

## بررسی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار در برآورد پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد)

دل‌آرام هوشمند - دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
محمدجواد خردادی<sup>۱</sup> - دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۲/۱۶

### چکیده

گرمایش جهانی و به تبع آن تغییر اقلیم، موضوع مهمی است که در دهه‌های اخیر توسط محققین در سرتاسر دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعات تغییرات پارامترهای اقلیمی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به عدم قطعیت فراوان دخیل در برآورد این پارامترها، بهتر است شیوه‌ای اتخاذ گردد تا تحلیل‌ها با بررسی باند ناشی از منابع مختلف عدم قطعیت، صورت پذیرد. بدین منظور در این مطالعه تلاش شد با بررسی باند عدم قطعیت ناشی از ۱۵ مدل AOGCM تحت تأثیر سه سناریو انتشار A1B، A2 و B1 به بررسی تغییرات پارامترهای حداقل دما، حداکثر دما و بارندگی در ایستگاه سینوپتیک مشهد واقع در حوضه قره قوم پرداخته شود. از مدل LARS-WG به منظور ریزمقیاس نمایی استفاده گردید. توانایی بالای مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره پایه تأیید شد؛ به طوری که مقادیر مدل نسبت به مقادیر مشاهده شده در تمامی ماه‌ها دقت خوبی را دارا بوده است. نتایج حاکی از وجود بیشترین باند عدم قطعیت در برآوردهای مربوط به سناریو A1B بود، ولی در مورد کمترین باند عدم قطعیت در مورد پارامترهای مختلف نتایج متفاوتی به دست آمد که برای حداقل دما و بارندگی سناریو B1 و برای حداکثر دما سناریو A2 معرفی گردید.

**کلیدواژه‌ها:** تغییر اقلیم، عدم قطعیت، ریزمقیاس نمایی، حداقل دما، حداکثر دما، بارندگی.

### ۱. مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن گرمایش جهانی از جمله معضلاتی است که منجر به ایجاد پدیده تغییر اقلیم می‌گردد. این پدیده به طور مستقیم بر عوامل مختلف مرتبط با زندگی بشر تأثیرگذار است. اولین

گام در بررسی این اثرات، تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم با ارائه گزارش‌های ویژه در مورد منابع مختلف عدم قطعیت تأثیرگذار بر مطالعات مرتبط با این موضوع، نقش مدل‌های AOGCM<sup>۱</sup> را مهم دانسته و پیشنهاد می‌نماید در مطالعات مختلف تأثیر منبع عدم قطعیت ناشی از مدل‌های AOGCM سناریوهای انتشار مختلف در نظر گرفته شود (اسلامیان و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۸۸).

لین<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۹) بیان داشتند که طبق گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، دمای سطحی زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سلسیوس در طول قرن گذشته افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ مقدار آن ۱ تا ۳/۵ درجه سلسیوس افزایش یابد. همچنین پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی با فرض افزایش سالانه یک درصد غلظت گاز گلخانه‌ای، افزایش ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سلسیوس در میانگین دمای سطحی را نشان می‌دهد که با احتمال ۹۵٪ بین ۱/۷ تا ۴/۹ درجه سانتی‌گراد است. ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی وجود دارد. هر تغییری در اقلیم، روی عناصر هیدرولوژی اثرگذار است. عناصر هیدرولوژیکی چون رواناب، آبدهی رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی، شدت سیلاب و خشکسالی، همگی متأثر از بارندگی و دما می‌باشند که از مهم‌ترین عناصر اقلیمی به شمار می‌آیند (لین و همکاران، ۱۹۹۹: ۲۰۰).

برای انجام مطالعات اثر تغییر اقلیم بر منابع مختلف در دوره‌های آتی، ابتدا می‌بایست متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM<sup>۳</sup> است. مدل‌های GCM، مدل‌های سه بعدی هستند که روابط فیزیکی حاکم بر اتمسفر، کریوسفر، بیوسفر و هیدروسفر را بیان می‌کنند. سپس به منظور حل معادلات دیفرانسیل مربوط، کره زمین شبکه‌بندی شده و متغیرهای اقلیمی تحت سناریوهای مختلف انتشار (A1, A2, B1, B2) در دوره‌های زمانی مختلف شبیه‌سازی می‌گردند (آشفته و مساح، ۱۳۸۶: ۳۵).

آنچه از نتایج مطالعات گوناگون در این زمینه برمی‌آید میزان گازهای گلخانه‌ای در دوره آینده حتی با در نظر گرفتن مطلوب‌ترین سناریوهای اقتصادی-اجتماعی و محیط زیست برای کره زمین (سناریوی B2)، افزایش خواهد یافت و این افزایش باعث افزایش دمای کره زمین در دوره‌های آینده خواهد شد. از طرف دیگر شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط مدل‌های مختلف AOGCM تحت سناریوی B2 در مناطق مختلف کره زمین نیز حاکی از برهم خوردن سیستم اقلیم کره زمین در این مناطق و بر جای گذاشتن اثرات منفی مختلف است. بنابراین می‌توان گفت که

1 Atmosphere-Ocean General Circulation Model

2 Lane

3 General Circulation Model

اکثر مناطق کره زمین در خوش‌بینانه‌ترین حالت ممکن برای سناریوهای اقتصادی نیز تحت تأثیر اثرات منفی پدیده تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت (خردادی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۶۰).

### ۱.۱. مدل‌های گردش عمومی جو و ریزمقیاس نمایی

روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی وجود دارد که در این تحقیق از مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس - اتمسفر گردش عمومی جو GCM استفاده می‌گردد. مدل‌های GCM بر پایه قوانین فیزیکی که به وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شوند، استوار می‌باشند. این روابط در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین حل می‌گردند.

به منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین فرآیندهای اصلی اقلیمی (اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین، یخ پسته و زیست کره) در مدل‌های فرعی جداگانه شبیه‌سازی شده، سپس تمام مدل‌های فرعی مربوط به اتمسفر و اقیانوس با یکدیگر جفت شده و مدل‌های گردش عمومی اقیانوس - اتمسفر AOGCM را تشکیل می‌دهند. برای بررسی وضعیت اقلیم گذشته کره زمین، مقادیر مشاهداتی گازهای گلخانه‌ای، نوسانات تابش خورشیدی و ذرات معلق ناشی از فوران‌های آتشفشانی تا سال ۲۰۰۰ به عنوان ورودی به مدل‌های GCM ارائه شده و متغیرهای اقلیمی به صورت سری زمانی شبیه‌سازی شده‌اند. پس از شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته توسط مدل‌های GCM به منظور شبیه‌سازی وضعیت این متغیرها در دوره‌های آتی، نیاز به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی برای این مدل‌ها است. بدین منظور ابتدا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده در سناریوهای انتشار (که معمولاً تا سال ۲۱۰۰ می‌باشند) توسط مدل‌های دیگر به غلظت و نهایتاً به میزان نیروی تابشی تبدیل شده و این مقادیر به عنوان ورودی به مدل‌های GCM ارائه می‌شوند. نتایج ناشی از شبیه‌سازی مدل‌های GCM تحت سناریوهای انتشار، سری زمانی متغیرهای اقلیمی را تا سال ۲۱۰۰ ارائه می‌دهد. در حال حاضر معتبرترین ابزار، جهت تولید سناریوهای اقلیمی مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس - اتمسفر گردش عمومی جو است (عباسی و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۴۹).

یکی از ضعف‌های مدل‌های AOGCM بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی<sup>۱</sup> آن‌ها، به لحاظ مکانی و زمانی نسبت به منطقه مورد مطالعه است. لذا این متغیرها برای مطالعات هیدرولوژی و منابع آب از دقت کافی برخوردار نیستند. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCM وجود دارد که به این روش‌ها کوچک مقیاس کردن<sup>۲</sup> گفته می‌شود لذا در این مطالعه از مدل آماری LARS-WG<sup>۳</sup> استفاده گردید که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

1 Resolution

2 Downscaling

3 Long Ashton Research Station-Weather Generator

زمنف و بارو<sup>۱</sup> (۲۰۰۲) با استفاده از مدل LARS-WG سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان بررسی نمودند و قابلیت این مدل برای شبیه‌سازی داده‌های روزانه را مورد تأیید قرار دادند (زمنف و بارو، ۲۰۰۲: ۲۲). بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵) توانمندی مدل LARS-WG را برای تولید داده‌های بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی مورد ارزیابی قرار داده و با توجه به میانگین و انحراف معیار داده‌های تولید شده و مقایسه آن با داده‌های مشاهده‌شده دوره آماری بر قابلیت بالای این مدل در شبیه‌سازی داده‌های روزانه تأکید کردند (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۵: ۶۳).

در مطالعه عباسی و همکاران (۱۳۸۹) اقلیم استان خراسان جنوبی با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G و مدل مولد هواشناسی LARS-WG در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ بررسی و بیان شد که میانگین سالانه دما و بارش در این استان به ترتیب در حدود ۰/۳ درجه سلسیوس و ۴ درصد افزایش خواهد یافت (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۳۰).

بابائیان و کوان<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی را با استفاده از مدل LARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مورد ارزیابی قرار دادند. این مطالعه بر روی پارامترهای اقلیمی بارش، تابش، دمای حداقل و حداکثر، طول دوره روزهای تر و خشک، طول دوره روزهای داغ و یخبندان و روند تغییرات بارش‌های سنگین ده ایستگاه سینوپتیک کشور کره جنوبی انجام گرفت (به نقل از بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۵: ۵۱).

مینویل<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی عدم قطعیت تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه نوردیک کانادا با استفاده از مدل HSAMI پرداختند. در این تحقیق از ۵ مدل AOGCM و ۲ سناریو انتشار استفاده شد و نتایج افزایش ۱ تا ۱۴ درجه‌ای دما و تغییر ۹- تا ۵۵ درصدی بارش فصلی را نشان داد. همچنین میزان رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم خواهد نمود (مینویل و همکاران، ۲۰۰۸: ۸۰).

در تحقیق دیگری که توسط آشفته و مساح بوانی (۱۳۹۱) انجام گرفت، تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر دبی پیک حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و برای سناریوی A2 مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از ۷ مدل AOGCM استفاده شد. نتایج نشان داد که دمای حوضه در دوره ۲۰۵۰S بین ۱ تا ۶ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین محدوده تغییرات بارش ۸۰- تا ۱۰۰ درصد به دست آمد (آشفته و مساح بوانی، ۱۳۹۱: ۴۵).

1 Semenov & Barrow

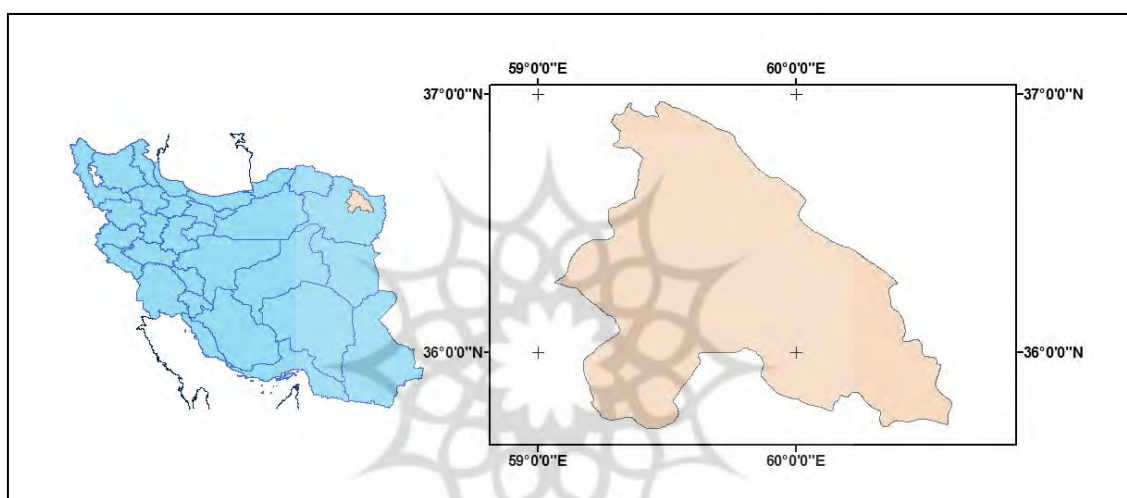
2 Kwon

3 Minville

در این مطالعه نیز روش‌شناسی ارائه گردید تا به‌وسیله آن با بررسی ۳ سناریو انتشار و ۱۵ مدل AOGCM، تغییرات پارامترهای اقلیمی کمینه و بیشینه دما و بارندگی به‌صورت باند تغییرات در دوره آینده نزدیک بررسی گردد.

