

جغرافیا و توسعه شماره ۳۵ تابستان ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۰/۱۲/۱

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۸/۱۲

صفحات: ۲۱۶ - ۲۰۱

## آزمون دقت شبیه‌سازهای LARS-WG، WeatherMan و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی سه اقلیم مختلف (گرگان، گنبد و مشهد)

امیر حجازپور<sup>۱</sup>، مرضیه یوسفی<sup>۲</sup>، دکتر بهنام کامکار<sup>۳</sup>

### چکیده

در سال‌های اخیر مدل‌های مصنوعی مولد پارامترهای هواشناسی به طور گسترده در سیستم‌های هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و در مطالعات پتانسیل تأثیر اقلیم بر اکوسیستم‌های زراعی در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این مدل‌ها به عنوان یک تکنیک آماری جهت تولید داده‌های هواشناسی روزانه در مواقعی که داده‌های طولانی‌مدت در دسترس نباشد، توسعه یافته‌اند. بدین منظور در این تحقیق ارزیابی کارایی سه مدل CLIMGEN، LARS-WG و WeatherMan برای پیش‌بینی در مقیاس ریز و در حد ایستگاه‌های هواشناسی برای متغیرهای اقلیمی حداکثر دما، حداقل دما، بارندگی و تابش خورشیدی برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ در سه منطقه گرگان، گنبد و مشهد انجام شد. ابتدا داده‌های هواشناسی روزانه هر ایستگاه از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۹ برای گرگان و گنبد و ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۹ برای مشهد به مدل داده شد و داده‌های روزانه برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ تولید شد. برای ارزیابی مدل‌های مذکور از مقایسه‌ی شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد (RMSE)، شاخص کارایی مدل (EF) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد. نتایج مقایسه‌ی میانگین ماهانه بازه‌ی ۱۰ ساله داده‌های تولید شده توسط مدل‌ها نشان داد متغیر دما بهتر از سایر پارامترها به وسیله‌ی هر سه مدل پیش‌بینی شده است. در بین مدل‌ها، مدل LARS-WG بیشترین توانایی را برای شبیه‌سازی پارامتر حداقل دما در منطقه‌های گرگان و مشهد نشان داد، در حالی که مدل CLIMGEN در گنبد تخمین بهتری داشت. پارامتر حداکثر دما برای اقلیم مدیترانه‌ای گرگان و نیمه‌خشک گنبد با مدل CLIMGEN و برای اقلیم خشک مشهد با مدل WeatherMan بهتر شبیه‌سازی شد. مدل WeatherMan نسبت به سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش برای منطقه‌ی گرگان و گنبد و مدل CLIMGEN برای مشهد موفق‌تر بودند. متغیر تابش خورشیدی برای منطقه‌ی گنبد و مشهد به وسیله‌ی مدل LARS-WG و در اقلیم گرگان با مدل CLIMGEN با کارایی بهتری پیش‌بینی شد. به نظر می‌رسد که خروجی‌های این مدل‌ها علی‌رغم تفاوت‌هایی که دارند، می‌توانند در مدل‌سازی گیاهی و همچنین در بحث‌های تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرند.

کلیدواژه‌ها: مدل‌های مصنوعی مولد، متغیرهای اقلیمی، پارامترهای اقلیمی، شاخص‌های آماری، داده‌های هواشناسی.

## مقدمه

تغییر اقلیم یکی از بزرگترین چالش‌های محیطی است که جهان امروز با آن روبروست و آینده‌ی جهان را با تهدید روبرو کرده است.

وقوع بارندگی‌های سیل‌آسا، افزایش دما، خشکسالی و انواع دیگر مخاطرات آب و هوایی مورد انتظار که بر عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی اثر می‌گذارند (Hatfield et al, 2011:351)، چالشی برای تغذیه‌ی حدود ۹ میلیارد انسان در سال ۲۰۵۰ خواهد بود. تغییر اقلیم با نوسانات اقلیمی تفاوت علمی دارد. نوسانات اقلیمی دوره‌ای است و انحرافات پارامترهای اقلیمی از میانگین را بیان می‌کند و در دوره‌های زمانی مختلف می‌تواند اتفاق بیفتد، ولی تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده در آب‌وهوای یک منطقه است؛ در حال حاضر روند گرم شدن دمای کره‌ی زمین را بخشی از تغییر اقلیم قلمداد می‌کنند (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲). افزایش غلظت CO<sub>2</sub> و نیز سایر گازهای گلخانه‌ای باعث ایجاد این تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما و به تبع آن تغییر الگوی بارندگی و تابش خورشیدی می‌شود (Tubiello & Ewert, 2002: 57) سلطانی و قلی‌پور، ۱۳۸۵: ۶۹). در آینده نیز انتظار افزایش بیشتر دمای جهانی، احتمال تغییر در مقدار و الگوهای بارش، و انتظار افزایش در تکرار و شدت مخاطرات محیطی مانند خشکسالی، دوره‌های گرمایی، سیل، و آتش‌سوزی می‌رود (Roudier et al, 2011: 1073). پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی جهت اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم به منظور تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه اقلیم‌شناسان و محققان قرار گرفته است. بر همین اساس مدل‌های شبیه‌سازی گردش‌عمومی جو (GCM) توسعه یافته‌اند (Qian et al, 2004: 176).

اخیراً قدرت تفکیک مدل‌های گردش‌عمومی و منطقه‌ای افزایش پیدا کرده است، ولی هیچ یک از این مدل‌ها نمی‌توانند آب و هوای واقعی را در مقیاس منطقه‌ای و یا کوچک‌تر برآورد یا پیش‌بینی کنند (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵: ۵۰). بنابراین دانشمندان ابزار واسطه‌ای به نام مدل‌های مولد پارامترهای آب و هواشناسی<sup>۱</sup> (WG) را ابداع کرده‌اند که می‌توان براساس آن‌ها و با استفاده از خروجی مدل‌های عددی، تغییر اقلیم را در مقیاس نقطه‌ای و ایستگاه هواشناسی، مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۵). WG‌ها مدل‌های آماری هستند که یک سری داده‌های هواشناسی مصنوعی را برای پارامترهای حداکثر و حداقل دمای هوا، بارندگی و تابش خورشیدی شبیه‌سازی می‌کنند. برخی از مدل‌ها نیز قادر به شبیه‌سازی سایر پارامترهای هواشناسی مثل سرعت باد و نقطه شبنم می‌باشند (Soltani & Hoogenboom, 2003a: 215; Hartkam et al, 2003: 541; Qian et al, 2004: 175). WG‌ها شامل دو نوع ریچاردسون و سریال هستند. در نوع ریچاردسون برای مدل‌سازی رویداد بارندگی از روش مارکف استفاده می‌شود. در این روش برای پیش‌بینی بارش ابتدا (تر) و (خشک) بودن روز مورد مطالعه، مشخص می‌شود و سپس در صورتی که آن روز، یک روز (تر) پیش‌بینی شده باشد، میزان بارش بر اساس بارش روزهای قبل و بعد محاسبه می‌شود (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵: ۵۱). در مدل نوع سریال، اولین قدم مدل‌سازی، توالی سری زمانی روزهای تر و خشک است. در ابتدا راسکو<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۱) WG نوع سریال را توسعه دادند و سپس به طور اساسی توسط سمونوف<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۹۸) تکمیل شد (به نقل از بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵: ۵۱).

1-Weather Generators (WG)  
2- Rasco  
3- Semenov

شوند. همچنین یک ابزار قوی برای مطالعه و ارزیابی خطر تغییر اقلیم و دوره‌های خشک، بارش‌های رگباری و وقوع سیلاب هستند و ابزاری جهت تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت اقتصادی و اجتماعی محسوب می‌شوند (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵: ۵۲).

گاهی اوقات از لحاظ ثبت داده‌ها برای طولانی‌مدت کمبودهایی وجود دارد، به عبارتی فقط میانگین‌های ماهانه و کل در دسترس می‌باشد. همچنین تعداد متغیرهای ثبت شده، کم است که اغلب شامل بارندگی و حداقل و حداکثر دما می‌باشد که این مشکلات، محدودیت‌هایی را برای استفاده از WGها به وجود می‌آورد (Soltani & Hoogenboom, 2003b: 110).

معروف‌ترین WGها، CLIMGEN, LARS-WG, WGEN, GEM, SDSM و USCKIMAT هستند (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵: ۵۰).

در این تحقیق مدل‌های CLIMGEN, LARS-WG و WeatherMan مورد ارزیابی قرار گرفتند. این تحقیق به منظور ارزیابی سه مدل CLIMGEN, LARS-WG و WeatherMan برای پیش‌بینی در مقیاس ریز و در حد ایستگاه‌های هواشناسی برای متغیرهای اقلیمی انجام شد و کارایی مدل‌های مذکور در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک دوره‌ی آماری مشخص، مورد بررسی قرار گرفت. به عبارتی جهت فائق آمدن بر تفکیک فضایی کم مدل‌های شبیه‌سازی چرخه عمومی جو (GCM) که به عنوان نقطه ضعف این مدل‌ها در مطالعات منطقه‌ای مطرح است در این تحقیق از روش ریزمقیاس‌نمایی<sup>۳</sup> استفاده شد.

از آنجا که در نواحی کشاورزی به ویژه در کشورهای در حال توسعه، تراکم ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های طولانی‌مدت قابل اعتماد کم است، محققان می‌توانند با استفاده از WGها و درون‌یابی متغیرهای اقلیمی هفتگی یا ماهانه، داده‌های روزانه تولید کنند (Hartkam et al, 2003: 539).

در سال‌های اخیر WGها به طور گسترده‌ای در مطالعات تغییر اقلیم برای تعیین پتانسیل تأثیر اقلیم بر تولیدات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Soltani & Hoogenboom, 2003a: 216).

دلایل مهم استفاده از WGها عبارتند از:  
۱- سری‌های هواشناسی تولید شده توسط WGها می‌توانند به عنوان ورودی برای مدل‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی از جمله محاسبه‌ی قدرت تولید فرسایش (EPIC)<sup>۱</sup> و (DSS)<sup>۲</sup> به منظور ارزیابی ریسک‌های طولانی‌مدت کشاورزی به کار روند (Qian et al, 2004: 175).

