جهانی و منطقه‌ای دیده شده است (دشت بزرگی و همکاران، ۱۳۹۴). در سال ۲۰۱۳ مدل‌های گزارش پنجم[11] IPCC منتشر شدند که بیشتر به جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و نقش تغییرات آب و هوایی در توسعهٔ پایدار و مدیریت ریسک می‌پردازند. از مدل‌های جفت شده مورد استفاده در AR4 تحت عنوان پروژهٔ CMIP3 در AR5 تحت عنوان پروژهٔ CMIP5 یاد می‌شود. برای اجرای مدل‌های گردش عمومی که در پروژهٔ CMIP5 معرفی و به‌کار گرفته شده‌اند نیاز به ورودی‌های بیشتری بود و لازم بود که آثار سیاست‌های اقلیمی که در سناریوهای قبلی، به آن توجه نشده بود، لحاظ شوند، بدین ترتیب از سناریوهای جدید RCP استفاده شد (Moss et al., 2010). این سناریوها بر اساس سطح واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ ایجاد شده‌اند که شامل چهار سناریو، به نام‌های RCP2.6 و RCP4.5 و RCP6 و RCP8.5 هستند که می‌توان گفت به ترتیب سناریوهای RCP4.5 و RCP6 و RCP8.5 تقریباً با سناریوهای B1 و A1B و A2 (که در AR4 معرفی شده‌اند) مطابقت دارند (Detlef et al., 2011). به موازات ارائهٔ این مدل‌ها در عرصه جهانی، پژوهشگران ایران نیز شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی آینده در کشور را آغاز کرده‌اند که از جمله نخستین پژوهش‌ها می‌توان به (شهابفر و قیامی، ۱۳۸۰ و کوچکی و همکاران، ۱۳۸۲ و نصیری و کوچکی، ۱۳۸۵ و صمدی نقاب، ۱۳۸۵) اشاره کرد. اگر مطالعات صورت گرفته در این زمینه، در ایران را به لحاظ زمانی، به دو دستهٔ دهه ۱۳۸۰ و دهه ۱۳۹۰ تقسیم کنیم، بررسی فراوانی سهم هر یک از دو دهه اخیر خورشیدی از مطالعات پیش‌نگری مشخص می‌کند در میان مقالات مورد بررسی، ۸۸/۱۸ درصد از آن‌ها در بین سال‌های ۱۳۹۰ لغایت ۱۴۰۰ (در اینجا به اختصار: دهه ۹۰) و ۱۱/۸۲ درصد از آن‌ها، در بین سال‌های ۱۳۸۰ لغایت ۱۳۸۹ (دهه ۸۰) صورت گرفته‌اند. سهم بالای دهه ۹۰ نشان از توسعهٔ مدل‌های GCM و رواج و آشکار شدن کارایی و اهمیت استفاده از این مدل‌ها در کشور است.

فراوانی مطالعات پیش‌نگری آب و هوایی در ایران

پیامدهای تغییر اقلیم بر کل سیاره، یکسان نیست، بعضی مناطق زمین، حساسیت بیشتری نسبت به تغییر اقلیم در مقایسه با مناطق دیگر دارند (فرجزاده و الهی، ۱۳۹۹). با توجه به تنوع آب و هوایی در ایران، شبیه‌سازی در مناطق مختلف کشور، به لحاظ مدل‌ها، روش‌ها و نتایج، متفاوت خواهد بود، همچنین تغییرات زمانی و مکانی، عناصری همچون بارش نیز در تمام پهنهٔ سرزمینی ایران، یکسان نخواهد بود. لذا در پژوهش حاضر، فراوانی مطالعه در استان‌های مختلف بررسی شد، شکل (۳) نشانگر فراوانی پژوهش موردنظر در کشور است که نشان می‌دهد تمام استان‌های کشور در این مطالعات پوشش داده شده‌اند و مشاهده می‌شود که مناطق مختلف استان‌های آذربایجان

1. First Assessment Report (FAR)
2. Second Assessment Report (SAR)
3. Data Distribution Center (DDC)
4. Special Report on Emissions Scenarios (SRES)
5. Third Assessment Report (TAR)
6. Fourth Assessment Report (AR4)
7. Fifth Assessment Report (AR5)

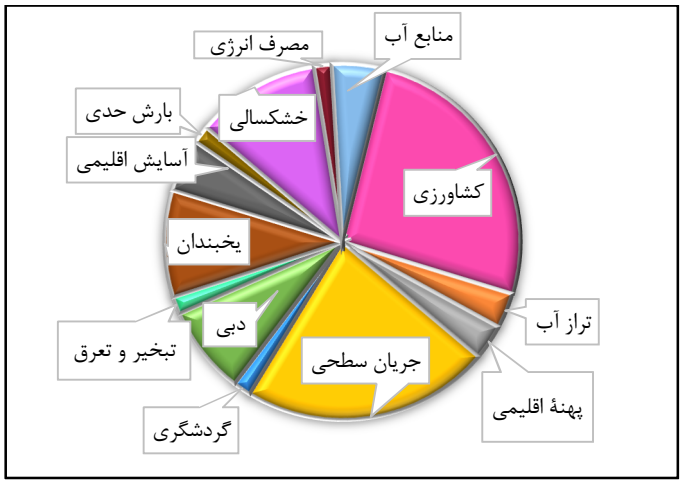
شرقی و خراسان رضوی، بیش از سایر استان‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و کمترین فراوانی مربوط به استان‌های البرز و قم می‌باشد. گرچه در بسیاری از مقالات، پژوهشگران، علت انتخاب عرصهٔ پژوهش خود را شرح نداده‌اند، می‌توان علل توجه بیشتر به برخی مناطق را در موقعیت جغرافیایی، اقتصادی و سیاسی آنها جست.



شکل ۳: فراوانی پژوهش‌های شبیه‌سازی آب و هوایی در استان‌های مختلف کشور

بررسی اهداف شبیه‌سازی‌های آب و هوای آینده‌ی ایران: تغییرات آب و هوایی جزء جدایی ناپذیر و چالش بزرگ زیستی قلمداد می‌شود و بخش‌های متعددی از جمله: چرخه هیدرولوژی، تبخیر و تعرق، منابع طبیعی، عملکرد گیاهان و کشاورزی، تقاضای آب و انرژی و اقتصاد و.... را متأثر خواهد ساخت (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۶ و سیدعبداللهی و همکاران، ۱۳۹۸ و معافی مدنی و همکاران، ۱۳۹۱ و Daren et al., 2009 و Andreadis & Lettenmaier, 2006 و Kang et al., 2015). از این رو، در پژوهش حاضر، مقالات مورد بررسی، به لحاظ اهداف پژوهشگران از یکدیگر تفکیک شدند. برخی مقالات صرفاً به شبیه‌سازی عناصر آب و هوایی در دوره‌های زمانی آتی پرداخته‌اند و برخی دیگر، علاوه بر این، تأثیر تغییرات آب و هوایی را بر بخش‌های دیگر بررسی کرده‌اند که در این مقالات، ۱۳ دسته کلی از اهداف شناسایی شد. شکل (۴) این اهداف ضمنی را به تفکیک نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که دسته جریان سطحی، دربرگیرنده‌ی مطالعاتی است که بر اساس بارش- رواناب، رواناب ناشی از ذوب برف و بررسی ریسک سیلاب هستند، همچنین دسته‌ی منابع آب، دربرگیرنده‌ی مطالعات آب‌های زیرزمینی، آب قابل بارش و نیز کیفیت آب است. مشاهده می‌شود که مباحث کشاورزی، جریان سطحی و خشکسالی بیش از سایر موارد، مورد توجه پژوهشگران واقع شده‌اند. از پدیدهٔ خشکسالی به عنوان پرهزینه‌ترین مخاطرهٔ طبیعی یاد شده که می‌تواند بر محیط زیست، اقتصاد، کشاورزی و در نهایت زندگی انسان‌ها اثرات منفی بگذارد (Waseem et al., 2016) و از میان بخش‌های مختلف اقتصادی، می‌توان کشاورزی را به عنوان وابسته‌ترین بخش اقتصاد به آب و هوا دانست چراکه آب و هوا اصلی‌ترین تعیین کنندهٔ مکان منابع فعالیت‌های کشاورزی به شمار می‌رود (Reilly, 1999). همچنین گیاهان نسبت به عوامل محیطی از جمله دما

و میزان نزولات جوی و رطوبت به صورت ترکیبی واکنش نشان می‌دهند و تحت تأثیر مجموعه عوامل بیرونی و درونی، کلیه فعالیت‌های آن‌ها متأثر می‌شود (جعفری، ۱۳۹۱). اثرات تغییرات آب و هوایی همچون خشکسالی، در مناطق خشک که به‌طور طبیعی، میزان بارش و رطوبت خاک کمتری دارند، قابل توجه‌تر است (اسدی زارچ، ۱۳۹۶). تغییرات آب و هوایی موجب تغییر در مدت، شدت فرم و زمان بارش در مناطق مختلف کره زمین می‌شود که این مسئله می‌تواند موجب ایجاد خشکسالی‌ها و سیلاب‌هایی بشود که قبلاً شاهد آن نبودیم و نیز تغییر در حجم، زمان و مدت رواناب را به دنبال خواهد داشت که پیامد این اتفاق، در عرصه مدیریت منابع آب، تحولات و تغییرات بسیاری را به وجود خواهد آورد (ذهبیون و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین در پی تغییر در بارش، احتمال افزایش رخداد سیلاب وجود دارد (Milly et al., 2002). برآورد جریان رواناب و جریان رودخانه از پارامترهای مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب است (Zhang et al., 2016). لذا این قبیل موضوعات در مطالعات پیش‌نگری، در ایران که با محدودیت منابع آب مواجه است، بیش از سایر موضوعات، مورد توجه واقع شده است.



شکل ۴: فراوانی اهداف ضمنی در شبیه‌سازی‌های آب و هوایی

گزارش‌های IPCC، مدل‌های GCM و سناریوهای آب و هوایی: پیش‌تر اشاره شد که تا قبل از انتشار گزارش چهارم هیئت بین‌دولتی تغییر آب و هوا و اوایل دهه ۸۰ خورشیدی، تعداد شبیه‌سازی‌های آب و هوایی در کشور، بسیار اندک بوده و نیز این نکته دارای اهمیت است که تا قبل از سال ۱۳۸۵ (و ارائهٔ گزارش چهارم) مدل‌های GCM دقت کنونی را نداشتند. بدین جهت، مقالات مورد بررسی، بر اساس گزارش‌های ارائه دهندهٔ مدل‌های مورد مطالعه، به سه دسته تقسیم شدند که مشخص شد حجم اندکی از این مقالات از مدل‌های قبل از AR4 استفاده کرده اند و مدل‌های CMIP3 بیشترین سهم از مطالعات را به خود اختصاص داده‌اند. علت این امر را می‌توان در این جست که CMIP3 از زمان انتشار و حتی تا بعد از انتشار CMIP5 همچنان مورد توجه و استفاده‌ی پژوهشگران بوده است. شکل (۵) درصد استفاده از مدل‌های گزارش‌های مختلف را نشان می‌دهد.