## ۲. منطقه مورد مطالعه

ایستگاه سینوپتیک مشهد با طول جغرافیایی  $59^{\circ} 38'$  و عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 16'$  در ارتفاع ۹۹۹ متری از سطح دریا واقع شده است. موقعیت شهرستان مشهد به‌عنوان منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهرستان مشهد در ایران و خراسان رضوی

## ۳. مواد و روش‌ها

در این مطالعه ابتدا سری زمانی روزانه پارامترهای حداقل دما، حداکثر دما و بارندگی دوره مشاهداتی (۱۹۷۶-۲۰۰۵) استخراج گردید و سپس با استفاده از سری زمانی ۳۰ ساله مذکور ورودی مدل LARS-WG آماده گردید. سپس واسنجی مدل صورت پذیرفت. در مرحله نهایی سه سناریو A1B، A2 و B1 برای ۱۵ مدل AOGCM شامل BCM2، CGMR، CNCM3، CSMK3، FGOALS، GFCM21، GIAOM، HADCM3، HADGEM، INCM3، IPCM4، MIHR، MPEH5، NCCCSM و NCPCM برای دوره آینده نزدیک (۲۰۱۰-۲۰۳۹) در منطقه مطالعاتی اجرا گردید. جدول (۱) مشخصات کلی مدل‌های AOGCM بکار رفته را ارائه می‌دهد.

با بررسی خروجی مدل‌های مختلف، آنالیز مربوط به سناریوهای انتشار مختلف به صورت مجزا برای هر پارامتر صورت پذیرفت و باند تغییرات ناشی از عدم قطعیت مدل‌های AOGCM مختلف برای سناریوهای انتشار مختلف ترسیم گردید. این باند نشان دهنده فضای ممکن در تغییر محدوده پارامترهای مورد بررسی در دوره آتی نسبت به گذشته است. در نهایت با مقایسه تغییرات دوره آتی نسبت به دوره گذشته اثرات تغییر اقلیم بر تغییرپذیری پارامترهای اقلیمی تحت تأثیر مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱ مشخصات مدل‌های گردش عمومی جو مورد مطالعه (زمنوف و استراتونوویچ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰: ۳)

مرجع	کشور	سناریوهای شبیه‌سازی‌شده SRES	دقت مکانی (درجه)	مدل AOGCM
Déqué (1994)	نروژ	A1B, B1	۱,۹×۱,۹	BCM2
McFarlane et al. (1992)	کانادا	A1B	۲,۸×۲,۸	CGMR
Déqué et al. (1994)	فرانسه	A1B, A2	۱,۹×۱,۹	CNCM3
Gordon et al. (2002), CSMD (2005)	استرالیا	A1B, B1	۱,۹×۱,۹	CSMK3
Wang et al. (2004)	چین	A1B, B1	۲,۸×۲,۸	FGOALS
GFDL-GAMDT (2004)	امریکا	A1B, A2, B1	۲×۲,۵	GFCM21
Russell et al. (1995)	امریکا	A1B, B1	۳×۴	GIAOM
Gordon et al. (2000), Pope et al. (2000)	انگلستان	A1B, A2, B1	۲,۵×۳,۷۵	HADCM3
Martin et al. (2006), Ringer et al. (2006)	انگلستان	A1B, A2	۱,۳×۱,۹	HADGEM
Galín et al. (2003)	روسیه	A1B, A2, B1	۴×۵	INCM3
Hourdin et al. (2006)	فرانسه	A1B, A2, B1	۲,۵×۳,۷۵	IPCM4
K-1 Model Developers (2004)	ژاپن	A1B, B1	۲,۸×۲,۸	MIHR
Roeckner et al. (1996)	آلمان	A1B, A2, B1	۱,۹×۱,۹	MPEH5
Collins et al. (2004)	امریکا	A1B, A2, B1	۱,۴×۱,۴	NCCCSM
Kiehl et al. (1998), Kiehl & Gent (2004)	امریکا	A1B, B1	۲,۸×۲,۸	NCPCM

### ۳.۱. سناریوهای انتشار

سناریو انتشار دربرگیرنده اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است. از دلایل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین می‌توان به افزایش

فعالیت‌های اقتصادی جوامع و متعاقب آن رشد صنایع و کارخانه‌ها و تغییرات کاربری اراضی اشاره کرد (شاه کرمی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۰۱).

سناریوهای تغییر اقلیم مورد استفاده در این مطالعه عبارت بودند از سناریوی A1B که ترسیم کننده جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است به طوری که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهش خواهد بود. همچنین، رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر بر اساس این سناریو در دوره‌های آتی رخ خواهد داد و بنابراین تغییر اقلیم متوسطی برای دوره‌های آینده را ترسیم می‌کند. (IPCC-TGCI, 1999, 62)<sup>1</sup>. سناریو بدبینانه A2 که مبین رشد سریع جمعیت جهان اما همراه با رشد اقتصادی ناهمگن در مناطق مختلف است. بر طبق سناریوی خوش‌بینانه B1 نیز در دهه‌های آتی همگرایی جمعیت در سطح جهان رخ خواهد داد و تغییر در ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر، صورت خواهد گرفت (IPCC; 2007, 423). بنابراین مدل LARS-WG5 با استفاده از این سه سناریوی تغییر اقلیم تأیید شده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، اجرا شد و مقادیر روزانه پارامترهای اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی برای دوره آینده نزدیک شبیه‌سازی شد.