۲- WGها می‌توانند برای شبیه‌سازی عملکرد محصول در اکوسیستم‌های زراعی مورد استفاده قرار گیرند (Hartkam et al, 2003: 540; Kou et al, 2007: 347).

۳- برای مکان‌هایی که هیچ داده‌ی هواشناسی برای آن‌ها در دسترس نیست یا ایستگاه‌های هواشناسی که داده‌هایشان به علت نقص ابزار و اندازه‌گیری‌های نادرست، کامل نیست، WGها می‌توانند با استفاده از آنالیز آماری و درون‌یابی پارامترهای اقلیمی بدست آمده از ایستگاه‌هایی که در نزدیکی مکان‌های مورد نظر قرار دارند، داده‌های هواشناسی روزانه تولید کنند (Qian et al, 2004: 176).

۴- WGها ابزارهای کم‌هزینه، نسبتاً ساده و بسیار سریع هستند که می‌توانند در گستره‌های گوناگون استفاده

1-Erosion Productivity Impact Calculator  
2-Decision Support System

## مواد و روش‌ها

## - مدل‌های مورد بررسی

CLIMGEN به عنوان یک مولد داده‌های هواشناسی تصادفی، قابلیت برآورد پارامترهای بارندگی، دما، تابش خورشیدی، نقطه شبنم، رطوبت نسبی و سرعت باد برای یک مکان جغرافیایی مشخص را دارد (Zhang, 2003: 312). این مدل ابتدا به عنوان جزئی از پروژه پیش‌بینی فرسایش آب (WEPP) توسعه پیدا کرد. مدل CLIMGEN در مکان‌های زیادی از جهان برای مثال شمال آمریکا، آفریقا و استرالیا آزمون شد (Kou et al, 2007: 348). مدل CLIMGEN رخداد بارندگی روزانه را با استفاده از روش زنجیره‌ی مارکف شبیه‌سازی می‌کند که اساس کار آن دوره‌های خشک و مرطوب است (McKague et al, 2003: 5). در این تحقیق از نسخه ۴/۰۵/۰۶ مدل CLIMGEN استفاده شد.

LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر دماهای بیشینه و کمینه‌ی روزانه، بارندگی و تابش در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. نسخه‌ی اولیه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. کارایی مدل LARS-WG در ۱۸ ایستگاه آمریکا، اروپا و آسیا توسط زمف در سال ۱۹۹۰ بررسی شده است.

مدل LARS-WG توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی به کار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش و توزیع نیمه‌تجربی است. در این مدل تابش به‌طور مستقل از درجه حرارت شبیه‌سازی می‌شود و به جای آن می‌توان از ساعت‌آفتابی نیز استفاده کرد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۶-۱۳۵).

مدل LARS-WG بر اساس سناریویی که تعریف می‌شود، اجرا می‌گردد و سپس با کمک رویه QTEST، صحت مدل بررسی و خروجی‌های مدل برای دوره‌ی آماری مورد نظر استخراج می‌شود. در این تحقیق از نسخه ۵ شبیه‌ساز LARS-WG استفاده شد.

WeatherMan یک برنامه جهت ساماندهی داده‌های هواشناسی است که برای استفاده در مدل شبیه‌سازی گیاهی DSSAT ساخته شده است. این برنامه همچنین توانایی تولید داده‌های از دست رفته و یا تولید داده‌های جدید در یک بازه‌ی زمانی خاص بر اساس داده‌های واقعی را داراست. در این تحقیق از نسخه ۴/۲ شبیه‌ساز WeatherMan استفاده شد.

## - اقلیم‌های مورد بررسی

برای بررسی مدل‌های ذکر شده در بخش ۲-۱، سه منطقه با اقلیم‌های مختلف انتخاب شدند. اساس این تقسیم‌بندی اقلیمی، روش تجربی دومارتن (شریفان و هزارجریبی، ۱۳۸۸: ۲۴۱) بود:

$$I = \frac{P}{T+10} \quad \text{معادله ۱:}$$

که در این معادله، I، ضریب خشکی دومارتن، T، متوسط درجه حرارت سالانه (درجه سانتیگراد) و P، متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) بود

جدول ۱: محدوده ضریب خشکی دومارتن (I)

محدوده‌ی ضریب خشکی دومارتن	اقلیم
کوچک‌تر از ۱۰	خشک
۹/۱۹ تا ۱۰	نیمه‌خشک
۹/۲۳ تا ۲۰	مدیترانه‌ای
۹/۲۷ تا ۲۴	نیمه‌مرطوب
۹/۳۴ تا ۲۸	مرطوب
بزرگتر از ۳۵	بسیار مرطوب

مأخذ: شریفان و هزارجریبی، ۱۳۸۸: ۲۴۱

با توجه به میانگین درجه حرارت سالانه و میزان بارندگی سالانه این شهرها و نتایج به دست آمده از معادله (۱) و مقایسه با جدول (۱)، گرگان به عنوان اقلیم مدیترانه‌ای، گنبد به عنوان اقلیم نیمه‌خشک و مشهد به عنوان مرز دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک مشخص شدند (جدول ۲)

جدول ۲: میانگین درجه حرارت سالانه، میزان بارندگی سالانه، ضریب خشکی دومارتن (I) و نوع اقلیم برای شهرهای گرگان، گنبد و مشهد

شهر	میزان بارندگی سالانه (میلی‌متر)	متوسط درجه حرارت سالانه (درجه سانتیگراد)	ضریب خشکی دومارتن (I)	اقلیم
مشهد	۲۵۰	۱۵	۱۰	خشک- نیمه‌خشک
گنبد	۵۰۰	۱۸	۱۷/۹	نیمه‌خشک
گرگان	۶۰۰	۱۷/۵	۲۱/۸	مدیترانه‌ای

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۱۶

استان گلستان شامل ایستگاه هاشم‌آبادگرگان و ایستگاه گنبدکاووس در فواصل سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۹ و یک ایستگاه سینوپتیک در استان خراسان رضوی (شهر مشهد) در فواصل سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۹ (جدول ۳) جمع‌آوری شدند.

دوره‌ی آماری پایه و پارامترهای مورد بررسی - دقت داده‌های شبیه‌سازی شده توسط WGها بستگی به کیفیت داده‌های هواشناسی ثبت شده دارد لذا برای شبیه‌سازی قابل قبول نیاز به داده‌هایی با کیفیت بالا می‌باشد. آمار هواشناسی روزانه از دو ایستگاه سینوپتیک

جدول ۳: نام و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک گرگان، گنبد و مشهد

ایستگاه هواشناسی	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دوره آماری (سال میلادی)
هاشم‌آباد گرگان	۳۶° ۵۱'	۵۴° ۱۶'	۱۳	۱۹۷۵-۲۰۰۹
گنبدکاووس	۳۷° ۱۵'	۵۵° ۱۰'	۳۷	۱۹۷۵-۲۰۰۹
مشهد	۳۶° ۱۶'	۵۹° ۳۸'	۹۹۹	۱۹۶۱-۲۰۰۹

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۱۶

به علاوه، ارزیابی و مقایسه‌ی WGها نیز حائز اهمیت است تا پتانسیل و محدودیت‌های آنها تعیین شود و توسعه‌دهندگان WGها از این اطلاعات برای بهبود این مدل‌ها استفاده کنند. بدین منظور ارزیابی مدل‌ها در شبیه‌سازی ۴ پارامتر حداقل و حداکثر دما، بارندگی و تابش در ۳ مرحله انجام شد:

ابتدا داده‌های هواشناسی روزانه هر ایستگاه از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۹ برای گرگان و گنبد و ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۹ برای مشهد به مدل داده شد و داده‌های روزانه برای

در این تحقیق متغیرهای اقلیمی حداقل دما، حداکثر دما، بارندگی و تابش خورشیدی برای هر سه مدل شبیه‌سازی شدند. برای ایستگاه‌هایی که ساعت آفتابی در دسترس بود، با استفاده از برنامه SRAD (سلطانی و مداح، ۱۳۸۹: ۱۲)، ساعت آفتابی به تابش خورشیدی تبدیل شد. از آنجا که WGها اثرات مستقیمی بر ارزیابی تغییر اقلیم در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد، باید خروجی WGها آزمون شود تا از ارائه‌ی آن برای یک اقلیم معین و سایر کاربردها اطمینان حاصل شود؛

در این معادلات OD، داده‌های مشاهده شده، GD، داده‌های پیش‌بینی شده، OM، میانگین داده‌های مشاهده شده و n، تعداد مشاهدات را نشان می‌دهد. هر چه مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی شبیه‌سازی بهتر مدل است. EF=1 به معنی شبیه‌سازی کاملاً دقیق مدل است. EF=0 بیانگر این است که خروجی مدل از اعتبار کافی برخوردار نیست.

همچنین برای بررسی بهتر دقت مدل‌ها، معادله خطی  $Y=a+bX$  برای داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده برای پارامترهای حداقل و حداکثر دما و تابش با استفاده از برنامه Sigma plot10 برازش داده شد. در این معادله، X، داده‌های پیش‌بینی شده به وسیله‌ی مدل، Y، داده‌های مشاهده شده، a، عرض از مبدأ و b، شیب خط به شمار می‌روند؛ هر چه a به صفر و b به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی شبیه‌سازی بهتر مدل است. معنی‌دار بودن ضرایب a و b نیز در برنامه Sigma plot10 بررسی شد. در انتها نمودارهای مربوط به داده‌های مشاهده شده به همراه داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها برای هر پارامتر رسم و بر اساس شاخص‌های مذکور بهترین مدل انتخاب شد.

