

تعیین قابلیت مولدهای اقلیمی در تولید داده‌های اقلیمی

در مناطقی با محدودیت داده

(مطالعه موردی: شمال و شمال شرق ایران)

❖ شهربانو عباسی جندانی*؛ دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

❖ علی اکبر نظری سامانی؛ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

مولدهای هواشناسی تصادفی در مطالعه‌های مختلفی از قبیل هیدرولوژیک، مدیریت محیط طبیعی و ارزیابی ریسک کشاورزی استفاده می‌شوند. این قبیل مطالعات اغلب به سری‌های زمانی طولانی مدت از داده‌های هواشناسی نیاز دارند. با توجه به محدودیت داده‌های اقلیمی در بسیاری از مناطق کشور و نیز کوتاه بودن طول دوره آماری، استفاده از مولدهای اقلیمی و مهم‌تر از آن ارزیابی دقت و صحت آن‌ها قبل از استفاده ضرورت دارد. لذا در این مطالعه کارایی سه مولد CLIGEN، ClimGen و LARS-WG در دو ایستگاه سنگانه و زیدشت با شرایط اقلیمی متفاوت ارزیابی شده است. برای مقایسه میانگین داده‌های تولید شده و مشاهداتی شامل مقدار بارش سالانه و ماهانه، تعداد روز مرطوب سالانه، میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه، از آزمون t (ت جفتی) استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مولد CLIGEN در هر دو ایستگاه و در مورد هر پنج متغیر در نظر گرفته، کارایی بهتری نسبت به دو مولد دیگر دارد. ClimGen در هیچ یک از دو ایستگاه کارایی مناسبی نداشته است. مولد LARS-WG نیز در ایستگاه زیدشت کارایی خوبی داشته اما کارایی آن در تولید متغیرهای دمایی در ایستگاه سنگانه با دقت بسیار کمتری همراه بوده است. در مجموع نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کارایی این مولدها در اقلیم‌هایی که متغیرهای اقلیمی از نوسانات کمتری برخوردار هستند بهتر از اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک است.

کلید واژگان: مولد اقلیمی، CLIGEN، ClimGen، LARS-WG، کارایی، سنگانه، زیدشت.

۱. مقدمه

مدل‌های هیدرولوژیک و محیط زیستی ابزار مهمی برای مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست هستند، این مدل‌ها به داده‌های ورودی مختلف (مانند تابش خورشیدی، سرعت باد، بیشینه و کمینه دما، بارش، محتوای آب خاک، جریان آبراهه و غلظت رسوب) با فواصل زمانی متفاوت (روزانه، ساعتی) نیاز دارند. این داده‌ها در بسیاری مناطق محدود می‌باشند. بسیاری از ایستگاه‌های ارزیابی اقلیمی دوره‌های آماری کوتاهی دارند و اغلب با مشکل داده مفقود شده در سری زمانی روبه‌رو هستند. بنابراین اغلب مدل‌های هیدرولوژیک یا فرسایش به تولید داده اقلیمی ترکیبی به دست آمده از مشاهدات کوتاه مدت با استفاده از توزیع‌های آماری متفاوت نیاز دارند [۳۳]. در طول دهه‌های اخیر، چندین مولد اقلیمی توسعه داده شده است که می‌توان به مولدهای WGEN [۳۱، ۳۲]، USCLIMATE [۱۵]، CLIGEN [۲۷]، ClimGen [۳۸]، LARS-WG [۳۵] اشاره کرد. در همه این مولدها با بهره‌گیری از مدل‌های عددی، سری‌های مصنوعی متغیرهای هواشناسی در مقیاس‌های متفاوت زمانی تولید می‌شوند. این مولدهای اقلیمی با استفاده از مشخصات آماری کوتاه مدت پایگاه داده هواشناسی موجود، داده‌های هواشناسی روزانه بلند مدت ترکیبی را تولید می‌کنند. امروزه به طور گسترده‌ای از مولدهای اقلیمی در سراسر جهان استفاده می‌شود. دلایل مهم استفاده از مولدها عبارتند از: ۱- سری‌های هواشناسی تولید شده توسط مولدهای هواشناسی می‌توانند به عنوان ورودی برای مدل‌های هیدرولوژیک و کشاورزی از جمله محاسبه قدرت تولید فرسایش و به منظور ارزیابی ریسک‌های طولانی مدت کشاورزی به کار روند [۳۰].

