

شرایط و مخاطرات اقلیمی آینده ایران در تحقیقات اقلیمی

مصطفی کریمی^۱، استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.
سیف الله کاکی، دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه
تهران، ایران.
سمیه رفعتی، استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۶/۲۳

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۱۸

چکیده

شرایط شکننده، متغیر و گاه مخاطره آمیز اقلیم کنونی ایران پیش‌بینی آینده آن را بسیار ضروری اما سخت نموده است. پیش‌بینی شرایط اقلیم آینده بوسیله مدل‌های گردش کلی جو مورد استفاده تحقیقات متعددی به هدف تدقیق محلی نتایج قرار گرفته است. یکی از پرکاربردترین این روش‌ها، ریزمقیاس نمایی آماری است. این روش در مطالعات اقلیمی به طور گسترده استفاده شده اما تاکنون نتوانسته بیان روشی از شرایط اقلیم آینده ایران به نمایش بگذارد. در پژوهش حاضر با هدف تعیین دورنمای شرایط اقلیمی آینده در ایران، تحقیقات انجام گرفته در زمینه‌ی ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوس برای بررسی فراسنج‌های بارش و دما تحت سناریوهای انتشار مختلف، گردآوری گردید. با روش تحلیل توصیفی-محثوا و مقایسه نتایج، دید جامعی از اقلیم آینده، مخاطرات آن و بویژه تغییر اقلیم در ایران ارایه گردد. در نهایت با توجه به تفاوت‌های اقلیمی-جغرافیایی سرزمین ایران، نتایج حاصل به طور جداگانه در ۶ منطقه بررسی گردید. در منطقه شمال غرب تغییرات بارش کاهشی، کاهشی-نوسانی و کاهشی-انتقالی و دما افزایشی و در منطقه غرب و جنوب غرب تغییرات بارش کاهشی، کاهشی-نوسانی و افزایشی و تغییرات دما افزایشی پیش‌بینی شده است. منطقه جنوب و جنوب شرق دارای تغییرات کاهشی، کاهشی-نوسانی، نوسانی و افزایشی-نوسانی بارش و تغییرات افزایشی دما خواهد بود. در منطقه شرق و شمال شرق تغییرات بارش نوسانی و کاهشی-نوسانی و تغییرات دما افزایشی-نوسانی است. در منطقه سواحل شمالی، تغییرات بارش کاهشی و افزایشی-نوسانی و دما افزایشی و افزایشی-نوسانی و منطقه جنوب البرز و مرکز ایران نیز دارای تغییرات کاهشی، نوسانی، افزایشی-نوسانی بارش و تغییرات افزایشی دما خواهند بود. با توجه به روند کاهشی بارش و روند افزایشی دما در درصد بسیار بالایی از پهنه سرزمین ایران، رخداد مخاطرات اقلیمی و محیطی ناشی از آن همانند امواج گرمایی، خشکسالی و سیل نیز می‌تواند در آینده افزایش یابد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، مخاطرات اقلیمی، ریزمقیاس نمایی آماری، مدل گردش عمومی جو، ایران.

مقدمه

در گذشته تغییرات آب و هوایی الگوی زندگی انسان‌ها را تغییر می‌داد اما امروزه انسان‌ها با فعالیت‌های ایشان موجب تغییراتی در آب و هوای جهان شده‌اند. تغییر اقلیم یکی از چالش‌هایی است که بشر در قرن بیست و یک با آن مواجه است و به عنوان یک تهدید بالقوه، محیط‌های طبیعی و انسان‌ساخت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش 0.5°C در سال ۱۳۸۲ سانتی‌گراد دما در اروپای غربی، 0.41°C در سال ۱۳۹۳ درجه سانتی‌گراد در آمریکا، 0.23°C درجه سانتی‌گراد در روسیه و 0.13°C در شرق سیبری (Jones, 1998)، افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد دمای شباهنگی ایران در صد سال (مسعودیان، ۱۳۸۳) و افزایش میانگین دمای کمینه در یک دهه برای تهران تا حد 0.68°C درجه سانتی‌گراد (بیدختی و سعادت‌آبادی، ۱۳۸۲)؛ نشان دهنده این است که عواملی (انسانی و طبیعی) اقلیم کره زمین را دچار تغییر می‌کنند. به طور کلی میانگین دمای جهانی طی ۱۰۰ سال گذشته 0.74°C افزایش یافته است و افزایش دماهای کمینه و دماهای زمستانی سریع‌تر از دماهای بیشینه و دماهای تابستانی بوده است (IPCC, 2013). شواهد تغییر روند بارش در اثر فعالیت‌های انسانی نسبت به مورد افزایش دما کمتر متلاعنه است. به طور کلی، بارش در عرض‌های بالا افزایش و در عرض‌های پایین کاهش یافته است، اما تغییرپذیری بارش تقریباً در کل جهان افزایش یافته است (Asseng et al., 2016). در گزارش IPCC^۱ افزایش حوادث اقلیمی و هواشناسی فرین مثل خشکسالی، سیل، سیکلون و امواج گرما پیش‌بینی شده است که اثرات شدیدی بر سیستم‌های طبیعی و انسانی در سرتاسر جهان دارد (Tambo, 2016) به نقل از IPCC ۲۰۱۴. وجود این شرایط در کشوری مانند ایران که دارای حساسیت اکولوژیکی می‌باشد، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر وضعیت منابع آب، کشاورزی، انرژی، گردشگری و شرایط زیست اقلیمی می‌گذارد و لزوم مطالعه در این زمینه را به وجود می‌آورد. محققین معتقدند، معتبرترین ابزار برای بررسی پدیده تغییر اقلیم، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده به وسیله مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو – اقیانوسی می‌باشد (IPCC, 1995). اطلاع از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین که با عنوان سناریوهای انتشار^۲ بیان می‌شوند از ورودی مورد نیاز مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو – اقیانوس می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که مدل‌های گردش عمومی، تغییرات فراسنج‌های اقلیمی مانند دما و بارش را در بعد زمان و مکان در مقیاس جهانی به خوبی پیش‌بینی کرده (Koukidis & Berg, 2009) و قادر به شبیه‌سازی چرخه عمومی جو و جو-اقیانوس با مقیاس‌های گوناگون هستند اما قدرت تفکیک مکانی پایین این مدل‌ها یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مطالعات مربوط به آن‌ها است. بنابراین خروجی این مدل‌ها در مقیاس ایستگاه قابل استفاده نمی‌باشد (محمدلو و همکاران، ۱۳۹۳)؛ به همین منظور دانشمندان برای رفع این مشکل روش‌های متعددی ابداع نموده‌اند که به این روش‌ها ریزمقیاس نمایی^۳ می‌گویند و اصول تمام آن‌ها بر پایه برقراری ارتباط بین متغیرهای مدل‌های گردش عمومی جو (رطوبت، فشار هوا، باد و ...) به عنوان متغیر مستقل و متغیرهای اقلیمی (بارش، دما و ...) به عنوان متغیرهای وابسته در مقیاس منطقه‌ای، محلی و حتی نقطه‌ای می‌باشد (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲). برای ریزمقیاس نمایی اغلب از دو روش دینامیکی و آماری استفاده می‌شود. روش‌های آماری نسبت به روش‌های دینامیکی به پارامترهای کمتری نیاز دارند و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در روش آماری ابتدا همبستگی آماری بین خروجی مدل‌های گردش عمومی جو در گذشته با داده‌های دوره آماری ایستگاه هواشناسی واقع در شبکه مدل

¹- Intergovernmental Panel on Climate Change

²- Emissions Scenarios

³- Down Scaling

اقلیمی بdst می‌آید و سپس این همبستگی به دوره مورد مطالعه در آینده تعمیم داده می‌شود و در صورتی که نتایج قابل قبول باشد برای سناریوهای آینده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵)؛ اما باید توجه داشت که این نتایج با عدم قطعیت همراه است. عدم قطعیت به معنی نبود یا کمبود اطلاعات درباره وضعیت موجود و یا نتایج یک فرآیند می‌باشد و در مدل‌ها تفاوت بین نتایج مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده است که می‌تواند ناشی از کمبود اطلاعات، تغییرپذیری مدل و پارامترهای آن، وجود خطا در داده‌ها و ... باشد. برای تخمین‌هایی که براساس ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی می‌باشند، سطوح مختلف عدم قطعیت مربوط به، مدل‌های گردش عمومی یا تنوع درون مدلی، تغییرپذیری سناریو یا درون سناریو، درک مختلف از مدل‌های گردش عمومی (تنوع بین مدلی) و عدم اطمینان به روش‌های ریزمقیاس‌نمایی است (انصاری و همکاران، ۱۳۹۳). از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری می‌توان به SimClim^۱ MET&ROLL^۲ USCLIMATE^۳ CLIM-GEN^۴ ASD^۵ LARS-WG^۶ SDSM^۷ اشاره کرد که با دو رویکرد عرضه شده‌اند. رویکرد نخست استفاده از مولدهای تصادفی آب و هوایی براساس الگوهای سری زمانی-سری فوریه می‌باشد و رویکرد دوم بهره‌گیری از الگوهای رگرسیونی یا تابع انتقال است. یکی از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی که براساس رویکرد الگوهای سری زمانی و سری فوریه می‌باشد، الگوی آماری LARS-WG می‌باشد (سبحانی و اصلاحی، ۱۳۹۴). این مدل مقادیر بارش، تابش و دمای بیشینه و کمینه را برای دوره‌های طولانی مدل‌سازی می‌کند. مدل‌سازی بارش و احتمال وقوع آن با روش توزیع نیمه تجربی و زنجیره مارکف، مدل‌سازی تابش بر اساس توزیع نیمه تجربی و مدل‌سازی دما نیز با استفاده از سری فوریه انجام می‌شود. (سبحانی و فاطمی نیا، ۱۳۹۳). مدل دیگر که براساس ترکیبی از دو رویکرد سری زمانی-سری فوریه و الگوهای رگرسیونی یا تابع انتقال پایه‌ریزی شده مدل SDSM می‌باشد که در هفت مرحله خروجی مدل گردش عمومی را براساس داده‌های روزانه در منطقه مورد نظر ریزمقیاس می‌کند (سبحانی و اصلاحی، ۱۳۹۴) و نتایج مناسب به شدت به انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده بستگی دارد. (دهقان و همکاران، ۱۳۹۴). یکی دیگر از مدل‌های آماری، مدل Clim-Gen است که قابلیت برآورد پارامترهای بارندگی، دما، تابش خورشیدی، نقطه شبنم، رطوبت نسبی و سرعت باد را دارد. در این مدل رخداد بارندگی روزانه با استفاده از روش زنجیره مارکف شبیه‌سازی می‌شود که اساس کار آن دوره‌های خشک و مرطوب است و برآورد میزان بارش نیز با استفاده از توزیع ویبول (حجارپور و همکاران، ۱۳۹۳) و براساس این دو فرض اساسی که؛ اولاً وضعیت بارندگی در یک روز معین فرایندی از زنجیره مارکوف مرتبه اول است و دوماً مقدار بارندگی در روزهای بارانی از تابع توزیع احتمال مناسب تعیین می‌کند، انجام می‌شود. تولید داده‌های دمای کمینه و حداکثر از روش زنجیره مارکف و شبیه‌سازی تابش کلی خورشید نیز به کمک داده‌های دمای حداکثر و کمینه و با استفاده از معادله پیشنهادی بربیستو^۸ و کامپل^۹ انجام می‌شود (بذرافشان و همکاران، ۱۳۸۸). مدل دیگر که ترکیبی از مولدهای تصادفی آب و هوایی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی مبتنی بر رگرسیون است و باعث ایجاد سناریوهای تک سایت از متغیرهای آب و هوایی سطحی تحت واداشتهای اقلیم حاضر و آینده می‌شود، نرم افزار ریزمقیاس‌نمایی آماری (ASD) است (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲)؛ که از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM الهام گرفته است. در این مدل انتخاب متغیرهای غالب به صورت خودکار و با استفاده از دو روش رگرسیون گام به گام و