### نتایج و بحث

توانایی مدل‌های مورد ارزیابی در باز تولید داده‌های هواشناسی در مقیاس‌های مختلف به شرح ذیل بود:

### مقایسات روزانه

مقایسه‌ی شاخص‌های مورد مطالعه نشان داد به علت RMSE بالای هر ۳ مدل و EF و  $R^2$  پایین، پیش‌بینی روزانه‌ی حداکثر دما در شرایط گرگان، گنبد و مشهد موفق نبود. در پیش‌بینی روزانه حداقل دما نیز، اگرچه

سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ تولید شد. صحت‌سنجی مدل‌ها از طریق مقایسه‌ی داده‌های روزانه واقعی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ به عنوان دوره پایه و داده‌های تولید شده توسط مدل‌ها برای همین بازه زمانی (۲۰۰۹-۲۰۰۰) به عنوان دوره‌ی آینده برای متغیرهای اقلیمی مذکور انجام شد. به این صورت که ۳۶۵ روز هر سال با ۳۶۵ روز سال نظیر آن مقایسه شد.

در مرحله‌ی بعد با توجه به این که مقایسه‌ی داده‌های روزانه دارای خطای زیادی بود، از داده‌های پیش‌بینی شده روزانه‌ی مدل‌ها و داده‌های واقعی، میانگین ماهانه گرفته شد و تمامی مقایسات مشابه مرحله قبل انجام شد. به این صورت که ۱۲ ماه هر سال با ۱۲ ماه سال نظیر آن مقایسه شد. در این مرحله پارامتر بارندگی به صورت تجمعی محاسبه گردید.

در مرحله‌ی سوم جهت کاهش بیشتر خطا، از داده‌های تولید شده توسط این ۳ مدل، میانگین ماهانه برای این دوره ۱۰ ساله گرفته شد و با میانگین ماهانه‌ی واقعی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ مقایسه شد تا دقت شبیه‌سازی مدل‌ها بیشتر نمایان شود.

اساس مقایسات استفاده از شاخص‌های آماری، مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد (RMSE)، شاخص کارایی مدل (EF) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای پارامترهای حداقل و حداکثر دما و میزان تابش روزانه، شاخص‌های RMSE و EF برای بارندگی بودند.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum(O_i - S_i)^2}{n-1}} \quad \text{معادله ۲:}$$

$$\text{EF} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (OD - GD)^2}{\sum_{i=1}^N (OD - OM)^2} \quad \text{معادله ۳:}$$

خطای این مدل‌ها کمتر از پیش‌بینی حداکثر دما بود، نبود. در شبیه‌سازی داده‌های تابش به مانند دو پارامتر اما در هیچ‌کدام از سه اقلیم از کارایی لازم برخوردار قبلی مدل‌ها دارای اعتبار لازم نبودند (جدول ۴).

جدول ۴: دامنه، میانگین و خطای استاندارد شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد (RMSE)، شاخص کارایی مدل (EF)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضرایب معادله  $Y=a+bX$  برای پارامترهای حداکثر و حداقل دما و تابش روزانه برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ جهت ارزیابی مدل‌های اقلیمی CLIMGEN, LARS-WG و WeatherMan در ۳ اقلیم گرگان، گنبد و مشهد

حداکثر دمای روزانه										
a		b		$R^2$		EF		RMSE		
میانگین $\pm$	دامنه	میانگین $\pm$	دامنه	میانگین $\pm$	دامنه	میانگین $\pm$	دامنه	میانگین $\pm$	دامنه	
انحراف استاندارد		انحراف استاندارد		انحراف استاندارد		انحراف استاندارد		انحراف استاندارد		
گرگان										
۱/۶۰±۰/۲۴	۰/۸۳-۲/۸۳	۰/۸۴±۰/۰۰۹	۰/۷۷-۰/۸۹	۰/۵۸±۰/۰۱	۰/۵۳-۰/۶۳	۰/۵۲±۰/۰۲	۰/۴-۰/۶	۵/۹۳±۰/۰۵	۵/۶۸-۶/۲	LARS-WG
۱/۶۹±۰/۳۷	۰/۱۹-۲/۳۶	۰/۸۴±۰/۰۱	۰/۷۸-۰/۹	۰/۵۶±۰/۰۱	۰/۵۲-۰/۶۱	۰/۴۸±۰/۰۱	۰/۳۹-۰/۵۷	۶/۱۷±۰/۰۷	۵/۸۶-۶/۵۸	ClimGen
۱/۸۳±۰/۴۹	۱/۱۰-۱/۲۲	۰/۸۲±۰/۰۱	۰/۷۱-۰/۸۷	۰/۵۶±۰/۰۱	۰/۴۹-۰/۶۱	۰/۴۸±۰/۰۲	۰/۳۲-۰/۵۷	۶/۱۷±۰/۱	۵/۵۴-۶/۶۴	WeatherMan
گنبد										
۵/۱۸±۰/۳۹	۲/۴۹-۷/۳۴	۰/۷۶±۰/۰۱	۰/۷۱-۰/۸۶	۰/۶۳±۰/۰۱	۰/۵۸-۰/۶۹	۰/۶±۰/۰۱	۰/۴۷-۰/۶۸	۶/۰۸±۰/۱	۵/۴۹-۶/۴۸	LARS-WG
۵/۷۲±۰/۵۲	۳/۲۵-۸/۸۹	۰/۷۵±۰/۰۱	۰/۶۴-۰/۸۲	۰/۵۷±۰/۰۱	۰/۵۲-۰/۶۳	۰/۵۱±۰/۰۲	۰/۴۱-۰/۵۹	۶/۶۸±۰/۱۱	۶/۱۸-۷/۷۷	ClimGen
۵/۱۹±۰/۴۸	۳/۶۷-۷/۲۷	۰/۷۶±۰/۰۱	۰/۶۷-۰/۸۴	۰/۶۲±۰/۰۱	۰/۵۷-۰/۶۹	۰/۵۷±۰/۰۱	۰/۵۲-۰/۶۷	۶/۲۸±۰/۱۱	۵/۵۷-۶/۶۵	WeatherMan
مشهد										
۳/۶۷±۰/۳۱	۲/۲۴-۵/۴۵	۰/۷۷±۰/۰۱	۰/۷۱-۰/۸۶	۰/۶۶±۰/۰۱	۰/۶-۰/۷۲	۰/۶۲±۰/۰۱	۰/۵۶-۰/۷۳	۶/۶۲±۰/۱۱	۶/۱۱-۷/۰۵	LARS-WG
۳/۴۴±۰/۴۱	۲/۱۱-۶/۰۲	۰/۷۸±۰/۰۱	۰/۶۴-۰/۸۲	۰/۵۷±۰/۰۱	۰/۵۱-۰/۶۴	۰/۴۷±۰/۰۱	۰/۴۲-۰/۶	۷/۵۰±۰/۱۳	۶/۶-۷/۱۹	ClimGen
۳/۲۶±۰/۹۵	-۴/۴۵-۵/۴۵	۰/۸۱±۰/۰۴	۰/۶۷-۰/۸۴	۰/۶۴±۰/۰۱	۰/۵۸-۰/۷۲	۰/۵۵±۰/۰۶	۰-۰/۷۲	۶/۶۲±۰/۱۱	۵/۸۵-۷/۰۵	WeatherMan
حداقل دمای روزانه										
گرگان										
۱/۶۰±۰/۲	۰/۸۳-۲/۸۳	۰/۸۴±۰/۰۱	۰/۷۷-۰/۸۹	۰/۷۸±۰/۰۰۶	۰/۷۴-۰/۸	۰/۷۷±۰/۰۰۶	۰/۷۳-۰/۷۹	۳/۷۸±۰/۰۵	۳/۵۶-۴/۲۲	LARS-WG
۱/۶۹±۰/۳۷	۰/۱۹-۲/۳۶	۰/۸۴±۰/۰۱	۰/۷۸-۰/۹	۰/۷۲±۰/۰۱	۰/۶۱-۰/۷۷	۰/۶۹±۰/۰۲	۰/۵۴-۰/۷۵	۴/۴۱±۰/۱۸	۳/۸۸-۵/۸۶	ClimGen
۱/۸۳±۰/۲۶	۱/۱۰-۱/۲۲	۰/۸۲±۰/۰۱	۰/۷۱-۰/۸۷	۰/۷۳±۰/۰۱	۰/۶۷-۰/۷۷	۰/۷۱±۰/۰۱	۰/۶۵-۰/۷۷	۴/۲۰±۰/۰۹	۳/۸-۴/۶۸	WeatherMan
گنبد										
۰/۵۲±۰/۲۳	-۰/۲۱-۲/۲۷	۰/۷۷±۰/۰۷	۰/۰۸-۰/۹۱	۰/۷۶±۰/۰۰۶	۰/۷۳-۰/۷۹	۰/۷۱±۰/۰۱	۰/۶۸-۰/۷۷	۴/۲۰±۰/۰۶	۳/۷۶-۴/۴۱	LARS-WG
۰/۳۲±۰/۲۸	-۰/۴۵-۲/۵۵	۰/۸۶±۰/۰۲	۰/۷۱-۰/۹۱	۰/۷۱±۰/۰۱	۰/۶۸-۰/۷۷	۰/۶۵±۰/۰۱	۰/۵۸-۰/۶۹	۴/۶۱±۰/۰۷	۴/۳۱-۵/۰۶	ClimGen
۰/۷۴±۰/۱۳	۰/۳۵-۱/۵۲	۰/۸۷±۰/۰۱	۰/۷۸-۰/۹۴	۰/۷۵±۰/۰۰۸	۰/۷۱-۰/۷۹	۰/۶۹±۰/۰۱	۰/۶۳-۰/۷۷	۴/۳۶±۰/۰۸	۳/۸-۴/۵۸	WeatherMan
مشهد										
-۰/۲۲±۰/۲۵	-۰/۹۵-۱/۴۵	۰/۷۹±۰/۰۲	۰/۷۵-۰/۸۹	۰/۶۸±۰/۰۰۵	۰/۶۷-۰/۷۱	۰/۵۹±۰/۰۱	۰/۵۲-۰/۶۶	۵/۴۱±۰/۱۳	۵/۰۱-۶/۲۶	LARS-WG
-۰/۵۹±۰/۳۱	-۱/۵۷-۱/۲۱	۰/۸۱±۰/۰۲	۰/۷۵-۰/۹۱	۰/۶۱±۰/۰۱	۰/۵۶-۰/۶۷	۰/۴۶±۰/۰۲	۰/۳۲-۰/۵۸	۶/۳۴±۰/۱۲	۵/۶۸-۶/۷۵	ClimGen
-۰/۰۹±۰/۳۰	-۱/۴۹-۱/۱۸	۰/۸۰±۰/۰۲	۰/۷۴-۰/۹	۰/۶۹±۰/۰۱	۰/۶۱-۰/۷۵	۰/۶۳±۰/۰۱	۰/۵۵-۰/۷۲	۵/۵۵±۰/۲۲	۴/۹۱-۶/۶۸	WeatherMan