۲- این مولدها می‌توانند برای شبیه‌سازی عملکرد محصول در اکوسیستم‌های زراعی مورد استفاده قرار گیرند [۲۱]. ۳- برای مکان‌هایی که فاقد ایستگاه اندازه‌گیری هستند و یا به علت نقص ابزار و اندازه‌گیری‌های نادرست در ایستگاه‌های هواشناسی، داده

کامل ندارند، مولدها می‌توانند با استفاده از آنالیز آماری و درون‌یابی پارامترهای اقلیمی به دست آمده از ایستگاه‌هایی که در نزدیکی مکان‌های مورد نظر قرار دارند، داده‌های هواشناسی روزانه تولید کنند [۳۰].

۴- مولدهای هواشناسی ابزاری کم هزینه، نسبتاً ساده و بسیار سریع هستند که می‌توانند در گستره‌های گوناگون استفاده شوند. در واقع مولدها ابزاری قوی برای مطالعه و ارزیابی خطر تغییر اقلیم و دوره‌های خشک، بارش‌های رگبار و وقوع سیلاب و بررسی تأثیر آن‌ها بر فرسایش رسوب هستند، لذا ابزاری جهت تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت اقتصادی و اجتماعی محسوب می‌شوند [۵].

مطالعات زیادی در مورد ارزیابی و اعتبارسنجی مولدهای هواشناسی انجام شده است. CLIGEN در داخل آمریکا [۱۶، ۲۶، ۲۷، ۴۰، ۴۳] و سایر کشورها [۲، ۸، ۱۲، ۱۳، ۲۱، ۲۴، ۴۱، ۴۴، ۴۶] ارزیابی شده است. مطالعاتی مختلفی نیز برای ارزیابی کارایی مولدهای LARS-WG و ClimGen انجام شده است [۱، ۲۲، ۲۸، ۳۳، ۳۷، ۳۹]. در این بین مطالعات کمی هستند که عملکرد چندین مولد را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند [۷، ۹، ۱۷، ۱۹، ۳۶] برای نمونه [۳۶] کارایی دو مولد WGEN و LARS-WG را در تولید داده‌های اقلیمی در ۱۸ سایت در آمریکا مقایسه کردند. نتایج حاصله نشان داد که مولد LARS-WG از توابع بسیار پیچیده‌ای برای تولید متغیرهای اقلیمی استفاده می‌کند و تمایل آن برای مطابقت با داده‌های مشاهداتی نسبت به مولد WGEN بیشتر است. [۹] نیز پنج تولیدکننده هواشناسی WGEN، CLIGEN، ClimGen، WeaGETS و LARSWG را در فلات لسی چین مقایسه کردند. نتایج حاصله نشان داد که به طور کلی مدل WeaGETS نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری دارد. علاوه بر این، مدل CLIGEN نیز در مورد وقایع حدی بارش عملکرد قابل قبولی داشته که برای مطالعات فرسایش خاک مناسب می‌باشد. به غیر از چند مورد محدود، اکثر مطالعاتی که

می‌شود. با این وجود اجرای این مولد در مناطقی با محدودیت داده، خود یکی از موانع اجرای مدل WEPP می‌باشد. لذا اهدافی که این پژوهش به دنبال پاسخ‌گویی به آن‌هاست، عبارتند از:

- ۱- ارزیابی کارایی سه مولد CLIGEN، ClimGen و LARS-WG در شرایط محدودیت داده و طول دوره آماری کوتاه در دو نقطه اقلیمی متفاوت کشور (ایستگاه سنگانه واقع در شهرستان کلات نادری استان خراسان رضوی و ایستگاه زیدشت واقع در شهرستان طالقان استان البرز).
- ۲- بررسی تأثیر نوع اقلیم بر کارایی مولدهای مختلف.
- ۳- امکان‌سنجی استفاده از داده‌های تولید شده با سایر مولدها برای بهبود نتایج CLIGEN برای استفاده در مطالعات فرسایش.