شبیه‌سازی و استفاده از مدل‌ها در بررسی تغییرات آب و هوایی همواره با عدم قطعیت مواجه بوده است و باید به آنها توجه کرد. این عدم قطعیت دو دلیل اصلی دارد، نخستین علت مربوط به ساختار دینامیکی و گسسته‌سازی عددی مدل‌های GCM می‌باشد و دومین علت مربوط به میزان انتشار گازهای گلخانه ای و ناشی از سیاست‌های جوامع و رفتار اجتماعی است (Convey et al., 2003 و Reaney & Fowler, 2008). عدم قطعیت در مدل‌ها می‌تواند از ویژگی‌های آن باشد چرا که در صورت نبود عدم قطعیت، تکاملی هم وجود نخواهد داشت و عدم قطعیت به عنوان یکی از عناصر

اصلی موجب بهبود عملکرد در پروژه می‌شود (Perminova et al., 2008).

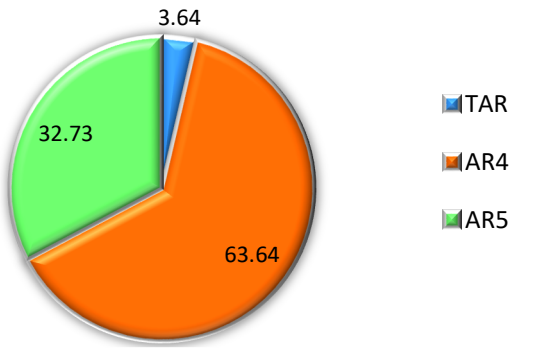
از آنجا که پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده، تحت تأثیر پدیده تغییراقلیم، به طور قطعی ممکن نمی‌باشد، راه‌حل جایگزین، مشخص کردن امکان رخداد گوناگون برای آن است که سناریوی اقلیمی نامیده می‌شود (مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). سناریوهای آب و هوایی، سناریوهایی هستند که وضعیت‌های ممکن آب و هوای آینده را نشان می‌دهند و دارای موضوع و زمینهٔ مشترکی هستند (شمسی‌پور، ۱۳۹۲ و حبیب‌نژاد روشن و همکاران، ۱۳۹۶). در گزارش‌های سوم و چهارم هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم، سناریوهای سری SRES[1] معرفی شدند (Nigel & Lioyd, 2014) 2014) و در گزارش پنجم IPCC هم سناریوهای واداشت تابشی RCP[2] معرفی شدند که پیش‌تر به معرفی آنها پرداخته شد. لذا ضروری بود که نحوهٔ به‌کارگیری این مدل و سناریوها توسط پژوهشگران، به لحاظ تعداد و فراوانی کاربست، بررسی شود. در بین ۱۱۰ مقالهٔ مورد مطالعه (که پیش‌تر توضیح داده شد) فقط تعداد ۴۳ مقاله یا به بیان دیگر، حدود ۳۹ درصد مقالات، در پژوهش خود، از تعداد بیش از یک مدل GCM بهره برده‌اند. در خصوص بهره‌گیری از سناریوهای متعدد نیز مشاهده شد که در بیش از ۷۰ درصد مطالعات، استفاده از سناریوهای مختلف، مد نظر بوده است، این موارد با ذکر درصد در شکل (۶) آورده شده است.

ریزمقیاس نمایی داده‌های شبیه‌سازی شده آب و هوایی: داده‌های خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، معمولا در شبکه‌های ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتری، اندازه‌گیری می‌شوند. تبدیل این داده‌های بزرگ مقیاس به داده‌های منطقه‌ای، محلی و ایستگاهی را ریزمقیاس نمایی می‌گویند (Xu, 1999). استفاده از مدل‌های گردش عمومی به علت تفکیک مکانی پایین، آنها را با محدودیت‌هایی مواجه ساخته که برای غلبه بر آن، روش‌های ریزمقیاس‌نمایی ابزار مفیدی برای کاهش این مشکل در مدل‌های جفت شده هستند (Gagnon et al., 2005). GCMها برای پیش‌بینی ویژگی‌های سامانهٔ آب و هوا در مقیاس کلان بسیار کاربردی هستند ولی کاربرد مستقیم آن‌ها برای مطالعاتی در مقیاس‌های کوچک‌تر و منطقه‌ای، با محدودیت قدرت تفکیک مکانی مواجه است و همواره تأکید شده برای غلبه بر این محدودیت، از تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده شود، این روش‌ها بدین منظور توسعه داده شده‌اند که خروجی‌های بزرگ‌مقیاس آب و هوایی را به متغیرهای جوی محلی مرتبط کنند (Liu et al., 2023).

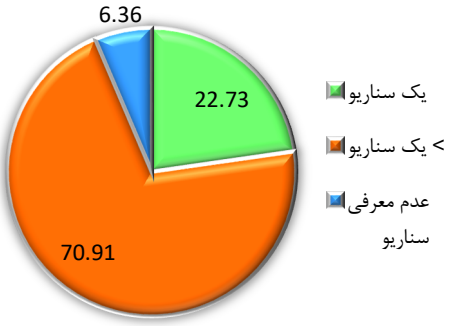
بدین منظور دو راهکار وجود دارد: ۱) ریزمقیاس‌نمایی آماری با استفاده از مدل‌های آماری و ۲) به‌کارگیری مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای. استفاده از مدل‌های دینامیکی با محدودیت زمانی اجرای مدل مواجه است ولی در روش آماری، در عرض چند ثانیه می‌توان ریزمقیاس‌نمایی را برای یک سایت یا ایستگاه مشخص برای چندین ده سال انجام داد و در مقایسه با روش‌های دینامیکی، هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تری دارد (شمسی‌پور، ۱۳۹۲). در پژوهش حاضر، مشخص شد که کاربست مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری، با سهم بسیار بیشتری از ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی در پژوهش‌ها، مورد توجه بوده است به طوری‌که، سهم ریزمقیاس‌نمایی آماری در مجموع، ۹۰,۴۸ درصد و دینامیکی ۹,۵۲ درصد بوده است.

در ادامه، میزان بهره‌مندی پژوهشگران، از هر روش ریزمقیاس‌نمایی به تفکیک مدل‌های مختلف، بررسی شد که نتایج نشان داد در بین روش‌های آماری، پُراستفاده‌ترین مدل، مدل LARS-WG و پس از آن، مدل SDSM بوده است (شکل ۷). در بین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی، از میان ۵ مدلِ استفاده شده در مقالات مورد مطالعه، مدل دینامیکی CORDEX بیش از سایر مدل‌ها، مورد توجه و استفاده واقع شده است (شکل ۸). در برخی مقالات، پژوهشگران به جهت ارزیابی دقیق‌تر و امکان مقایسه، از بیش از یک مدل ریزمقیاس‌نمایی استفاده کرده‌اند.

1. Special Report on Emission Scenarios (SRER
2. Representative Concentration Pathway (RCP)

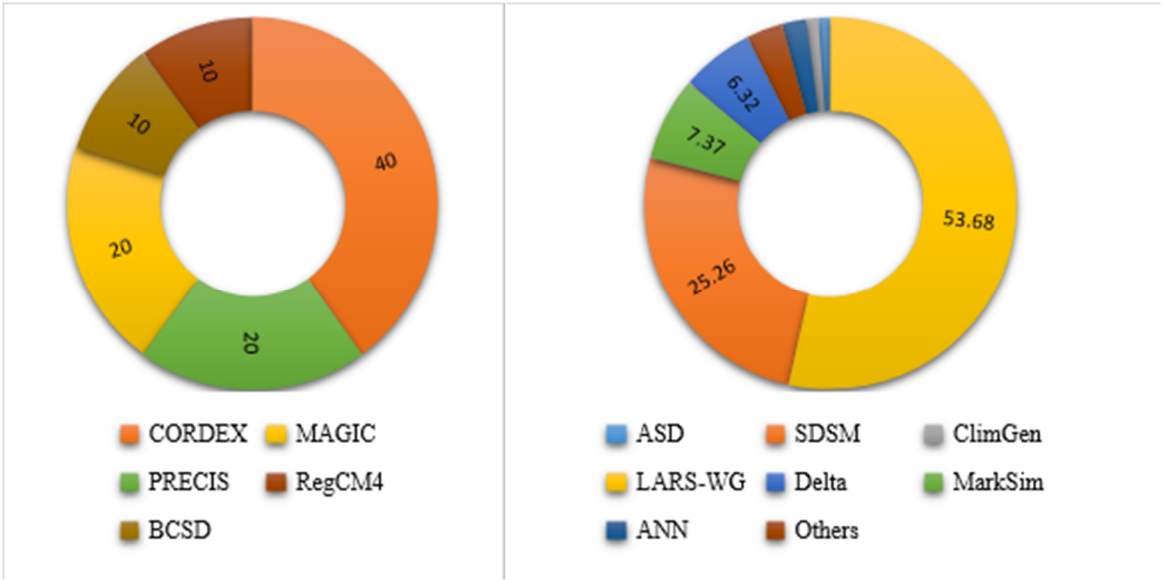


شکل ۵: سهم مدل‌های گزارش‌های IPCC



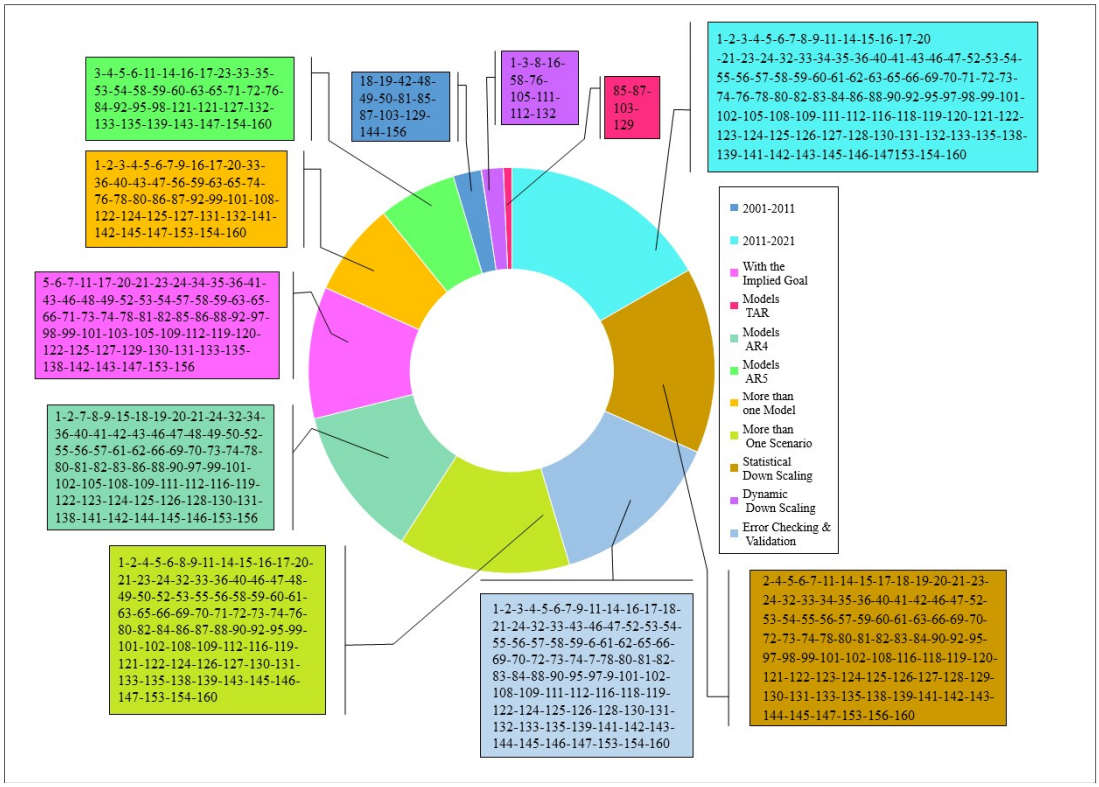
شکل ۶: میزان بهره‌گیری از سناریوهای انتشار