ادامه جدول ۴

تابش روزانه										
گرگان										
۷/۱۸۸±۰/۲۴	۶/۷۱-۹/۳۰	۰/۴۰±۰/۰۱	۰/۳۳-۰/۴۸	۰/۱۸±۰/۰۱	۰/۱۲-۰/۲۴	-۰/۰۹±۰/۰۲	-۰/۰۲-۰/۰۱	۷/۴۹±۰/۰۷	۷/۱۹-۷/۸۱	LARS-WG
۷/۷۴±۰/۱۹	۶/۹۲-۹/۰۵	۰/۴۱±۰/۰۱	۰/۳۴-۰/۴۷	۰/۲۰±۰/۰۱	۰/۱۶-۰/۲۶	-۰/۰۴±۰/۰۲	-۰/۱۲-۰/۰۹	۷/۲۸±۰/۰۸	۶/۸۳-۷/۷۷	ClimGen
۱۲/۵۹±۰/۱۷	۱۱/۷۷-۱۳/۸۹	۰/۶۸±۰/۰۰۷	۰/۶۳-۰/۷۱	۰/۴۴±۰/۰۱	۰/۳۹-۰/۵۶	-۰/۰۹±۰/۰۷	-۱/۱۵-۰/۳۹	۹/۸۱±۰/۱۳	۹/۰۴-۱۰/۷۱	WeatherMan
گنبد										
۶/۲۰±۰/۱۶	۵/۱۶-۷/۰۴	۰/۶۰±۰/۰۱	۰/۵۴-۰/۶۵	۰/۳۳±۰/۰۰۸	۰/۲۹-۰/۳۶	۰/۰۹±۰/۰۲	-۰/۰۶-۰/۱۸	۶/۲۶±۰/۵۷	۱/۰۹-۷/۰۱	LARS-WG
۶/۲۳±۰/۳۰	۵/۰۲-۷/۵۷	۰/۶±۰/۰۱	۰/۵۲-۰/۶۶	۰/۳۳±۰/۰۰۱	۰/۳۰-۰/۴۲	۰/۱۳±۰/۰۲	۰/۰۴-۰/۲۹	۶/۷۲±۰/۰۹	۵/۹۸-۷/۰۸	ClimGen
۱۲/۵۹±۰/۲۲	۱۱/۷۳-۱۴/۰۹	۰/۷۵±۰/۰۰۹	۰/۶۹-۰/۷۹	۰/۴۹±۰/۰۱	۰/۴۴-۰/۵۸	-۱/۱۵±۰/۰۸	-۱/۵۶-۰/۰۷	۱۰/۶۰±۰/۱۴	۹/۸۸-۱۱/۴۸	WeatherMan
مشهد										
۳/۵۲±۰/۱۰	۳/۰۲-۴/۰۴	۰/۷۵±۰/۰۰۶	۰/۷۳-۰/۷۹	۰/۵۹±۰/۰۰۱	۰/۵۵-۰/۶۵	۰/۵۶±۰/۰۰۳	۰/۴۵-۰/۸۶	۵/۳۸±۰/۰۸	۵-۵/۷۷	LARS-WG
۲/۸۶±۰/۱۱	۲/۳۷-۳/۲۸	۰/۷۷±۰/۰۰۶	۰/۷۵-۰/۸	۰/۶۶±۰/۰۰۹	۰/۶۳-۰/۷۳	۰/۸۶±۰/۰۰۴	۰/۸۴-۰/۸۹	۴/۹۴±۰/۰۸	۴/۳۳-۵/۲۷	ClimGen
۷/۱۹۳±۰/۷۷	۳/۴-۹/۵	۰/۷۳±۰/۰۰۶	۰/۷۱-۰/۷۶	۰/۷۳±۰/۰۰۲	۰/۵۵-۰/۸۳	۰/۵±۰/۰۰۴	۰/۳۸-۰/۸۳	۵/۶۹±۰/۰۹	۵/۱۶-۶/۱۳	WeatherMan

مأخذ: مطالعات میدانی نگرندگان، ۱۳۹۰: ۱۸

همچنین بر اساس شاخص‌های RMSE و EF، مدل‌ها در پیش‌بینی روزانه بارندگی نیز ناموفق بودند (جدول ۵). در مجموع با توجه به شاخص‌های مورد بررسی، مدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی هیچ‌کدام از پارامترهای حداقل و حداکثر دما، تابش و بارندگی در مقیاس روزانه از موفقیت لازم برخوردار نبودند. واریانس‌پذیری شدید داده‌های روزانه می‌تواند دلیل مهم این امر باشد.

جدول ۵: دامنه، میانگین و خطای استاندارد شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد (RMSE) و شاخص کارایی مدل (EF) برای پارامتر بارندگی روزانه برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ جهت ارزیابی مدل‌های اقلیمی LARS-WG، CLIMGEN و WeatherMan در ۳ اقلیم گرگان، گنبد و مشهد

EF		RMSE		گرگان
انحراف استاندارد میانگین	دامنه	انحراف استاندارد میانگین	دامنه	
-۱/۱۶±۰/۱۸	-۲/۰۱-۰/۰۳	۷/۵۱±۰/۲۸	۵/۶۳-۹/۲۲	LARS-WG
-۱/۰۳±۰/۱۳	-۱/۷۹-۰/۴۵	۷/۳۵±۰/۳۱	۶/۳۱-۹/۱۹	ClimGen
-۰/۸۲±۰/۱۵	-۱/۵۹-۰/۰۷	۶/۹۴±۰/۳۶	۹/۳۳-۵/۶۳	WeatherMan
گنبد				
-۱/۶۹±۰/۲۷	-۳/۰۶-۰/۱۷	۶/۴۵±۰/۴۷	۴/۸۱-۹/۸۷	LARS-WG
-۰/۹۲±۰/۱۱	-۱/۵۳-۰/۴۹	۵/۵۶±۰/۳۶	۴/۱۴-۷/۳۸	ClimGen
-۱/۵۰±۰/۴۰	-۴/۵۸-۰/۳۶	۶/۰۶±۰/۳۶	۸/۴۱-۴/۸۲	WeatherMan
مشهد				
-۱/۶۵±۰/۲۸	-۳/۴۳-۰/۷۴	۴/۱۰±۰/۲۹	۳/۲۶-۶/۳۶	LARS-WG
-۱/۳۱±۰/۱۴	-۱/۹۲-۰/۶۱	۳/۱۷±۰/۱۰	۲/۶۶-۳/۵۸	ClimGen
-۱/۲۵±۰/۲۲	-۲/۷۶-۰/۴۲	۳/۸۰±۰/۳۱	۳/۱۴-۶/۳۶	WeatherMan

مأخذ: مطالعات میدانی نگرندگان، ۱۳۹۰: ۱۹

### مقایسات ماهانه

مقدار RMSE برای مدل‌های LARS-WG، CLIMGEN و WeatherMan در هر ۳ اقلیم کاهش، ولی مقدار شاخص‌های EF و R<sup>2</sup> افزایش یافت. این بدان معنی است که این مدل‌ها در پیش‌بینی ماهانه پارامترهای

مقایسه میانگین ماهانه داده‌های پیش‌بینی شده و داده‌های مشاهده شده برای پارامترهای اقلیمی نشان از بهبود مقادیر شاخص‌های آماری داشت. به عبارتی



EF و  $R^2$  بیشتر، نسبت به مدل‌های CLIMGEN و WeatherMan، کارایی بهتری در پیش‌بینی نشان داد. در گنبد CLIMGEN هم مانند LARS کارایی خوبی برای شبیه‌سازی نشان داد، در حالی که مدل WeatherMan با RMSE کمتر و EF بیشتر دمای حداقل مشهد را بهتر از سایر مدل‌ها، پیش‌بینی کرد. در هر ۳ اقلیم گرگان، گنبد و مشهد مدل‌های CLIMGEN و LARS کارایی خوبی در تولید داده‌های تابش نشان دادند. با توجه به RMSE به دست آمده برای مدل WeatherMan ( $10/4 - 5/2$ )، این مدل توانایی شبیه‌سازی داده‌های تابش را ندارد (جدول ۶).

اقلیمی موفق‌تر بودند. برای حداکثر دما در گرگان مدل‌های LARS و CLIMGEN به علت RMSE کمتر و EF بیشتر، کارایی بیشتری در شبیه‌سازی داده‌ها نسبت به مدل WeatherMan داشته‌اند. در اقلیم گنبد مدل LARS با CLIMGEN و WeatherMan تفاوت نشان داد و RMSE مدل LARS کمتر و ضریب کارایی و ضریب تبیین این مدل قابل قبول‌تر از ۲ مدل دیگر بود؛ بنابراین پارامتر حداکثر دما را بهتر از سایر مدل‌ها شبیه‌سازی کرد. در اقلیم مشهد RMSE و EF مدل LARS با WeatherMan تفاوتی نداشت و در نتیجه کارایی هر دو مدل قابل قبول بود. برای حداقل دما در شرایط گرگان مدل LARS با توجه به RMSE کمتر و

جدول ۶: دامنه، میانگین و خطای استاندارد شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد (RMSE)، شاخص کارایی مدل (EF)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضرایب معادله  $Y=a+bX$  برای پارامترهای حداکثر و حداقل دما و تابش ماهانه برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ جهت ارزیابی مدل‌های اقلیمی CLIMGEN, LARS-WG و WeatherMan در ۳ اقلیم گرگان، گنبد و مشهد