¹- Statistical DownScaling Model²- Long Ashton Research Station Weather Grneration³- Automated Regression-Based Statistical Downscaling Tool⁴- Climatic Data Generator⁵- Bristow⁶- Campbell

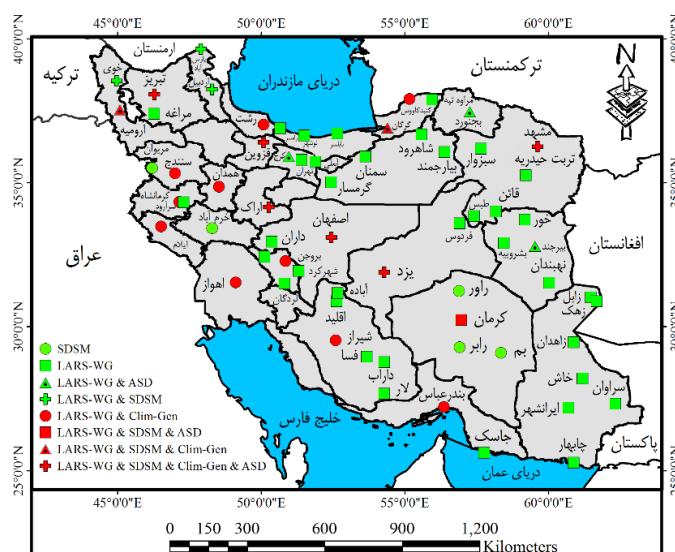
همبستگی جزئی صورت می‌گیرد در حالی که در SDSM این مرحله توسط کاربر و با قضاوت او انجام می‌شود (تورینی و حسامی کرمانی، ۱۳۹۳). امروزه کاربرد مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری در مطالعات اقلیم و تغییرات آن بسیار گسترده است و تحقیقات فراوانی در سطح دنیا و ایران با استفاده از آن‌ها انجام شده است. با مدل LARS-WG در سطح جهان و برای مثال می‌توان به تحقیقات (Semenov et al. 2010)، Hashmi et al. (2011)، Chen et al. (2012) و Dumont (2016) در ایران به تحقیقات اعتمادی و همکاران (۱۳۹۴)، طائemi سمیرمی و همکاران (۱۳۹۴) و عساکره و شاهمنصوی (۱۳۹۵) اشاره کرد. مدل SDSM را (Rashid and Mukands 2014)، Zhoafi et al. (2011)، Koukidis and Berg (2009) و ایران صمدی نقاب و همکاران (۱۳۹۰)، آبکار و همکاران (۱۳۹۳) و رضایی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقات شان به کار برده‌اند. از مدل ASD در سطح دنیا (Hessami et al. 2008) و در تحقیقات داخلی سلطان‌پور و حسامی (۱۳۸۸) علیزاده و همکاران (۱۳۹۲)، صالح‌نیا و همکاران (۱۳۹۳)، زینتی و حسامی (۱۳۹۳) و نازلی و حسامی (۱۳۹۳) استفاده کرده‌اند. تحقیقات (Stockle et al. 2001)، Timothy Kou et al. (2007) و در ایران تحقیقات بذرافشان و همکاران (۱۳۸۸)، حجارپور و همکاران (۱۳۹۳) و ساری‌صرف و همکاران (۱۳۹۴) نمونه‌های استفاده از مدل Clim-Gen هستند. به دلیل اهمیت بحث تغییر اقلیم و اطلاع از شرایط اقلیم آینده، و مهم‌تر از آن شرایط حدی و مخاطره آمیز آن مطالعات بی‌شماری در سطح بین‌المللی و داخلی در این خصوص صورت گرفته است. با در نظر گرفتن بررسی‌های متعدد با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری مختلف در داخل کشور و برآورد پارامترهای اقلیمی در دوره‌های آینده که گاه نتایج ناهمگونی نیز در پی داشته، پژوهش حاضر سعی دارد با مطالعه جامع تحقیقات منتشر شده و در دسترس، ضمن بررسی روش‌های مورد استفاده و استخراج تشابهات و تضادهای نتایج این تحقیقات، دیدی جامع از اقلیم آینده ایران در ارتباط با شرایط دما و بارش و روند احتمال رخداد مخاطرات اقلیمی آینده با توجه به نتایج به دست آمده از آن‌ها ارایه نماید.

داده‌ها و روش کار

محدوده مطالعه در این پژوهش سرزمین ایران است که دخالت عوامل متعدد جغرافیایی و قرارگیری در محل گذار سامانه گردش جو باعث تنوع اقلیمی در سرتاسر آن شده است. به دلیل این تنوع اقلیمی و اهمیت بحث اقلیم و تغییرات آن در ایران، بررسی نتایج ریزمقیاس نمایی آماری فراسنج‌های اقلیمی بارش و دما در ۶ ناحیه جغرافیایی انجام پذیرفت. این بررسی با هدف دستیابی به یک دید جامع از شرایط اقلیمی به ویژه تغییر اقلیم در ایران می‌باشد که علی‌رغم تحقیقات مختلف، تاکنون یک روشنگری کاملی از آن بدست نیامده است. بنابراین تحلیل توصیفی-محتوایی و قیاس نتایج تحقیقات (۷۵ مورد) ریزمقیاس نمایی آماری در شبیه‌سازی فراسنج‌های اقلیمی منتخب با مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری ASD، Clim-Gen و SDSM LARS-WG در محدوده سرزمینی ایران (شکل ۱) انجام شد. گرچه تحقیقات در زمینه پژوهش بیش از این تعداد می‌باشد ولی در این مطالعه فقط تحقیقاتی که به مطالعه بارش و دما پرداخته اند و همچنین پوشش کاملی از محدوده سرزمینی ایران را به دست دهنده انتخاب گردیده اند. سپس با انتخاب این تحقیقات، تغییرات عناصر دما و بارش به صورت جداگانه در هر منطقه بررسی و نتایج آن‌ها در پیش‌بینی اقلیم آینده ایران با تأکید بر تغییرات اقلیمی در محدوده‌های منتخب ارایه گردیده است. سناریوهای انتشار استفاده شده و همچنین خروجی مدل‌های گردش عمومی مورد استفاده در مطالعات انجام گرفته در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱: مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری و فراوانی استفاده از آن‌ها در مناطق مختلف ایران

مجموع	سواحل شمالی	شمال غرب	غرب و جنوب غرب	جنوب و جنوب شرق	شمال شرق	شرق و شمال مرکز	جنوب البرز و منطقه مدل
۴۴	۷	۱۱	۱۰	۳	۵	۸	LARS-WG
۱۸	۱	۵	۲	۸	۱	۱	SDSM
۷	۱	۱	۲	۱	۱	۱	Clim-Gen
۶	**	۱	**	۲	۱	۲	ASD



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و مدل‌های مورد استفاده

جدول ۲: مطالعات ریزمقیاس نمایی انجام شده با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای مختلف

فرآوانی	سناریو	فرآوانی	مدل بزرگ مقیاس	مدل ریز مقیاس آماری
۲۰	A1B	۲۷	HADCM ₃	LARS-WG
		۲	MIHR, ECHO-G, MPEH ₅	
	A2	۶	IPCM ₄	
		۴	BCM ₂ , INCM ₃	
	B1	۳	GFCM ₂₁	
		۵	NCCCSM	
	RCP4.5	۱	CCSM ₄ , FGOALS, CSMK ₃ , HADGEM, GIAOM, CGMR, NCPCM	
۲۳	B1	۱۵	HADCM ₃	SDSM
		۳	CGCM ₁	
	A2			
	A1	۱	CGCM ₃	
۱۷	B2			ASD
	A2	۲	HADCM ₃	
۳	A2	۱	CGCM ₃	
	A1BAIM	۱	HADCM ₂	Clim-Gen

شرح و تفسیر نتایج

در این پژوهش به جهت سهولت و دسته‌بندی نتایج و با توجه به نواحی جغرافیایی-اقلیمی، رویکرد منطقه‌ای برای ارایه یافته‌ها در نظر گرفته شده است. با توجه به این‌که از برونداد مدل‌های گردش عمومی مختلف و سناریوهای انتشار مختلف در هر کدام از تحقیقات ریزمقیاس نمایی استفاده شده است و همچنین به دلیل دخالت عوامل محلی، نتایج حاصل در هر ناحیه جغرافیایی-اقلیمی دارای تفاوت می‌باشند. این نتایج نشان‌دهنده تغییرات افزایشی، کاهشی، نوسانی^۱، کاهشی-نوسانی^۲، افزایشی-نوسانی^۳ کاهشی-انتقالی^۴ در بارش و تغییرات افزایشی و افزایشی-نوسانی دما برای دوره‌های آینده خواهد بود.

● منطقه شمال غرب

منطقه شمال غرب شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل و زنجان است. وضعیت اقلیم آینده منطقه با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط برخی مدل‌ها که در تعدادی از ایستگاه‌های منطقه انجام شده، بررسی شد. از خصوصیات اقلیمی این منطقه دماهای پایین و نزول بخشی از بارش به شکل برف می‌باشد. تغییرپذیری عناصر اقلیمی باعث می‌شود تا فصولی که دارای بیشترین میزان بارندگی هستند در دوره‌های آینده با کاهش بارش روبرو شوند و بالعکس. این وضعیت در این منطقه که عمده بارش آن به شکل برف می‌باشد، باعث تغییراتی در رژیم بارشی آن خواهد شد. به طور مثال در ایستگاه ارومیه در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱ میلادی بارش فصل بهار کاهش می‌یابد و بارش پاییزه با افزایش روبرو خواهد شد. یعنی بارندگی دوره پاییزه که بهاری می‌باشد به فصل پاییز منتقل می‌شود (بهمنش و همکاران، ۱۳۹۴). ایستگاه‌های خوی، مهاباد و ماکو نیز برای دوره مذکور دارای تغییرات افزایشی دما و کاهشی بارش خواهند بود (بیگلی و همکاران، ۱۳۹۵) با تغییر رژیم بارندگی، ممکن است بارش‌ها به صورت حدی ببارد که باعث افزایش چند برابری خسارات می‌گردد، بطوری که در ایستگاه تبریز در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ میلادی امکان رخداد این وضعیت در حالت افزایشی وجود دارد (ساری‌صرف و همکاران، ۱۳۹۴) و یا ممکن است تا سال ۲۰۹۹ میلادی بارش کاهشی یا نوسانی باشد که احتمالاً در اثر تغییر در مقدار رطوبت هوا بر اساس گرمایش جهانی می‌باشد (صالح‌پور و همکاران، ۱۳۹۲؛ محسنی‌ساروی و همکاران، ۱۳۹۲؛ تورینی و حسامی، ۱۳۹۳). در ایستگاه مراغه نیز در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ بارش افزایش خواهد یافت، اما در دوره‌های ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ کاهشی خواهد بود. مقدار دما نیز در هر سه دوره مذکور به طور تدریجی افزایش خواهد یافت (غیربدوست و همکاران، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶). در حوضه آجی چای در استان آذربایجان شرقی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۵۵ میلادی اگرچه در بعضی از ماه‌ها بارندگی افزایشی است، اما میانگین کلی بارش کاهش خواهد یافت که بیشترین کاهش در فصل تابستان است. دما نیز با افزایش روبرو خواهد شد که به وقوع و تشدید خشکسالی کمک خواهد کرد (ثانی‌خانی و همکاران، ۱۳۹۲). در ایستگاه‌های اردبیل، خوی و ارومیه نیز بارش دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹ میلادی افزایش خواهد یافت (صالح‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). گرچه تغییرات فصلی و ماهانه می‌تواند ناشی از تغییرات شرایط جوی باشد، ولی نقش عوامل مرفو-اقلیمی نیز اثرگذار است. عوامل جوی، توده‌های ورودی و همچنین توپوگرافی باعث می‌شود تا مدل‌ها در هر یک ایستگاه‌ها با دقت متفاوتی برآورد نمایند. در موقعي مانند فصل تابستان