صحت‌سنجی در پژوهش‌ها: با توجه به عدم قطعیت مدل‌های آب و هوایی، بسیاری از پژوهشگران بر آنند تا میزان دقت و خطای موجود در مدل‌سازی‌ها را محاسبه نمایند تا با گزینش بهترین و دقیق‌ترین مدل‌ها، چشم‌انداز مناسب‌تری از شرایط آب و هوایی آینده ترسیم گردد. در این راستا، از شاخص‌ها، روابط و روش‌های آماری متعددی استفاده می‌شود و انجام این فرآیند، دقت کار پژوهشی را مشخص می‌سازد و گزینش مدل بهینه را میسر می‌کند. در مقالات مورد بررسی در پژوهش حاضر، مشخص شد که تعداد ۸۰ مقاله، یعنی ۷۲,۷۳ درصد مقالات، برای اطمینان از دقت مدل‌ها، با به کارگیری روش‌های متعدد، به صحت‌سنجی خروجی‌ها پرداخته و در نهایت دقت و عملکرد خروجی پژوهش خود را بررسی نموده و در صورت لزوم، به حذف خروجی‌هایی با میزان خطای بیش از انتظار، پرداخته‌اند. از جمله شاخص‌های مورد استفاده به این منظور، می‌توان به R2 (ضریب تعیین)، RMSE (ریشه دوم میانگین مربعات خطا)، Bias (ضریب اریبی خطا) ، NSE، (ناش- ساتکلیف) آزمون آماری T.Test (برآورد خطای موجود تصادفی) اشاره کرد. برخی آیتم‌های مقالات مورد بررسی در پژوهش حاضر که در انجام این پژوهش به آن‌ها استناد شده است، به صورت تفکیک شده و خلاصه در شکل (۹) آورده شده است.



شکل ۷: سهم مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری

شکل ۸: سهم مدل‌های ریزمقیاس نمایی دینامیکی



شکل ۹: منابع مروری در مطالعات پژوهش

بحث و نتیجه‌گیری

الف) محتوا و عملکرد کلی پژوهش‌ها: در این پژوهش، مشخص شد که پدیدهٔ تغییر آب و هوا و اهمیت پیامدهای آن، توجه پژوهشگران بسیاری را در ایران نیز به خود معطوف داشته و موجب شده با در نظرگیری اهداف بلندمدت به منظور برنامه‌ریزی‌های دقیق تر در تمام ابعاد جوامع بشری و بخش‌های مختلف محیط زیست و ... پژوهش‌های متعددی در زمینهٔ شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی دوره‌های زمانی آینده انجام گیرد و این مطالعات در برگیرندهٔ بیشتر مناطق کشور بوده و مطالعاتی بر روی تمام استان‌های کشور صورت پذیرفته است. همچنین مشاهده شد که با آشکارتر شدن پیامدهای تغییرات آب و هوایی و نیز با انتشار مدل‌ها و سناریوهای دقیق‌تر، رشد کمی پژوهش‌های این حوزه، فزونی یافته است. با توجه به خروجی این مقالات مشخص شد که هر چه فاصله زمانی، از زمان حال حاضر، بیشتر شود، تغییرات پارامترها شدیدتر خواهد شد که این مورد می‌تواند علاوه بر گسترش انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی شدیدتر، به بحث عدم قطعیت مدل‌ها مرتبط باشد. نکتهٔ حائز اهمیت دیگر در این مقالات این بود که با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و مشکلات ناشی از کمبود بارش، مسائلی که به‌طور مستقیم متأثر از تغییرات آب و هوایی خواهند بود و موجب بروز مخاطرات اقلیمی و به دنبال آن اقتصادی خواهند شد، از جمله خشکسالی و کشاورزی بیشتر مورد توجه بوده‌اند. مطلوبیت مدل‌ها و عملکرد مناسب آن‌ها در بسیاری از پژوهش‌ها تأیید شده است و به ویژه مقالاتی که پس از انجام شبیه‌سازی به بررسی میزان خطا و دقت داده‌های شبیه‌سازی شده پرداخته‌اند، می‌توانند کارایی مدل‌ها را تأیید کرده و به اثبات برسانند و نیاز به مطالعات و شبیه‌سازی‌هایی از این قبیل، به ویژه با مشخص شدن کارایی مدل‌های GCM، مشخص می‌سازند. بررسی‌ها نشان داد که از بین مدل‌های CMIP3، مدل HadCM3 و بعد از آن، مدل IPCM4 و

نیز از بین مدل‌های CMIP5، دو مدل CanESM2 و HadGEM2-ES بیش از سایر مدل‌های GCM در مطالعات و پیش‌نگری‌ها مورد استفاده واقع شده‌اند. به این ترتیب کاربست سایر مدل‌های معرفی شده در گزارش‌های مختلف IPCC می‌تواند به پژوهشگران امکان مقایسه و انتخاب مناسب‌ترین مدل‌ها را در هر منطقه دهد.

ب) تغییرات محتوایی پژوهش‌ها: مقایسهٔ محتوا و موضوع‌های مورد مطالعه در پژوهش‌های شبیه‌سازی آب و هوایی در دو دهه‌ی ۸۰ و ۹۰ خورشیدی که خروجی نهایی آن به صورت نمودار در شکل (۱۰) آورده شده است، نشان می‌دهد که در نخستین دهه‌ای که پژوهشگران، اقدام به شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی دوره‌های زمانی آتی نموده‌اند، در بیش از ۸۴/۶ درصد از مقاله‌ها، تنها از یک مدل GCM بهره‌گیری شده و حتی در پژوهش‌هایی که شبیه‌سازی با بیش از یک GCM بوده نیز، مقایسه میان خروجی چند مدل، نادیده انگاشته شده است. در دهۀ ۹۰، افزایش به‌کارگیری چندین مدل GCM و در نهایت افزایش مطالعات مقایسه‌ای مدل‌ها و گزینش مدل‌های گردش عمومی دقیق‌تر مشاهده می‌شود ولیکن همچنان در دهۀ ۹۰ بیش از نیمی از پژوهش‌ها بر بهره‌مندی از یک مدل GCM اتکا دارند. تأکید بر کاربست هم‌زمان چند مدل بدین دلیل است که علیرغم پیشرفت‌های به دست آمده در مدل‌سازی‌ها و افزایش دقت آن‌ها، بهره‌گیری همزمان از خروجی‌های چندین مدل، امکان ارزیابی و برگزیدن کارآمدترین مدل در هر منطقه را به دست می‌دهد. هم‌چنین بررسی GCMها در مناطق گوناگون و ارزیابی عملکرد آنها با شرایط آب و هوایی مشاهداتی؛ موجب کاهش عدم قطعیت پیش‌نگری‌ها می‌شود (Ahmadalipour et al., 2017).

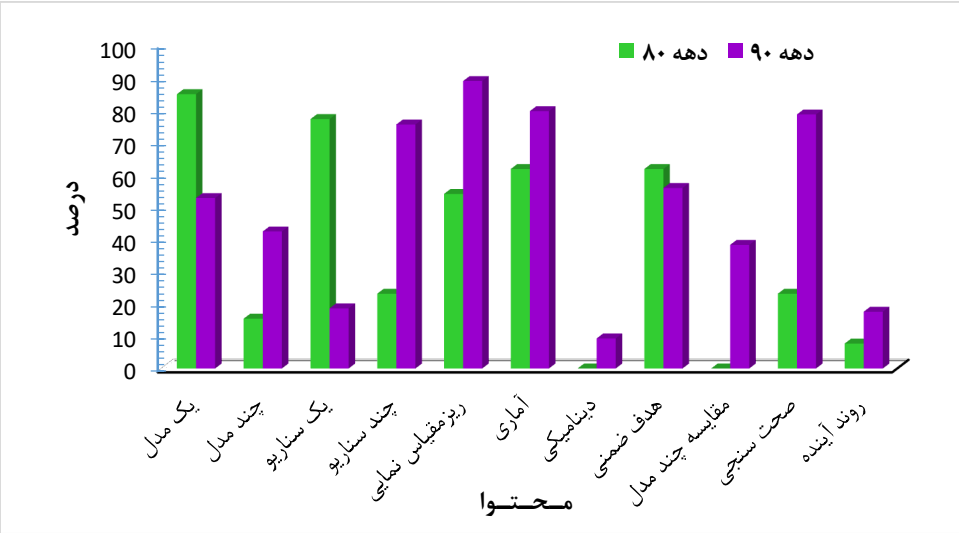
در بحث کاربست سناریوها نیز اهمیت به‌کارگیری چند سناریو، موجب افزایش چشم‌گیر بهره‌گیری از چند سناریو در دهۀ ۹۰ شده در حالی‌که بیش از ۸۰ درصد پژوهش‌های دهۀ ۸۰ یک سناریو را برای مطالعه در نظر داشته‌اند. چنان‌که نتایج ارزیابی پژوهشگران دیگر در سطح بین‌الملل نیز روشن ساخته است که به کارگیری چندین GCM و چند سناریو به جای استفاده از یک GCM، عدم قطعیت مرتبط با نتایج را کاهش می‌دهد (Chokkavarapu & Mandla, 2019) و ناهمگونی میان GCMها و سناریوهای مختلف در مطالعات نشان می‌دهد که اتکای زیاد بر یک GCM و یا یک سناریو می‌تواند منجربه برنامه‌ریزی و پاسخ‌های سازگاریِ نامناسب شود (Mujumdar & Ghosh, 2008).

از زمان انجام نخستین پژوهش‌های شبیه‌سازی آب و هوایی در ایران، با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن خروجی مدل‌های GCM، پژوهشگران اقدام به ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها کرده‌اند؛ علیرغم این‌که کاهش مقیاس یک گام کلیدی برای درک پیامدهای اقلیمی آینده در سطح محلی است (Keller et al., 2022) حدود ۴۶ درصد از پژوهش‌های دهۀی ۸۰ خورشیدی از این امر غافل بوده‌اند و با توسعه‌ی مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، در دهۀ ۹۰ خورشیدی بخش عمدۀ پژوهش‌های شبیه‌سازی آب و هوای آینده در ایران نیز از این فرآیند بهره برده‌اند که منجر به شکل‌گیری مطالعات دقیق‌تری در سطح استان، شهر و ... شده است. از میان دو رویکرد کلی (آماری و دینامیکی) برای کاهش مقیاس (که پیش‌تر با جزئیات تفکیک شدند) روش‌های آماری به دلایلی همچون توان سریع محاسباتی و دسترسی و خروجی مناسب، بیشتر مورد توجه پژوهشگران بوده‌اند.