حداکثر دمای ماهانه										
a		b		R2		EF		RMSE		
میانگین $\pm$	دامنه	میانگین $\pm$	دامنه	میانگین $\pm$	دامنه	میانگین $\pm$	دامنه	میانگین $\pm$	دامنه	
انحراف استاندارد		انحراف استاندارد		انحراف استاندارد		انحراف استاندارد		انحراف استاندارد		
گرگان										
۰/۹۳±۰/۰۲	۰/۸۲-۱/۰۵	۰/۳۸±۰/۵۹	-۲/۶۹-۳/۰۷	۰/۹۳±۰/۰۱	۰/۸۸-۰/۹۸	۰/۹۰±۰/۰۱	۰/۸۵-۰/۹۵	۲/۳۱±۰/۱۴	۱/۶۴-۲/۹۲	LARS-WG
۰/۹۲±۰/۰۱	۰/۸۲-۱/۰۲	۰/۸۰±۰/۵۳	-۲/۴۴-۳/۲۱	۰/۹۱±۰/۰۱	۰/۸۲-۰/۹۶	۰/۹۰±۰/۰۱	۰/۷۸-۰/۹۶	۲/۳۶±۰/۱۸	۱/۵۱-۳/۶۹	ClimGen
۰/۹۳±۰/۰۲	۰/۸۱-۱/۰۷	۰/۷۰±۰/۷۳	-۲/۷-۴/۲۷	۰/۸۹±۰/۰۱	۰/۸۵-۰/۹۵	۰/۸۷±۰/۰۱	۰/۷۹-۰/۹۴	۲/۶۷±۰/۱۴	۱/۸۴-۲/۳۴	WeatherMan
گنبد										
۰/۹۵±۰/۰۲	۰/۸۳-۱/۰۶	۰/۳۵±۰/۵۸	-۲/۶۵-۲/۶۵	۰/۹۴±۰/۰۰۹	۰/۸۹-۰/۹۸	۰/۹۳±۰/۰۱	۰/۸۷-۰/۹۸	۲/۱۸±۰/۲۱	۱/۲۱-۳/۲۲	LARS-WG
۰/۹۶±۰/۰۲	۰/۸-۱/۰۷	۰/۰۵±۰/۸۲	-۳/۳۲-۴/۸۴	۰/۹۰±۰/۰۱	۰/۸۶-۰/۹۶	۰/۸۹±۰/۰۱	۰/۸۱-۰/۹۴	۲/۷۴±۰/۱۷	۱/۸۳-۳/۴۸	ClimGen
۰/۹۷±۰/۰۳	۰/۸۱-۱/۱۱	-۰/۰۱±۰/۸۰	-۳/۸-۳/۲۸	۰/۹۱±۰/۰۰۹	۰/۹۵-۰/۸۶	۰/۹۰±۰/۰۱	۰/۸۳-۰/۹۳	۲/۶۲±۰/۱۵	۲/۱۲-۳/۴۵	WeatherMan
مشهد										
۰/۲۰±۰/۵۳	-۱/۶۵-۳/۸	۰/۹۳±۰/۰۲	۰/۷۹-۱/۰۳	۰/۹۳±۰/۰۰۹	۰/۹-۰/۹۸	۰/۹۱±۰/۰۱	۰/۸۷-۰/۹۷	۲/۸۱±۰/۲۲	۱/۸-۳/۹	LARS-WG
-۰/۴۳±۰/۵۳	-۲/۴-۲/۲۸	۰/۹۶±۰/۰۱	۰/۸۶-۱/۰۴	۰/۸۸±۰/۰۰۶	۰/۸۶-۰/۹۱	۰/۸۵±۰/۰۰۵	۰/۸۳-۰/۸۸	۳/۴۸±۰/۰۷	۳/۱-۳/۸	ClimGen
-۰/۰۱±۰/۷۸	-۵/۴۵-۳/۵	۰/۹۶±۰/۰۳	۰/۸۱-۱/۲	۰/۹۱±۰/۰۰۲	۰/۷۵-۰/۹۷	۰/۸۷±۰/۰۰۴	۰/۴۶-۰/۹۶	۲/۸۶±۰/۲۹	۱/۸-۴/۸	WeatherMan
حداقل دمای ماهانه										
گرگان										
۰/۹۳±۰/۰۱	۰/۸۴-۱/۰۱	۰/۲۹±۰/۲۵	-۰/۶-۱/۹۲	۰/۹۶±۰/۰۰۴	۰/۹۴-۰/۹۸	۰/۹۵±۰/۰۰۴	۰/۹۳-۰/۹۸	۱/۴۸±۰/۱	۱-۲/۰۹	LARS-WG
۰/۹۴±۰/۰۲	۰/۸۳-۱/۰۳	۰/۱۱±۰/۳۲	-۱/۶۱-۱/۷۵	۰/۹۴±۰/۰۱	۰/۸۷-۰/۹۹	۰/۹۴±۰/۰۱	۰/۸۶-۰/۹۷	۱/۷۸±۰/۱۶	۱/۱۳-۲/۸۱	ClimGen
۰/۹۳±۰/۰۱	۰/۷۹-۱/۰۲	۰/۳۱±۰/۳۱	-۰/۵۲-۲/۷۸	۰/۹۴±۰/۰۰۶	۰/۹-۰/۹۷	۰/۹۴±۰/۰۰۷	۰/۸۹-۰/۹۶	۱/۷۸±۰/۱۲	۱/۲۹-۲/۵۶	WeatherMan
گنبد										
۰/۹۶±۰/۰۲	۰/۸۴-۱/۰۶	-۰/۰۹±۰/۳۱	-۲-۱/۱۹	۰/۹۵±۰/۰۰۵	۰/۹۳-۰/۹۸	۰/۹۲±۰/۰۰۶	۰/۸۹-۰/۹۷	۲/۰۶±۰/۱	۱/۲۱-۲/۴۱	LARS-WG
۰/۹۸±۰/۰۲	۰/۸۱-۱/۱۲	-۱/۲۲±۰/۳۴	-۲/۴۲-۱/۴۳	۰/۹۳±۰/۰۰۸	۰/۸۹-۰/۹۸	۰/۹۰±۰/۰۰۹	۰/۸۶-۰/۹۶	۲/۲۶±۰/۱۴	۱/۳۸-۲/۹۹	ClimGen
۱/۰۰±۰/۰۲	۰/۸۹-۱/۱۲	-۱/۶۲±۰/۳۶	-۲/۸۲-۰/۳۹	۰/۹۴±۰/۰۰۵	۰/۹۲-۰/۹۸	۰/۸۹±۰/۰۰۹	۰/۸۷-۰/۹۶	۲/۳۱±۰/۱۲	۱/۴۵-۲/۶۷	WeatherMan

ادامه جدول ۶

مشهد										
LARS-WG	۲/۲-۴/۲	۲/۸۸±۰/۱۹	۰/۶۱-۰/۹۲	۰/۸۳±۰/۰۲	۰/۹۳-۰/۹۹	۰/۹۵±۰/۰۰۹	۰/۸۷-۱/۰۲	۰/۹۱±۰/۰۳	-۲/۲۹-۱/۰۱	-۱/۳۳±۰/۳۲
ClimGen	۲/۴-۳/۹	۳/۱۱±۰/۱۷	۰/۷۷-۰/۹۱	۰/۸۴±۰/۰۱	۰/۸۹-۰/۹۷	۰/۹۳±۰/۰۰۸	۰/۸۳-۱/۰۴	۰/۹۲±۰/۰۲	-۲/۷۲-۰/۰۴	-۱/۶۸±۰/۳۳
WeatherMan	۲/۲-۳/۶	۲/۷۳±۰/۱۳	۰/۸۵-۰/۹۵	۰/۸۹±۰/۰۱	۰/۹-۰/۹۶	۰/۹۴±۰/۰۰۶	۰/۸۷-۱/۰۵	۰/۹۳±۰/۰۲	-۲/۸۵-۰/۴۴	-۱/۲۹±۰/۳۶
تابش ماهانه										
گرگان										
LARS-WG	۱/۴۴-۳/۲۸	۲/۳۰±۰/۱۸	۰/۶۸-۰/۸۹	۰/۷۸±۰/۰۲	۰/۷۲-۰/۹۲	۰/۸۴±۰/۰۲	-۰/۱۱-۴/۹۶	۱/۹۵±۰/۴۹	۰/۶۴-۰/۹۵	۰/۷۹±۰/۰۳
ClimGen	۱/۷۱-۲/۵۲	۲/۰۹±۰/۰۸	۰/۷۸-۰/۸۷	۰/۸۲±۰/۰۰۸	۰/۸-۰/۹۴	۰/۸۷±۰/۰۱	-۰/۷۴-۴/۱۹	۱/۱۵±۰/۴۵	۰/۶۹-۰/۹۸	۰/۸۵±۰/۰۲
WeatherMan	۷/۵۶-۹/۵۱	۸/۴۴±۰/۱۵	۰/۶۶-۰/۶۷	۰/۸۸±۰/۰۱۸	۰/۷۳-۰/۹۷	۰/۸۸±۰/۰۲	-۰/۳۲-۶/۹	۲/۵۸±۰/۷۱	۱/۱۳-۱/۵۵	۱/۳۴±۰/۰۴
گنبد										
LARS-WG	۱/۵۸-۲/۵۴	۱/۹۳±۰/۱	۰/۷۸-۰/۹۱	۰/۸۶±۰/۰۱	۰/۸۴-۰/۹۴	۰/۹۰±۰/۰۱	-۱/۹۴-۱/۷۱	۰/۸۰±۰/۳۲	۰/۹۶-۱/۱۵	۱/۰۵±۰/۰۲
ClimGen	۱/۶۳-۲/۶۷	۲/۱۳±۰/۱۲	۰/۷۳-۰/۹۲	۰/۸۳±۰/۰۰۲	۰/۷۸-۰/۹۴	۰/۸۸±۰/۰۱	-۲/۵۷-۱/۶	۰/۸۶±۰/۴۷	۰/۹۱-۱/۱۶	۱/۰۶±۰/۰۲
WeatherMan	۸/۶۱-۱۰/۴۰	۹/۴۶±۰/۱۶	۰/۱۲-۲/۹۲	۰/۹±۰/۱۶	۰/۷۵-۰/۹۸	۰/۸۷±۰/۰۲	۲/۳۵-۷/۳۷	۳/۹۳±۰/۴۲	۱/۱۵-۱/۴	۱/۳۱±۰/۰۲
مشهد										
LARS-WG	۱/۳-۱/۹	۱/۶۳±۰/۰۷	۰/۹۳-۰/۹۷	۰/۹۴±۰/۰۰۴	۰/۹۵-۰/۹۸	۰/۹۶±۰/۰۰۳	۰/۸۷-۰/۹۸	۰/۹۱±۰/۰۱	-۰/۶۸-۱/۱۲	۰/۶۲±۰/۱۸
ClimGen	۱/۳-۱/۹	۱/۷±۰/۰۶	۰/۹۳-۰/۹۶	۰/۹۴±۰/۰۰۳	۰/۹۶-۰/۹۹	۰/۹۷±۰/۰۰۳	۰/۸۶-۰/۹۵	۰/۹۱±۰/۰۰۹	-۰/۴۱-۱/۱۶	۰/۳۲±۰/۱۸
WeatherMan	۱/۳-۵/۲	۴/۱۳±۰/۴۷	۰/۹۴-۰/۹۷	۰/۶۳±۰/۰۰۶	۰/۸۷-۰/۹۷	۰/۹۲±۰/۰۱	۰/۸۲-۰/۹۸	۰/۸۸±۰/۰۱	-۰/۶۸-۷/۴۸	۵/۳۱±۰/۹۳