### ۲.۳. مدل LARS-WG

مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های تولید داده‌های هواشناسی است که برای تولید مقادیر روزانه دماهای بیشینه و کمینه، بارش و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. نسخه اولیه این مدل در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از زنجیره مارکف است که به کرات از آن استفاده شده است (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۱۸۸) (زمنف و بارو، ۱۹۹۷: ۴۰۲).

مدل LARS-WG از سه بخش اصلی تشکیل شده که عبارت‌اند از: واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته است. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه، اخذ شده از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور، چنانچه در بالا ذکر شد با در نظر گرفتن یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۶-۲۰۰۵) به عنوان دوره پایه، تهیه شده و مدل بر اساس آن اجرا شد.

در این مطالعه برای صحت سنجی مدل از روش گرافیکی خان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶) جهت مقایسه ماه به ماه هر پارامتر استفاده گردید. پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی و قابلیت مدل LARS-WG در

1 Intergovernmental Panel on Climate Change - Task Group on Climate scenarios for Impact Assessment

2 Khan

شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی، اقدام به اجرای مرحله سوم یا شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ گردید. نیاز اساسی مدل برای اجرای این مرحله، دو فایل با پسوند WG و Sce است. فایل اول همان داده‌های روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره پایه است و فایل دوم از خروجی ۱۵ مدل گردش عمومی جو مورد مطالعه در دوره مشابه با دوره پایه به دست می‌آید (زمنف و بارو، ۲۰۰۲: ۱۱). در حقیقت در این مرحله، مدل با استفاده از رفتار اقلیم در دوره پایه و ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو، پارامترهای اقلیمی آینده را در حد مقیاس منطقه مورد مطالعه (ایستگاه هواشناسی)، شبیه‌سازی می‌کند.

### ۳.۳. عدم قطعیت

اگرچه تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف انجام پذیرفته و رویکردهای مختلف تطبیقی و نحوه کاهش خسارت موردبررسی قرار گرفته، ولی در اکثر این تحقیقات عدم قطعیت‌های موجود نادیده گرفته شده و در بررسی‌ها به تحلیل حساسیت و یا آسیب‌پذیری سیستم‌ها نسبت به یک یا چند سناریو از مدل‌های AOGCM بسنده شده است. این در حالی است که نادیده گرفتن عدم قطعیت‌ها در مراحل ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم، باعث می‌شود تا از میزان قطعیت خروجی نهایی سیستم کاسته شود. از مهم‌ترین منابع عدم قطعیت در مباحث تغییر اقلیم به‌کارگیری مدل‌های مختلف AOGCM و سناریوهای انتشار است که خروجی‌های متفاوتی را برای متغیرهای اقلیمی تولید می‌کنند (خان و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۷۱).

در مطالعه حاضر سعی گردید با بررسی خروجی مدل‌های مختلف، آنالیز مربوط به سناریوهای انتشار مختلف به‌صورت مجزا برای هر پارامتر صورت پذیرد و باند تغییرات ناشی از عدم قطعیت ۱۵ مدل AOGCM برای سناریوهای انتشار مختلف ترسیم گردد. این باند در واقع نشان دهنده فضای ممکن در تغییر محدوده پارامترهای موردبررسی در دوره آتی نسبت به گذشته است و در نهایت با مقایسه تغییرات دوره آتی نسبت به دوره گذشته، اثرات تغییر اقلیم بر تغییرپذیری پارامترهای اقلیمی تحت تأثیر مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

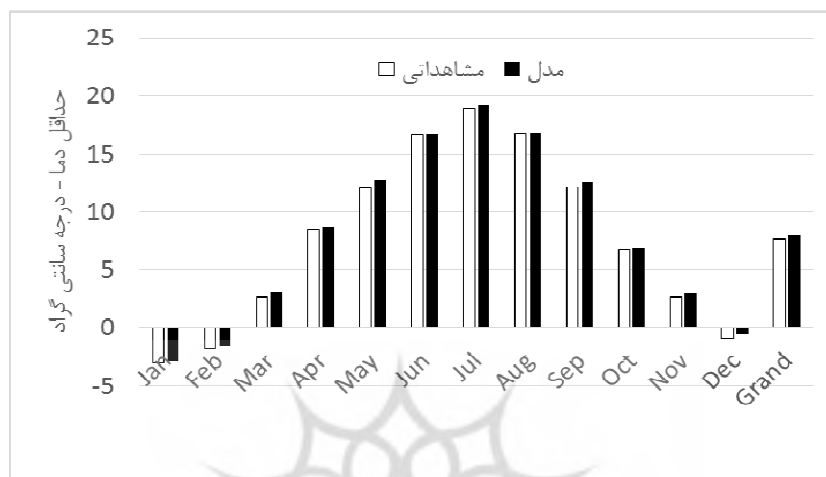
### ۴. بحث و نتایج

#### ۴.۱. صحت‌سنجی مدل

برای صحت‌سنجی مدل LARS-WG داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) برای مقادیر حداقل دما، حداکثر دما و بارندگی در هر ماه به‌صورت نمودار ارائه شد.