همواره در پژوهش‌های شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی آینده، علاوه بر پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی و تحلیل آنها، پژوهشگران، ارزیابی پیامدهای تغییرات این پارامترها را نیز مورد توجه قرار داده‌اند که در پژوهش حاضر، تحت عنوان "هدف ضمنی" مورد بررسی قرار گرفته است. به علت شرایط آب و هوایی کشور ایران که در غالب طبقه‌بندی‌ها به طور میانگین، نیمه خشک و خشک ارزیابی می‌شود و همواره با چالش کمبود منابع آب در دسترس مواجه است؛ اهداف ضمنی و پیامدهای مورد مطالعه در دهۀ ۸۰ خورشیدی معطوف به سه موضوع جریان‌های سطحی،

خشکسالی و کشاورزی بوده‌اند و سایر پیامدها در دهۀ ۹۰ مورد توجه واقع شده‌اند.

همان‌گونه که پیش‌تر توضیح داده شد، یکی از چالش‌های مهم در امر شبیه‌سازی و پیش‌نگری آب و هوایی، موضوع عدم قطعیت است بنابراین پرداختن به فرآیند صحت‌سنجی و ارزیابی خطای مدل‌سازی می‌تواند دقت مطالعه و کارکرد آن را افزایش دهد. این نوع ارزیابی در دهۀ ۸۰ خورشیدی سهم ۲۳ درصدی از کل پژوهش‌ها را داشته که در یک دهۀ اخیر به بیش از ۷۸ درصد رسیده است. سوژۀ مورد مطالعۀ دیگر در پژوهش حاضر، بررسی مقالاتی بود که پس از پرداختن به شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی آینده، روند تغییرات برای آن دوره زمانی را نیز مطالعه کرده باشند، بررسی‌ها نشان داد در میان مقاله‌های مورد مطالعۀ هر دو دهه، تعداد محدودی از آنها به محاسبه و تحلیل روند تغییرات اقلیمی پرداختند و با افزایش میزان سهم چنین مطالعاتی در دهۀ ۹۰، همچنان ۸۲/۴۷ درصد از این مقاله‌ها، تحلیل روند را در پژوهش خود نداشته‌اند.



شکل ۱۰: مقایسه محتوای پژوهش‌های دو دهۀ ۸۰ و ۹۰ خورشیدی

جمع‌بندی

ارزیابی پژوهش‌های صورت گرفته در حوزۀ شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی دوره‌های زمانی آتی به لحاظ روش‌های مورد توجه پژوهشگران و نقاط قوت و ضعف آنها، آشکار ساخت که در یک دهۀ اخیر نسبت به دهۀ نخستِ انجام پژوهش‌های شبیه‌سازی آب و هوایی، پژوهش‌هایی با امکان مقایسه میان چندین مدل GCM، رشد قابل‌توجهی یافتند که به انجام مطالعاتی دقیق‌تر کمک شایانی نموده است چراکه این قبیل پژوهش‌ها، با مقایسه میان عملکرد چندین مدل در منطقه‌ی مورد مطالعه، امکان گزینش مناسب‌ترین مدل را فراهم می‌کنند. ولی نادیده‌انگاری مقایسه میان خروجی چند مدل مورد مطالعه در نیمی از پژوهش‌های این حوزه، موجب شده است که نتایج آنها شامل مدل برگزیده و ترسیم کم‌خطاترین چشم‌انداز آتی نباشد. به موازات توسعه‌ی روزافزون مدل‌های آب و هوایی و رویکردهای شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی آینده تحت سناریوهای گوناگون و برآورد پیامدهای تغییرات آب و هوایی در دورۀ زمانی آینده در سطح بین‌الملل، در داخل کشور ایران نیز کمیت و کیفیت پژوهش‌ها توسعه یافته است. برای کاهش و به حداقل رساندن عدم قطعیت در مدل‌ها، در گزارش‌های IPCC و نیز تحلیل‌ها و نتایج کار پژوهشگران در عرصۀ بین‌الملل، استفاده از چندین مدل GCM و سناریوهای انتشار در بهره‌گیری از این مدل‌ها همواره توصیه شده

است (Semenov & Wang et al., 2020; IPCC; Hulme, 2000; Stratonovitch, 2010).

به لحاظ پراکندگی مکانی، نمی‌توان الگوی خاصی برای پژوهش‌های مورد مطالعه در استان‌ها و حوزه‌های گوناگون کشور، در نظر گرفت ولی مشخص شد دو استان آذربایجان شرقی و خراسان رضوی، بیش از سایر استان‌ها مورد توجه پژوهشگران برای پژوهش‌های شبیه‌سازی آب و هوایی بوده‌اند. ولی آنچه بسیار حائز اهمیت است، توجه گسترده به پیامدهای تغییرات آب و هوایی بر مباحث مربوط به آب، رخداد خشکسالی و فعالیت‌ها کشاورزی است؛ علت این امر می‌تواند مربوط به کمبود میزان بارش و به بیان کلی، شرایط آب و هوایی ایران و لزوم پیش‌نگری به جهت جلوگیری از به خطر افتادن امنیت غذایی و مخاطرات ناشی از تغییرات میزان بارش دریافتی و تغییر در پارامترهای دمایی باشد. چراکه تغییرات آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های انسانی، ازجمله افزایش کربن دی اکسید، دما و کمبود آب، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر تولید محصولات منطقه‌ای و جهانی داشته باشد (Wang et al., 2021) و نیاز آبی محصولات کشاورزی، با تغییرات آب وهوایی دستخوش تغییر می‌شود (Cooper & Pilkey, 2004).

پیشرفت چشمگیر صحت‌سنجی خروجی مدل‌های GCM در دهۀ ۹۰ نسبت به دهۀ نخست، بسیار درخور توجه است، کمااین‌که در سطح بین‌الملل نیز همزمان با پژوهش‌های دهۀ ۸۰ خورشیدی، بسیاری از پژوهش‌ها غافل از ارزیابی صحت و خطای مدل‌ها بوده‌اند چنان‌که در مطالعاتی هم‌چون پژوهش حاضر، به آنها اشاره شده است، برای مثال: اگرچه صحت‌سنجی مدل، اغلب بدیهی به شمار می‌رود، بسیاری از پژوهش‌های منتشر شده -در سطح بین‌الملل- به این موضوع توجه کافی ندارند و در نتیجه، مدل‌هایی به دست می‌آیند که اعتبار لازم را ندارند (Kat & Els, 2012). پژوهش حاضر به گواه نمونه‌های مورد مطالعه، نشان داد که همچنان ۲۱/۶۵ درصد پژوهش‌های این حوزه فاقد انجام فرآیند صحت‌سنجی هستند که فقدان این نوع ارزیابی، در صورت مطلوب بودن خروجی نیز میزان اطمینان آن را اثبات نمی‌کند و امکان بهره‌برداری کاربردی از آن دسته پژوهش‌ها را کاهش می‌دهد. لذا توصیه می‌شود در پژوهش‌های آتی، توجه بیشتری به آماره‌های صحت‌سنجی صورت گیرد و به خروجی‌هایی با خطای بالا، استناد نشود و مبنای پژوهش‌های پس از خود، قرار نگیرند. تحلیل روند، یکی از مهم‌ترین اندازه‌گیری‌ها در مطالعۀ داده‌های سری زمانی است و با توجه به سهم اندک این نوع مطالعه در پژوهش‌های شبیه‌سازی شرایط آب و هوایی دوره‌های زمانی آینده که در قسمت‌های پیشین تشریح شد، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های پیش‌رو، بیش از گذشته مورد توجه واقع شود.

منابع

۱. آقاخانی افشار، امیرحسین، یوسف حسن‌زاده، علی‌اصغر بسالت‌پور و محسن پوررضا بیلندی. (۱۳۹۵). استفاده از سناریوی انتشار RCP8.5 برای برآورد تغییرات اقلیمی حوضه آبخیز کشف‌رود با استفاده از مدل‌های MIROC-ESM و CCSM4. *نهمین کنگره ملی مهندسی عمران*. دانشگاه فردوسی مشهد.

۲. احمدی، حمزه، غلامعباس فلاح قالهری و محمد باعقیده. (۱۳۹۸). پیش‌نگری اثرات تغییراقلیم بر بارش فصلی مناطق سردسیر ایران بر اساس سناریوهای واداشت تابشی (RCP). *فیزیک زمین و فضا*. ۴۵(۱): ۱۷۷-۱۹۶.

۳. احمدی، محمد، قاسم عزیزی و پرویز کردوانی. (۱۳۹۸). پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر درجه‌ی روزهای نیاز سرمایشی در ایستگاه‌های منتخب استان ایلام. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۵۱ (۲): ۲۸۳-۳۰۰.

۴. احمدی، محمود، عباسعلی داداشی رودباری و آیدا دیرمجائی. (۱۳۹۹). برآورد رواناب با استفاده از مدل IHACRES بر اساس داده‌های ماهواره‌ای CHIRPS و مدل‌های CMIP5 (مطالعه موردی: حوضه آبخیز

گرگانرود – منطقه آق قلا). *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۱ (۳): ۶۵۹-۶۷۱.

۵. احمدی، محمود و اکبر زهرایی. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر یخبندان‌های زاهدان با استفاده از مدل‌های سه بعدی گردش عمومی جو. *پژوهش‌های دانش زمین*. ۵(۲۰): ۲۹-۴۴.

۶. اخوان، سمیرا، نسرین دلاور، عبدالمحمد محنت‌کش و اکرم دلاور. (۱۳۹۴). مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3 و INCM3) در پیش‌بینی دما و بارش کوهرنگ. *کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران*.

۷. اذعانی، آزاده، شهاب عراقی‌نژاد و بهزاد شیفته صومعه. (۱۳۸۹). بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آبی استان مازندران. *اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری*.

۸. اسدی زارچ، محمدامین. (۱۳۹۶). بررسی چگونگی اثرگذاری تغییر اقلیم بر وقوع خشکسالی در استان یزد. *مدیریت بیابان*. ۹: ۷۴-۹۰.

۹. اسماعیلی، رضا، امیر گندمکار و حسنعلی غیور. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی میزان تغییرات اقلیمی از دیدگاه کشاورزی در دوره اقلیمی آینده مطالعه موردی: استان خراسان رضوی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۲۲ (۱): ۳۵-۵۲.

۱۰. اکبری، مهری و معصومه مقبل. (۱۳۹۱). مطالعه تغییرات دمایی ایران در گذشته و پیش بینی روند آتی آن. *فصلنامه جغرافیا*. ۵(۲۱ و ۲۲): ۸۳-۹۳.

۱۱. اسکانی کزازی، غلامحسین. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب حوضه آبریز کارون بزرگ و مدیریت بحران _مورد شهر اهواز). *فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*. ۷(۱): ۲۳۵-۲۴۲.