مأخذ: مطالعات میدانی نکارندگان، ۳۰: ۱۳۹۰

همچنین با توجه به RMSE به دست آمده برای بارندگی تجمعی، مدل CLIMGEN در مقایسه با دو مدل دیگر با داشتن RMSE کمتر عملکرد بهتری در شبیه‌سازی بارندگی در اقلیم مشهد و گنبد نشان داد و در مجموع پارامتر بارندگی در مشهد بهتر از گرگان و گنبد شبیه‌سازی شد (جدول ۷).

جدول ۷: دامنه، میانگین و خطای استاندارد شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد (RMSE) و شاخص کارایی مدل (EF) برای پارامتر بارندگی ماهانه برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ جهت ارزیابی مدل‌های اقلیمی CLIMGEN، LARS-WG و WeatherMan در ۳ اقلیم گرگان، گنبد و مشهد

EF	RMSE			گرگان
	انحراف استاندارد	دامنه	استاندارد انحراف	
				LARS-WG
	-۱/۰۵±۰/۴۴	-۴/۸۶-۰/۰۴	۴۵/۷۵±۰/۱۹	۲۹/۰۵-۶۵/۲۴
	-۰/۵۷±۰/۲۵	-۲/۱۳-۰/۳۲	۴۰/۲۷±۲/۷۵	۲۷/۲۸-۵۵/۲۵
	-۱/۰۷±۰/۴۹	-۴/۰۴-۰/۵۸	۴۶/۴۶±۷/۰۱	۲۰/۶۷-۹۴/۸۵
				گنبد
	-۱/۷۳±۰/۶۵	-۵/۵۰-۰/۱۴	۳۶/۴۹±۶/۰۵	۲۳/۹۸-۷۵/۱۵
	-۰/۸۵±۰/۲۶	-۲/۰۵-۰/۵۹	۳۶/۶۲±۳/۰۲	۱۷/۰۱-۴۹/۱۴
	-۱/۴۶±۰/۵۷	-۵/۱۷-۰/۱۴	۳۶/۱۰±۲/۱۹	۲۸/۱۵-۵۰/۸۱
				مشهد
	-۱/۰۳±۰/۴۷	-۳/۷-۰/۴۲	۲۴/۹±۱/۶۹	۱۸/۶-۳۶/۷
	-۱/۱۸±۰/۴۱	-۳/۴۶-۰/۱۸	۲۰/۴۷±۱/۸۴	۱۵/۶-۳۰/۳
	-۱/۲۵±۰/۶۹	-۶/۶۸-۰/۰۴	۲۵/۹۶±۱/۹۲	۱۸/۵-۳۶/۷

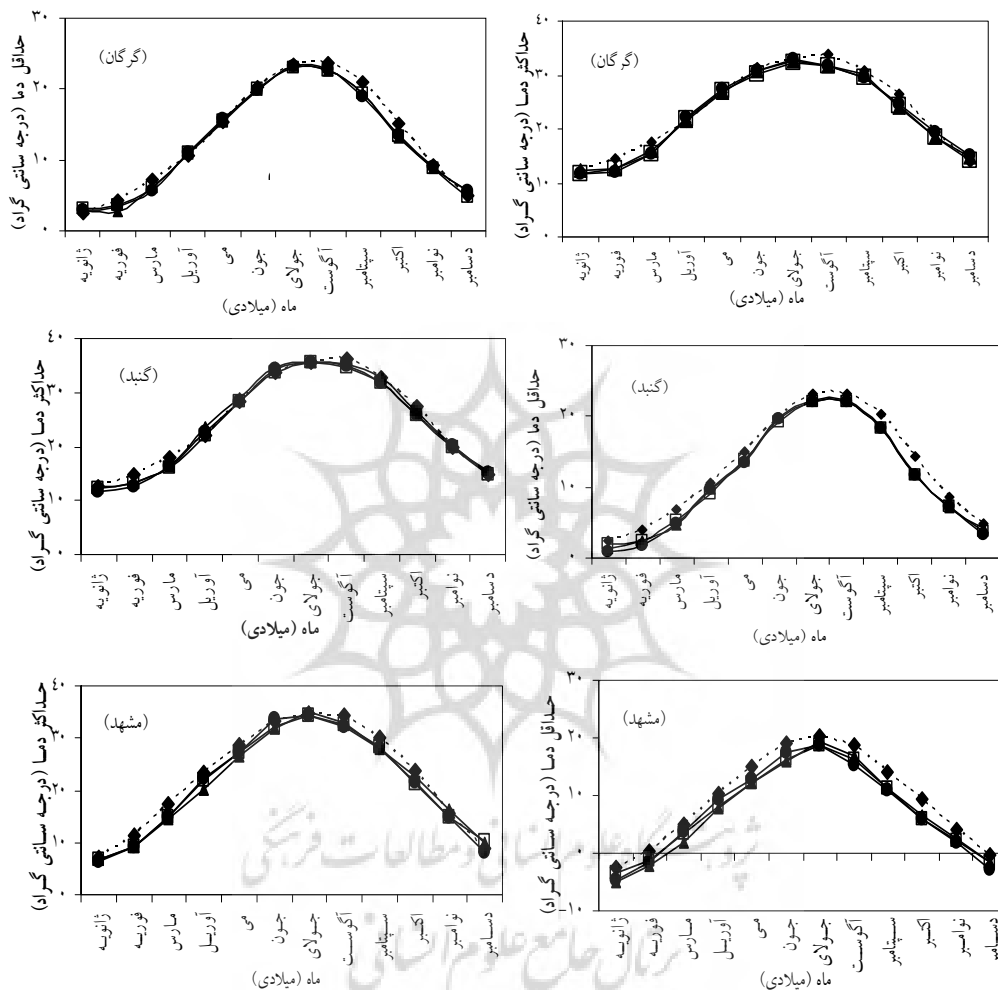
مأخذ: مطالعات میدانی نکارندگان، ۲۱: ۱۳۹۰

بارندگی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی مدل‌های CLIMGEN، LARS-WG و WeatherMan برای هر سه اقلیم را نشان می‌دهد. نتایج مؤید آن است که کارایی مدل‌ها برای شبیه‌سازی داده‌های حداکثر دما موفقیت‌آمیز بوده است. همچنین

مقایسه‌ی میانگین ماهانه بازه‌ی ۱۰ ساله مقایسه‌ی میانگین ماهانه بازه‌ی ۱۰ ساله، نتایج را بسیار بهبود داد و مقایسه ۳ مدل را آسان‌تر نمود. شکل‌های ۱ و ۲ روند تغییرات میانگین ماهانه ۱۰ ساله‌ی چهار پارامتر حداقل و حداکثر دما، تابش و

انجام شد. عملکرد مدل‌ها در تولید داده‌های حداقل دما در گرگان بهتر از دو اقلیم گنبد و مشهد بود (شکل ۱).

شبیه‌سازی حداکثر دما برای گرگان و گنبد بهتر از مشهد انجام شده است. پیش‌بینی داده‌های مربوط به ماه‌های فصل بهار و پاییز برای گرگان و گنبد بهتر