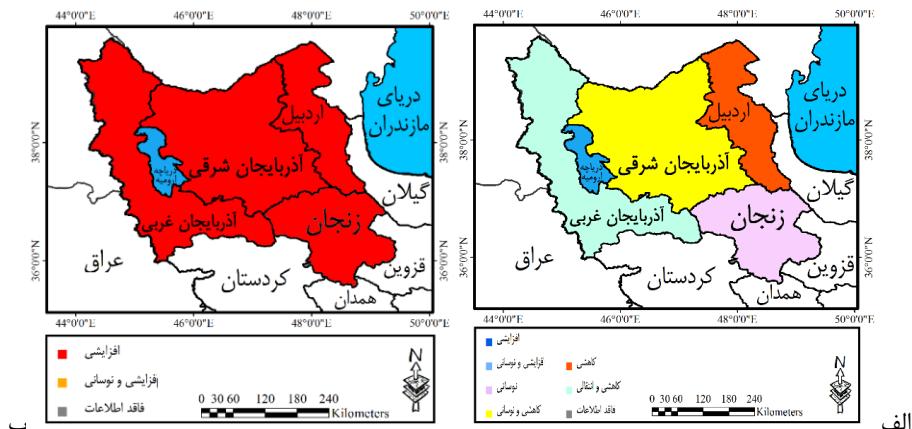
^۱- نوسانی: تغییرات کاهشی و افزایشی می‌باشد که در بلندمدت نیز به همین صورت ادامه خواهد داشت.

^۲- کاهشی-نوسانی: تغییرات کاهشی و افزایشی می‌باشد که در بلندمدت با تغییرات کاهشی بارش یا دما همراه خواهد بود.

^۳- افزایشی-نوسانی: تغییرات کاهشی و افزایشی می‌باشد که در بلندمدت با تغییرات افزایشی بارش یا دما همراه خواهد بود.

^۴- کاهشی-انتقالی: تغییرات کاهشی می‌باشد که در بلندمدت با جایجایی ماه و فصل اوج بارش یا دما همراه خواهد بود.

که پایداری جو بیشتر است، شبیه‌سازی دما دقت بیشتری دارد و در ماههای سرد خطای بالاتری را نشان می‌دهد. همچنین دقت شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه‌های کم ارتفاع نسبت به ایستگاه‌های مرتفع بیشتر است. این موضوع ناشی از این است که در ارتفاعات تغییرات دمای بیشینه بالا بوده و از بی‌نظمی بیشتری برخوردار است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۳). در ایستگاه اردبیل و در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ میلادی بیشترین افزایش دما در فصول گرم و سرد می‌باشد و فصول انتقالی کمترین افزایش را دارند که باعث می‌شود نسبت به ایستگاه‌های مجاور سرددترین ایستگاه باشد (قانقرمه و روشن، ۱۳۹۱). در ایستگاه زنجان و در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ بارش در برخی فصول دارای تغییرات افزایشی و در برخی فصول دارای تغییرات کاهشی خواهد بود و این نشان از رفتار نوسانی بارش در این ایستگاه است. دما نیز با افزایش رویرو خواهد شد (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۶). مرور نتایج ریزمقیاس نمایی در این منطقه نشان داد که با احتساب شرایط مختلف، عمدۀ تغییرات بارش به صورت کاهشی و یا انتقال پیک بارش‌ها از یک فصل به فصل دیگر خواهد بود. همچنین با تغییر رژیم بارندگی، رخداد بارش‌های حدی افزایش می‌یابد. تغییرات دمایی نیز علی‌رغم وجود نوسانات، افزایشی خواهد بود (شکل ۲).



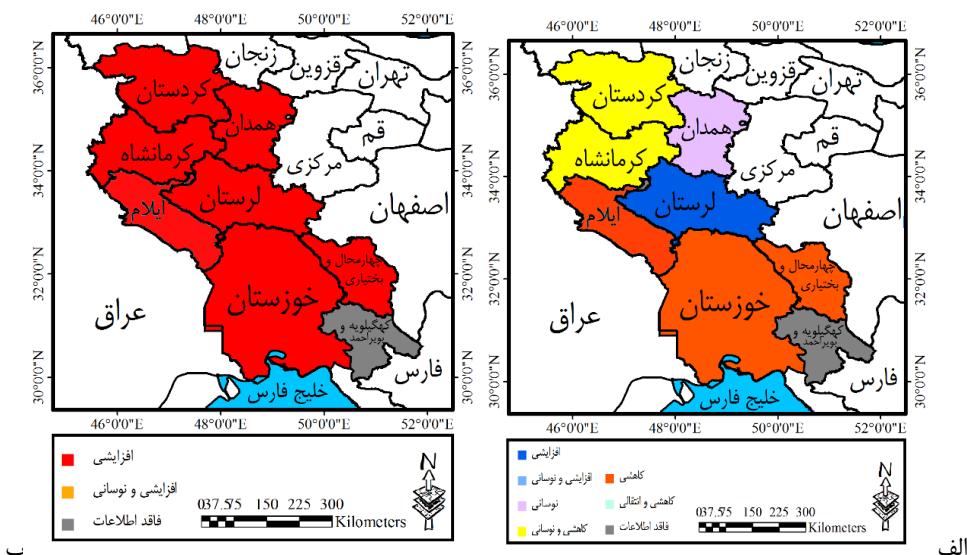
شکل ۲: تغییرات بارش (الف) و دما (ب) برآورد شده در اقلیم آینده در منطقه شمال غرب کشور

• منطقه غرب و جنوب غرب

در این منطقه استان‌های کردستان، کرمانشاه، لرستان، همدان، خوزستان، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد قرار دارند. در حوضه شهری مریوان و حوضه آبخیز دریاچه زریبار^۱ برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ میلادی دما دارای روند افزایشی و بارش حوضه دارای یک روند کاهشی در طول زمان است و رواناب حوضه نیز به دلیل افزایش دما، کاهش و تغییر رژیم و نوع بارش، کاهش خواهد یافت (قادری و کریمی، ۱۳۹۳). از آنجا که بارندگی دارای مقادیر گسسته است، این عدم پیوستگی در دقت نتایج شبیه‌سازی اثرگذار است، بطوری که در ایستگاه کرمانشاه تغییرات بارندگی در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱ میلادی چندان منظم نمی‌باشد و نوسان کاهشی-افزایشی خواهد داشت. برخلاف بارش، دمای کمینه و حداقل سالانه افزایشی و تا حدودی منظم خواهد بود (رجبی و شعبانلو، ۱۳۹۲). در ایستگاه همدان برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۱ میلادی دمای میانگین افزایش می‌یابد و بارش در بعضی ماهها کاهشی و در بعضی افزایشی خواهد بود (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۴). در ایستگاه‌های شهرکرد و اهواز نیز تغییرات بارش دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹ میلادی کاهشی (علیزاده و

^۱- به کردی: Zrêbar, Zrêwar

همکاران، ۱۳۹۲) و در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ ایستگاه شهرکرد دارای رفتار نوسانی بارش خواهد بود (خورانی و جمالی، ۱۳۹۵). تغییرات دما نیز افزایشی خواهد بود (اخوان و دلاور، ۱۳۹۵). همچنین در برخی دیگر از ایستگاه‌های استان خوزستان برای دوره ۲۰۲۵-۲۰۱۰ میلادی، بارش دارای روند کاهشی و دما افزایشی خواهد بود (بندری خلف‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۲). میانگین ماهانه بارش، دمای کمینه و بیشینه در ایستگاه‌های سنتندج (خلیلی اقدم و همکاران، ۱۳۹۱) و خرم‌آباد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۳) با افزایش روبرو می‌شود و حوضه ابرلاق همدان نیز بارش نوسان خواهد داشت (محتمم زاده و همکاران، ۱۳۹۳). در ایستگاه‌های خرم‌آباد، الیگودرز و بروجرد برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۵۵ میلادی نیز بارش و دما دارای تغییرات افزایشی خواهند بود (نصیری و یارمرادی، ۱۳۹۶). همچنین در ایستگاه‌های الشتر، نورآباد، پلدختر، کوهدهشت، دورود، ازنا، الیگودرز، بروجرد و خرم‌آباد، مقدار بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت (پروانه و همکاران، ۱۳۹۴). در ایستگاه سراورود کرمانشاه نیز برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ میلادی دمای کمینه و بیشینه با افزایش روبرو می‌شود که این افزایش در ماه‌های سرد سال بیشتر خواهد بود، اما بارندگی روند کاهشی داشته و اوج بارش‌ها به ابتدای فصل سرد جابجا خواهد بود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳). شرایط در ایستگاه‌های کرمانشاه، کنگاور و سرپل ذهاب در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹ نشان از گرمتر شدن این ایستگاه‌ها دارد (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۶). در ایستگاه ایلام نیز بارش دارای تغییرات کاهشی و دما دارای تغییرات افزایشی خواهد بود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴). در ایستگاه‌های این منطقه به طور نسبی عمدّه تغییرات بارش کاهشی و نوسانی می‌باشد که در برخی ماه‌ها کاهش و برخی دیگر افزایش دارد و تنها در ایستگاه خرم‌آباد افزایش بارندگی پیش‌بینی شده است، اما تغییرات دما در تمام ایستگاه‌ها افزایشی خواهد بود (شکل ۳).