۲. روش‌شناسی

۲.۱. معرفی ایستگاه‌های مطالعاتی

ایستگاه سنگانه: ایستگاه سنگانه در شهرستان کلات نادری استان خراسان رضوی به مختصات $۱۳^{\circ} ۶۰'$ طول شرقی و $۴۱^{\circ} ۳۶'$ عرض شمالی قرار داشته و ارتفاع آن از سطح دریا ۶۱۶ متر می‌باشد (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه این ایستگاه در حدود ۱۸۷ میلی‌متر می‌باشد. میانگین ماهانه بارش در طول دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۶ نیز در شکل ۲ نشان داده است. بر این اساس بیشترین مقدار بارش در منطقه در ماه مارس (اسفند) رخ می‌دهد، در حالی که بیشینه حداکثر شدت نیم ساعته بارش مربوط به ماه می (اردیبهشت) می‌باشد. میانگین تعداد روزهای مرطوب (بارش بیش از ۰/۲ میلی‌متر) در ایستگاه سنگانه در دوره آماری مورد نظر (۲۰۱۳-۲۰۰۶) ۶۷ روز می‌باشد. میانگین دمای بیشینه و کمینه نیز در این ایستگاه به ترتیب برابر با ۲۳/۹۹ و ۹/۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

ایستگاه زیدشت: ایستگاه زیدشت در شهرستان

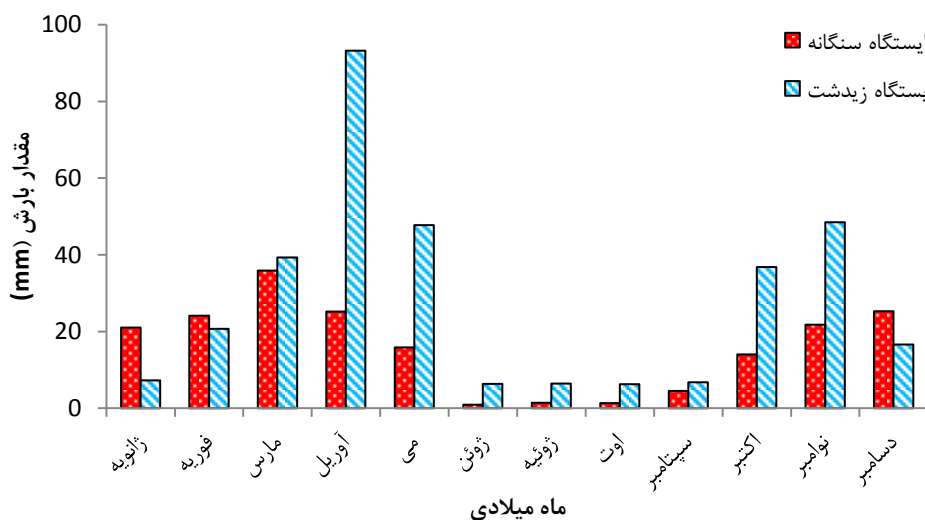
در مورد ارزیابی مولدهای هواشناسی صورت گرفته، به ارزیابی یک و یا تنها دو مولد و مقایسه کارایی آن‌ها پرداخته‌اند. از طرفی قابلیت مولد CLIGEN در ایران برای تولید داده‌های مورد نیاز مدل WEPP هنوز ارزیابی صحت نشده است. این مولد فایل اقلیمی مدل پیچیده فرسایش و رسوب WEPP را تهیه می‌کند و با توجه به توانایی آن در تولید الگوهای داخلی رگبار در مطالعات فرسایش از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. لذا لازم است تا کارایی این مولد پیچیده و نیز سایر مولدهای مختلف ارزیابی و با یکدیگر مقایسه شده تا بتوان مناسب‌ترین مولد را برای اهداف مورد نظر انتخاب کرد. این اهداف می‌تواند شامل تطویل آمار و رفع گپ‌های اطلاعاتی در آمار ایستگاه‌های هواشناسی، مطالعات تغییر اقلیم و نیز ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در قالب سناریوهای مشخص بر روی پدیده‌های طبیعی مانند خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و ویژگی‌های بارش از جمله فرسایش آن باشد. بررسی الگوهای بارشی قرن بیستم در آمریکا نشان می‌دهد که روابط تاریخی مکانی بین باران و فرسایش آن بدون تغییر نیستند [۱۴]. در واقع یکی از بزرگترین چالش‌هایی که در حال حاضر با آن روبه‌رو هستیم، وابستگی ناشناخته با تغییر اقلیم است. تغییر اقلیم می‌تواند نرخ تلفات خاک و تخریب کیفیت آب مرتبط با آن را افزایش دهد. مطابق با این چالش نیاز است تا استراتژی‌های مدیریت آب و خاک نیز توسعه یابند. مولدهای هواشناسی می‌توانند ابزار مناسبی برای کمک به اتخاذ تصمیم‌های بلند مدت باشند. از بین سه مولد CLIGEN، ClimGen و LARS-WG، اجرای مولد CLIGEN سخت‌تر و پیچیده‌تر بوده اما این برتری را دارد که با مدل فرسایش و رسوب WEPP مرتبط می‌باشد. WEPP یکی از این مدل‌های فیزیکی پایه و پیچیده برای برآورد فرسایش و رسوب می‌باشد که به حجم داده ورودی زیادی برای برآورد فرسایش و رسوب نیاز دارد. از جمله این داده‌ها، داده‌های اقلیمی می‌باشد که برای تولید فایل ورودی مرتبط با آن از مولد CLIGEN استفاده

