



سال پانزدهم، شماره ۵۱  
پاییز ۱۳۹۴، صفحات ۲۶۳-۲۷۹

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

مسعود گودرزی<sup>۱</sup>

جهانتاب خسروانیان<sup>۲</sup>

سید اسداله حجازی<sup>۳</sup>

## کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه قره‌سو

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۲۵

### چکیده

تأثیرات تغییر اقلیم بسیار به شرایط جغرافیائی محلی و تغییرپذیری اقلیمی محل دارد. بنابراین مطالعات ارزیابی تغییر اقلیم بایستی در مقیاس محلی صورت پذیرد تا امکان ارزیابی نتایج احتمالی آن فراهم گردد. سناریوهای اقلیمی که توسط مدل‌های گردش عمومی جو تولید می‌شوند مربوط به کل کره زمین است که دقت مکانی آن‌ها صدها کیلومتر است. به همین دلیل روش‌های ریزمقیاس گردانی مورد نیاز است تا بدان وسیله بتوان پلی بر روی این فاصله بزرگ مقیاس سناریوهای اقلیمی و کوچک مقیاس تأثیرات محلی زده شود. یکی از روش‌های مرسوم استفاده از مدل‌های مولد آب‌وهوایی است. یک مولد آب‌وهوایی به عنوان ابزاری نسبتاً دقیق و ارزان برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم چندساله در مقیاس روزانه به کار برده می‌شود و تغییرات در متغیرهای اقلیمی و میانگین‌های اقلیمی را ترکیب

۱- استادیار پژوهشکده آبخیزداری و حفاظت خاک تهران.  
E-mail: massoudgoodarzi@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد آبخیزداری، فارغ التحصیل دانشگاه گرگان.  
E-mail: jahantabkhosravaniyan@gmail.com

۳- استادیار دانشگاه تبریز.

می‌کند. در این تحقیق از مدل LARS-WG استفاده شده است و کارایی مدل جهت تولید داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی در حوضه آبخیز قره‌سو استان گلستان در ایستگاه گرگان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در اولین گام مدل برای دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ اجرا گردیده و میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و تولید شده پارامترهای اقلیمی مذکور مقایسه شد سپس همبستگی مقادیر با استفاده از آزمون T استیودنت مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از مدل وجود ندارد. در نهایت با مقایسه مقادیر میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و تولید شده متغیرهای هواشناسی مذکور با استفاده از پارامترهای آماری  $RMSE$ ،  $MAE$  و  $NA$  نیز مورد مقایسه قرار گرفتند و اثبات شد که مدل کارایی لازم جهت تولید داده‌های روزانه در حوضه آبخیز قره‌سو استان گلستان را دارا بوده و می‌توان با طراحی سناریوها در مدل داده‌های هواشناسی بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی را پیش‌بینی نمود. همچنین نمودارهای پراکنش مقادیر مشاهداتی و تولید شده بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی نشان داد که همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهداتی و تولید شده توسط مدل وجود دارد که البته مقادیر دمای حداقل و حداکثر بیش‌ترین همبستگی را داشته و مقادیر مربوط به ساعت آفتابی کم‌ترین میزان همبستگی را داراست.

**کلید واژه‌ها:** تغییر اقلیم، حوضه قره‌سو، سناریوهای اقلیمی، ریزمقیاس‌گردانی، مدل LARS-WG.

#### مقدمه

رشد سریع فعالیت‌های صنعتی و در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده است که به آن پدیده تغییر اقلیم<sup>۱</sup> اطلاق می‌شود. این پدیده به‌طور مستقیم بر پارامترهای هیدرولوژیکی تاثیرگذار خواهد بود. تاثیرات منفی این پدیده در آینده به سبب نگرش جوامع بر توسعه سریع صنعت و توجه کم‌تر به محیط‌زیست می‌تواند شدت گرفتن آن را به‌دنبال داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر سیستم‌های مختلف شامل منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. به‌منظور بررسی این اثرات مراحل مختلفی باید طی شود که در این پژوهش مراحل مورد نیاز جهت

بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی و رواناب در آینده مورد بررسی قرار خواهد گرفت. گرم شدن اقلیم بدون ابهام به وقوع پیوسته است. در حال حاضر متوسط جهانی دمای اقیانوس و هوا افزایش یافته است و ذوب گسترده برف و یخ سبب بالا آمدن متوسط سطح دریا شده است. متوسط دمای جهان در سال‌های ۱۹۰۶ تا ۲۰۰۵،  $0.74^{\circ}\text{C}$  افزایش یافته است. روند خطی گرمایش بین سال‌های ۱۹۵۶-۲۰۰۵  $0.13^{\circ}\text{C}$  بوده که نسبت به سال‌های ۱۹۰۶-۲۰۰۵ در هر دهه تقریباً دو برابر است. افزایش دما در سراسر جهان گسترده است و این امر در عرض‌های شمالی بالاتر وسیع‌تر است، متوسط درجه حرارت قطب شمال در سال‌های ۱۹۰۶-۲۰۰۵ تقریباً دو برابر متوسط جهانی افزایش یافته است. همچنین مناطق روی زمین نسبت به اقیانوس‌ها گرم‌تر شده‌اند (هیات بین الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۱: ۵۷).