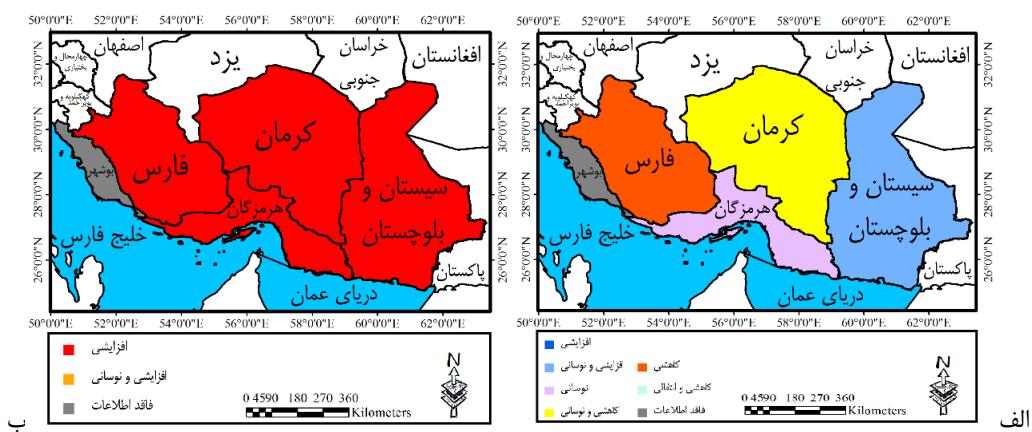


شكل ۳: تغییرات بارش (الف) و دما (ب) پرآورده شده در منطقه غرب و جنوب غرب کشور

• منطقه جنوب و جنوب شرق

منطقه جنوب و جنوب شرق به لحاظ وسعت بخش وسیعی از کشور را در برگرفته و استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان، بوشهر و فارس در این منطقه قرار دارند. دمای نسبتاً بالا و بارندگی کم، ویژگی ذاتی بخشی وسیعی از این منطقه است. در برخی از ایستگاه‌های منطقه، افزایش دمای ایستگاه‌های مناطق خشک داخلی بیشتر از مناطق ساحلی، است که دلیل آن احتمالاً ناشی از ظرفیت گرمایی بیشتر آب و آثار تعدیلی بخار آب موجود در آن دارد، مقاسه با

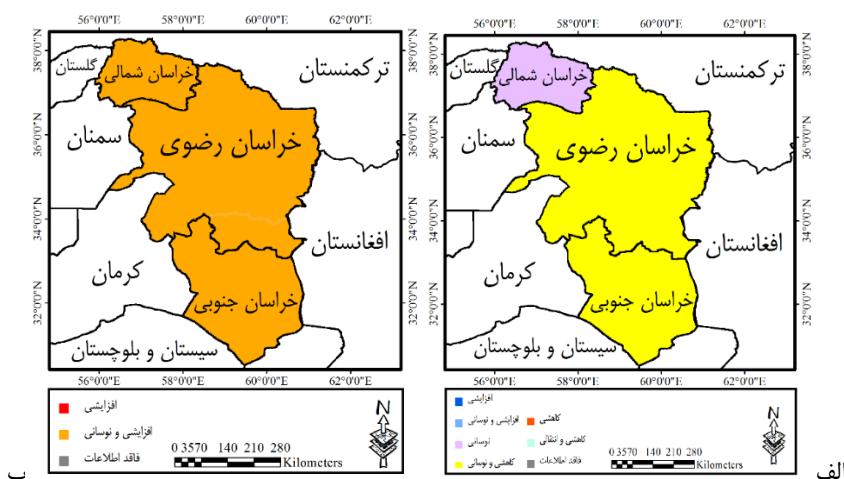
مناطق دور از سواحل است. افزایش دما به همراه افزایش بیشتر ظرفیت رطوبت جو در ایستگاه‌های خشکی باعث شده تا میزان بارش ناشی از شرایط همرفتی در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱ افزایش یابد (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). در منطقه جاسک نیز برای دوره مذکور دمای کمینه در انتهای فصل بهار و ابتدای پاییز و دمای بیشینه در ابتدای فصول پاییز و زمستان و انتهای فصل بهار کمتر از مقادیر مشاهداتی پیش‌بینی شده است. بارش نیز در ماه‌های گرم افزایش می‌یابد و در ماه‌های سرد کاهش شدید خواهد داشت (اعتمادی و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین دارای رفتار نوسانی است. در ایستگاه بندرب Abbas در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ بارش دارای تغییرات نوسانی خواهد بود (خورانی و جمالی، ۱۳۹۵). با توجه به موقعیت ایستگاه در شبکه داده‌های مدل‌های جهانی و ابعاد این شبکه‌ها، دقت ریزمقیاس‌نمایی فراسنج‌های اقلیمی متفاوت می‌باشد (آبکار و همکاران، ۱۳۹۳) و چون در مناطق با مقیاس متوسط عوامل محلی دخالت دارند که در مدل‌های گردش عمومی لحاظ نمی‌شوند، این امر باعث می‌شود در هنگام ریزمقیاس کردن خروجی این مدل‌ها شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دقت مناسب نداشته باشد. برای مثال در ایستگاه همدید کرمان در دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ دمای کمینه مطلق به خوبی شبیه‌سازی نشده است. این می‌تواند ناشی از موقعیت جغرافیایی ایستگاه، راکد بودن هوا و نشست آن در شب‌های سرد زمستان باشد که باعث می‌شود این پارامتر بیش از آن که از شرایط جهانی و منطقه‌ای تعیین کند، از شرایط محلی ایستگاه (به دلیل رخ دادن در ساعت اولیه صبح) تأثیر بپذیرد (آبکار و همکاران، ۱۳۹۳)، اما دمای بیشینه و میانگین دما در تمام ماه‌های سال برای دوره مذکور افزایشی خواهد بود و دمای کمینه در بعضی موارد روند کاهشی دارد. همچنین افزایش دما در ماه‌های گرم بیشتر از ماه‌های سرد می‌باشد و بارندگی روند یکسانی ندارد (زنیتی و حسامی، ۱۳۹۳) که می‌توان گفت میزان بارندگی همین دوره در ایستگاه‌های کرمان، بم، راور و رابر از روند کاهشی برخوردار است و تفاوت محسوسی با شرایط فعلی دارد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴؛ نشاط و سجادی بمنی، ۱۳۹۵). در استان سیستان و بلوچستان در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی افزایش دمای فصل سرد سال بیشتر از سایر فصل‌ها می‌باشد و تمامی مناطق این استان با افزایش دما مواجه خواهند بود که بیشترین افزایش دما در نواحی شرقی، جنوبی و شمالی استان رخ می‌دهد. میانگین بارش در اول پاییز و اوخر زمستان کاهش می‌یابد و در سایر ماه‌های سال بیشتر از نرمال خواهد بود (مظفری و همکاران، ۱۳۹۴) و حتی ایستگاهی مانند زاهدان با افزایش کلی این مقدار در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹ مواجه خواهد شد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲). در برخی از ایستگاه‌های استان فارس نیز در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹ دمای کمینه و بیشینه افزایش خواهد یافت که بیشترین میزان افزایش در ایستگاه آباده و کمترین میزان در ایستگاه لار می‌باشد (عینی نرگس و همکاران، ۱۳۹۴). به طور کلی به دلیل وسعت زیاد منطقه و شرایط جغرافیایی متفاوت در این منطقه وجود سواحل و همچنین ارتفاعات، شرایط اقلیمی این منطقه متفاوت می‌باشد، به طوری که برخی از ایستگاه‌ها با افزایش بارش و برخی با کاهش و نوسان آن مواجه هستند. تغییرات دما نیز همانند دیگر بخش‌های کشور افزایشی خواهد بود (شکل ۴).



شکل ۴: دورنمای تغییرات بارش (الف) و دما (ب) در منطقه جنوب و جنوب شرق کشور

• منطقه شرق و شمال شرق کشور

استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبي در این منطقه مشهد، پیش‌بینی بارش و دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ میلادی با استفاده از سه مدل و سه سناریو تقریباً یکسان بوده است، اما به طور کلی دما روند افزایشی خواهد داشت و تغییرات بارش نیز عمدتاً نشان دهنده عدم قطعیت مدل‌ها می‌باشد (انصاری و همکاران، ۱۳۹۳) که در برخی ماههای سال شاهد افزایش در میانگین بارش و در برخی ماههای شاهد کاهش آن خواهیم بود. تغییرات دمای کمینه و بیشینه نیز تا سال ۲۰۹۹ دارای روند افزایشی خواهد بود (صالح‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳). در ایستگاه‌های سبزوار، بیرجند و مشهد کمتر تأثیر بی هنجاری‌های زمانی قرار می‌گیرد، می‌توان انتظار داشت که داده‌های دما مدل شده (در مقایسه با داده‌های بارندگی) همبستگی بهتری با داده‌های مشاهدهای داشته باشند (طائemi سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۳). علاوه بر این، باید به نقش عوامل بیرونی مانند توپوگرافی نیز بر روی نتیجه مدل‌سازی توجه کرد. در شهرهای قائن و بیرجند در دوره ۲۰۶۰-۲۰۱۱ میانگین دمای کمینه و بیشینه افزایش کمتری خواهد داشت و بارش آن‌ها نیز با کاهش کمتری روبرو خواهد شد. اما به طور کلی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دما دارای یک روند افزایشی و نوسانی می‌باشد (سبحانی و فاطمی‌نیا، ۱۳۹۳). نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده در این منطقه از کشور نشان داد که رفتار بارش در دهه‌های آینده کاهشی و کاهشی-نوسانی می‌باشد و دما در بیشتر موارد دارای تغییرات افزایشی-نوسانی می‌باشد (شکل ۵).