فروردین) رخ می‌دهد، در حالی که بیشترین حداکثر شدت نیم ساعته بارش به ماه ژوئن (خرداد) می‌باشد. میانگین تعداد روزهای مرطوب (بارش مایع بیش از ۰/۲ میلی‌متر) در ایستگاه زیدشت در دوره آماری مورد نظر (۲۰۱۳-۲۰۰۲) ۵۶ روز می‌باشد. میانگین دمای بیشینه و کمینه نیز در این ایستگاه به ترتیب برابر با ۱۸/۱۵ و ۴/۶۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

طالقان استان البرز به مختصات $40^{\circ} 50'$ طول شرقی و $36^{\circ} 12'$ عرض شمالی قرار داشته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۳۰ متر می‌باشد (شکل ۱). متوسط بارش (بارش مایع) سالانه این ایستگاه در حدود ۳۳۶ میلی‌متر می‌باشد. میانگین ماهانه بارش در طول دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۲ نیز در شکل ۲ نشان داده است. بر این اساس بیشترین مقدار بارش در منطقه در ماه آوریل



شکل ۱. سمت راست) موقعیت ایستگاه سنگانه (استان خراسان رضوی) و ایستگاه زیدشت (استان البرز) در کشور.



شکل ۲. میانگین ماهانه بارش در ایستگاه سنگانه و ایستگاه زیدشت (به طور تقریبی اولین ماه میلادی از دهم دی ماه و آخرین ماه میلادی از دهم آذرماه شروع می‌شود)

۲.۲. روش کار

مولد CLIGEN:CLIGEN برای هر ایستگاه به متغیرهای هواشناسی ماهانه بلندمدت نیاز دارد که شامل میانگین، انحراف معیار و ضریب چولگی عمق بارش، احتمالات روز مرطوب بعد از روز مرطوب و روز خشک بعد از روز خشک، میانگین، بیشینه و کمینه دمای هوا و انحراف معیار آن‌ها، حداکثر شدت بارش نیم ساعته، زمان تا حداکثر شدت بارش، تابش خورشیدی و انحراف معیار آن، دمای نقطه شبنم و انحراف معیار آن، جهت‌های ۱۶ گانه وزش باد به همراه انحراف معیار و ضریب چولگی آن‌ها و سرعت باد است. علاوه بر این، دو متغیر حداکثر عمق بارش نیم ساعته و شش ساعته نیز برای اجرای این تولید کننده نیاز است. این اطلاعات در قالب فایلی با فرمت *.PAR به CLIGEN معرفی می‌شوند. با استفاده از این متغیرهای آماری ماهانه و توابع موجود در این برنامه، کلیژن توالی روزانه داده هواشناسی شبیه‌سازی شده از قبیل مقدار بارش، مدت بارش، زمان تا حداکثر شدت بارش نرمال شده (زمان تا حداکثر شدت بارش به مدت کل بارش بارش)، شدت بارش نرمال شده (حداکثر شدت بارش به شدت متوسط بارش)، بیشینه دما، کمینه دما، تابش خورشیدی، سرعت و جهت باد و دمای نقطه شبنم را برای سال‌های مورد نظر، تولید خواهد کرد. به عنوان نمونه، مقدار بارش بر اساس توزیع نرمال چوله محاسبه می‌شود. برای تخمین مدت بارش و شدت پیک رگبار به ترتیب از روش Arnold و همکاران (۱۹۹۰) [۴] و Arnold و Williams (۱۹۸۹) [۳] استفاده می‌شود. دمای بیشینه و کمینه، تابش خورشیدی، دمای نقطه شبنم و سرعت و جهت باد نیز با استفاده از توزیع نرمال محاسبه می‌شود.