عوامل مختلفی باعث برهم خوردن شرایط حاکم بر اجزاء مختلف سیستم اقلیم کره زمین می‌شود که می‌تواند تاثیراتی را بر اجزاء دیگر بگذارد. این عوامل به دو بخش عوامل داخلی (ناشی از کنش‌های متقابل بین اجزاء سیستم اقلیم) و عوامل خارجی طبیعی ناشی از تابش خورشیدی، فعالیت‌های آتشفشانی و افزایش غیر طبیعی گازهای گلخانه‌ای قابل تقسیم می‌شود (عساکره، ۱۳۸۶: ۱۶). در بین عوامل ذکر شده، تنها عاملی که به صورت غیرطبیعی بر سیستم اقلیم کره زمین تاثیر می‌گذارد، افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. بررسی وضعیت انتشار این گازها نشان می‌دهد که پس از انقلاب صنعتی در نیمه قرن ۱۸، به دلیل افزایش روز افزون صنایع و افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی، توازن مقادیر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر برهم خورده و مقادیر آن به خصوص میزان گاز دی‌اکسیدکربن افزایش یافته است. این افزایش سبب می‌شود تا امواج مادون قرمز ساطع شده از زمین بیش از پیش به وسیله گازهای گلخانه‌ای جذب شده و باعث گرم‌تر شدن اتمسفر کره زمین شود. گرم‌تر شدن کره زمین نیز به نوبه خود بر وضعیت اجزاء دیگر سیستم اقلیم تاثیر گذاشته و پدیده تغییر اقلیم را موجب می‌شود (بائده و همکاران، ۲۰۰۱: ۵۲۷).

اصولاً تغییر و حرکت، جزء وجودی سامانه‌های طبیعی است. بنابر اهمیتی که تغییر اقلیم بر ساختار محیطی کره زمین و ساکنان آن داشته است، تلاش به‌منظور شناخت هرچه بیش‌تر چگونگی رخدادهای اقلیمی امری مسلم و ضروری است. از شروع نیمه دوم قرن نوزدهم، اقلیم کره زمین دستخوش تغییرات مهمی شد. به نحوی که جابجایی فراگیری

در رژیم‌های بارندگی، الگوهای فشار و دمای سطح آب دریاها صورت گرفت که خود بر بخش‌های مختلف حیات در این کره ارضی تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی داشته است. از این بین، مهم‌ترین تأثیرات، فزونی درجه حرارت و تغییرات در بارش بوده است (گودرزی، ۱۳۹۰: ۲۶).

از آن‌جا که پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده تحت پدیده تغییر اقلیم به‌طور قطع ممکن نمی‌باشد، راه‌حل جایگزین استفاده از سناریوهای اقلیمی می‌باشد. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید این سناریوها مدل‌های GCM می‌باشد (مهدی زاده، ۱۳۸۹: ۱۱۹).

مدل‌های گردش عمومی، شرایط توپوگرافی و پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرند، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده‌ی مورد بحث کاملاً متفاوت باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۸۸).

روش‌های مختلفی برای ریزمقیاس کردن متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد. این روش‌ها شامل روش‌های دینامیکی و روش‌های آماری است. روش‌های دینامیکی جزو روش‌های هزینه‌بر بوده که در ایران در دسترس نیستند. معتبرترین ابزار جهت ریزمقیاس کردن داده‌های GCM در کشور ما استفاده از روش‌های آماری می‌باشد. به‌طور کلی هدف این تحقیق ریزمقیاس کردن داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش برای ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه قره‌سو گرگان و تولید سناریوهای اقلیمی در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹ و بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در آینده می‌باشد.

مدل‌های مولد مصنوعی داده‌های هواشناسی دارای دو رویکرد آماری هستند: مدل‌های نوع ریچاردسون که جهت شبیه‌سازی بارش از روش زنجیره مارکف استفاده می‌کنند و در این روش ابتدا تر یا خشک بودن روز بررسی می‌گردد و سپس میزان بارش روز تر بر اساس بارش روزهای قبل و بعد محاسبه می‌شود. دومین نوع مدل‌های تولید کننده‌ی داده‌های هواشناسی مدل‌های نوع سریال هستند که توزیع نیمه‌تجربی را به‌کار می‌برند و جهت تولید آب‌وهوا، در ابتدا طول گام‌های خشک و مرطوب شبیه‌سازی می‌شود که مشهورترین آن‌ها مدل LARS-WG است (بابائیان و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۴: ۳۳).

توزیع نیمه‌تجربی ۱۰ بازه داشته و به ۲۱ پارامتر نیاز دارد که ۱۱ پارامتر دلالت می‌کند بر مرزهای بازه‌ها و ۱۰ پارامتر تعداد رخدادها بین هر بازه را مشخص می‌کند. در ورژن قدیمی‌تر مدل برای تعریف سری روزهای تر و خشک، ۳ پارامتر برای توزیع نمایی مختلط به‌کار برده شده است که البته نسخه جدیدتر آن بهتر است (راسکو و همکاران<sup>۸</sup>، ۱۹۹۱: ۳۹).

LARS-WG یک روش ریزمقیاس کردن آماری است که می‌تواند جهت شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دما (°C)، بارش (mm) و تشعشعات خورشیدی (MJ/m<sup>2</sup>day) در یک مکان تحت شرایط اقلیم حال و آینده استفاده شود. اولین نسخه از LARS-WG در سال ۱۹۹۰ در بوداپست به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی خطر کشاورزی در کشور مجارستان توسط آکادمی علوم مجارستان به کار گرفته شد (سمنوف و بارو<sup>۹</sup>، ۲۰۰۲: ۳).

نسخه اصلاح شده این مولد آب‌وهوا در ساخت سناریوهای تغییر اقلیم در دو پروژه بزرگ تحقیقاتی کلیر و کلیواری<sup>۱۰</sup> اتحادیه اروپا برای تخمین اثرات تغییر اقلیم روی پتانسیل کشاورزی در اروپا استفاده شد (هاریسون و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۵: ۱۵)، (داونینگ و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۰: ۷).