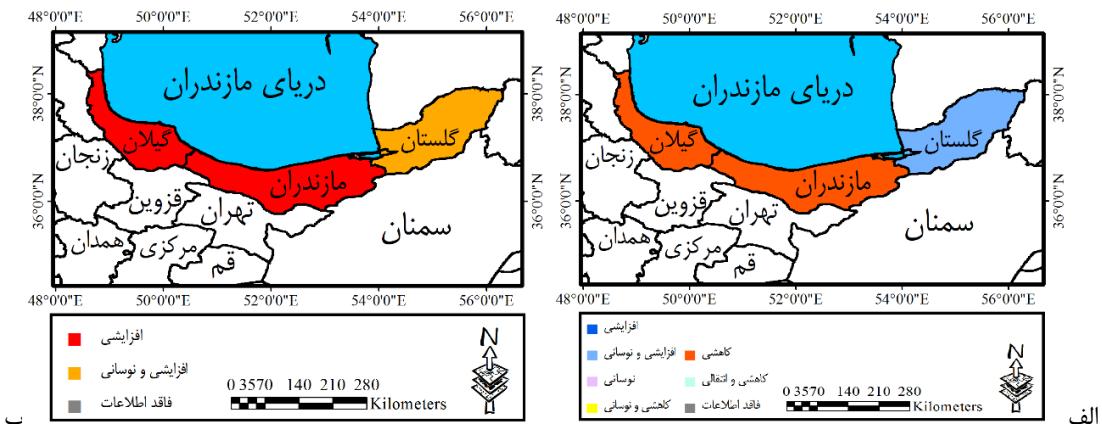


شکل ۵: دورنمای تغییرات بارش (الف) و دما (ب) در منطقه شرق و شمال شرق کشور

• منطقه سواحل شمالی

در این محدوده استان‌های گلستان، مازندران و گیلان به عنوان استان‌های ساحلی شمال کشور قرار دارند. مجاورت با دریا و محصور شدن بین دریا و ارتفاعات باعث گردیده تا شرایط اقلیمی در این منطقه پیچیده‌تر از دیگر نواحی ایران بوده و تقویم زمانی رخداد بارش و بعضی ویژگی‌های دمایی باقیه کشور متفاوت باشد. شرایط بارشی در شرق، مرکز و غرب این منطقه متفاوت از یکدیگر است. به طور کلی کارایی مدل‌ها در شبیه‌سازی داده‌های روزانه ضعیف است و باید توجه داشت که هدف طراحان این مدل‌ها پیش‌بینی و شبیه‌سازی داده‌ها در مقیاس زمانی بلندمدت بوده است و اگر مدل‌ها توانایی شبیه‌سازی داده‌ها در مقیاس زمانی کمتر را نداشته باشند، ضعف آن‌ها محسوب نمی‌شود (حجارپور و همکاران، ۱۳۹۳). در حوضهٔ تمر استان گلستان و برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تغییرات دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه بیشتر می‌باشد و تغییرات (افزایش) دمای متوسط هوا در دوره آتی بیشتر تحت تأثیر افزایش دمای کمینه خواهد بود. به طور کلی با افزایش دما، میزان تبخیر افزایش خواهد یافت. میزان ساعات آفتابی نیز کاهش خواهد یافت که این نتیجه نیز منطبق با افزایش آبرناکی آسمان و به تبع آن افزایش بارندگی است (دوستی و همکاران، ۱۳۹۲). در ایستگاه گرگان نیز در دوره ۲۰۳۰-۲۰۳۱ آسمان و به طور کلی میزان افزایش افزایشی خواهند بود (خسروانیان و همکاران، ۱۳۹۴). در استان مازندران و در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ میلادی بارش و دما دارای تغییرات افزایشی خواهند بود (خسروانیان و همکاران، ۱۳۹۲). در ایستگاه‌های استان گلستان، گرچه میانگین پارامترهای اقلیمی دارای نوسان ماهانه هستند، اما میانگین بارش به جز ایستگاه گرگان، در سایر ایستگاه‌ها کاهش خواهد یافت. میانگین کمینه و بیشینه دما نیز در برخی ایستگاه‌ها مانند گندکاووس کاهش و در برخی دیگر مانند گرگان افزایشی می‌باشد (مشکوati و همکاران، ۱۳۸۹). در حوضه گرگان رود و در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ بارندگی کاهش و دما افزایش خواهد یافت (شفایی و همکاران، ۱۳۹۲) و در منطقه تجن نتایج نشان‌دهنده کاهش در مقدار بارندگی و افزایش در مقدار دما در دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ میلادی است (شیدانیان و همکاران، ۱۳۹۳). اما در ایستگاه بابلسر نتایج حاصل از پیش‌بینی شدت بارش دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ میلادی نشان‌دهنده افزایش مقادیر شدت بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم برای آینده خواهد بود (بختیاری و همکاران، ۱۳۹۳) و در ایستگاه رامسر نیز مقادیر بارش، دمای کمینه و بیشینه افزایشی خواهد بود (تیرگرفخری و آرزومندی، ۱۳۹۴). در ایستگاه رشت در دوره ۲۰۴۲-

۲۰۱۳ و ۲۰۷۲-۲۰۴۲ دما افزایشی خواهد بود و بارش نیز در بعضی فصول دارای تغییرات افزایشی و بعضی فصول دارای تغییرات کاهشی خواهد بود (پیرمدادیان و همکاران، ۱۳۹۵). در دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ نیز در ایستگاه رشت بارش دارای تغییرات تقریباً یکنواخت خواهد بود (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲). عمدۀ تغییرات دما در این منطقه افزایشی و نوسانی و تغییرات بارش نیز نوسانی و کاهشی می‌باشد (شکل ۶).

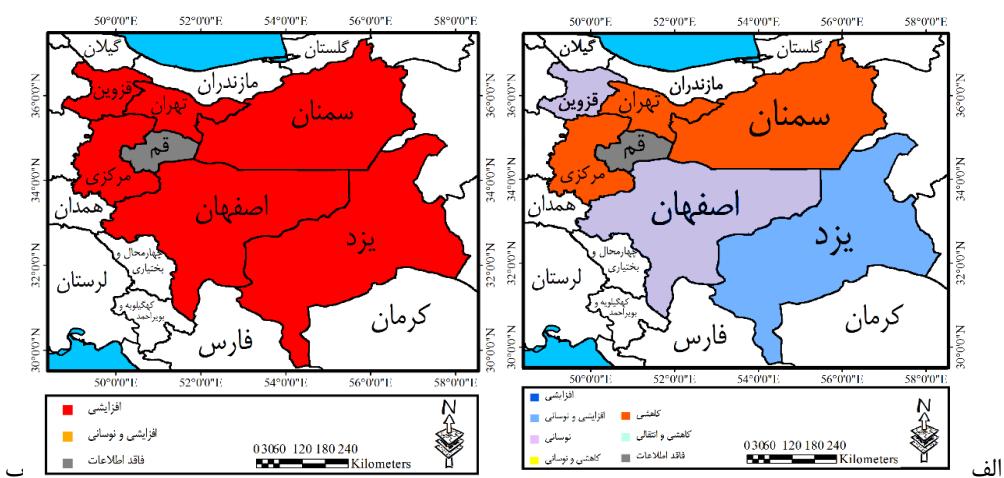


شکل ۶: دورنمای تغییرات بارش (الف) و دما (ب) در منطقه سواحل شمالی کشور

● منطقه مرکزی و دامنه‌های جنوب البرز

در پایکوه‌های البرز استان‌های قزوین، تهران، سمنان (و به تازگی البرز) قرار دارند و در پایین‌تر از این منطقه، استان‌های قم، مرکزی، اصفهان و یزد به سمت مناطق مرکزی کشور گسترش یافته‌اند. این منطقه محدوده وسیعی از کشور را در برگرفته است. اگر در فرآیند شبیه‌سازی فراسنج‌ها مانند بارش در چند ماه اختلاف معنی دار وجود داشته باشد، در صورتی که این خطاب در ماه‌های خشک سال باشد، قابل چشم پوشی است. از طرف دیگر نمی‌توان به بارش‌های فصل تابستان اطمینان کرد و این امر باعث می‌شود در ماه‌هایی که بارش آن‌ها کم است شبیه‌سازی بارش دقت نداشته باشد (طائemi سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۴). در حوضه آبخیز اسکندری در استان اصفهان دما و بارش طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی دارای روند افزایشی خواهند بود و باعث می‌شود که بارش‌ها به صورت حدی باریده و به سمت فصل گرم جابجا شوند که در نتیجه نسبت بارش‌های مایع به کل بارش سالانه افزایش خواهد یافت (بحیری و همکاران، ۱۳۹۴). در ایستگاه اصفهان در دوره ۲۰۱۰-۱۱ بارندگی روزانه افزایشی خواهد بود (بذرافشان و همکاران، ۱۳۸۸) و در ایستگاه رودشت اصفهان نیز طی دوره ۲۰۳۰-۱۱ میانگین بارش سالانه، مجموع بارش سالانه و متوسط دمای روزانه افزایش خواهد یافت (آبابایی و همکاران، ۱۳۸۹). در ایستگاه نایین نیز در دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ میلادی دما و بارش افزایشی خواهد بود، اما در دیگر ایستگاه‌ها دما افزایشی و بارش کاهشی خواهد بود (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۳). در استان سمنان میزان بارش در قسمت‌های شرق، مرکز و شمال کاهش و دمای کمینه و بیشینه نیز در سمت شرق و شمال این استان برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ افزایش قابل توجهی خواهد داشت (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). در ایستگاه اراک دما تا دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ افزایشی خواهد بود (عساکره و شاه-منصوری، ۱۳۹۵) و در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹ نیز دما با افزایش و بارش با کاهش روبه رو خواهد شد (ثانی‌خانی و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین پیش‌بینی تغییرات احتمالی بارش مؤثر دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ میلادی نشان داد که میزان بارش و به دنبال آن میزان بارش مؤثر ایران با کاهش رو بروست. به طوری که ایستگاه‌هایی مانند اراک و تهران با کاهش بارش روبه رو خواهند بود. برخی ایستگاه‌ها مانند قزوین در برخی از ماه‌های سال با افزایش میزان بارش مؤثر همراه خواهند بود و حتی ایستگاهی

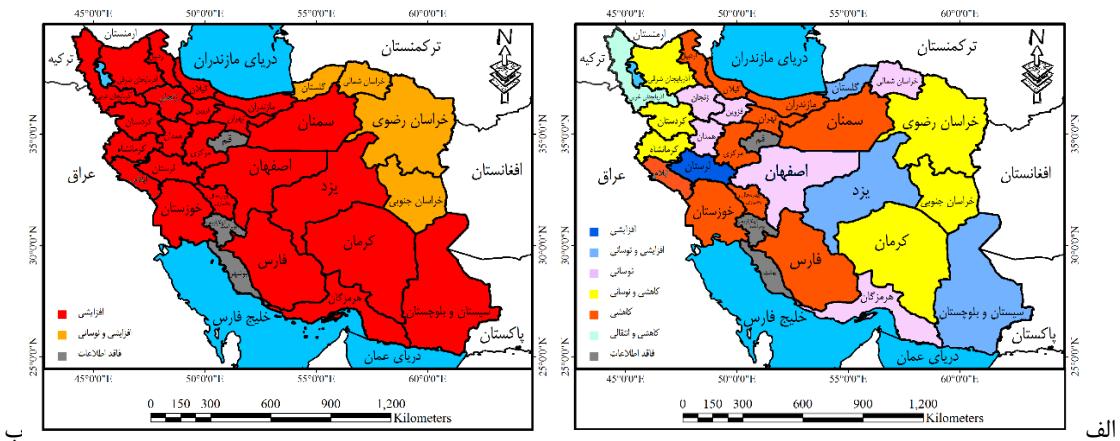
مانند یزد با افزایش کلی این مقدار مواد خواهد شد و این امر خود دلیلی بر تغییر در مقادیر حدی بر اثر تغییر اقلیم در کره زمین است (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین بارش استان یزد بجز در ماه اکتبر، در سایر ماههای سال بیشتر از نرمال خواهد بود (مظفری و شفیعی، ۱۳۹۳)؛ در حالی که تحقیق دیگری در ایستگاه یزد حاکی از کاهش بارش در همه ماهها به خصوص در فصل بهار و زمستان و افزایش میانگین دما در مقایسه با دوره حاضر می‌باشد که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به ماههای سرد سال است (روحی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۲). در استان تهران نیز کاهش بارندگی و افزایش دما برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۲۰ میلادی پیش‌بینی شده است که می‌توان گفت گرمایش جهانی در میزان رطوبت اثر دارد و در بعضی مناطق باعث افزایش بارندگی و در مناطق دیگر باعث کاهش آن می‌شود (تورینی و حسامی، ۱۳۹۳). با توجه به وسعت زیاد منطقه، تغییرات بارشی دارای تنوع زیادی می‌باشد. تغییرات دمایی نیز دارای روند افزایشی می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷: دورنمای تغییرات بارش (الف) و دما (ب) در جنوب البرز و منطقه مرکزی کشور