۱۲. امیدوار، کمال، رضا ابراهیمی، مرضیه جمشیدی مطلق و قاسم لکزاشکور. (۱۳۹۵). دورنمای اثر گرمایش جهانی بر تغییرات مکانی – زمانی یخبندان‌های کشور. *مخاطرات محیط طبیعی*. ۵ (۸): ۹۷-۱۲۲.

۱۳. ایرانی، مریم، علیرضا مساح بوانی، اصغر بهلولی و حمید علیزاده کتک لاهیجانی. (۱۳۹۶). بالا آمدن سطح آب خلیج فارس و دریای عمان تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های آتی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۴۹ (۴): ۶۰۳-۶۱۴.

۱۴. بابائیان، ایمان، آذر رضایی‌پور و زهرا آهنگرزاده. (۱۳۹۳). شبیه سازی نمایه آسایش اقلیمی در استان خراسان رضوی تحت سناریوهای تغییراقلیم. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. ۵ (۱۸): ۹۵-۱۱۲.

۱۵. بابایان، ایمان و زهرا نجفی نیک. (۱۳۸۹). تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره‌ی ۲۰۱۰-۳۹. با استفاده از ریزگردانی خروجی الگوی GCM. *جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای*. ۱۵: ۱-۱۹.

۱۶. بابائیان، ایمان، زهرا نجفی نیک، فاطمه زابل عباسی، مجید حبیبی نوخندان، حامد ادب و شراره ملبوسی. (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌ی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. *جغرافیا و توسعه*. ۱۶: ۱۳۵-۱۵۲.

۱۷. بحری، معصومه و محمدتقی دستورانی. (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۲۲: ۳۷-۵۷.

۱۸. بهیار، محمدباقر، مرضیه خیراندیش و محمدتقی زمانیان. (۱۳۹۲). بررسی تأثیرات تغییراقلیم بر شماره روز اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره در ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی SDSM. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۴ (۱۵ و ۱۶): ۱۱۷-۱۲۸.

۱۹. بیاتانی، فاطمه، غلامعباس فلاح قالهری، مختار کرمی و جواد طایی سمیرمی. (۱۳۹۹). اثرات تغییر اقلیم بر میزان ریسک تنش سرما در الگوی کشت پاییزه سیب زمینی (مطالعه موردی: مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری استان کرمان). *مخاطرات محیط طبیعی*. ۹ (۲۴۹: ۶۳-۷۸.

۲۰. پورمحمدی، سمانه، محمدتقی دستورانی، علیرضا مساح بوانی و هادی جعفری. (۱۳۹۶). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه‌ی آبخیز تویسرکان به کمک مدل‌های گردش عمومی جو. هیدروژئومورفولوژی. ۱۲: ۸۹-۱۱۰.

۲۱. تیرگر فاخری، فاطمه، بهلول علیجانی، پرویز ضیاییان فیروزآبادی و مهری اکبری. (۱۳۹۶). شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف تحت سناریوهای تغییر اقلیم در حوضه‌ی ارمند. *اکوهیدرولوژی*. ۴ (۲): ۳۵۷-۳۶۸.

۲۲. ثانی‌خانی، هادی، یعقوب دین‌پژوه، سعید پوریوسف، سروین زمانزاد قویدل و بهاره صولتی. (۱۳۹۲). بررسی

اثرات تغییراقلیم بر رواناب حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان شرقی). *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۹. ۲۷(۶): ۱۲۲۵-۱۲۳۴.

۲۳. جعفرزاده، فاطمه، علی‌محمد خورشید دوست، بهروز ساری صراف و باقر قرمز چشمه. (۱۳۹۷). مدل‌سازی تغییرات آتی بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر تحت شرایط تغییر اقلیم. *تحقیقات جغرافیایی*. ۳۳ (۳): ۱۰۶-۱۲۳.

۲۴. جعفری، قربان، اسماعیل شاهکویی و عبدالعظیم قانقرمه. (۱۳۹۷). پیش‌بینی خشکسالی‌های استان خراسان شمالی با مدل HadCM3 و شاخص‌های SPI و RDI. *آمایش جغرافیایی فضا*. ۸(۳۰): ۱۵۹-۱۷۴.

۲۵. جعفری، مصطفی. (۱۳۹۶). *اقدامات، ساختار تحقیقاتی و آثار علمی چاپ شده در زمینه تغییرات اقلیمی در بیش از بیست سال گذشته*. انتشارات حکمت روزآمد.

۲۶. جعفری، مصطفی. (۱۳۹۳). تغییرات و آسیب‌پذیری تولید خالص اولیه در اکوسیستم‌های جنگلی، مرتعی و بیابانی ایران متأثر از تغییرات اقلیمی. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*. ۲۱ (۱): ۱۳۹-۱۵۳.

۲۷. جلالی چیمه، زهرا سادات، امیر گندمکار، مرتضی خداقلی و حسین بتولی. (۱۴۰۰). تحلیل تغییرپذیری فضایی پهنه‌های آگروکلیمایی کشت گیاه گل محمدی تحت خط سیرهای چهارگانه انتشار دی اکسید کربن، مطالعه موردی: شمال اصفهان. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۲۱(۶۲): ۲۸۱-۲۹۸.

۲۸. جوادی *زاده*، فرشاد، پرویز کردوانی، بهلول علیجانی و فریده اسدیان. (۱۳۹۷). کارایی الگوهای مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش-بینی پارامترهای دمایی در حوضه آبریز میناب. *جغرافیای طبیعی*. ۱۱ (۴۲): ۴۷- ۶۶.

۲۹. جهانگیر، محمدحسین، اقبال نوروزی و یزدان یاراحمدی. (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شهرستان بروجرد در ۲۰ سال آتی با استفاده از مدل .Hadcm3. *اکوهیدرولوژی*. ۵(۴۹): ۱۳۴۵-۱۳۵۳.

۳۰. حبیب‌نژاد روشن، محمود و کاکا شاهدی و هادی رزاقیان و مجید حبیبی نوخندان. (۱۳۹۶). ارزیابی تغییر اقلیم حوضه آبخیز بابلرود در دو دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3. فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. ۱۷ (۵۸): ۲۲۷-۲۴۲.

۳۱. حجازی‌زاده، زهرا، محمد سلیقه و صمد کمالی. (۱۳۹۵). آشکارسازی تغییر اقلیم منطقه خلیج فارس با استفاده از داده‌های خروجی مدل CGCM.A1B. *جغرافیای طبیعی*. ۹ (۳۴): ۱-۲۳.

۳۲. حجازی‌زاده، زهرا، سید محمد حسینی و علیرضا کربلائی دری. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان سمنان با سناریوهای مدل گردش عمومی جو (Hadcm3). *جغرافیا و مخاطرات* محیطی. ۱۵: ۱-۲۴.

۳۳. حسین‌آبادی، سعیده، مصطفی یعقوب‌زاده، مهدی امیرآبادی‌زاده و مهدیه فروزان‌مهر. (۱۳۹۹). ارزیابی خشکسالی هواشناسی در دوره‌های آتی به کمک داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شهرستاهای زابل و شیراز). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. ۱۰ (۴۰): ۷-۸۷.

۳۴. حمیدیان‌پور، محسن، محمد باعقیده و محسن عباس‌نیا. (۱۳۹۵). ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۹۹. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۴۸ (۱): ۱۰۷-۱۲۳.

۳۵. حیدری، حمیدرضا، فریده گلبابایی، علی‌اکبر شمسی‌پور و عباس رحیمی فروشانی. (۱۳۹۸). بررسی روند تغییرات دمایی در دهه‌های آتی با تأکید بر استرس‌های گرمایی در محیط‌های روباز کشور. *سلامت کار ایران*. ۱۶ (۲): ۳۳-۴۷.

۳۶. حیدری بنی، مهران، حجت الله یزدان پناه و عبدالمحمد محنت کش. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد و مراحل فنولوژیکی کلزا (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۵۰ (۲): ۳۷۳-۳۸۹.

۳۷. حیدری تاشه کبود، شادیه و یونس خوشخو. تصویرسازی و پیش‌بینی تغییرات آتی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های فصلی و سالانه در غرب ایران بر اساس سناریوهای انتشار RCP. (۱۳۹۸) *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۱۹ (۵۳): ۱۵۷-۱۷۶.

۳۸. حیدری تاشه‌کبود، شادیه و عباس مفیدی و اکبر حیدری تاشه کبود. (۱۳۹۸). چشم انداز تغییرات بارش در شمال‌غرب ایران با استفاده از مدل‌های

گردش کلی جو تحت سناریوهای اقلیمی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۲۹: ۱۳۳-۱۵۱.

۳۹. خزانه‌داری، لیلی، فاطمه زابل عباسی، شهرزاد قندهاری، منصوره کوهی و شراره ملبوسی. (۱۳۸۸). دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده. *جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای*. ۱۲: ۸۳-۹۹.

۴۰. خسروی، محمود، تقی طاوسی و اکبر زهرایی. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی تغییرات آب و هوای استان سیستان و بلوچستان با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو (GCM) برای دوره آب و هوای (۲۰۰۹-۲۰۴۰). *تحقیقات جغرافیایی*. ۳۰ (۳): ۱۸۵-۲۰۶.

۴۱. خورانی، اسدا.. و شهربانو منجذب مرودشتی. (۱۳۹۳). بررسی آثار تغییر اقلیم بر میزان بازدید از جزیره‌ی هنگام. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۴۶ (۱): ۱۰۹-۱۲۲.

۴۲. دسترنج، علی، علی شهبازی، محسن محسنی ساروی، ابوطالب صالحنسب و شیرکو جعفری. (۱۳۹۵). مدل‌سازی اقلیم و مقایسه تغییرات پارامترهای اقلیمی در جبهه شمالی و جنوبی البرز با استفاده از مدل SDSM. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. ۱۰ (۳۲): ۱۱-۲۶.

۴۳. دشت بزرگی، آمنه و بهلول علیجانی و زین‌العابدین جعفرپور و علیرضا شکیبا. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهای RCP. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۶: ۱۰۵-۱۲۳.

۴۴. دشتی، قادر، پریا باقری، اسماعیل پیش‌بهار و ابوالفضل مجنونی. (۱۳۹۷). ارزیابی تأثیر تغییراقلیم بر تبخیر-تعرق عملکرد گندم دیم در شهرستان اهر. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. ۲ (۱۲): ۴۰۹-۴۲۳.

۴۵. دلاور، مجید، ام السلمه بابایی و ابراهیم فتاحی. (۱۳۹۳). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۵ (۱۹ و ۲۰): ۵۳-۶۵.

۴۶. دلیل صفایی، سپهر، بهمن مشتاقی و محمدحسین نیک سخن. (۱۳۹۴). آب و تغییر اقلیم: بررسی اثر اقلیم بر دما و بارش شهر ایلام، با کمک مدل LARS-WG5.5و آزمون نموداری من-کندال. *کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. دانشگاه تهران*.

۴۷. دهقانی، طیبه، محمد سلیقه و بهلول علیجانی. (۱۳۹۷). اثر تغییر اقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمالی خلیج فارس. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۱۸ (۴۹): ۷۵-۹۱.