از بین متغیرهای مورد نیاز برای اجرای CLIGEN، پارامترهای مربوط به بارش و الگوی آن اهمیت به‌سزایی دارند. دو متغیر احتمالات روز مرطوب بعد از روز مرطوب و روز مرطوب بعد از روز خشک با استفاده از زنجیره مارکوف دو حالتی مرتبه یک محاسبه می‌شوند و دو

احتمال دیگر یعنی روز خشک بعد از روز مرطوب و روز خشک بعد از روز خشک در برنامه CLIGEN و از روی این احتمالات محاسبه می‌شوند. در واقع این روش شامل محاسبه دو احتمال شرطی است: α ، احتمال روز مرطوب بعد از روز خشک و β ، احتمال روز خشک بعد از روز مرطوب. زنجیره مارکوف مرتبه دو حالتی برای به دست آوردن احتمالات شرطی به صورت زیر می‌باشد:

$$P\left(\frac{W}{D}\right) = \alpha \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$P\left(\frac{D}{D}\right) = 1 - \alpha \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$P\left(\frac{D}{W}\right) = \beta \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$P\left(\frac{W}{W}\right) = 1 - \beta \quad \text{رابطه (۴)}$$

که $P\left(\frac{W}{D}\right)$ ، $P\left(\frac{D}{D}\right)$ ، $P\left(\frac{D}{W}\right)$ و $P\left(\frac{W}{W}\right)$ به ترتیب احتمال روز مرطوب به روز خشک قبلی، روز خشک به روز خشک قبلی، روز مرطوب به روز مرطوب قبلی و روز مرطوب به روز مرطوب قبلی می‌باشند. متغیر زمان تا حداکثر شدت نیم ساعته نیز یکی از متغیرهای بسیار مهم در تعیین الگوی رگبار می‌باشد. برای محاسبه این متغیر، زمان تا پیک هر رگبار از شروع بازه نخست بارش تا نقطه میانی بازه‌ای با حداکثر شدت محاسبه می‌شود. بازه‌هایی با مقدار بارش صفر از مدت کل رگبار، حذف می‌شوند. در نتیجه مدت مؤثر تنها شامل بازه‌های دارای بارش است. سپس زمان تا پیک به یکی از فواصل کلاس ۱۲ گانه در دامنه‌ای از صفر تا یک، نسبت داده می‌شود.

$$k = D_p / (0.08333D_e) \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن، k : فاصله کلاس، D_p : زمان تا پیک و D_e : مدت مؤثر بارش است. توزیع تجمعی زمان تا پیک

بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش خورشیدی یا ساعات آفتابی نیاز دارد [۳۶]. سایر پارامترهای آب و هوایی همانند سرعت باد و نقطه شبنم را نیز می‌توان توسط این مدل شبیه‌سازی کرد [۲۹]. این مدل، به‌منظور شبیه‌سازی طول روزهای تر و خشک، بارش روزانه و تابش خورشیدی از توزیع نیمه‌تجربی استفاده می‌کند. توزیع نیمه‌تجربی تابش به این صورت است که فاصله‌ها به‌طور مساوی بین تابش بیشینه و کمینه ماهانه تقسیم می‌شوند. برای یک روز تر مقدار بارش از توزیع نیمه‌تجربی بارش ماه موردنظر و به‌طور مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به‌دست می‌آید. درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه به‌صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز موردنظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به‌کار می‌رود [۳۵].