شرایط اقلیم آینده ایران و روند تغییر اقلیم با استفاده از نتایج تحقیقات ریزمقیاس نمایی آماری برای ۶ ناحیه اقلیمی- جغرافیایی متفاوت در سراسر ایران بررسی شد. با توجه به تفاوت موجود میان مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوس که هر کدام از ستاریوهای انتشار مختلفی می‌کنند، نتایج تحقیقات برای مناطق مختلف نیز متفاوت می‌باشد. به این منظور شرایط پیش‌بینی شده در هریک از تحقیقات در ۶ گروه کاهشی-افزایشی، کاهشی-افزایشی با نوسان و انتقالی تقسیم‌بندی و در نقشه‌های پهنه‌بندی شده ارایه شد. از آنجایی که بارش دارای رفتار نوسانی بوده و پیوستگی زمانی ندارد، مدل‌ها اکثراً دما را بهتر از بارش شبیه‌سازی کرده‌اند. بررسی نتایج تحقیق برای مناطق اقلیمی-جغرافیایی ۶ گانه ایران در دوره‌های زمانی ۳۰ ساله از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۹۹ میلادی نشان داد که در منطقه شمال غرب ایران بارش دارای تغییرات کاهشی-نوسانی و کاهشی-انتقالی خواهد بود. تغییرات انتقالی باعث انتقال اوج بارش‌ها از یک فصل (سرد) به فصل دیگر (گرم) خواهد شد. پیامد این جابجایی در این منطقه که رژیم بارشی آن به صورت برف است، تغییر رژیم بارش‌ها از حالت برفی به بارانی-برفی یا بارانی می‌باشد، که ممکن است فراوانی رخداد سیل را دست‌خوش تغییر کند. دما نیز در این منطقه دارای تغییرات افزایشی خواهد بود. که می‌تواند منجر به رخداد دمایی فرین گرم گردد. در منطقه غرب و جنوب‌غرب ایران در بخش‌های شمالی منطقه، بارش دارای تغییرات نوسانی و کاهشی-نوسانی خواهد بود. در بخش‌های میانی این منطقه، تغییرات به صورت افزایشی و در بخش جنوبی تغییرات کاهشی خواهد بود. تغییرات دما نیز در سراسر این منطقه نشان‌دهنده روند افزایشی دما خواهد بود. با درنظر گرفتن رفتار بارش و دما در این منطقه می‌توان انتظار افزایش وقوع

موج‌های گرمایی و تشدید شرایط خشکی را داشت. منطقه جنوب و جنوب‌شرق در مجاورت سواحل جنوب کشور قرار دارد. در این منطقه تغییرات بارش کاهشی، کاهشی‌نوسانی، نوسانی و افزایشی‌نوسانی برآورد گردیده است. دما نیز همانند دیگر مناطق کشور دارای تغییرات افزایشی خواهد بود. با در نظر گرفتن شرایط فعلی و آینده و افزایش نوسانات، انتظار می‌رود که وقوع بارش تصادفی‌تر ولی با شدت بیشتر باشد که احتمال رخداد سیل و خشکسالی آن بیشتر خواهد شد، همچنین رفتار دما مانند منطقه جنوب‌غرب با افزایش امواج گرمایی همراه باشد. در منطقه‌شرق و شمال‌شرق کشور شرایط دمایی و بارشی متفاوت از دیگر مناطق می‌باشد. در این منطقه بارش در بخش‌های میانی و جنوبی دارای تغییرات کاهشی‌نوسانی و در بخش شمالی دارای تغییرات نوسانی خواهد بود. تغییرات دمایی نیز در این منطقه به صورت افزایشی و نوسانی خواهد بود. این تفاوت‌ها در برآورد شرایط آینده پیش‌بینی شرایط اقلیمی را در این منطقه دشوار نموده است. در منطقه سواحل شمالی به دلیل مجاورت با دریا و ارتفاعات اطراف، شرایط اقلیمی فعلی نیز دارای پیچیدگی خاص بوده و متفاوت از دیگر نواحی ایران می‌باشد. تغییرات بارش در بخش‌های غربی و میانی این منطقه نشان از کاهش بارش برای دوره‌های آینده و در بخش شرقی آن حاکی از تغییرات افزایشی‌نوسانی خواهد بود. دمای این منطقه نیز در بخش شرقی دارای تغییرات افزایشی‌نوسانی و در بخش‌های غربی و میانی دارای تغییرات افزایشی خواهد بود. منطقه مرکزی و پایه‌های جنوب البرز بخش وسیعی از کشور را در بر گرفته و تراکم ایستگاه‌ها در آن پایین می‌باشد. در این منطقه بارش در بخش‌جنوبی منطقه دارای تغییرات افزایشی‌نوسانی و نوسانی و در بخش‌های میانی دارای تغییرات کاهشی خواهد بود. در بخش شمال‌غربی این منطقه نیز تغییرات بارش نوسانی خواهد بود. دما نیز همانند دیگر مناطق ایران دارای تغییرات افزایشی خواهد بود.



شکل ۸: دورنمای تغییرات بارش (الف) و دمای (ب) ایران

به طور کلی می‌توان گفت که تغییرات بارندگی در سرزمین ایران در بیشتر مناطق به صورت کاهشی (بخش‌هایی از شمال و جنوب‌غرب ایران) و کاهشی‌نوسانی (بخش‌هایی از شرق و شمال‌غرب ایران) خواهد بود و در مناطقی نیز تغییرات افزایشی (استان لرستان)، نوسانی (استان‌های هرمزگان، اصفهان، خراسان شمالی، قزوین و همدان)، افزایشی‌نوسانی (استان‌های سیستان و بلوچستان و بزد) و کاهشی‌انتقالی (آذربایجان غربی) مورد انتظار است. در حالی که دما در اکثر مناطق دارای تغییرات افزایشی و در برخی مناطق (شمال‌شرق و شرق ایران) افزایشی‌نوسانی خواهد بود (شکل ۸). اما دما در ایران به تبعیت از شرایط جهانی، در آینده با افزایش رو به رو می‌شود که مقدار آن در مناطق مختلف به دلیل اثرگذاری شرایط محلی متفاوت خواهد بود. اما تغییرات بارش بسیار پیچیده خواهد بود و امکان رخداد تغییرات آن در تمام حالات ممکن وجود دارد. موارد ذکر شده موید این مطلب است

که وقوع شرایط حدی رطوبتی (خشک تر شدن و وقوع خشکسالی های بیشتر، وقوع سیل، بارش ها شدید و کوتاه مدت، ...) و دمایی (گرم تر شدن فصل گرم، افزایش دمای فصل سرد و وقوع موج های گرمایی و تبخیر بیشتر...) باعث افزایش رخداد مخاطرات آب و هوایی خواهد شد.

نتیجه گیری

با توجه به احتمال رخداد تغییرات اقلیمی و عواقب مخاطره‌آمیز آن که در عصر کنونی نیز شاهد آن هستیم، کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو که یکی از ابزارهای ارزیابی اقلیم آینده است، بسیار مورد توجه بوده است. اما این مدل‌ها در مناطق با مقیاس کوچک عمل کرد مناسبی ندارند، زیرا قدرت تفکیک آن‌ها پایین است. بنابراین روش‌هایی (آماری و دینامیکی) برای ریزمقیاس کردن خروجی این مدل‌ها با استفاده از مقادیر مشاهداتی متغیرهای اقلیمی در ایستگاه‌ها به کار گرفته می‌شود. با وجود این‌که تحقیقات فراوانی در ارتباط با شرایط رخداد تغییراقلیم و شرایط اقلیمی آینده ایران انجام گرفته است، اما به دلیل این‌که تحقیقات پراکنده و در پهنه‌های مجزا و در زمان‌های متفاوت صورت گرفته تاکنون نتیجه روشنی از این مطالعات در ارتباط با شرایط اقلیم آینده به خصوص تغییر اقلیم در ایران حاصل نشده است. این تحقیق به هدف بررسی تغییر اقلیم آینده ایران با استفاده از نتایج تحقیقات حاصل از مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری که از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار مختلف استفاده می‌کنند، انجام شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش‌ها حاکی از رفتار همگن افزایشی دما در طی سال‌های آینده در سراسر کشور به جز منطقه شمال شرق بود گرچه نرخ این افزایش در مناطق مختلف گاه‌ها متفاوت برآرد گردیده است اما مهم افزایش دمای آینده و گرم تر شدن شرایط آب و هوایی است. در مقابل دما، بارش رفتاری ناهمگن در پهنه سرزمینی از خود نشان خواهد داد. گرچه در بعضی از مناطق (مرکز، جنوب شرق و غرب) رفتاری افزایشی که بیشتر نوسانی است دیده می‌شود ولی در اکثر مناطق میزان بارش کاهش خواهد یافت. با در نظر گرفتن تمام جوانب رفتار پیچیده سامانه اقلیم و عدم قطیعت پیش‌بینی‌ها، این نتایج مؤید این مطلب است که شرایط اقلیمی آینده گرم‌تر و خشک‌تر از شرایط فعلی خواهد شد. با توجه به این موضوع می‌توان انتظار داشت وقوع خشکسالی‌ها و شرایط خشکی و با توجه به رفتار فعلی بارش و تغییر آن به سمت رخداد کمتر ولی شدیدتر، مخاطرات هیدرولوژیکی (سیل) نیز افزایش یابد.

در این مطالعه سعی بر این بوده کلیتی از نتایج بررسی‌های تغییر اقلیم در آینده با کاربرد روش‌های آماری ریزمقیاس نمایی خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو ارائه شود. ارائه تصویری از آن‌چه که تاکنون انجام شده گام مهمی در طرح پرسش‌ها و بررسی چالش‌های جدید است. به نظر می‌رسد عاملی مهم برای سد راه پیشرفت سریع و به هنگام در زمینه‌ی موضوع مهمی همانند تغییر اقلیم و پیامدهای آن که می‌تواند بر آینده‌ی کشور تأثیر مهمی داشته باشد، پراکندگی کارهای تحقیقاتی انجام شده و تا حد زیاد تکراری بودن برخی از این تحقیقات است که گاه با عدم توجه به نتایج کارهای پیشین در تعیین اهداف مهم پیش آمده است و به نبود تسلسل و هماهنگی در بین کارهای تحقیقاتی در این حوزه منجر شده است. بنابراین در این مقاله سعی شد گامی هرچند کوچک در این راستا برداشته شود.