۴۸. ذکی زاده، میربهروز و محمد سلیقه و محمدحسین ناصرزاده و مهری اکبری. (۱۳۹۷). تحلیل آماری و سینوپتیکی موثرترین الگوی رودباد ایجاد کننده بارش‌های سنگین ایران. *مخاطرات محیط طبیعی*. ۷ (۱۵): ۳۱-۴۸

۴۹. ذوالفقاری، حسن و حمید رحیمی و روح ا... اوجی. (۱۳۹۶). ارزیابی اثر تغییراقلیم بر درجه-روزهای گرمایشی و سرمایشی ایران. *جغرافیا و پایداری محیط*. ۷ (۲۱): ۱-۲۰

۵۰. ذهبیون، باقر، محمدرضا گودرزی و علیرضا مساح بوانی. (۱۳۸۹). کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۱ (۳ و ۴): ۴۳-۵۸.

۵۱. رحیمی بندرآبادی، سیما. (۱۳۹۹). چشم‌انداز اثرات تغییر اقلیم بر جریان کمینه حوضه کرخه، افق ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۱۲ (۱): ۲۹۸-۳۱۷.

۵۲. رحیمی بندرآبادی، سیما، سعید جهانبخش اصل . بهروز ساری صراف. (۱۳۹۸). ارزیابی ریزمقیاس نمایی دینامیکی برای مطالعه تغییرات اقلیمی در حوضه کرخه. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۱۱(۳): ۶۳۳-۶۴۹.

۵۳. رضائی، مریم، محمد نهتانی، علیجان آبکار، معصومه رضائی و مهری میرکازهی ریگی. (۱۳۹۳). بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم). *مدیریت حوزه آبخیز*. ۵ (۱۰): ۱۱۷-۱۳۱.

۵۴. رعیت پیشه، فاطمه و سید ابوالفضل مسعودیان. (۱۳۹۴). واکاوی روند گسترده متأثر از تغییر اقلیم در ایران طی دهه‌های اخیر. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۴: ۲۱-۳۴.

۵۵. روشن، غلامرضا، رویا سادات موسوی و اصغر کامیار. (۱۳۹۱). ارتباط‌سنجی تأثیر گرمایش جهانی بر کیفیت آب در خروجی حوضه آبریز گرگانرود با تأکید بر عنصر بارش. *آمایش جغرافیایی فضا*. ۲ (۵): ۱۱۷-۱۳۳.

۵۶. زهیری، زهره، رضا قضاوی، ابراهیم امیدوار و علی‌اکبر داودی‌راد. (۱۳۹۹). مقایسه‌ی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM در پیش‌بینی تغییرات دما و بارش تحت سناریوهای RCP. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. ۱۰ (۴۰): ۳۹-۵۲.

۵۷. ساری صراف، بهروز، علی‌محمد خورشید دوست، پیمان محمودی و محمد دارائی. (۱۳۹۶). دورنمایی از تغییرات فراوانی روزهای یخبندان در ایران با مدل‌های گردش عمومی جو. *جغرافیای طبیعی*. ۴۹(۴):۵۷۱-۵۸۴.

۵۸. سالاری فنودی، محمدرضا، محمود خسروی، تقی طاوسی و محسن حمیدیان‌پور. (۱۳۹۹). مقایسه و ارزیابی دقت داده‌های بارش پایگاه کوردکس با داده‌های ایستگاهی (موردکاوی: بارش تابستانه جنوب‌شرق ایران). *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۱۱ (۴۳): ۱۵-۳۲.

۵۹. سبحانی، بهروز و اکبر گل دوست. (۱۳۹۷). پیش‌بینی تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندان‌های استان اردبیل با استفاده از خروجی مدل اقلیمی HADCM3. *تحقیقات جغرافیایی*. ۳۳ (۲۹: ۱۹۱-۲۰۵.

۶۰. سبحانی، بهروز و فخری سادات فاطمی‌نیا. (۱۳۹۳). مدل‌سازی فراسنج‌های اقلیمی استان خراسان جنوبی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۴۶ (۳): ۳۱۱-۳۳۲.

۶۱. سلطان‌پور، کارو و مسعودرضا حسامی کرمانی. (۱۳۸۷). ریزمقیاس‌نمایی بارندگی در تهران، ایران. *اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب ایران. زابل*.

۶۲. سلمانی، افسانه و فیروز مجرد. (۱۳۹۸). رابطه‌ی متغیرهای آب و هوایی با مصرف برق و پیش‌بینی تقاضای برق با مدل‌های گردش عمومی جو در غرب ایران. *جغرافیای طبیعی*. ۵۱(۲): ۳۰۱-۳۱۵.

۶۳. سهراب‌نیا، نیما، بهلول علیجانی و مهری اکبری. (۱۳۹۹). مدل‌سازی آبدهی روخانه‌های حوضه‌های منتخب استان گیلان در دوره تغییر اقلیم. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ۷ (۲): ۱۲۱-۱۳۶.

۶۴. سیدعبداللهی، مریم، بهلول علیجانی، قاسم عزیزی و فریده اسدیان. (۱۳۹۸). اثر تغییر اقلیم بر فنولوژی بادام در استان چهارمحال و بختیاری. *مخاطرات محیط طبیعی*. ۸ (۲۲): ۴۱-۵۸.

۶۵. شاهکویی، اسماعیل و غلامرضا روشن. (۱۳۹۲). تغییرات زمانی درجه-روز مورد نیاز گیاه سویا بر مبنای دگرگونی‌های اقلیمی دهه‌های آینده مطالعه موردی شهرستان گرگان. *آمایش جغرافیایی فضا*. ۳(۷): ۵۱-۶۶.

۶۶. شرقی، الناز، وحید نورانی و فرشاد آقایی لاهرودی. (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات تغییراقلیم روی پارامترهای دما و بارش ایستگاه نبریز در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ با استفاده از مدل LARS-WG و روش عامل تغییر. *شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران*: ۱-۱۰.

۶۷. شهابفر، علیرضا و علی قیامی.(۱۳۸۰)،پیش بینی درازمدت متغیرهای اقلیمی توسط مدلهای رقومی گردش عمومی و روشهای تبدیل مقیاس خروی های این مدلها از مقیاس جهانی به منطقه ای. *اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب*. زابل.

۶۸. شمسی پور، علی اکبر. (۱۳۹۲). *مدلسازی آب و هوایی*. انتشارات دانشگاه تهران.

۶۹. صابرعلی، سیدفرهاد، حسین نستری نصرآبادی و محمد دوستخواه احمدی. (۱۳۹۸). بررسی تاثیر تغییر اقلیم در آینده نزدیک بر تولید گندم آبی منطقه تربت جام: مطالعه موردی. *پژوهش‌های زراعی ایران*. ۱۷(۱): ۱۶۹-۱۸۶.

۷۰. صادقی، امین و یعقوب دین‌پژوه. (۱۳۹۸). پیش‌نمایی بارش و روند تغییرات آن تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های آتی (مطالعه موردی: تبریز). *محیط زیست و مهندسی آب*. ۵ (۴): ۳۳۹-۳۵۰.

۷۱. صالحی طبس، مختار، مصطفی یعقوب‌زاده، سیدرضا هاشمی، حامد منصوری و سعید قوام سعیدی نوقابی. (۱۳۹۸). برآورد خشکسالی کشاورزی برای دوره آتی به کمک شاخص SMDI و داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم. *پژوهش آب در کشاورزی*. ۳۳ (۳): ۴۷۹-۴۹۲.

۷۲. صفری شاد، مهتاب، محمود حبیب‌نژاد روشن، کریم سلیمانی، علیرضا ایلدرمی و حسین زینی‌وند. (۱۳۹۶). پتانسیل تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه در حوضه آبخیز همدان – بهار. *هیدروژئومورفولوژی*.۱۰: ۸۱-۸۹.

۷۳. صف‌شکن، فرشید و علی‌محمد آخوندعلی. (۱۳۹۴). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر متوسط ماهانه دما و بارش طی دهه‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ در استان فارس. *کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران*.

۷۴. صلاحی، برومند و فخری سادات فاطمی‌نیا. (۱۳۹۶). پیش‌بینی روند تغییرات یخبندان در ایستگاه

هواشناسی کاشان. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۲۸ (۳): ۲۱-۳۶.

۷۵. صلاحی، برومند، فخری سادات فاطمی‌نیا و سید محمد حسینی. (۱۳۹۳). ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده استان اصفهان با استفاده از مدل‌های BCM2 و HadCM3 در محیط ریزگردان LARS-WG. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. ۵ (۱۶): ۵۵-۷۱.

۷۶. صلاحی، برومند، مسعود گودرزی و سید اسعد حسینی. (۱۳۹۵). پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در دهه ۲۰۵۰ در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۸(۴): ۴۲۵-۴۳۸.

۷۷. صمدی نقاب، سینا. (۱۳۸۵). پیش بینی خشکسالی با روش ریزگردانی خروجی الگوهای GCM. *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*. ۸: ۱۹۳-۲۱۲.

۷۸. صمدی نقاب، سینا، علیمحمد خورشید دوست، مجید حبیبی نوخندان و فاطمه زابل عباسی. (۱۳۹۰). بکارگیری مدل SDSM جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های GCM بارش و دما مطالعه موردی: پیش‌بینی‌های اقلیمی ایستگاهی در ایران. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۲(۵ و ۶): ۵۷-۶۸.

۷۹. طائی سمیرمی، سیاوش، حمیدرضا مرادی و مرتضی خداقلی. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو _مطالعه موردی: حوزه آبخیز بار نیشابور). *فصلنامه انسان و محیط زیست*. ۲۸: ۱-۱۵.

۸۰. طائی سمیرمی، سیاوش، حمیدرضا مرادی و مرتضی خداقلی. (۱۳۹۴). پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریزمقیاس‌سازی LARS-WG و خروجی‌های مدل HadCM3 تحت سناریوهای مختلف. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۷ (۲): ۱۴۵-۱۵۶.

۸۱. عباس‌نیا، محسن، تقی طاوسی و محمود خسروی. (۱۳۹۶). ارزیابی جامع تغییرات فصلی آینده دمای حداکثر ایران طی دوره گرم بر اساس مدل‌های گردش عمومی جو. *آمایش جغرافیایی فضا*. ۷(۲۵): ۱۲۱-۱۳۴.

۸۲. عباسی، فاطمه، ایمان بابئیان، شراره ملبوسی، مرتضی اثمری و لیلی گلی مختاری. (۱۳۹۱). ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو. *تحقیقات جغرافیایی*. ۲۷ (۱): ۲۰۵-230.

۸۳. عبداللهی، مریم و بهلول علیجانی و قاسم عزیزی و فریده اسدیان. (۱۳۹۸). اثر تغییر اقلیم بر فنولوژی بادام در استان چهارمحال و بختیاری. *مخاطرات محیط طبیعی*. ۸(۲۲): ۴۱-۵۸.

۸۴. عساکره، حسین و سلماز مطلبی‌زاد. (۱۳۹۶). مقایسه عملکرد ومدل SDSM و شبکه های عصبی مصنوعی در پیش بینی تغییرات دمای حداقل (ایستگاه موردی: ارومیه). *برنامه ریزی و آمایش فضا*. ۴(۲۱).