مدل LARS-WG به‌طور گسترده با مدل W-GEN که در سال ۱۹۸۱ توسط ریچاردسون<sup>۱۳</sup> و در سال ۱۹۸۴ توسط ریچاردسون و رایت<sup>۱۴</sup> به‌کار برده شده و از روش زنجیره مارکف استفاده می‌کند، مقایسه می‌شود، نتایج مدل LARS-WG در مقایسه با WGEN هم‌خوانی بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد (بابائیان و همکاران، ۲۰۱۰: ۶۳)؛ (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲: ۲۴)، (سمنوف و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۱۹۹۸: ۱۱).

بابائیان و همکاران در تحقیقی، اقلیم ایران را برای دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ مدل‌سازی نمودند. نامبردگان داده‌های سناریوی A1 مدل ECHO-G (که در دانشگاه هامبورگ آلمان و مرکز هواشناسی کره جنوبی اجرا می‌شود) را برای مدل‌سازی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی آماری مدل LARS-WG به‌کار بردند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۹).

8- Racsko et al

9- Semenov and Barrow

10- CLAIRE & CLIVARI

11- Harrison et al

12- Dawning et al

13- Richardson

14- Richardson & Wright

15- Semenov et al.

در تحقیقی در انگلستان سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل LARS-WG بررسی شد و قابلیت این مدل در شبیه‌سازی داده‌های روزانه مورد تأیید قرار گرفت (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲: ۳۱).

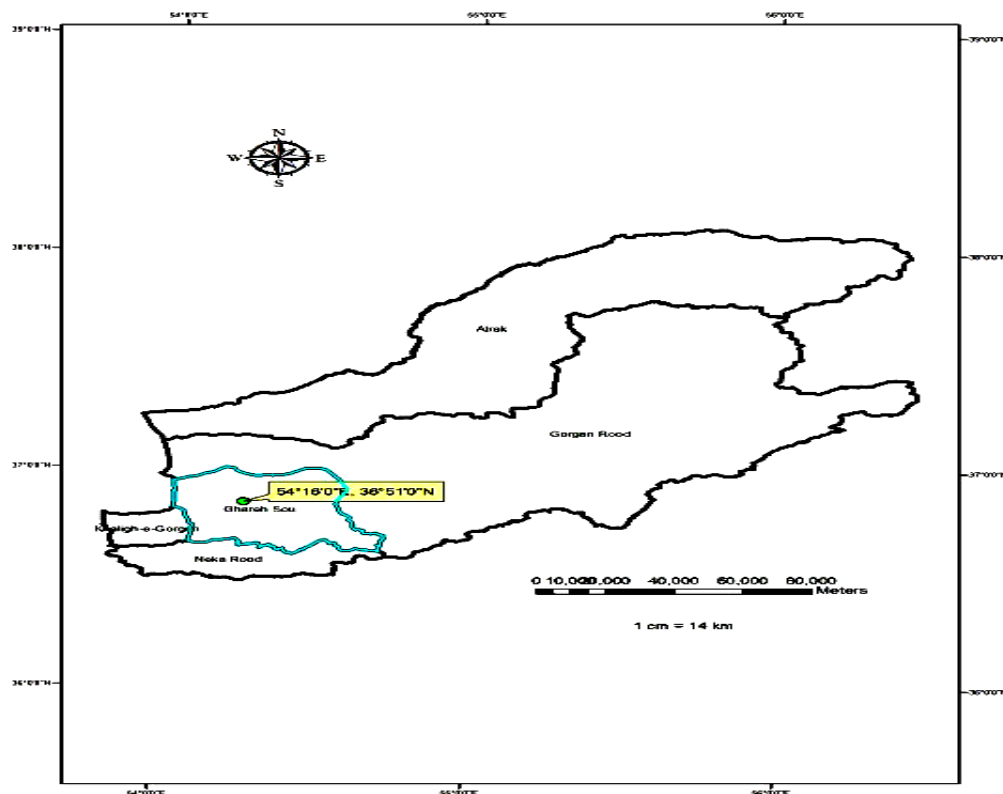
الشمی با استفاده از مدل‌های مولد هواشناسی، اثرات تغییر اقلیم در جنوب انگلستان را مورد مطالعه قرار داده و نتایج مشابهی را بیان نمودند (الشمی و همکاران<sup>۱۶</sup>، ۲۰۰۵: ۱۷).

بابائیان و همکاران تغییرات اقلیم کره جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ را با استفاده از مدل LARS-WG مورد بررسی قرار دادند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۴).

مشکاتی و همکاران در تحقیقی توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره‌ی ۱۹۹۳-۲۰۰۷ میلادی بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که این مدل عملکرد مناسب در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی ایستگاه‌های تحت بررسی داشته و می‌توان از آن در جهت ارزیابی اقلیم آینده استان در مقیاس محلی استفاده نمود (مشکاتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۵).

#### مواد و روش‌ها

معرفی منطقه: حوضه آبخیز قره سو با مساحتی معادل ۱۶۳۸ کیلومتر مربع در دامنه‌های شمالی البرز واقع است و از نظر موقعیت جغرافیایی در ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه و ۷ ثانیه تا ۳۷ درجه عرض شمالی و بین ۵۴ درجه و ۲ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۴۳ دقیقه و ۸ ثانیه طول شرقی قرار دارد. بلندترین نقطه حوضه با ارتفاع ۳۲۰۴ متر از سطح دریای آزاد در جنوب شرق و پست‌ترین منطقه آن با ارتفاع ۲۷- متر در شمال غرب حوضه واقع شده است. پوشش جنگلی متراکمی در ارتفاعات وجود دارد که دامنه آن تا ارتفاع حدود ۲۵۰ الی ۹۰۰ متر گسترده شده می‌باشد. میانگین سالیانه بارندگی حدود ۳۰۰ میلی‌متر در کناره‌های جنوبی و شمالی حوضه و تا حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در بخش مرکزی در ارتفاع متناسب بارش آن متغیر است. میانگین سالیانه دما در حدود ۱۷ درجه سانتی‌گراد در نواحی پست شمالی تا ۷ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات جنوبی حوضه کاهش می‌یابد. تیپ اقلیمی این حوضه شامل نیمه بیابانی، خزری و معتدل و سرد کوهستانی از نوع دریا-کوهستان است. شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز قره‌سو در استان گلستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبخیز قره‌سو در استان گلستان و موقعیت ایستگاه گرگان در آبخیز قره‌سو