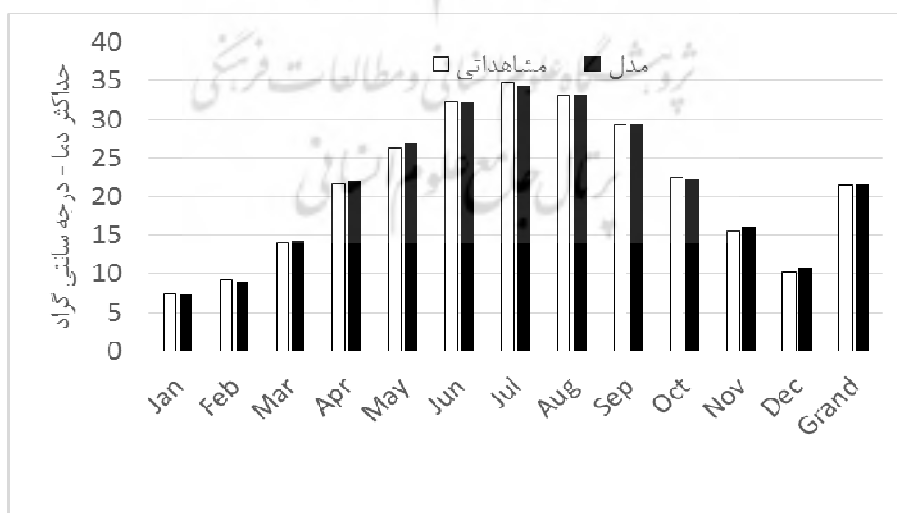


همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است مقادیر حداقل دما برآورد شده توسط مدل در تمامی ماه‌ها و در مقیاس سالانه دقت مناسبی را نسبت به حداقل دمای داده‌های مشاهداتی داشته است. بیشترین اختلاف مربوط به ماه می با مقدار ۰/۶ درجه سلسیوس بوده و در بقیه ماه‌ها اختلاف کمتری نسبت به مقادیر مشاهداتی نشان داده است.



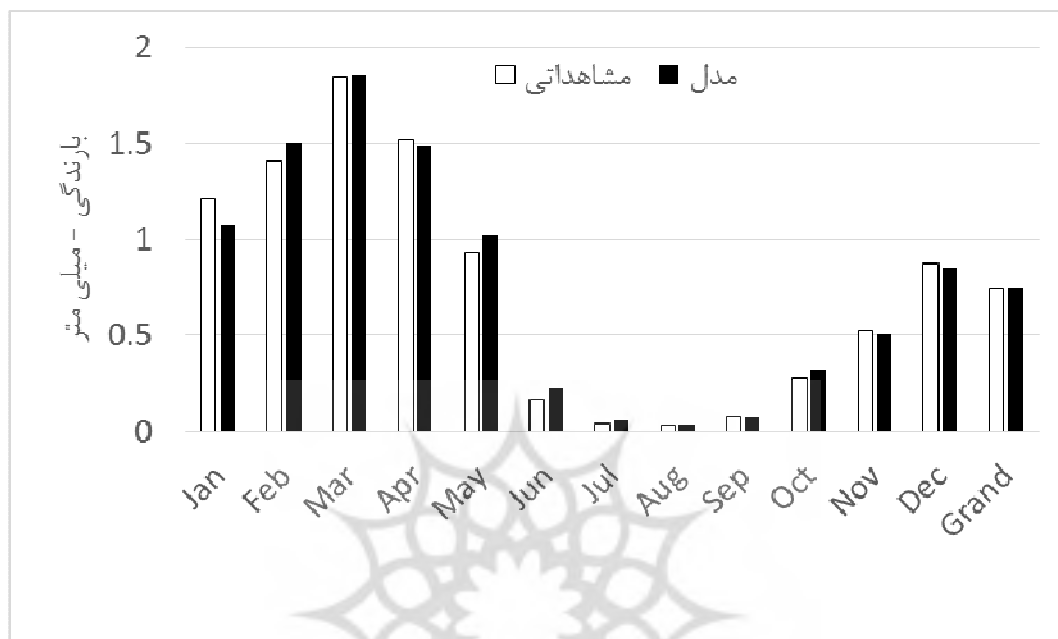
شکل (۲) مقایسه مقادیر دمای حداقل حاصل از خروجی مدل و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک مشهد

شکل (۳) نشان‌دهنده مقادیر حداکثر دمای مشاهداتی و برآورد شده توسط مدل LARS-WG در ماه‌های مختلف است. این شکل دقت مناسب مدل برای استفاده از خروجی حداکثر دما را نشان می‌دهد. بیشترین اختلاف مقدار ۰/۷ درجه سانتیگراد در ماه نوامبر است.



شکل (۳) مقایسه مقادیر دمای حداکثر حاصل از خروجی مدل و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک مشهد

همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، مدل LRAS-WG در دوره پایه دقت مناسبی در برآورد بارندگی داشته است، بیشترین اختلاف مربوط به ماه ژانویه با مقدار ۰/۱۴ میلی‌متر بوده است. در این شکل مقادیر بر حسب متوسط بارندگی روزانه در هر ماه نمایش داده شده است.