منابع

- آبابایی، بهنام؛ تیمور سهراوی، فرهاد میرزایی، وحید رضاورדי نژاد و بختیار کریمی. ۱۳۸۹. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه روستای اصفهان). مجله دانش آب و خاک، ۱۵۰-۱۳۵: ۲۳.
- آبکار، علی جان؛ محمود حبیب نژاد، کریم سلیمانی و هرموز نقوی. ۱۳۹۳. بررسی میزان کارابی مدل SDSM در شبیه سازی شاخص های دمایی مناطق خشک و نیمه خشک. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، ۱۴: ۱۷-۱.
- آبکار، علی جان؛ محمود حبیب نژاد، کریم سلیمانی و هرموز نقوی. ۱۳۹۳. حساسیت مدل ریزمقیاس نمایی SDSM به داده های باز تحلیل شده در مناطق خشک. دو فصلنامه خشک بوم، ۲: ۱۱-۲۶.
- اخوان، سمیرا و نسرین دلاور. ۱۳۹۵. ارزیابی دقیق داده های CFSR و مدل LARS-WG در شبیه سازی پارامترهای اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری. فصلنامه پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۲: ۳۲۱-۳۳۴.
- اعتمادی، هانا؛ محمد شریفی کیا، سیده زهرا صمدی، عباس اسماعیلی ساری و افشین دانه کار. ۱۳۹۴. شبیه سازی تغییرات اقلیمی آینده در منطقه جاسک و تأثیر آن بر جنگل های حرا. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۴۱: ۸۷-۱۰۴.
- انصاری، حسین؛ مهدی خدیوی، نسرین صالح نیا و ایمان بابائیان. ۱۳۹۳. بررسی عدم قطعیت مدل LARS تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 در پیش بینی بارش و دما (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۴: ۶۶۴-۶۷۲.
- بابائیان، ایمان و زهرا نجفی نیک. ۱۳۸۵. معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره ای آماری (۱۹۶۱-۲۰۰۳). دو فصلنامه نیوار (علمی- ترویجی)، ۶۳-۶۲: ۶۵-۴۹.
- بحری، معصومه؛ محمد تقی دستورانی و مسعود گودرزی. ۱۳۹۴. بررسی خشکسالی های دهه ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت اثر تغییر اقلیم، مطالعه موردی: حوزه آبخیز اسکندری، استان اصفهان، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۲: ۱۵۷-۱۷۱.
- بختیاری، بهرام، شیدا پورموسوی و نسرین سیاری. ۱۳۹۳. بررسی اثر تغییر اقلیم بر منحنی های شدت- مدت- فراوانی بارش ایستگاه بابلسر طی دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰. نشریه آبیاری و زهکشی، ۴: ۶۹۴-۷۰۴.
- بدراflashan، جواد؛ علی خلیلی، عبدالحسین هورفر، صدیقه ترابی و سهراپ حجام. ۱۳۸۸. بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل LARS-WG و ClimGen در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران. فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، ۱: ۴۴-۵۷.
- بیدختی، علی اکبر؛ عباسعلی رنجبر و عباس سعادت آبادی. ۱۳۸۳. مطالعه اثر اقلیمی جزیره گرمایی تهران، مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- بیگلی، زینب؛ مجید منتصری، یدالله بلياني، اسماعيل جوكار و علی بیات. ۱۳۹۵. پیش بینی تغییرات اقلیمی آذربایجان غربی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل HADCM3 و ارزیابی اثرات آن بر خشکسالی استان. ندیشه جغرافیایی، ۱۵: ۹۳-۱۱۶.
- پروانه، بهروز؛ هنگامه، شیراوند و فاطمه درگاهیان. ۱۳۹۵. پیش بینی وضعیت خشکسالی استان لرستان طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی ۴ مدل گردش عمومی جو. فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۵: ۱-۴۵.
- پیرمرادیان، نادر؛ حسین هادی نیا و افشین اشرف زاد. ۱۳۹۵. پیش بینی دمای کمینه و بیشینه، تابش و بارش در ایستگاه رشت تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم. نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، ۵۵: ۲۹-۴۴.
- تورینی، نازلی و مسعود رضا حسامی کرمانی. ۱۳۹۳. پیش بینی تغییرات اقلیمی با استفاده از الگوریتم نرو- فازی (مطالعه موردی: ایستگاه های تهران و تبریز). فصلنامه مهندسی عمران شریف، ۱: ۱۳۹-۱۴۷.
- تیرگرفاخی، فاطمه و لیلا آرزومندی. ۱۳۹۴. پیش بینی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش شهر رامسر با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی، سومین همایش بین المللی مهندسی محیط زیست و منابع آب، تهران، ایران

- ثانی خانی، هادی؛ محمد رضا گوهردوس و مرتضی صادقی. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز قره‌چای در استان مرکزی. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*, ۱۳: ۱۲-۲۲.
- ثانی خانی، هادی؛ یعقوب دین پژوه، سعید پوریوسف، سروین زمانزاد قویدل و صولتی، بهاره. ۱۳۹۲. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان شرقی). *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*, ۶: ۱۲۲۴-۱۲۲۵.
- حجاریبور، امیر؛ مرضیه یوسفی و بهنام کامکار. ۱۳۹۳. آزمون دقت شبیه‌سازهای Clim-Gen و LARS-, WeatherMan در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی سه اقلیم مختلف (گرگان، گنبد و مشهد). *فصلنامه جغرافیا و توسعه*, ۳۵: ۲۰۱-۲۱۶.
- حجازی زاده، زهرا؛ سید محمد حسینی و علیرضا کربلائی درئی. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان سمنان با سناریوهای مدل گردش جو (HADCM3). *فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی*, ۱۵: ۲۴-۱.
- حق طلب، نفیسه؛ محسن گودرزی؛ مجید حبیبی‌نوخندان، احمد رضا یاوری و حمیدرضا جعفری. ۱۳۹۲. مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*, ۱: ۴۹-۳۷.
- حمیدیان‌پور، محسن؛ محمد باعیده و محسن عباس‌نیا. ۱۳۹۵. ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*, ۱: ۱۰۷-۱۲۳.
- خسروانیان، جهانتاب؛ مجید اونق، مسعود گودرزی و سید اسدالله حجازی. ۱۳۹۴. کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه قره‌سو استان گلستان. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*, ۵۳: ۹۳-۱۱۵.
- خلف آبادی، وحیده بندری؛ علیرضا شکیبا، و فریدون عظیمی. ۱۳۹۲. پیش‌بینی رژیم بارش و دمای خوزستان با مدل‌های گردش عمومی جو، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*, ۱۹: ۵۹-۷۰.
- خلیلی اقدم، نبی؛ ابوالفضل مساعدي، افشین سلطانی و بهنام کامکار. ۱۳۹۱. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سندنج. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*, ۴: ۸۵-۱۰۲.
- خوارانی، اسدالله و زهرا جمالی. ۱۳۹۵. اثر تغییر اقلیم بر شدت و مدت خشکسالی در ایستگاه‌های خشک و نیمه خشک (بندرعباس و شهرکرد) تحت مدل HADCM3. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*, ۵۷: ۱۱۵-۱۳۱.
- دهقان، زهرا؛ فرشاد فتحیان و سعید اسلامیان. ۱۳۹۴. ارزیابی مقایسه‌ای مدل‌های SDSM، IDW و LARS-WG برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس کردن دما و بارش. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*, ۵: ۱۳۷۶-۱۳۹۰.
- دوستی، مريم؛ محمود حبیب‌نژاد روشن، کاکا شاهدی و میرحسن میریعقوب زاده. ۱۳۹۲. بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تمر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG. *مجله فیزیک زمین و فضا*, ۴: ۱۷۷-۱۸۹.
- رجی، احمد و سعید شعبانلو. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات چند شاخص اقلیمی در خروجی مدل گردش جهانی NCCCSM مطالعه موردی: کرمانشاه (ایران). *مجله پژوهش آب ایران*, ۱۳: ۴۱-۴۹.
- رسولی، علی‌اکبر؛ مجید رضایی‌بنشه، علیرضا مساح‌بوانی، علی‌محمد خورشید‌دوس و باقر قرمزچشم. ۱۳۹۳. بررسی اثر عوامل مرفو-اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل LARS-WG. *نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*, ۲۴: ۲۴-۱۸-۹.
- رضایی زمان، مصطفی و علی افзорی. ۱۳۹۴. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات و ارائه راهبرد تغییر الگوی کشت (مطالعه موردی: حوضه سیمینه رو). *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*, ۴: ۵۱-۶۳.
- رضایی زمان، مصطفی؛ سعید مرید و مجید دلاور. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرولوژی حوضه سیمینه رو. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*, ۶: ۱۲۴۷-۱۲۵۹.

- رضایی، مریم؛ محمد نهتانی، علی جان آبکار، معصومه رضائی و مهری میرکازهی ریگی. ۱۳۹۳. بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM در پیش بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردي: کرمان و بم). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱: ۱۱۷-۱۳۱.
- رضایی، مریم؛ محمد نهتانی، علیرضا مقدم نیا، علی جان آبکار و معصومه رضایی. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و SDSM در ریزمقیاس کردن اندازه‌ی بارش سالانه‌ی شبیه سازی شده با HadCM3. مجله مهندسی منابع آب، ۲۴: ۲۵-۴۰.
- رضایی، مریم؛ محمد نهتانی، علیرضا مقدم نیا، علی جان آبکار و معصومه رضایی. ۱۳۹۳. بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۴: ۸۳۶-۸۴۵.
- روحی پناه، فاطمه؛ سید مجید میرکنی و علیرضا مساج بوانی. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات دما و بارش ایستگاه همدیدی شهرستان یزد در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ میلادی به کمک مدل ریزمقیاس نمایی SDSM. اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعه پایدار، تهران، دانشکده صنعت هوایی.
- روشن، غلامرضا؛ علیرضا خواجه شکوهی و محمد سعید نجفی. ۱۳۹۱. دورنمای تخمین انرژی مورد استفاده برای گرمایش و سرمایش سکونتگاه‌های انسانی در اقلیم آینده (مطالعه موردی: استان‌های شمالغرب کشور). فصلنامه نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۱: ۶۳-۷۷.
- زارع ابیانه، حمید؛ محمد قبائی سوق و ابوالفضل مساعدی. ۱۳۹۴. پایش خشکسالی بر مبنای شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲: ۳۹۲-۳۷۴.
- زینتی، نسیم و مسعود رضا حسامی کرمانی. ۱۳۹۳. مقایسه دو روش نرو فازی و ASD در پیش بینی تغییرات اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک کرمان). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱: ۱۶-۱.
- ساری صراف، بهروز؛ سعید محمودی، سعید زنگنه و زهرا پاشایی. ۱۳۹۴. پایش و پیش بینی تراسالی و خشکسالی تبریز با استفاده از مدل Clim-Gen و شاخص SPI. فصلنامه هیدرولوژی و مورفولوژی، ۲: ۶۱-۷۸.
- سبحانی، بهروز و فخری سادات فاطمی نیا. ۱۳۹۳. مدل سازی فراسنج‌های اقلیمی استان خراسان جنوبی. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۳: ۳۱۱-۳۳۲.
- سبحانی، بهروز؛ مهدی اصلاحی و ایمان باباییان. ۱۳۹۴. کارایی الگوهای ریزمقیاسنامی آماری LARS-WG و SDSM در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴: ۴۹۹-۵۱۶.
- سبحانی، بهروز؛ مهدی اصلاحی و باباییان، ایمان. ۱۳۹۶. مقایسه روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری مدل‌های تغییر اقلیم در شبیه سازی عناصر اقلیمی در منطقه شمال غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۲: ۳۰۱-۳۲۵.
- شفائی، امیرحسین؛ شهاب عراقی نژاد و مساح بوانی. ۱۳۹۲. بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر بهره برداری از مخازن سطحی حوضه گراند. فصلنامه مدیریت آب و آبیاری، ۲: ۴۳-۵۸.
- شیدائیان، مجید؛ میرخالق ضیاء‌تبار احمدی و رامین فضل‌اولی. ۱۳۹۳. تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۶: ۱۲۸۴-۱۲۹۷.
- صالح پور جم، امین؛ محسن محسنی‌ساروی، جواد بدراشان و شهرام خلیقی‌سیگارودی. ۱۳۹۲. بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی دوره‌آلتی با کاربرد مدل گردش عمومی جو HadCM3 (مطالعه موردی: شمال غربی ایران). فصلنامه مرتع و آبخیزداری، ۴: ۵۳۷-۵۴۸.
- صالح نیا، نسرین؛ امین علیزاده و نسرین سیاری. ۱۳۹۳. مقایسه دو مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و ASD در پیش بینی بارش و دما تحت شرایط تغییر اقلیم و در وضعیت‌های آب و هوایی متفاوت. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲: ۲۳۳-۲۴۵.