مدل LARS-WG توسط یکی از دانشمندان مرکز مطالعات کشاورزی روتامشتد<sup>۱۷</sup> انگلستان طراحی شده است که با استفاده از داده‌های دیدبانی شده و بررسی رفتار اقلیم ایستگاه‌ها در دوره آماری و همچنین داده‌های روزانه شبکه‌ای مدل‌های گردش عمومی جو در آینده می‌توان داده‌های روزانه دوره‌های آبی را مدل‌سازی کرد (پژوهشکده اقلیم‌شناسی، ۱۳۹۱: ۲)؛ (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲: ۴۳).

نسخه قدیمی این مدل LARS WG 3 و نسخه جدید آن که در این مقاله هم مورد استفاده قرار گرفته است LARS WG 5 می‌باشد که داده‌های مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای پیش‌تری در نسخه جدید فراهم شده است. سری‌های زمانی ساخته شده در مدل LARS-WG عمدتاً دارای خصوصیات آماری مشابه با داده‌های مشاهداتی در یک ایستگاه می‌باشد و جهت استفاده در ارزیابی خطر هیدرولوژیکی یا کاربردهای کشاورزی باید دارای آمار طولانی

مدت باشد و هم‌چنین می‌توان از این مدل جهت تولید داده‌های گم شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده نمود. در مدل LARS-WG توصیف تشعشعات خورشیدی روزهای خشک و تر با استفاده از توزیع‌های نیمه تجربی جداگانه و مدل‌سازی تشعشعات خورشیدی به طور مستقل از دما صورت می‌پذیرد (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲: ۴۹). در مواقعی که تشعشعات آفتابی در دسترس نباشد می‌توان از ساعت آفتابی نیز استفاده نمود و مدل به‌طور خودکار میزان ساعت آفتابی را با استفاده از رابطه ۱ به تشعشعات خورشیدی تبدیل می‌نماید.

رابطه (۱)  $a+(b(n/N))$

که در آن  $a$  و  $b$  ضرایب ثابت معادله می‌باشند و مقدار  $n/N$  نرخ واقعی مدت زمان پتانسیل ساعت آفتابی است (ریتولد<sup>۱۸</sup>، ۱۹۷۸: ۱۱). مدل LARS-WG قادر است با داده‌های مشاهداتی کم (مثلاً در حد یک‌سال)، داده‌های اقلیمی را پیش‌بینی کند ولی برای اینکه مدل بتواند اقلیم درست‌تر و دقیق‌تری را پیش‌بینی کند بهتر است که از ۳۰-۲۰ سال داده روزانه استفاده نمود (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲: ۵۲).

بیش‌ترین تمرکز در ابداع مدل LARS-WG برای غلبه بر محدودیت‌های مدل زنجیره مارکف از وقوع بارش است و این روش به طور وسیع در مدل‌سازی بارش اتفاق افتاده استفاده می‌شود و به‌طور کلی به دو حالت بارش و نیز تر یا خشک بودن توجه می‌کند و فقط شرایط روز قبل را در نظر می‌گیرد. شبیه‌سازی وقوع بارش به عنوان جایگزین سری‌های خشک و مرطوب مدل‌سازی شده است و یک روز با بارش بیش‌تر از صفر میلی‌متر به‌عنوان روز مرطوب تلقی می‌شود. مدل LARS-WG برای طول سری‌های روزانه خشک و تر، بارش و تشعشعات خورشیدی روزانه از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌کند و درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه نیز بر اساس سری‌های Fourier تخمین زده می‌شود (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲: ۱۱).

جهت اجرای اولیه مدل LARS-WG باید در ابتدا دو فایل ورودی را آماده کنیم که یک فایل شامل نام، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع مربوط به ایستگاه اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی می‌باشد که در آن فرمت و ترتیب داده‌های ورودی مدل نیز مشخص می‌شود. فایل دیگر شامل داده‌های هواشناسی ورودی به مدل که به‌ترتیب از سال کم به زیاد مرتب شده و محتوی سال، شماره روز ژولویوس، حداقل دما، حداکثر دما، بارش و ساعت آفتابی