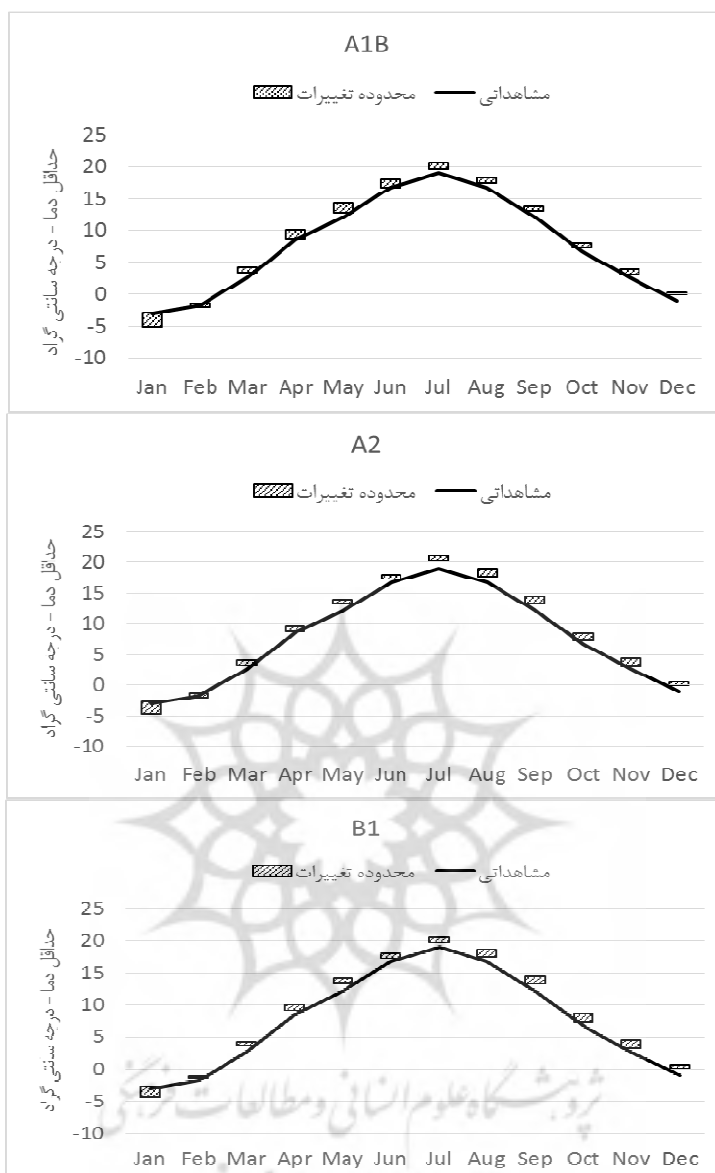


شکل ۴ مقایسه مقادیر بارش حاصل از خروجی مدل و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک مشهد

## ۴.۲. باندها یا محدوده عدم قطعیت

### ۴.۲.۱. حداقل دما

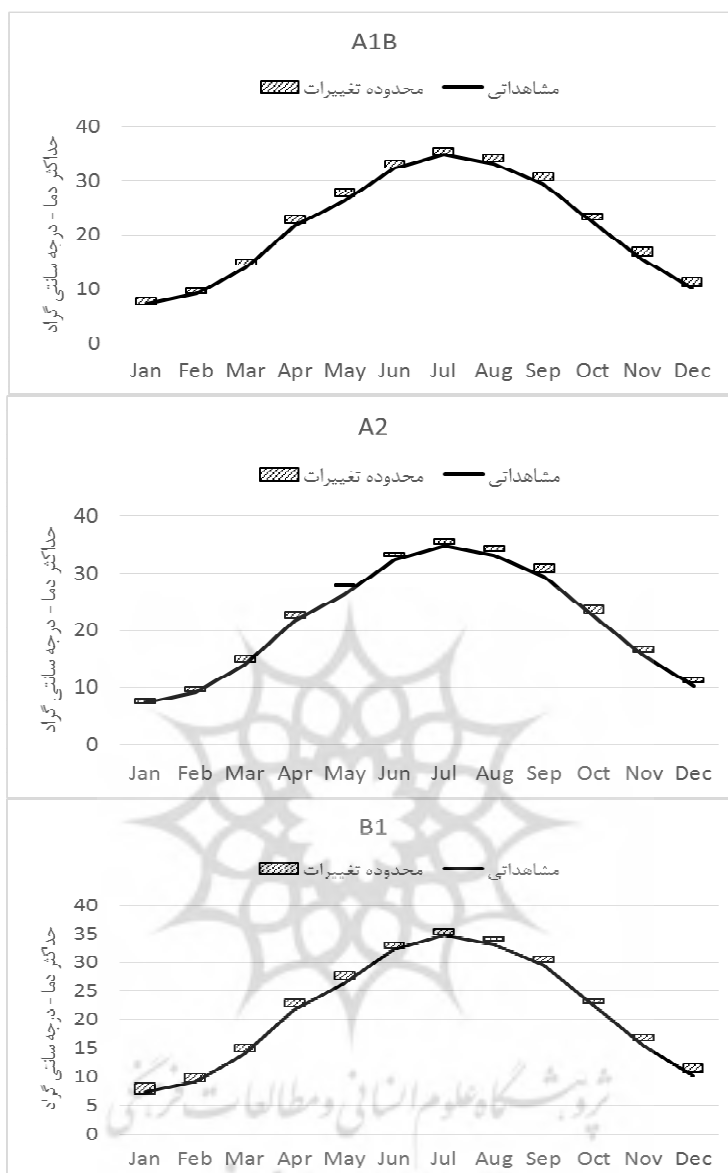
با توجه به شکل (۵) مشاهده می‌شود که باندها تغییرات حداقل دما به گونه‌ای بوده است که بیشترین ضخامت باندها عدم قطعیت ناشی از مدل‌ها مربوط به سناریو A1B با مقدار ۱۲/۵ درجه سلسیوس در سال و کمترین ضخامت مربوط به سناریو B1 با مقدار ۱۱/۷ درجه سلسیوس در سال است. مقدار ضخامت مربوط به سناریو A2 با مقدار ۱۲/۱ درجه سلسیوس بین دو سناریو دیگر قرار داشته است. به‌طور متوسط در دور آینده نزدیک تحت تأثیر سناریو انتشار A1B مقدار ۰/۵ تا ۱/۴ درجه سلسیوس افزایش دما در منطقه رخ خواهد داد. این مقادیر به ترتیب برای سناریوهای A2 و B1 برابر ۰/۷ تا ۱/۶ و ۰/۷ تا ۱/۷ است. به‌طور کلی می‌توان گفت سناریو A1B مقادیر کمتری در گرمایش منطقه با عدم قطعیت بیشتر از دو سناریو دیگر را دارا بوده است و سناریو B1 بیشترین افزایش دمای حداقل را با کمترین عدم قطعیت نشان داده است.