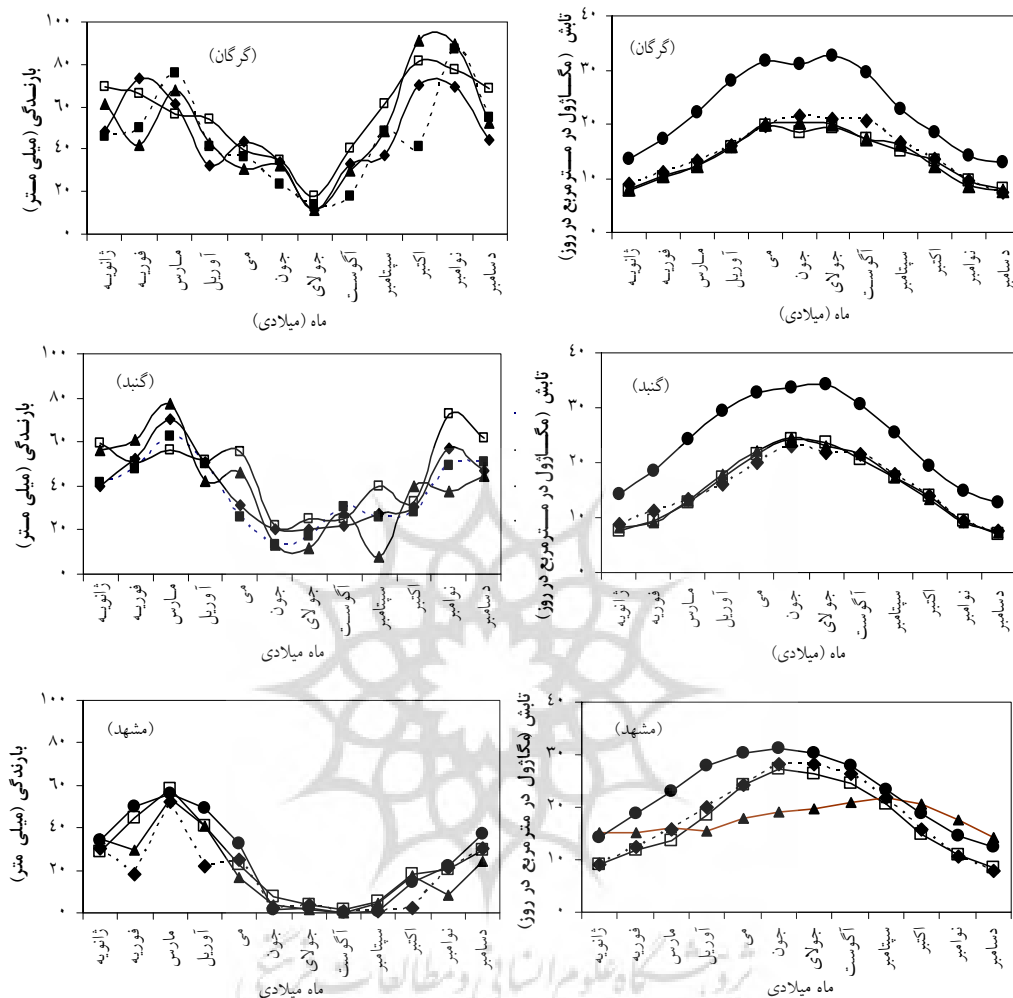


شکل ۱: مقایسه‌ی میانگین ماهانه ۱۰ ساله داده‌های مشاهده شده (---◆---) و شبیه‌سازی شده با مدل‌های CLIMGEN (---▲---) و WeatherMan (—■—) برای حداقل و حداکثر دمای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰

در اقلیم‌های گرگان، گنبد و مشهد مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۲۲

برای ماه‌های پاییز در گرگان و ماه‌های تابستان و پاییز در گنبد بهتر انجام شد. در مشهد فقط عملکرد LARS قابل قبول بود. مدل WeatherMan در شبیه‌سازی تابش برای هر ۳ اقلیم ضعیف عمل کرد (شکل ۲).

مقایسه‌ی میانگین ماهانه ۱۰ ساله‌ی داده‌های واقعی و شبیه‌سازی تابش حاکی از توانایی خوب مدل‌های CLIMGEN و LARS در شبیه‌سازی پارامترهای دو ایستگاه گرگان و گنبد بود. پیش‌بینی توسط این مدل‌ها



شکل ۲: مقایسه‌ی میانگین ماهانه ۱۰ ساله داده‌های مشاهده شده (---◆---) و شبیه‌سازی شده با مدل‌های CLIMGEN (—▲—) و LARS (—●—) و WG (—□—) برای پارامترهای تابش و بارندگی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ در اقلیم‌های گرگان، گنبد و مشهد  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۲۳

نزدیک به یک برای گرگان و یک برای گنبد، عملکرد بهتری نسبت به ۲ مدل دیگر داشت. اگرچه پیش‌بینی هر ۳ مدل قابل قبول بود، اما نتایج نشان داد که در هر دو اقلیم گرگان و گنبد در مجموع مدل CLIMGEN عملکرد قابل قبول‌تری نسبت به ۲ مدل دیگر در پیش‌بینی حداکثر دما داشته است.

با توجه به نتایج تغییرات میانگین ماهانه، بیشترین خطا برای شبیه‌سازی به پارامتر بارندگی مربوط بود. هر چند مدل WeatherMan برای تولید داده‌های بارندگی برای گنبد نسبتاً موفق بود (شکل ۲). بر اساس مقایسات شاخص‌های آماری مندرج در جدول ۸، در پیش‌بینی حداکثر دما، مدل CLIMGEN با RMSE پایین‌تر، ضریب a نزدیک به صفر و ضریب b

برای مشهد مدل WeatherMan حداکثر دما را بهتر شبیه‌سازی کرد. در پیش‌بینی حداقل دما نیز هر ۳ مدل از کارایی لازم برخوردار بودند. مدل LARS در گرگان و مشهد و مدل CLIMGEN در گنبد به علت داشتن RMSE کمتر نسبت به سایر مدل‌ها دارای عملکرد بهتری بودند (جدول ۸).

جدول ۸: شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد (RMSE)، شاخص کارایی مدل (EF)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضرایب معادله  $Y=a+bX$  برای دو پارامتر حداکثر و حداقل دمای بازه‌ی ۱۰ ساله ۲۰۰۹-۲۰۰۰ جهت ارزیابی مدل‌های اقلیمی CLIMGEN، LARS-WG و WeatherMan در ۳ اقلیم مشهد، گرگان و گنبد

حداکثر دما					
a	b	$R^2$	EF	RMSE	
۰/۵۱ <sup>ns</sup>	۰/۹۷ <sup>**</sup>	۰/۹۸	۰/۹۶	۱/۳۸	گرگان
۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۹۷ <sup>**</sup>	۰/۹۸	۰/۹۷	۱/۲۶	LARS-WG
۰/۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۹۸ <sup>**</sup>	۰/۹۷	۰/۹۷	۱/۳۹	ClimGen
					WeatherMan
					گنبد
۰/۵۷ <sup>ns</sup>	۱/۰۰ <sup>**</sup>	۰/۹۹	۰/۹۸	۱/۰۳	LARS-WG
۰/۳۲ <sup>ns</sup>	۱/۰۰ <sup>**</sup>	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	ClimGen
۱/۰۱ <sup>ns</sup>	۱/۰۲ <sup>**</sup>	۰/۹۹	۰/۹۸	۱/۱۴	WeatherMan
					مشهد
۰/۵۴ <sup>ns</sup>	۰/۹۶ <sup>**</sup>	۰/۹۸	۰/۹۶	۱/۶۹	LARS-WG
۰/۵ <sup>ns</sup>	۰/۹۷ <sup>**</sup>	۰/۹۸	۰/۹۶	۱/۸۳	ClimGen
۱/۵۴ <sup>ns</sup>	۱/۰۰ <sup>**</sup>	۰/۹۹	۰/۹۷	۱/۶۲	WeatherMan
حداقل دما					
					گرگان
۰/۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۹۵ <sup>**</sup>	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۸۷	LARS-WG
۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۹۶ <sup>**</sup>	۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۰۲	ClimGen
۰/۰۹۷ <sup>ns</sup>	۰/۹۵ <sup>**</sup>	۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۰۱	WeatherMan
					گنبد
۱/۲۵ <sup>**</sup>	۰/۹۸ <sup>**</sup>	۰/۹۹	۰/۹۵	۱/۵۱	LARS-WG
۱/۵۱ <sup>**</sup>	۱/۰۱ <sup>*</sup>	۰/۹۹	۰/۹۶	۱/۴۶	ClimGen
۱/۸ <sup>**</sup>	۱/۰۲ <sup>**</sup>	۰/۹۹	۰/۹۴	۱/۶۷	WeatherMan
					مشهد
۱/۵۴ <sup>**</sup>	۰/۹۴ <sup>**</sup>	۰/۹۹	۰/۹۱	۲/۲۲	LARS-WG
۲/۲۷ <sup>**</sup>	۰/۹۹ <sup>**</sup>	۰/۹۹	۰/۹	۲/۴۵	ClimGen
۲/۱۱ <sup>**</sup>	۰/۹۹ <sup>**</sup>	۰/۹۹	۰/۹۱	۲/۳۱	WeatherMan

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، ۵ درصد و غیرمعنی‌دار

مأخذ: مطالعات میدانی نگران‌دگان، ۱۳۹۰: ۲۴

برای تابش در گرگان مدل CLIMGEN به علت RMSE پایین‌تر، ضریب a نزدیک به صفر و ضریب b نزدیک به یک عملکرد بهتری نسبت به مدل LARS داشت. مدل LARS برای گنبد و مدل‌های LARS و CLIMGEN در اقلیم‌های گرگان و گنبد عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشتند (جدول ۸).

برای تابش در گرگان مدل CLIMGEN به علت RMSE پایین‌تر، ضریب a نزدیک به صفر و ضریب b نزدیک به یک عملکرد بهتری نسبت به مدل LARS داشت. مدل LARS برای گنبد و مدل‌های LARS و CLIMGEN در اقلیم‌های گرگان و گنبد عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشتند (جدول ۸).

مدل WeatherMan به علت RMSE پایین تر، EF و  $R^2$  بیشتر و ضریب b نزدیک به یک، عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشت. پیش‌بینی این مدل برای گنبد با داشتن RMSE پایین تر و EF بیشتر، دارای کارایی بیشتری بود. پارامتر بارندگی در مشهد با مدل CLIMGEN بهتر پیش‌بینی شد (جدول ۹).

جدول ۹: شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد (RMSE)، شاخص کارایی مدل (EF)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضرایب معادله  $Y=a+bX$  برای دو پارامتر تابش و بارندگی بازه‌ی ۱۰ ساله ۲۰۰۹-۲۰۰۰ جهت ارزیابی مدل‌های اقلیمی CLIMGEN، LARS-WG و WeatherMan در ۳ اقلیم مشهد، گرگان و گنبد