روزانه می‌باشد. که در این تحقیق داده‌های روزانه مربوط به ایستگاه سینوپتیک گرگان واقع در طول جغرافیایی ۱۶° ۵۴' و عرض جغرافیایی ۵۱° ۳۶'، در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹ به‌عنوان داده‌های هواشناسی ورودی به مدل معرفی شده و مدلدن این دوره اجرا گردید. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه گرگان در حوضه آبخیز قره‌سو نشان داده شده است. به کمک آنالیزهای مدل بر روی داده‌های ورودی دو فایل حاصل می‌شود. یک فایل شامل خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی از قبیل طول سری‌های خشک و مرطوب به صورت فصلی و میانگین و انحراف معیار دوره‌های خشک و مرطوب به صورت ماهانه، توزیع‌های تجربی، مقادیر میانگین، انحراف معیار، ماکزیمم و مینیمم و تعداد داده‌های ثبت شده بارشبه صورت ماهانه، و مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و تعداد داده‌های ثبت شده حداکثر و حداقل دما و تشعشعات آفتابی به صورت ماهانه و روزانه، هم‌چنین با استفاده از توزیع‌های تجربی فصلی دوره‌هایی از سرما و گرما مدل‌سازی می‌شود بر این اساس که روز سرد به روزی اطلاق می‌شود که دمای حداقل آن به زیر صفر درجه سانتی‌گراد و روز گرم نیز روزی محسوب می‌شود که دمای حداکثر آن به بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد برسد. فایل دیگر پارامترهای استفاده شده توسط مدل LARS-WG جهت باز تولید داده‌های مشاهداتی است که شامل بازه‌های هیستوگرام ماهانه و فراوانی رخدادهای مربوط به هر کدام از بازه‌ها برای بارش، طول دوره‌هایی از سری‌های خشک و مرطوب و تشعشعات آفتابی، ضرایب فوریه مربوط به میانگین و انحراف معیار، حداکثر و حداقل دما در دوره‌های خشک و مرطوب به صورت جداگانه، متوسط خود همبستگی مربوط به حداقل و حداکثر دما و تشعشعات آفتابی (خود همبستگی بر این اساس که مقادیر مربوط به هر روز به شرایط روزهای قبل بستگی دارد) را نشان می‌دهد. در نهایت با توجه به یک‌سری پارامترهای آماری از قبیل ضریب ناش-ساتکلیف<sup>۱۹</sup> (NS) (رابطه ۲)، میانگین خطای مطلق<sup>۲۰</sup> (MAE) (رابطه ۳)، ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۲۱</sup> (RMSE) (رابطه ۴) و ضریب تعیین<sup>۲۲</sup>  $R^2$  که روابط آن‌ها در زیر آمده است و هم‌چنین آزمون T استیودنت بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده کارایی مدل LARS-WG در حوضه آبخیز قره‌سو تعیین می‌گردد.

20- Nash- Sutcliffe

21- Mean Absolute Error

22- Root Mean Square Error

$$NS = \left[ 1 - \frac{\sum(X_o - X_S)^2}{\sum(X_o - \bar{X}_o)^2} \right] \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$MAE = \frac{\sum |X_o - X_S|}{N} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(X_o - X_S)^2}{N}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

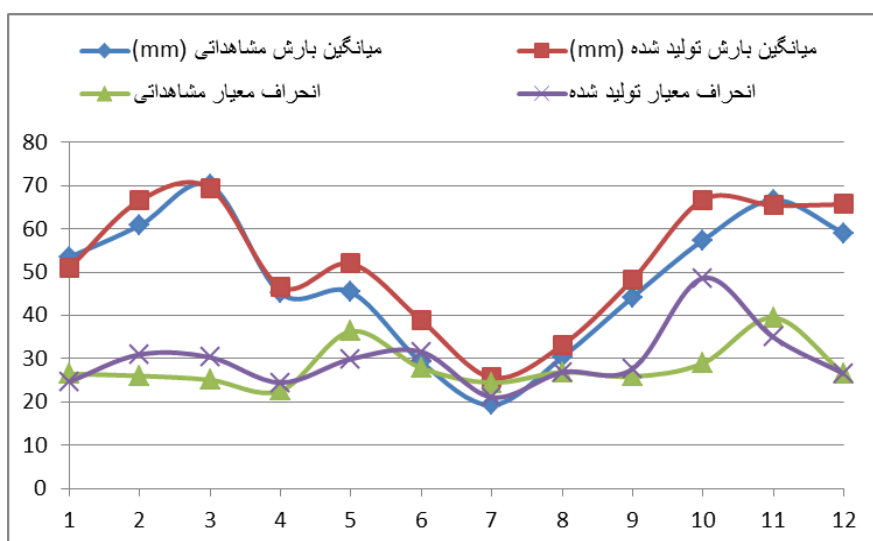
### بحث و یافته‌ها

در جدول ۱ نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر مشاهداتی و تولید شده توسط مدل آورده شده است.

جدول ۱- نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر واقعی و تولید شده توسط مدل

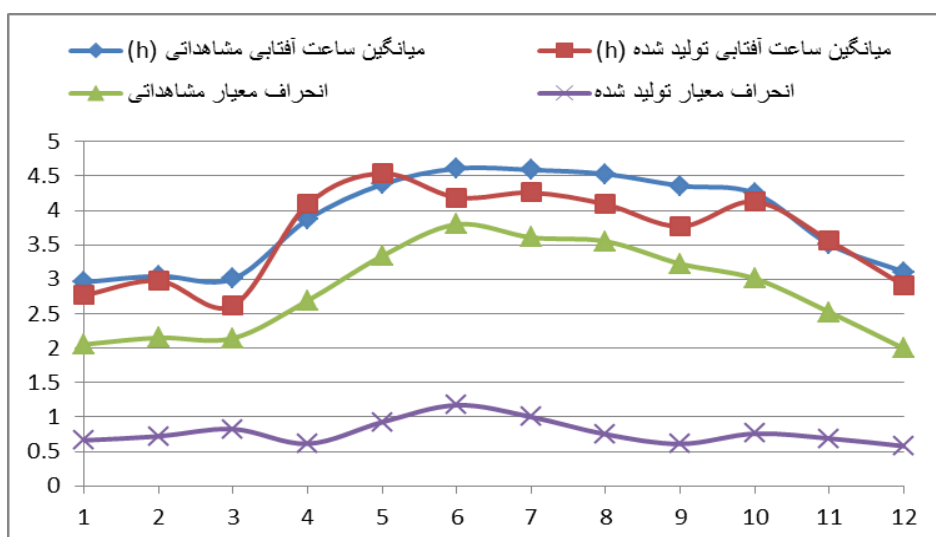
پارامترهای آماری	بارش (mm)	حداقل دما (°C)	حداکثر دما (°C)	ساعت آفتابی (h)
MAE	۴/۲۵	۰/۱۲	۰/۳	۰/۲۶
NA	۰/۸۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۷۷
RMSE	۵/۰۵	۰/۱۶	۰/۳۴	۰/۳