- صلاحی، برومند؛ فخری‌سادات فاطمی‌نیا و سیدمحمد حسینی. ۱۳۹۳. ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده استان اصفهان با استفاده از مدل‌های BCM2 و HACM3 در محیط ریزگردان LARS-WG. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*, ۱۶: ۵۵-۷۱.
- صلاحی، برومند؛ مهدی عالی‌جهان؛ سعیده عینی و جعفر درخشی. ۱۳۹۶. پیش‌بینی تاریخ‌های شروع و پایان یخ‌بندان‌های سبک و سنگین استان کرمانشاه بر اساس برونداد مدل‌های اقلیمی Bcm2 و Hadcm3 با بهره‌گیری از ریزگردان LARS-WG نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی, ۵۹: ۷۵-۱۷۵.
- صمدی نقاب، سینا؛ علی‌محمد خورشیددوست، مجید حبیبی نوخدان و فاطمه زابل‌عباسی. ۱۳۹۰. بکارگیری مدل SDSM جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های GCM بارش و دما (مطالعه موردی: پیش‌بینی‌های اقلیمی ایستگاهی در ایران). *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*, ۵: ۵۷-۶۸.
- طائی سميرمی، 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*, ۱: ۱-۱۵.
- طائی سميرمی، سیاوش؛ حمیدرضا مرادی و مرتضی خداقلی. ۱۳۹۴. پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی LARS-WG و خروجی‌های مدل HACM3 تحت سناریوهای مختلف. *نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز*, ۲: ۴۵-۱۴۶.
- عساکر، حسین و بهرام شاه منصوری. ۱۳۹۵. بررسی و پیش‌بینی تغییرات دمای ایستگاه اراک براساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری. *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*, ۲: ۱۹۳-۲۱۲.
- علیزاده، امین و غلامعلی کمالی. ۱۳۸۱. اثر تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*, ۲: ۱۸۹-۲۰۱.
- علیزاده، امین؛ نسرین صالح‌نیا، نسرین سیاری، مائدۀ نصیری فیلاورگانی و کامران داوری. ۱۳۹۲. پیش‌بینی تغییرات احتمالی بارش مؤثردر پهنه‌های اقلیمی ایران برای زراعت گندم (طی دوره ۹۰ ساله آینده). *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*, ۴: ۵۷۵-۵۸۴.
- عینی نرگس، حامد؛ رضا دیهیم فرد، سعید صوفیزاده، مسعود حقیقت و امید نوری. ۱۳۹۴. پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی استان فارس با استفاده از مدل APSIM. *نشریه تولیدگیاهان زراعی*, ۴: ۲۰۳-۲۲۴.
- غريب‌دوست، مسعود؛ محمدعلی قربانی و ايمان فروزنده شهرکي. ۱۳۹۵. برآورد ميزان تأثير تغییر اقلیم بر بارش-رواناب حوضه آبخیز صوفی چای. *مجله مهندسی منابع آب*, ۲۹: ۱۷-۲۹.
- غريب‌دوست، مسعود؛ محمدعلی قربانی و عطیه حسینی‌زاده. ۱۳۹۶. تأثير تغییر اقلیم بر بارش رواناب حوضه آبریز صوفی چای. *علوم و مهندسی آبیاری*, ۲: ۸۹-۱۰۱.
- قادری، ناصح و مصطفی کریمی. ۱۳۹۳. پیش‌بینی بار آلودگی TN و TP به منابع آب در فرآیند تغییر اقلیم با مدل‌های SDSM و AQUALM. *فصلنامه علوم و مهندسی محیط زیست*, ۵: ۲۹-۴۴.
- قانقرمه، عبدالعظيم و غلامرضا روشن. ۱۳۹۱. دورنمای اثر گرمایش جهانی بر دگرگونی‌های مؤلفه دما در نواحی شمال غرب ایران. *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*, ۴: ۶۱-۸۰.
- گودرزی، مسعود؛ برومند صلاحی و سیداسعد حسینی. ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد مدل‌های ریز مقیاس گردانی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*, ۳۱: ۱-۲۲.
- محتشم زاده، روح الله؛ سجاد مشعلی، بهروز دهقانزاده و حسین قربانی‌زاده خرازی. ۱۳۹۳. بررسی تأثير تغییر اقلیم بر الگوی بارش حوزه ابرلاق همدان، همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی، همدان، مرکز آموزش جهاد کشاورزی استان همدان.

محمدلو، محمد؛ علی حقیزاده، حسین زینیوند و ناصر طهماسبیبور. ۱۳۹۳. ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر روند تغییرات رواناب حوضه آبخیز باراندوزچای در استان آذربایجان غربی با استفاده از مدل‌های چرخش عمومی جو. *فصلنامه اکوهیر و لوری*، ۱: ۲۵-۳۴.

محمدی، الهام؛ حجت‌الله بیزان پناه و فربا محمدی. ۱۳۹۳. بررسی رخداد تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت و طول دوره رشد گندم دوروم (دیم) مطالعه موردی: استگاه سرارود کرمانشاه. *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۲: ۲۳۱-۲۴۶.

محمدی، حسین؛ کرمی، زینب و ملکی‌پور موسی (۱۳۹۳) پیش‌بینی تغییرات اقلیمی استان ایلام و تأثیرات آن بر توسعه پایدار محیط زیست، اولین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی.

مسعودیان، سیدابوالفضل. ۱۳۸۳. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب کشور، مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.

مشکوati، امیرحسین؛ محمد کردجزی و ایمان بابائیان. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۱۹۹۳-۲۰۰۷ میلادی. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹: ۸۱-۹۶.

مظفری، غلامعلی و شهاب شفیعی. ۱۳۹۳. پیش‌بینی و تحلیل فضایی استان یزد در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، همایش بین‌المللی معماری، شهرسازی، مهندسی عمران، هنر و محیط، ایران، تهران، دانشکده هنر و معماری.

مظفری، غلامعلی؛ شهاب شفیعی و زهرا تقی زاده. ۱۳۹۳. ارزیابی شرایط خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان طی (۱۳۹۱-۱۴۱۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو. *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۹۳: ۹۳-۱۱۰.

ناصری، سمانه؛ حمید نوری و حسین زینیوند. ۱۳۹۳. آشکار سازی تغییر اقلیم شهر خرم آباد با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3. دومین همایش ملی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران، موسسه آموزش عالی مهر ارondon. نشاط، علی و یاسمین سجادی‌بمی. ۱۳۹۵. پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر فراسنج دما با استفاده از نرم افزار گردش عمومی جو HADCM3 (مطالعه موردی: کرمان و به). *مجله مهندسی منابع آب*، ۳۰: ۵۱-۶۲.

نصیری، بهروز و زهرا یارمدادی. ۱۳۹۶. پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی استان لرستان در ۵۰ سال آتی با استفاده از مدل HADCM3. *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۱۰۱: ۱۵۴-۱۴۳.

Asseng, S., Zhu, Y., Wang, E., Zhang, W. 2016. Crop modeling for climate change impact and adaptation. Genetic improvement and agronomy. DOI: 10.1016/B978-0-12-417104-6.00020-0
Chen, H.; J. Guo, Z. Zhang, and C.Y. Xu. 2012. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in Future. *Theoretical and Applied Climatology*, 3-4: 363-375.

Dumont, B.; B. Basso, B. Bodson, J.P. Destain, and M.F. Destain. 2016. Assessing and modeling economic and environmental impact of wheat nitrogen management in Belgium. *Environmental Modelling & Software*, 25: 184-196.

Hashmi, M.Z.; A.Y. Shamseldin, and B.W. Melville. 2011. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 4: 475-484.

Hessami, M.; P. Gachon, T. Ouarda, and A. St-Hilaire. 2008. Automated regression-based statistical downscaling tool. *Environmental Modelling & Software*, 6: 813-834.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific technical analyses. *Cambridge University Press*, 878 pages.

IPCC, 2013. Climate Change 2013 The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., et al. (eds). Cambridge, UK and New York, USA.

Jones, P.D. 1998. It was the best of times, it was the worst of times. *Science*, 280: 544-545.

- Kou, X.; J. Ge, Y. Wang, and C. Zhang. 2007. Validation of the weather generator Clim-Gen with daily precipitation data from the Loess Plateau China. *Journal of Hydrology*, **3**: 347-357.
- Koukidis, E.N.; and A.A. Berg. 2009. Ensitivity of statistical downscaling model (SDSM) to reanalysis products. *Atmosphere –ocean*, **1**: 1-18.
- Rashid, M.; and B. Mukands. 2014. Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin. *Weather and climate extremes*, **6**: 56-66.
- Semenov, M.; 2010. LARS-WG 5: quick start, LARSWG5: a stochastic weather generator for climate change impact assessments. *Centre for mathematical and computational biology rothamsted research*, Harpenden, Herts, AL5 2JQ UK.
- Stockle, C.O.; P. Steduto, and R.G. Allen. 1998. Estimating daily and daytime mean VPD from daily maximum_VPD. 5thCongress of the European Society of Agronomy, Nitra, the Slovak Republic.
- Stockle, C.O.; R., Nelson, M. Donatelli, and F. Castellvi. 2001. Clim-Gen: a flexible weather generation program, in: proceedings of the second international symposium on modelling cropping systems, July 16-18, Florence, Italy, pp. 229-230.
- Tambo, J.A. 2016. Adaptation and resilience to climate change and variability in north-east Ghana. International Journal of Disaster Risk Reduction. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.04.005>
- Timothy, J.; O. Craig, J. Wallace, C. Harris, M. Thomas, and D. Melvin., 2016. Pattern scaling using Clim-Gen: monthly resolution future climate scenarios including changes in the variability of precipitation. *Climate Change*, **3**: 353-369.
- WHO. 2003. The health impacts of 2003 summer heat-waves. Briefing note for the delegations of the fifty-third session of the WHO (World Health Organization) Regional Committee for Europe.
- Zhaofei, L.; Z. Xu., P.C. Stephen., G. Charles, and L. Liu. 2011. Evaluation of two statistical down scaling models for daily precipitation over an arid basin in chine. *Royal Meteorogical Mociety*, **13**: 2006-2020.