شکل ۵ باند تغییرات دمای حداقل در سناریوهای مورد مطالعه

## ۲.۲.۴. حداکثر دما

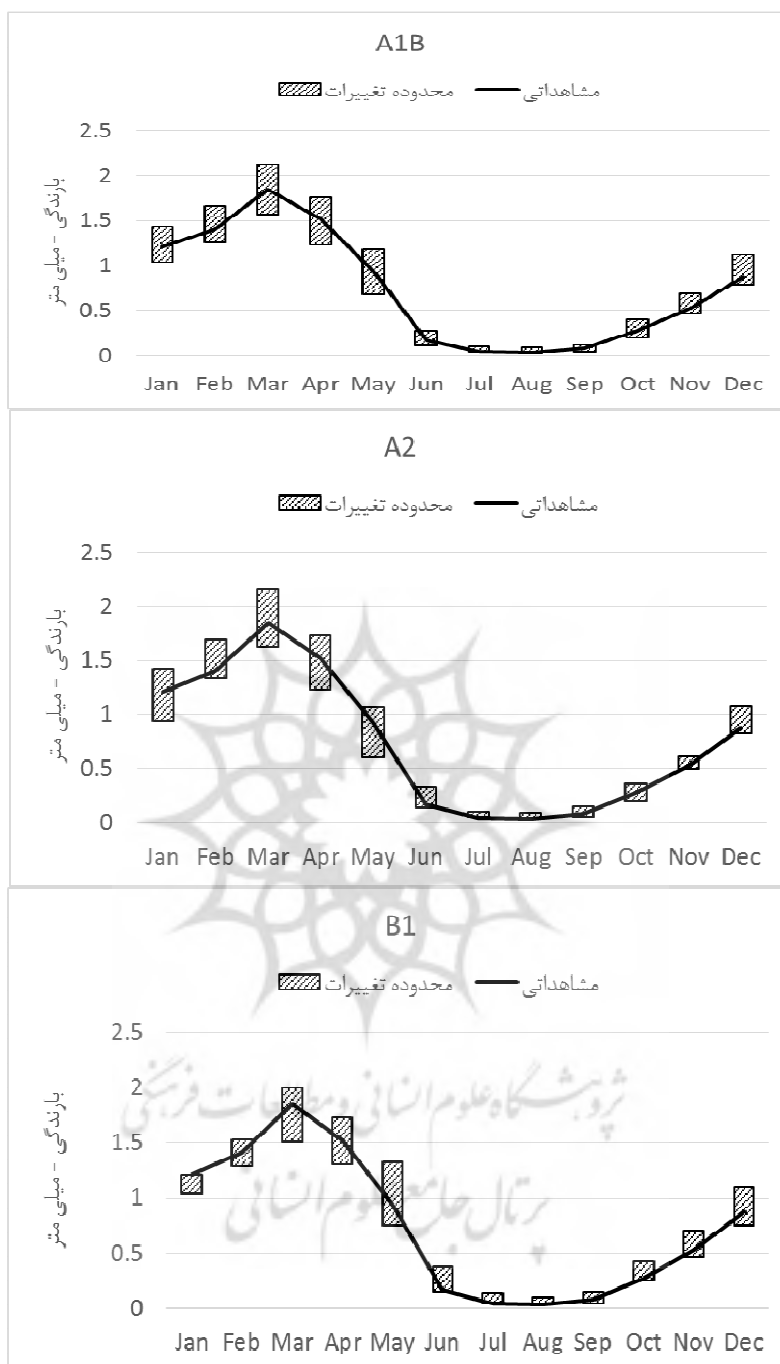
آنالیز حداکثر دما نشانگر کمترین ضخامت باند عدم قطعیت در سناریو A2 و بیشترین مقدار آن در سناریو A1B است. مقادیر افزایش دما در دوره آینده نزدیک برای سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب ۰/۳ تا ۱/۶، ۰/۵ تا ۱/۵ و ۰/۴ تا ۱/۶ درجه سلسیوس مشاهده شده است که بیشترین اختلاف سناریوها در حد پایین باند گرمایش منطقه مشاهده شده و در حد بالای آن دو سناریو A1B و B1 توافق داشته ولی سناریو A2 مقدار ۰/۱ درجه سلسیوس نسبت به دو سناریو دیگر گرمایش کمتری را نشان داده است (شکل ۶).



شکل ۶ باند تغییرات دمای حداکثر در سناریوهای مورد مطالعه

### ۳.۲.۴. بارندگی

آنالیز نتایج بارندگی به گونه‌ای بوده که در برخی مواقع کاهش و در برخی مواقع افزایش بارندگی رخ خواهد داد. عدم قطعیت ناشی از مدل‌های مختلف در سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب بیانگر ۳/۵، ۳/۳ و ۳/۱ میلی‌متر تغییرات در میانگین سالانه بارندگی است که بیشترین مقدار مربوط به سناریو A1B و کمترین مقدار مربوط به سناریو B1 بوده است. تمامی سناریوها توافق ۰/۱ میلی‌متری بارندگی در حد پایین تغییرات دوره آینده نزدیک نسبت به دوره گذشته را نشان داده و در مورد حد بالا نیز با توافق نظر مقدار میانگین ۰/۲ میلی‌متر افزایش بارندگی را نشان داده شده است.



شکل ۷ باند تغییرات بارندگی در سناریوهای مورد مطالعه

### ۵. نتیجه‌گیری

این مقاله تلاشی در راستای بررسی و ارزیابی عدم قطعیت ناشی از ۱۵ مدل AOGCM تحت تأثیر ۳ سناریو انتشار A1B، A2 و B1 بود. با در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به هر سناریو، تغییرات پارامترهای

حداقل دما، حداکثر دما و بارندگی در دوره آینده نزدیک نسبت به دوره مشاهداتی به صورت باند عدم قطعیت بررسی گردید. نتایج حاصل نشان‌دهنده توانایی بالای مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره پایه است. مقادیر مدل نسبت به مقادیر مشاهداتی در تمامی ماه‌ها دقت خوبی را دارا بوده است. عدم قطعیت ناشی از سناریوهای انتشار برای پارامترهای مختلف متفاوت بود. به گونه‌ای که در مورد حداقل دما و بارندگی سناریو B1 کمترین عدم قطعیت را از خود نشان داد ولی در مورد حداکثر دما سناریو A2 این مقدار را به خود اختصاص داده بود. بیشترین عدم قطعیت در برآورد پارامترهای اقلیمی در این مطالعه مربوط به سناریو A1B بود. در نهایت مقدار افزایش دمای حداقل در دوره آینده نزدیک تحت تأثیر سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب بین ۰/۵ تا ۱/۴، ۰/۷ تا ۱/۶ و ۰/۷ تا ۱/۷ درجه سلسیوس و برای حداکثر دما به ترتیب ۰/۳ تا ۱/۶، ۰/۵ تا ۱/۵ و ۰/۴ تا ۱/۶ درجه سلسیوس به دست آمد. برای بارندگی تمامی سناریوها به طور متوسط سالانه محدوده تغییرات ۰/۱ میلی‌متر کاهش تا ۰/۲ میلی‌متر افزایش را نشان داده‌اند.