همان‌گونه که در جدول بالا ملاحظه می‌نمایید بالا بودن مقدار NS و پایین بودن مقادیر مربوط به شاخص‌های خطاسنجی MAE و RMSE متغیرهای هواشناسی بارش، حداقل دما، حداکثر دما و ساعت آفتابی نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی حوضه آبخیز قره‌سو در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ می‌باشد و علاوه بر آن مدل داده‌های مربوط به ساعت آفتابی را با دقت کم‌تری نسبت به سایر داده‌های هواشناسی تولید می‌کند. در اشکال ۲ تا ۵ میانگین و انحراف معیار مربوط به هرکدام از متغیرهای اقلیمی نشان داده شده است.



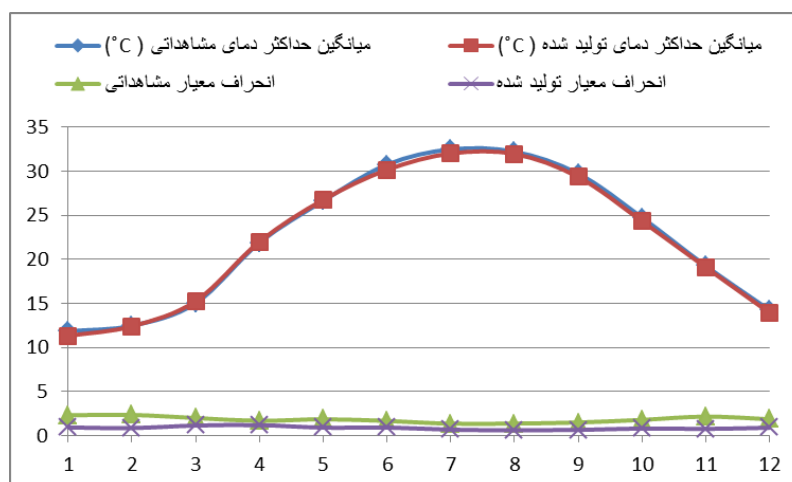
شکل ۲: نمودار میانگین بارش مشاهده‌ای و تولید شده و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹

با دقت در شکل (۲) متوجه می‌شویم در ماه‌های ژانویه، مارس و نوامبر بارش مشاهده‌ای بیش‌تر از بارش تولید شده توسط مدل می‌باشد و در سایر ماه‌های سال بارش تولید شده بیش‌تر از میزان بارش مشاهده‌ای است و در مورد مقادیر انحراف معیار بارش نیز انحراف معیار مشاهده‌ای و تولید شده در ماه‌های آگوست و دسامبر با هم برابر بوده و در ماه‌های ژانویه، می، ژولای و نوامبر مقادیر مربوط به انحراف معیار مشاهده‌ای بیش‌تر از مقادیر مربوط به انحراف معیار تولید شده است.

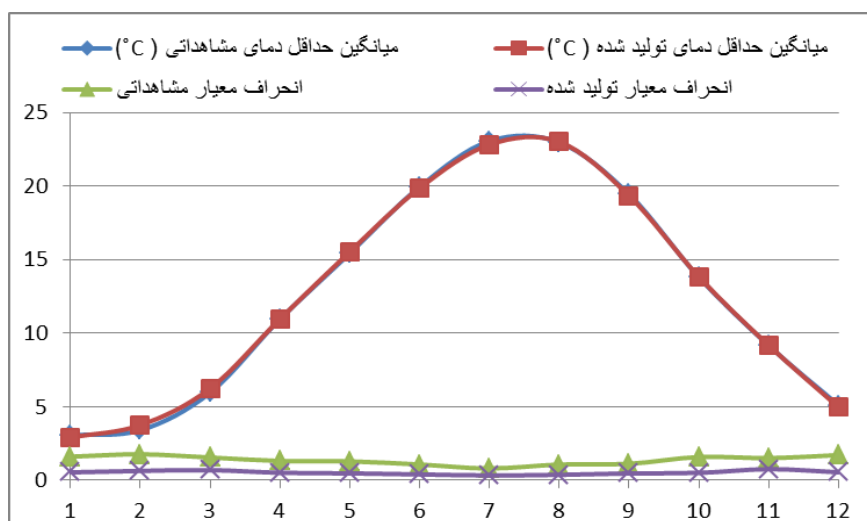


شکل ۳: نمودار میانگین ساعت آفتابی مشاهده‌ای و تولید شده و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹

ساعت آفتابی تولید شده در تمامی ماه‌های سال به جز در ماه‌های آوریل، می و نوامبر کم‌تر از مقدار مشاهداتی است و انحراف معیار مشاهداتی مربوط به آن نیز در تمامی ماه‌های سال از انحراف معیار تولید شده بیش‌تر است.