تابش					گرگان
a	b	$R^2$	EF	RMSE	
۱/۲۱ ns	۰/۸۵ **	۰/۹۵	۰/۹	۱/۵۲	LARS-WG
۰/۱۵ ns	۰/۹۳ **	۰/۹۶	۰/۹۳	۱/۲۵	ClimGen
۱/۳۷ ns	۱/۴۴ **	۰/۹۳	-۲/۰۲	۸/۴	WeatherMan
-۱/۸ ns	۱/۱۲ **	۰/۹۸	۰/۹۵	۱/۰۶	LARS-WG
-۱/۹۶ *	۱/۱۳ **	۰/۹۷	۰/۹۵	۱/۱۵	ClimGen
۲/۶۳ ns	۱/۴۰ **	۰/۹۲	-۲/۱۴	۹/۳۳	WeatherMan
۰/۴۴ ns	۰/۹۳ **	۰/۹۹	۰/۹۷	۱/۱۴	LARS-WG
-۰/۰۳ ns	۰/۹۵ **	۰/۹۹	۰/۹۷	۱/۱۱	ClimGen
۶/۵۵ **	۰/۸۸ **	۰/۹۱	۰/۵۳	۴/۸۶	WeatherMan
بارندگی					گرگان
۲۷/۴۲ *	۰/۶۲ **	۰/۵۱	۰/۲۱	۱۸/۳۷	
۱۲/۲۵ ns	۰/۸۴ **	۰/۵۷	۰/۳۷	۱۶/۳۴	ClimGen
-۰/۱۹ ns	۰/۹۷ **	۰/۹۷	۰/۴۸	۱۴/۸۹	WeatherMan
۱۵/۰۹ ns	۰/۸۳ **	۰/۵۹	۰/۱۰	۱۳/۹۱	LARS-WG
-۲/۱۶ ns	۱/۱ **	۰/۶۵	۰/۳۳	۱۲	ClimGen
۱/۷۳ ns	۱/۰۱ **	۰/۹۰	۰/۸۷	۵/۲۴	WeatherMan
۶/۷۲ ns	۰/۹۵ **	۰/۷۲	۰/۵۱	۱۰/۷۸	LARS-WG
۳/۱۶ ns	۰/۹۱ **	۰/۷۱	۰/۶۴	۹/۲	ClimGen
۵/۵۳ ns	۱/۱ **	۰/۷۲	۰/۲۸	۱۳/۰۵	WeatherMan

\*\*\*، \*\* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، ۵ درصد و غیرمعنی‌دار مآخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۲۵

مرتبط با دما دارد، در حالی که LARS-WG برای آمارهای مربوط به بارندگی روزانه عملکرد خوبی داشت، در صورتی که در تحقیق حاضر، مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی پارامتر بارندگی ضعیف عمل کرد که یکی از دلایل آن می‌تواند نوع اقلیم باشد، به همین علت است که مدل‌های اقلیمی برای استفاده در هر منطقه باید صحت‌سنجی شوند (Qian et al, 2004: 175)

نتایج مطالعه‌ی هشمی و همکاران (۲۰۰۹) در ارزیابی مدل‌های اقلیمی نشان داد که LARS-WG توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی پارامتر بارندگی دارد (Hashmi et al, 2009: 3928). همچنین کوآن و همکاران (۲۰۰۴) در مقایسه‌ی مدل‌های LARS-WG و AAFC-WG در اقلیم‌های کانادا گزارش کردند که AAFC-WG کارایی بهتری در شبیه‌سازی آماری

## نتیجه

یافته‌های این تحقیق در سه اقلیم مورد مطالعه نشان داد که کارایی مدل‌ها در شبیه‌سازی داده‌های روزانه ضعیف است. اگرچه مقادیر شاخص‌های آماری در مقایسات ماهانه بهبود یافت اما باید توجه داشت که هدف طراحان این مدل‌ها پیش‌بینی و شبیه‌سازی داده‌ها در مقیاس زمانی بلندمدت بوده است و این که این مدل‌ها توانایی شبیه‌سازی داده‌ها را در مقیاس زمانی کمتر را نداشته باشند، ضعف آن‌ها محسوب نمی‌شود. با در نظر گرفتن میانگین ماهانه بلندمدت متغیرهای اقلیمی، پارامتر حداکثر دما برای اقلیم مدیترانه‌ای گرگان و نیمه‌خشک گنبد بامدل CLIMGEN و برای اقلیم خشک مشهد با مدل WeatherMan با دقت بهتری شبیه‌سازی شد. برای تولید داده‌های مربوط به پارامتر حداقل دما مدل LARS-WG برای گرگان و مشهد و CLIMGEN برای گنبد کارایی خوبی نشان دادند. مدل CLIMGEN در اقلیم گرگان و مدل LARS-WG در گنبد و مشهد توانایی خوبی در شبیه‌سازی پارامتر تابش داشته است. برای بازتولید داده‌های بارندگی مدل CLIMGEN برای مشهد و WeatherMan برای گرگان و گنبد عملکرد بهتری داشتند. با توجه به این که دوره‌ی رویش گیاهان زراعی یک دوره‌ی حداقل ۳ ماهه را شامل می‌شود، بنابراین می‌توان پیش‌بینی ماهانه این مدل‌ها را برای استفاده در مدل‌های گیاهی قابل قبول دانست. مقایسه نتایج گزارش شده توسط سایر پژوهشگران نیز کارایی مدل‌های مذکور را تأیید می‌کند.

سمنوف و بروکس (۱۹۹۹) در ارزیابی مدل LARS-WG بیان داشتند که مدل LARS-WG کارایی خوبی در شبیه‌سازی داده‌های واقعی برای نواحی مختلف انگلیس نشان داده است (به نقل از بابائیان و همکاران ۱۳۸۱: ۱۳۸). همچنین مک‌کاک و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی مدل CLIMGEN در مناطق کانادا گزارش

کردند مدل CLIMGEN کارایی خوبی حتی بهتر از مدل WGEN نشان داد (McKague, 2003: 3). در بررسی سایر مطالعات انجام شده، محققان، بسته به کاربردی که از خروجی این مدل‌ها مورد نظر است، رای به صحت و دقت و یا عدم کارایی این مدل‌ها داده‌اند. علت این امر این است که برخی از پارامترها در کاربردهای مختلف از اهمیت بیشتر و یا کمتری برخوردارند.

برای مثال سلطانی و هوگنبوم (۲۰۰۳) در بررسی خود بر روی دو شبیه‌ساز WGEN و SIMMETEO، این گونه نتیجه گرفتند که خروجی‌های این مدل‌ها علی‌رغم تفاوت‌هایی که دارند، برای کاربرد در مدل‌های گیاهی کفایت می‌کند (Soltani & Hoogenboom, 2003a: 229). به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت این مدل‌ها متخصص در تولید رفتار آماری یک ایستگاه از منظر میانگین، انحراف معیار و غیره هستند. به عبارت دیگر رفتار آماری داده‌های تولید شده توسط این مدل‌ها با رفتار آماری داده‌های مشاهداتی یکسان است.

نکته‌ی کاربردی دیگر اینکه از بین این سه مدل، برای مدل LARS-WG می‌توان سناریوهای تغییر اقلیم نیز تعریف کرد که در کاربرد این مدل در بحث‌های تغییر اقلیم می‌تواند مفید باشد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر و مطالعات دیگران و با توجه به ادامه روند گرمایشی زمین که نتیجه افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از حدود ۲۸۰ میکرومول بر مول در قبل از انقلاب صنعتی به ۳۷۹ میکرومول بر مول در در زمان حال است، به منظور کاربرد خروجی‌های این مدل‌ها در بررسی‌های تغییر اقلیم، آزمون و صحت‌سنجی مدل‌های هواشناسی برای هر منطقه امری ضروری است و بهتر است برای هر اقلیم شبیه‌سازی برای تعداد بیشتری از ایستگاه‌های سینوپتیک انجام شود (IPCC, 2007: 37).

## منابع

- IPCC (2007). In R.K. Pachauri and A. Reisinger (ed.) Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Kou, X., Ge, J., Wang, Y., and Zhang, C (2007). Validation of the weather generator CLIMGEN with daily precipitation data from the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*. 347.
- McKague, K., Rudra, R., and Ogilvie, J (2003). CLIMGEN – a convenient weather generation tool for Canadian climate stations. The Canadian society for engineering in agricultural, food and biological systems meeting. Montreal.
- Qian, B., Gameda, S., Hayhoe, H., DeJong, R. and Bootsma, A (2004). Comparison of LARS-WG and AAFC-WG stochastic weather generators for diverse Canadian climates. *Climate Research*. 26.
- Rasco, P., Szeidl, L., and Semenov, M.A (1991). A serial approach to local stochastic models. *Journal of Ecological Modeling*. 57.
- Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., Berg, A (2011). The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*. 21.
- Semenov, M.A., Brooks, R.J (1999). Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climate Research*. 11.
- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators in divers Climates. *Climate Research*. 10.
- Soltani, A., and Hoogenboom, G (2003a). A statistical comparison of the stochastic weather generators WGEN and SIMMETEO. *Climate Research*. 24.
- Soltani, A., and Hoogenboom, G (2003b). Minimum data requirements for parameter estimation of stochastic weather generators. *Climate Research*. 25.
- Tubiello, F.N., F. Ewert (2002). Simulating the effects of elevated CO<sub>2</sub> on crops: approaches and applications for climate change. *Europ. J. Agronomy*. 18.
- Zhang, X.C (2003). Evaluation of CLIMGEN precipitation parameters and their implication on WEPP runoff and erosion prediction. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*. 46.
- بابائیان، ایمان؛ زهرا نجفی‌نیک (۱۳۸۵). معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۶۱). *جغرافیای طبیعی*. ۷۲.
- بابائیان، ایمان؛ زهرا نجفی‌نیک؛ فاطمه زابل‌عباسی؛ مجید حبیبی‌نوخندان؛ حامد ادب؛ شراره ملبوسی (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. *جغرافیا و توسعه*. ۱۶.
- خسروی، محمود؛ مرتضی اسماعیل‌نژاد؛ حمید نظری‌پور (۱۳۸۹). تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب خاورمیانه. *چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان اسلام*. زاهدان.
- سلطانی، افشین؛ وحید مداح (۱۳۸۹). برنامه‌های کاربردی ساده برای آموزش و پژوهش در زراعت، انجمن علمی کشاورزی بوم‌شناختی ایران.
- سلطانی، افشین؛ منوچهر قلی‌پور (۱۳۸۵). شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد و مصرف نخود، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. جلد ۱۳. شماره ۲.
- شریفان، حسین؛ ابوطالب هزارجریبی (۱۳۸۸). اصول و عملیات هوا و اقلیم‌شناسی از دیدگاه کشاورزی. انتشارات آژند.
- Hatfield, J.L., Boote, K.J., Kimball, B.A., Ziska, L.H., Izaurralde, R.C., Ort, D., Thomson, A.M., Wolfe, D (2011). Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal* 103.
- Hartkampa, A. D., Whitea, J.W., and Hoogenboom, G (2003). Comparison of three weather generators for crop modeling: a case study for subtropical environments. *Agricultural Systems*. 76.
- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y., and Melville, B.W (2009). Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach. The 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation. Cairns, Australia.