۸۵. عساکره، حسین و یونس اکبرزاده. (۱۳۹۶). شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۱۰۰) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM2. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۲۱: ۱۵۳-۱۷۴.

۸۶. عسگری، اله، محمد باعقیده، اصغر کامیار، علیرضا انتظاری و مجید حسینی. (۱۳۹۹). چشم‌انداز تغییرات اقلیم‌شناختی دما و بارش در دامنه‌ی CORDEX جنوب آسیا (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز دز). *جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای*. ۱۸ (۱): ۲۲۵-۲۵۲.

۸۷. عزیززاده، جواد، حمزه احمدی، محمد باعقیده و علیرضا انتظاری. (۱۳۹۸). آیا تغییر اقلیم فرصت است یا تهدید؟ (ارزیابی دگرگونی‌های محتمل اقلیمی بر محدوده کشت درختان مناطق گرمسیری ایارن، مطالعه موردی؛ نخل خرما). *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۱۰ (۴۰): ۶۱-۸۰.

۸۸. علیجانی، بهلول. (۱۳۹۱). *آب و هوای ایران*. چاپ یازدهم. انتشارات دانشگاه پیام نور.

۸۹. علیزاده، احد، ایمان بابائیان، حمید نوری و محمدعلی نجاتیان. (۱۳۹۹). بررسی اثر تغییر اقلیم بر کیفیت انگور بی دانه سفید (مطالعه موردی: ایستگاه هواشناسی کشاورزی گلمکان). *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۱۱(۴۳): ۱۰۹-۱۲۶.

۹۰. فرجزاده، منوچهر. (۱۳۹۲). تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه مطالعه موردی: رودخانه ششپیر. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۲۴ (۱): ۱۷-۳۲.

۹۱. فرجزاده، منوچهر و سینا الهی. (۱۳۹۹). تحلیل تغییرات آب و هوایی در غرب کشور (مطالعه موردی:

ایستگاه سینوپتیک سنندج). *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*. ۱ (۳): ۵۲-۶۴.
۹۲. قاسمی، الـه، ابـراهیم فتـاحی و ام السـلمه بابـائی. (۱۳۹۲). بررسی نوسانات رواناب حاصل از ذوب بـرف تحت تأثیر پدیـده تغییـر اقلـیم در دهـه‌هـای آینـده. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۴(۱۳ و ۱۴): ۱۱۱-۱۲۲.
۹۳. قانقرمـه، عبـدالعظیم و غلامرضـا روشـن. (۱۳۹۱). دورنمای اثر گرمایش جهانی بر دگرگونی‌های مولفه‌ی دمـا در نـواحی شـمال غـرب ایـران. *پـژوهش‌هـای جغرافیای طبیعی*. ۴۴ (۴): ۶۱-۸۰.
۹۴. قربـانی‌زاده خـرازی، حسـین، حسـین صـدقی، بهـرام ثقفیان و جهانگیر پرهمت. (۱۳۸۶). بررسی اثر تغییـر اقلیم بر زمان حـداکثر جریـان رونـاب ناشـی از ذوب برف (مطالعه موردی رودهای کـارون و دز بـه عنـوان منابع اصلی آب کشاورزی شـمال خوزسـتان). *گیـاه و زیست بوم*. ۳ (۱۱): ۳۸-۵۰.
۹۵. قربـانی‌زاده خـرازی، حسـین، حسـین صـدقی، بهـرام ثقفیان و جهانگیر پرهمت. (۱۳۸۸). بررسی اثر تغییـر اقلیم بر توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه‌ی کارون. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایـران*. ۳ (۹): ۴۵-۵۰.
۹۶. قربـانی‌زاده خـرازی، حسـین، حسـین صـدقی، بهـرام ثقفیان و جهانگیر پرهمت. (۱۳۸۹). پیش‌بینی توزیـع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب بـرف در نـیم قـرن آینده تحت شرایط تغییر اقلیم. *مهندسـی آب*. ۱ (۱): ۵۱-۵۹.
۹۷. کاظمی‌راد، لادن و حسین محمدی. (۱۳۹۴). ارزیـابی مدل مناسب گـردش عمـومی جـو بـرای پـیش‌بینـی تغییرات اقلیمی اسـتان گیـلان. *جغرافیـا و مخـاطرات محیطی*. ۱۶: ۵۵-۷۳.
۹۸. کامیار، اصغر، سعید موحدی و حجت الـه یـزدان‌پنـاه. (۱۳۹۶). چشم‌انداز دمای کمینه و بیشـینه‌ی اسـتان اصفهان در افـق ۲۰۱۷-۲۰۵۰. *پـژوهش‌هـای اقلـیم شناسی*. ۸(۲۹ و ۳۰): ۳۷-۵۴.
۹۹. کاویان، عطاالله، مریم نامدار، محمد گلشن و معصـومه بحری. (۱۳۹۶). مدلسازی هیدرولوژیکی اثرات تغییـر اقلیمـی برنوسـانات دبـی جریـان در رودخانـه هـراز. *مخاطرات محیط طبیعی*. ۶ (۱۲): ۸۹-۱۰۴.
۱۰۰. کاویانی، محمدرضا و بهلول علیجانی. (۱۳۹۱). *مبانی آب و هواشناسی*. چاپ هفدهم. انتشارات سمت.
۱۰۱. کدخدا، الهام، غلامعباس فلاح قالهری، محمد باعقیده و سید علیرضا فریـد حسـینی. (۱۳۹۸). مـدل‌سـازی عوامل اقلیمی موثر بر افت سطح آب‌های زیرزمینی بـا رویکرد تغییر اقلیم (مطالعه مـوردی: دشـت مشـهد). *پژوهش آب ایران*. ۳(۳۴): ۲۷-۳۸.
۱۰۲. کرمی، فریبا، شهریار خالدی، علیرضا شکیبا، غلامرضا براتی و ایمان بابائیان. (۱۳۹۶). شبی‌سـازی عملکـرد دانه ذرت بر اساس سناریوهای تغییر اقلـیم در اسـتان فارس. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیـایی*. ۱۷ (۴۷): ۷۷-۹۳.
۱۰۳. کوچکی، علیرضا و مهدی نصیری محلـاتی و افشـین سلطانی و حیدرضا شریفی و غلامعلی کمـالی و پرویـز رضوانی مقدم. (۱۳۸۲). شـبیه سـازی تغییـرات آب و هوایی ایران در شرایط دو برابر شدن غلظـت CO2 بـه وسیله مدل های عمومی گردش. *بیابـان*. ۸(۲): ۱۷۸-۱۹۱.
۱۰۴. کـوچکی، علیرضـا، مهـدی نصـیری محلـاتی و لیلـا جعفـری. (۱۳۹۴). بررسـی تـأثیر تغییـر اقلـیم بـر کشاورزی ایران: پیش‌بینـی وضـعیت آگروکلیماتیـک آینده. *پژوهش‌های زراعی ایران*. ۱۳ (۴): ۶۵۱-۶۶۴.
۱۰۵. کوچکی، علیرضا، مهدی نصـیری و غلـامعلی کمـالی. (۱۳۸۶). مطالعه شـاخص‌هـای هواشناسـی ایـران در شرایط تغییر اقلیم. *پژوهش‌های زراعـی ایـران*. ۵ (۱): ۱۳۳- ۱۴۲.
۱۰۶. کـوهی، منصـوره، محمـد موسـوی بـایگی، علیرضـا فریدحسـینی، حسـین ثنـایی نـژاد و هـادی جبـاری نوقـابی. (۱۳۹۱). ریزمقیـاس‌نمـایی آمـاری و ارائـه سناروهای آتی و رویدادهای حـدی بـارش در حوضـه کشف‌رود. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۳(۱۲): ۳۵-۵۳.
۱۰۷. کیـاء، عیسـی و ولـی‌الله کریمـی. (۱۳۹۹). بررسـی پارامترهای دما و بارندگی حوضـه آبخیـز هـراز تحـت تأثیر تغییر اقلیم. مخاطرات *محـیط طبیعـی*. ۹ (۲۶): ۱۴۵-۱۶۰.
۱۰۸. گـودرزی، مسـعود. (۱۳۹۵). آینـده‌نگـری و ارزیـابی تأثیرات تغییر اقلیم بر واناب حوضه قـره سـو. *علـوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. ۱۰ (۳۴): ۷۲-۸۵.
۱۰۹. گـودرزی، محمدرضـا و آتیـه فـاتحی فـر. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمـی تحـت سـناریو RCP8.5 بـا اسـتفاده از مـدل هیـدرولوژیکی SWAT در محـیط GIS (حوضـه آذرشـهر چـای).

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۹ (۵۳): ۹۹-۱۱۷.

۱۱۰. گودرزی، محمدرضا و علیرضا فرجی. (۱۳۹۶). ارزیابی روش‌های مختلف ریزمقیاس نمایی برای شاخص‌های جریان کمینه تحت اثرات تغییر اقلیم. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۸ (۳۱ و ۳۲): ۵۵-۷۲.

۱۱۱. متکان، علی‌اکبر، علیرضا شکیبا، محمود رائینی سرجاز، محمد رحیمی، آمنه دشت بزرگی و امین حسینی اصل. (۱۳۹۸). تحلیل پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان بر اساس طرح طبقه بندی کوپن – تراورتا با رویکرد تغییر اقلیم. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۱۰ (۴۰): ۱-۱۱.

۱۱۲. محمدی، الهام، سعید موحدی، رضا محمدی و صابر گلکاری. (۱۳۹۹). بررسی رخداد تغییر اقلیم و تأثیر آن بر فنولوژی و عملکرد گندم دیم در منطقه غرب و شمال غرب ایران. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۱۱ (۴۳): ۱۵۹-۱۷۰.

۱۱۳. محمدی، حسین، فاطمه ربانی و داریوش مظاهری. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر فنولوژی گیاه برنج تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری در منطقه خزری: ایستگاه رشت. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۱۵ (۳۸): ۱۸۷-۲۰۵.

۱۱۴. مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۸۸). نواحی بارشی ایران. *جغرافیا و توسعه*. ۱۳: ۷۹-۹۱.

۱۱۵. معافی مدنی، سیده فاطمه، محمد موسوی بایگی و حسین انصاری. (۱۳۹۱). پیش‌بینی وضعیت خشکسالی خراسان رضوی طی دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG5. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۳: ۲۱-۳۷.

۱۱۶. موسوی، رویا سادات و صفر معروفی. (۱۳۹۵). بررسی پاسخ هیدرولوژیکی جریان رودخانه به تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد دز). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۲۳ (۶): ۳۳۳-۳۴۸.

۱۱۷. مهدی‌زاده، صالح و مهدی فتاح هلقی و سمانه سیدقاسمی و ابوالفضل مساعدی. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه سد گلستان. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۱۸ (۳): ۱۱۷-۱۳۲.

۱۱۸. میراکبری، مریم، طیبه مصباح‌زاده، محسن محسنس ساروی، حسن خسروی و قاسم مرتضایی فریزهندی. (۱۳۹۷). ارزیابی کارایی مدل سری CMIP5 در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارندگی، دما و سرعت باد (مطالعه‌ی موردی: استان یزد). *جغرافیای طبیعی*. ۵۰ (۳): ۵۹۳-۶۰۹.