شکل ۴: نمودار میانگین حداکثر دمای مشاهداتی و تولید شده و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹



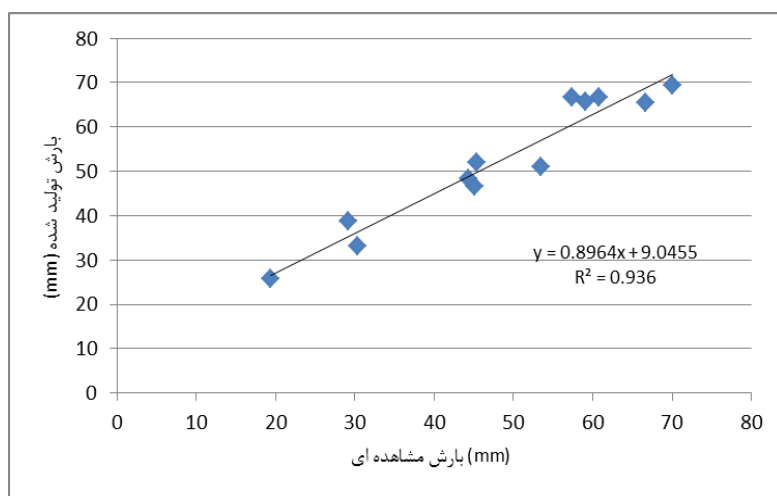
شکل ۵: نمودار میانگین حداقل دمای مشاهداتی و تولید شده و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹

نمودارهای مربوط به دمای حداقل و حداکثر (اشکال ۴ و ۵) نشان می‌دهد که انحراف معیار دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی در تمامی ماه‌های سال بیش‌تر از انحراف معیار مقادیر تولید شده توسط مدل می‌باشد و اختلاف بین میانگین دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی و تولید شده بسیار جزئی بوده و در برخی از ماه‌ها هم برابر است.

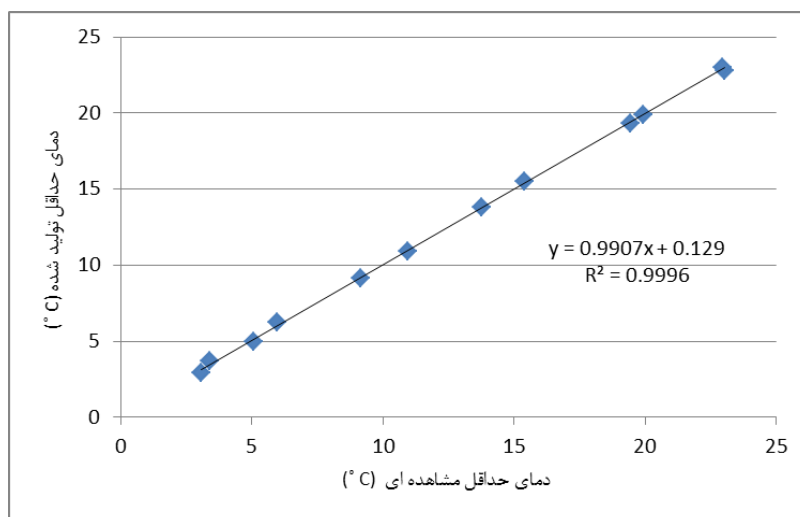
به‌طوری که میزان دمای حداقل مشاهداتی و تولید شده در ماه‌های آوریل، آگوست و نوامبر و در مورد میانگین دمای حداکثر نیز مقادیر مشاهداتی و تولید شده توسط مدل در ماه فوریه تقریباً برابر می‌باشند.

### نتیجه‌گیری

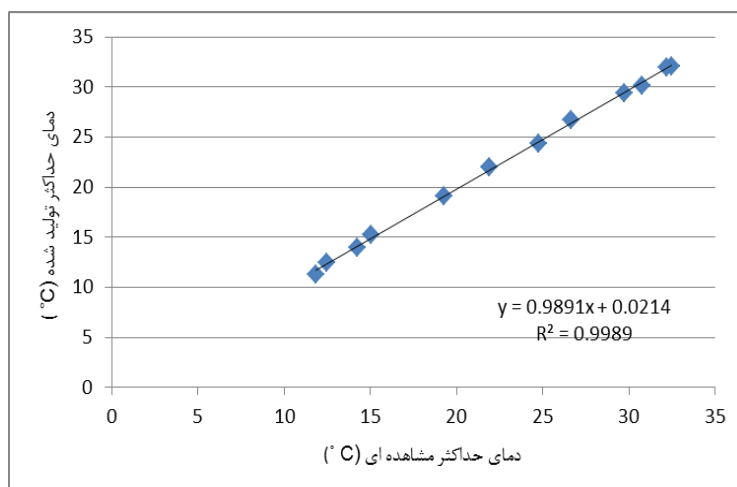
نمودارهای پراکنش مشاهداتی و تولید شده بین پارامترهای هواشناسی مورد بررسی در اشکال ۶-۹ نشان داده شده است.



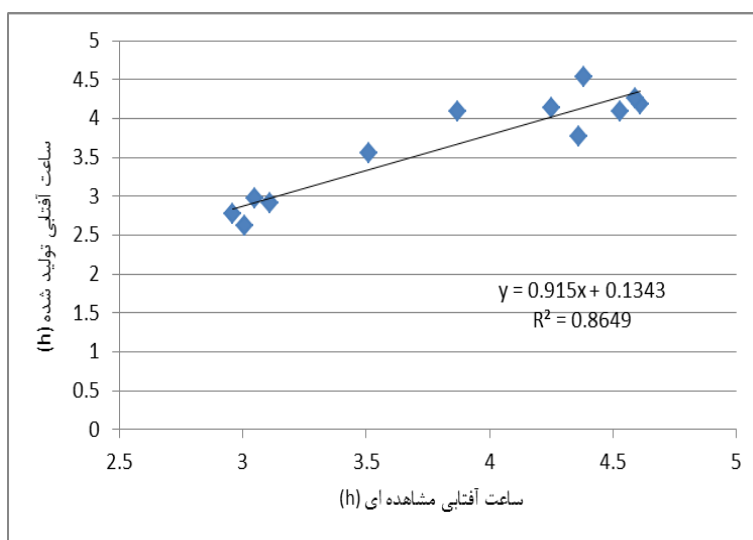
شکل ۶: نمودار پراکنش بارش مشاهداتی و تولید شده در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹



شکل ۷: نمودار پراکنش حداقل دمای مشاهداتی و تولید شده در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹



شکل ۸: نمودار پراکنش حداکثر دمای مشاهداتی و تولید شده در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹



شکل ۹: نمودار پراکنش ساعت آفتابی مشاهداتی و تولید شده در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹

نمودارهای پراکنش مشاهداتی و تولید شده بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه گرگان در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹ نشان می‌دهد که همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهداتی و تولید شده توسط مدل وجود دارد و همچنین مقادیر دمای حداقل و حداکثر بیش‌ترین همبستگی را داشته و مقادیر مربوط به ساعت آفتابی کم‌ترین میزان همبستگی را داراست.