#### کتابنامه

- آشفته، پریسا سادات، و مساح بوانی، علیرضا؛ ۱۳۸۶. تأثیر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی سیلاب در دوره‌های آتی، مطالعه موردی حوزه آیدوغموش آذربایجان شرقی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. مجموعه مقالات کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب. تهران، صص ۴۷-۳۱.
- آشفته، پریسا سادات، و مساح بوانی، علیرضا؛ ۱۳۹۱. بررسی تأثیر عدم قطعیت مدل‌های چرخه عمومی جو و اقیانوس (AOGCM) و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم. مجله تحقیقات منابع آب ایران. جلد ۸، شماره ۲. صص ۴۷-۳۶. تهران.
- اشرف، بتول، موسوی بایگی، محمد، کمالی، غلامعلی، و داوری، کامران؛ ۱۳۹۰. پیش‌بینی نیاز آبی چغندر قند در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل ریزه‌مقیاس کننده LARS-WG (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک. جلد ۲۵، شماره ۵. صص ۱۱۹۶-۱۱۸۴. مشهد.
- بابائیان، ایمان، و نجفی نیک، زهرا؛ ۱۳۸۵. ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره آماری (۱۹۶۱-۲۰۰۳). مجله نیوار. شماره ۶۲. صص ۶۵-۴۹. تهران.
- خردادی، محمدجواد، علیرزاده، امین، نصیری محلاتی، مهدی، و هوشمند، دل‌آرام؛ ۱۳۹۲. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی و دوره‌های خشک و تر در صد سال آتی با تلفیق روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله و عامل تغییر (مطالعه موردی زیرحوضه تهران- کرج). مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره ۲۱. صص ۱۷۸-۱۵۷.
- شاه‌کرمی، نازنین، مساح بوانی، علیرضا، مرید، سعید، و فهمی، هدایت؛ ۱۳۸۶. تحلیل عدم قطعیت مدل‌های جفت شده اقیانوس- اتمسفر- گردش عمومی جو بر سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی در حوضه زاینده‌رود. انتشارات

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. مجموعه مقالات کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب. تهران، صص ۹۹-۱۱۰.

عباسی، فاطمه، ملبوسی، شراره، بابائیان، ایمان، اثمیری، مرتضی، و برهانی، رضا؛ ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. مجله آب‌و‌خاک. جلد ۲۴. شماره ۲. صص ۲۳۳-۲۱۸. مشهد.

Abbasi, F., Asmari, M., and Arabshahi, H., 2011. Climate change assessment over Zagros during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G model. *Environmental Research Journal*, 5(4), 149-155.

Abbasi, F., Malbusi, S., Babaeian, I., Asmari, M., and Borhani, R., 2010. Climate change prediction of South Khorasan Province during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G data. *Journal of Water and Soil* 24(2), 218-233.

Ashofteh, P.S., and Massah Bavani, A.R., 2007. Climate change impact on severity and frequency of flood in the future periods, a case study in Aydoughmouh basin, East Azerbaijan. Technical workshop on the effects of climate change on water resources management, IRNCID Publication, Tehran, 31-47.

Ashofteh, P.S., and Massah Bavani, A.R., 2012. Investigation of AOGCM model uncertainty and emission scenarios of greenhouse gases impact on the basin runoff under climate change. *Iran-Water Resources Research* 8 (2), 36-47.

Ashraf, B., Mousavi Baygi, M., Kamali, Gh. A., and Davari, K., 2011. Prediction of water requirement of sugar beet during 2011-2030 by using simulated weather data with LARS-WG downscaling model. *Journal of Water and Soil*, 25(5), 1184-1196.

Babaeian, I., and Najafi Nik, Z., 2006. Assessment of LARS-WG model to simulate meteorological parameters in Khorasan Province, 1961-2003 statistical period. *Journal of Nivar* 62, 49-65.

Eslamian, S.S., Khordadi, M.J., and Abedi-Koupai, J., 2011. Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions. *Global and Planetary Change*, 78(3-4), 188-194.

IPCC., 2007. Summary for policy makers climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press, 881 pp.

IPCC-TGCI., 1999. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, UK.

IPCC-WG., 2010. <http://www.ipcc.ch>

Khan, M., Coulibaly, P., and Dibike, Y., 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *J. Hydrol.*, 319, 357-382.

Khordadi, M.J., Alizadeh, A., Nassiri Mahallati, M., and Hooshmand, D., 2014. An evaluation of the impact of climate change on climatic parameters and dry and wet spells in the next 100 years using combining IDW and change factor methods (A case study in Tehran-Karaj subbasin). *Journal of Geography and Regional Development* 21, 157-178.

- Lane, M.E., Kirshen, P.H., and Vogel, R.M., 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(4), 194-204.
- Minville, M., Brissette, F., and Leconte, R., 2008. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. *Journal of Hydrology*, 358, 70-83.
- Semenov, M.A., and Barrow, E. M., 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
- Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change*, 35, 397-414.
- Semenov, M.A., and Stratonovitch, P., 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41, 1-14.
- Shahkarami, N., Massah Bavani, A.R., Morid, S., and Fahmi, H., 2007. Analyzing uncertainty of coupled models of AOGCMs on climate change scenarios of temperature and rainfall parameters in Zayandeh Roud basin. Technical workshop on the effects of climate change on water resources management, IRNCID Publication, Tehran, 99-110.