۱۱۹. میرشکارنژاد، بابک و محمد نبی ایلکایی. (۱۳۹۹). پیش‌بینی تغییرات فصلی عامل‌های جوی در بوم نظام قدیم اقلیم-زراعی کرج با استفاده از مدل گردش عمومی GCM-HadCM3. *مطالعات علوم محیط زیست*. ۵(۴): ۲۳۷۰-۲۳۷۷.

۱۲۰. ناصرزاده، محمدحسین، الهام قاسمی‌فر و معصومه معتمدی. (۱۳۹۵). بررسی خشکسالی سواحل جنوبی دریای خزر طی دوره‌ی پایه و آینده با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌ساز LARS-WG و SDSM. *جغرافیا و آمایش شهری – منطقه‌ای*. ۲۰: ۲۰۳-۲۲۲.

۱۲۱. نصیری، مهدی و علیرضا کوچکی. آنالیز شاخص‌های آگروکلیماتیک ایران در شرایط تغییر اقلیم. (۱۳۸۵). *مجله پژوهش‌های زراعی ایران*. ۴ (۱): ۱۶۹-۱۸۰.

۱۲۲. یعقوب‌زاده، مصطفی و یوسف رمضانی. (۱۳۹۸). ارزیابی مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییراقلیم در برآورد دما و بارش ایستگاه بیرجند. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*. ۱۰ (۳۷): ۸۷-۱۰۰.

۱۲۳. یعقوبی، مژگان و علیرضا مساح بوانی. (۱۳۹۴). مقایسه و ارزیابی منابع مختلف عدم قطعیت در مطالعه اثر تغییراقلیم بر رواناب حوضه‌های نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوضه رودخانه اعظم هرات – یزد). *تحقیقات منابع آب ایران*. ۱۱ (۳): ۱۱۳-۱۳۰.

124. Ahmadalipour, A.A, Rana., H, Moradkhani & A, Sharma. (2017). Multi-criteria evaluation of CMIP5 GCMs for climate change impact analysis. *Theoretical and Applied Climatology*. 128: 71-87.

125. Andreadis, K., D, Lettenmaier. (2006). Trends in 20th century drought over the continental United States. *Geophysical Research Letters*. 33.

126. Barrow, E and G, Yu. (2005). Climate Scenario for Alberta. A report prepared for the priarie Adaptation Research. Prairie Adaptation Research Collaborative (PARK)

127. Bowman, J. (1990). The Greenhouse Effect. *Land Use Policy*. 7 (2): 101- 108.

128. Chokkavarapu, N. & Mandla, V. (2019). Comparative study of GCMs,

RCMs, downscaling and hydrological models: a review toward future climate change impact estimation. *Applied Sciences*. 1.

129. Cooper, J., and Pilkey, O. (2004). Sea-level rise and Shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and planetary change*, 43(3-4): 157-171.
130. Bowman, J. (1990). The Grenhouse Effect. *Land Use Policy*. 7 (2): 101- 108.
131. Convey, C., Achuta, K., Cubasch, U., Jones, P., Lambert, S., Mann, M., Phillips, T., & Taylor, K. (2003). An overview of results from the Couplec Model Intercomparison Project. *Global Planet Change*. 37: 103-133.
132. Collins, W., N,Bellouin., M, Doutrix. (2011). Development an Evaluation of an Earth Sistem Model HadGEM2. *Geoscientific Model Development*. 4.
133. Daren, F., E, Yazhouluo., M, Zhang. (2009). Climate Changes Sensitivity Assessment of a Highly Agricultural Water shed Using SWAT. *Journal of Hydrology*. 1-41.
134. Dracup, J., S, Vicuna. (2005). An Overview of Hydrology and Water Resources Studies on Climate Change: The California Experience. *World Water and Environmental Resources Congress*.
135. Detlef, P., D, Van Vuren., J, Edmnds., M, Kainuma., M, Riahi., K, Thomson. (2011). The Representative Concentration Pathways: an Overview. *Climate Change*. 109.
136. Dickinson, R., R, Cicerone. (1986). Future Global Warming from Atmospheric Trace Gases. *Nature*. 319: 109- 115.
137. Eyring, V., P, Gleckler., Ch, Heinze., R, Stouffer., K, Taylor., V, Balaji., E, Guilyardi., S, Joussaume., S, Kindermann., B, Lawrence., G, Meehl., M, Righi & D, Williams. (2016). Towards improved and more routine Earth system model evaluation in CMIP. *Earth System Dynamics*. 7 (4): 813-830.
138. Fawzy, S., A, Osman., J, Doran & D, Rooney. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 18: 2069-2094.
139. Gagnon, S., Singh B., Rousselle J, Roy L. (2005). An application of the statistical downscaling model (SDSM) to simulate climatic data for streamflow modelling in Québec. *Canadian Water Resources Journal*; 30(4): 297-314.
140. Ghosh, S and Mujumdar, P. (2008). Statistical downscaling of GCM Simulations to Streamflow using Relevance Vector Machine. *Advances in Water Resources* 31(1):132-146.
141. Hulme M. (2000). Representing uncertainty in Climate Change Senarios: a Monte Carlo approach. Integrated Assessment. Measurements. *Journal of Hydrometeorology*, 17: 995–1010.
142. Kang, Y., S, Khan., X, Ma. (2015). Analysing Climate Change Impacts on Water Productiviti of Cropping System in the Murray Darling Xasin, Australia. *Irrigation and Drainage.* 64(4): 443-453.
143. Karl T, N Nicholls, J Gregory. (1997). The coming Climate. *Scientific American*. 276
144. Kat, C & S, Els. (2012). Importance of Correct Validation of Simulation Models. *ASME (the American Society of Mechanical Engineers*. 8: 869-875.
145. Keller, A., K, Garner., N, Rao., E, Kinpping & J, Thomas. (2022). Downscaling approaches of climate change projections for watershed modeling: Review of theoretical and practical considerations. *PLOS Water*. 1(9).
146. Li, M., J, Shi., J, Guo., C, Jingfu., N, Jide., X, Mingming. (2015). Climate Impacts on Extreme Energy Consumption of Different Types of Buildings. *Public Library of Scince.* 10 (4).
147. Liu, G., B, Powell & T, Friedrich. (2023). Climate downscaling for regional models with a neural network: A Hawaiian example. *Progress in Oceanography*. 215.
148. Meehl, G., G, Boer., C, Covey., M, Latif & R, Stouffer. (2000). The Coupled Model Intercomparison Project (CMIP). *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81 (2): 313-318.
149. Miao, C.,Q, Duan., Q, Sun. (2013). Evaluation and Application of Bayesian

Multi Model Estimation in Temperature Simulation. 37.

150. Milly, P., R, Wetherald., K, Dunne., T, Delworth. (2002). Increasing Risk of Great Floods in a Changing Climate. *Nature*. 415: 514-517.
151. Moss, R.J., Edmonds., K., hibbard. (2010). The next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment. *Nature Journal*.7282.
152. Mujumdar, P & S, Ghosh. (2008). Modeling GCM and scenario uncertainty using a possibilistic approach: Application to the Mahanadi River, India. *Water Resources Research*. 44 (6).
153. Nigel, W., B, Loyd. (2014). The Global Scale Impacts of Climate Change on Water Resources and Flooding under New Climate and Socio-economic Scenarios. *Climate Change*. 122: 127-140.
154. Perminova, O., Gustafsson, M., Wiksttrom, K. (2008). Defining uncertainty in projects a new perspective. *International Journal of Management*, 26 (1), 73-79.
155. Plass, G. (1956). Effect of Carbon Dioxide Variation on Climate. *American Journal of Physics*. 24: 376- 387
156. Raeney, S., J, Fowler. (2008). Uncertainty estimation of climate change impacts on river flow incorporating stochastic downscaling and hydrological model parameterization error source. *10th National Hydrology Symposium.*
157. Reily, J. (1999). What does climate change mean for agriculture in developing countries? A comment on Mendelsohn and dinar. *Journal of World Bank* 14: 295-305.
158. Revelle, R., H, Suess. (1957). Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO2 during the Past Decades. Tellus. 9 (1): 18-27.
159. Rosenzweig, C., M, L, Parry. (1994). Potential Impact of Climate Change on World Food Supply. *Nature*. 367: 133-138.
160. Semenov, M., P, Stratonovitch. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, *Climate research (Open Access for articles 4 years old and older). 41 (1).*
161. Singer, F., R, Revelle., Ch, Starr. (1992). What to do Greenhouse Warming: Look Before You leap. Journal of Emerging Issues. 5 (2)
162. Srinivasa Raju, K & D, Naghesh Kumar. (2020). Review of approaches for selection and ensembeling of GCMs. *Journal of Water & Climate Change*. 11 (3): 577-599.
163. Touze-Peiffer, L., A, Barberousse & H, Treut. (2020). The Coupled Model Intercomparison Project: History, uses, and structural effects on climate research. *WIREs Climate Change*. 11 (4).
164. Virgilio, G., F, Eugene Tam., N, Nishat., J, Evans., Ch, Thomas., M, Riley., K, Beyer., M, Grose., S, Narsey & F, Delage. (2022). Selecting CMIP6 GCMs for CORDEX Dynamical Downscaling: Model Performance, Independence, and Climate Change Signals. *Earth's Future*. 10 (4).
165. Waseem, M., D, Park., T, Kim. (2016). Comprehensive Climatological Drought Projection over South Korea under Climate Change. *Procedia Enginiering*. 154: 284-290.
166. Wang, H., J, Chen., Ch, Xu., J, Zhang., H, Chen. (2020). A Framework to Quantify the Uncertainty Contribution of GCM_s Over Multiple Sources in Hydrological Impacts of Climate Change.*Earth's Future*. 8.
167. Wang, W., S, Yuan., C, Wu., Sh, Yang., W, Zhang., Y, Xu., J, Gu., H, Zhang., Zh, Wang., J, Yang., J, Zhu. (2021). Field experiments and model simulation based evaluation of rice yield response to projected Climate change in Southeastern China. *Science of The Total Environment.* 716.
168. Weart, S. (2010). The Development of General Circulation Models of Climate. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and philosophy of Modern Physics*. 41 (3): 208- 217.
169. Xu, C. (1999). From GCM_s to River Flow: A review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches.

Progress in physical Geography. 23 (2): 229-249.

170. Yukimoto, S., Y, Adachi., M, Hosaka., T, Sakami., H, Yoshimura. (2012). A New Global Climate Model of Meteorological Reaserch Institute: MRI-CGCM4, Model Description and Basic Performance. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 90.

171. Zaho, L., J, Xu., A, Powell and Z, Jiang. (2015). Uncertainties of the global-to-regional temperature and precipitation simulations in CMIP5 models for past and future 100 years.*Theoretical and applied climatology*, 122(1-2): 259-270.

172. Zhang, Y., Zheng, H., Chiew, F.H.S., Arancibia, J.P. and Zhou, X. (2016). Evaluating Regional and Global Hydrological Models against Streamflow and Evapotranspiration Measurements. *Journal of Hydrometeorology*. 17(3): 995-1010.

173. https://www.ipcc.ch