در تحقیق حاضر در ابتدا داده‌های روزانه ساعت آفتابی، بارش، دمای حداقل و حداکثر ایستگاه سینوپتیک گرگان در دوره‌ی ۱۹۷۰-۱۹۹۹ به عنوان داده‌های ورودی به مدل LARS-WG داده شد و سپس با کمک مدل داده‌های روزانه

متغیرهای هواشناسی مذکور در همین دوره تولید گردید. در نهایت با مقایسه میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و تولید شده متغیرهای هواشناسی بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی با استفاده از پارامترهای آماری  $R^2$ ، RMSE، MAE و NA معلوم شد که مدل کارایی لازم را جهت تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده در حوضه آبخیز قره سو استان گلستان دارا بوده و می‌توان با طراحی سناریوها در مدل اقدام به پیش‌بینی داده‌های هواشناسی بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی، با استفاده از این مدل نمود. هم‌چنین با مقایسه میانگین‌های ماهانه پارامترهای مذکور با استفاده از آزمون t استیودنت این نتیجه حاصل شد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین داده‌های حاصل از مدل و داده‌های مشاهداتی در دوره پایه وجود نداشته و میانگین‌های پارامترهای اقلیمی داده‌های حاصل از مدل و داده‌های واقعی شبیه به هم بوده و همبستگی بالایی بین آن‌ها وجود دارد. نمودارهای پراکنش حاصل شده بین مقادیر مشاهداتی و تولید شده بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه گرگان در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹ نشان داد که همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهداتی و تولید شده توسط مدل وجود دارد و هم‌چنین مقادیر دمای حداقل و حداکثر بیش‌ترین همبستگی را داشته و مقادیر مربوط به ساعت آفتابی کم‌ترین میزان همبستگی را داراست. که با نتایج حاصل از مطالعه مشکواتی و همکاران در سال ۱۳۸۹ مطابقت داشت.

## منابع

- بابائیان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ عباسی، فاطمه؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ ادب، حامد؛ ملبوسی، شراره (۱۳۸۸)، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۶، صص ۱۵۲-۱۳۵.
- سایت پژوهشکده اقلیم‌شناسی (۱۳۹۱)، مدل آماری LARS-WG. [بر خط]: (<http://www.cri.ac.ir/show=06> (verified 2/3/1391)).
- عساکره، حسین (۱۳۸۶)، «تغییر اقلیم»، زنجان، دانشگاه زنجان، ۱۸۵ ص.
- گودرزی، مسعود (۱۳۹۰)، «بررسی تاثیرات پدیده دگرگونی اقلیمی بر منابع آب سطحی کرخه علیا»، رساله دکتری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- مهدی‌زاده، صالح (۱۳۸۹)، «پیش‌بینی تغییرات جریان رودخانه گرگان‌رود بر اثر تغییر اقلیم»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان.
- مشکاتی، ا؛ کردجزی، محمد؛ بابائیان، ایمان (۱۳۸۹)، «بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی»، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، شماره ۱۶، صص ۹۶-۸۱.
- Babaeian, I., Kwon, W.T., Im, E.S., (2004), "Application of Weather Generator Technique for Climate Change Assessment over Korea", *Korea Meteorological Research Institute, Climate Research Lab*, 98 pp.
- Baede, A.P. M., Ahlonsou, E., Ding, Y., Schimel, D., (2001), "The climate system: An overview in climate change 2001: the scientific basis contribution of Working group I to the third assessment report of Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge, Cambridge University Press, pp 525-582.
- Downing, T.E., Harrison, P.A., Butterfield, R.E., Lonsdale, K.G., (2000), "Climate Change, Climatic Variability and Agriculture in Europe: An Integrated Assessment", *oxford*, University of Oxford, 212pp.
- Elshamy, M.E., Weather, H.S., Gedney, N., Huntingford, C., (2005), "Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies", *Journal of Hydrology*, 326: 1-24.



- Harrison, P.A., Butterfield, R.E., Downing, T.E., (1995), "Climate Change and Agriculture in Europe: Assessment of Impacts and Adaptations", Environmental Change Unit Research Report No. 9, Environmental Change Unit, Oxford, University of Oxford 98 pp.
- IPCC Fourth Assessment report, Climate Change (2007), "*Syntesis Report. Valencia, Spain*", 12-17 November 2007: 52.
- Racsco, P., Szeidl, L., Semenov, M., (1991), "A serial approach to local stochastic weather models", *Ecological Modelling*, 57: 27-41.
- Rietveld, M.R., (1978), "A new method for the estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine", *Agricultural Meteorology*, 19: 243-252.
- Richardson, C.W., Wright, D.A., (1984), "WGEN: A model for generating daily weather variables", US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8, 83pp.
- Semenov, M.A., Barrow, E. M., (2002), "LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies", User Manual, Version 3.0: 28.
- Semenov, M. A., Brooks, R.J., Barrow, E. M., Richardson, C.W., (1998), "Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in divers climates", Korea Meteorological Research Institute, *Climate Research*, Lab, 75 pp.