با اجرای این مولدها توالی داده‌های هواشناسی روزانه ۱۰۰ ساله تولید می‌شود. این توالی ۱۰۰ ساله بر اساس طول دوره آماری مشاهداتی استفاده شده برای هر متغیر در هر ایستگاه مطالعاتی به چندین دوره کوچکتر تقسیم می‌شود. طول دوره آماری مشاهداتی در ایستگاه سنگانه هشت سال بوده (۲۰۱۳-۲۰۰۶)، لذا داده ۱۰۰ ساله تولید شده با مولدها به ۱۲ دوره هشت ساله تقسیم شده است. در ایستگاه زیدشت طول دوره آماری برای متغیرهای مربوط به بارش ۱۲ سال (۲۰۱۳-۲۰۰۲) و برای سایر متغیرها هفت سال (۲۰۱۳-۲۰۰۷) بوده است، لذا داده ۱۰۰ ساله تولید شده برای این ایستگاه به هشت دوره ۱۲ ساله برای متغیرهای بارش و ۱۴ دوره هفت ساله برای سایر متغیرها تقسیم شده است. دلیل تقسیم توالی طولانی مدت به توالی‌های کوتاه‌تر به جای چند بار اجرای تولید کننده برای تولید داده با طول آماری مورد نظر، این حقیقت است که مولدی مانند کلیژن از تولید کننده عدد شبه تصادفی استفاده می‌کند. لذا اگر مقدار

همه رگبارها در سال با جمع نسبت‌های تعداد رگبار در هر کلاس، ایجاد می‌شود:

$$Ak = \frac{N_k}{N} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن، A_k : فراوانی تجمعی برای هر فاصله ۱، ۲، ...، N_k : تعداد رگبار با زمان تا پیک در فاصله مشخص و N : تعداد کل رگبارهای ایستگاه اندازه‌گیری است. برای به دست آوردن متغیرهای حداکثر عمق بارش نیم ساعته و شش ساعته نیز ابتدا بهترین توزیع آماری برای داده‌های موجود با استفاده از نرم افزار Easyfit تعیین شده و سپس مقادیر این پارامترها در ایستگاه‌های سنگانه و زیدشت محاسبه شده است.

مولد ClimGen: ClimGen برای هر ایستگاه به متغیرهای هواشناسی ماهانه بلندمدت شامل مقدار بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه و حداکثر عمق بارش نیم ساعته نیاز دارد. ClimGen مولدی با ساختار تقریباً مشابه WGEN و با اندکی تفاوت و نیز قابلیت شبیه سازی رطوبت نسبی است. مدل‌سازی وقوع بارش در این مولد از فرآیند زنجیره مارکوف مرتبه یک و دو حالت تبعیت می‌کند. ارتفاع بارش نیز با توزیع ویبول مدل‌سازی می‌شود [۳۴]. پارامترهای مدل ویبول - مارکوف مولد ClimGen برای هر ماه طی n سال آمار تاریخی، مجزا برآورد می‌گردد که بر خلاف مولدهای دیگر این تغییرات با توابع هموارساز اسپلاین مدل می‌شود. روند تولید سری‌های زمانی درجه حرارت و تابش مشابه مولد WGEN است با این تفاوت که پارامترهای مدل با توابع اسپلاین هموار می‌شوند. در مورد تابش از آنجایی که داده‌های بلندمدت آن به ندرت در دسترس می‌باشند، توسعه دهندگان این مولد این امکان را فراهم کردند که بتوان از روی داده‌های دمای هوا، داده‌های تابش را برآورد کرد.

مولد LARS-WG5: LARS-WG5 برای هر ایستگاه به متغیرهای هواشناسی روزانه بلندمدت شامل مقدار

مشاهداتی و تولید شده در ایستگاه سنگانه انطباق بسیار خوبی با یکدیگر داشتند و در هر ۱۲ گروه اختلاف معنی داری بین آن‌ها وجود نداشته است. با این وجود در مورد متغیر دمای کمینه، دو گروه دارای سطح اختلاف SSD می‌باشند، یعنی تفاوت بین داده‌های مشاهداتی و تولید شده در این دو گروه اندکی معنی‌دار است. در این دو گروه میانگین دمای تولید شده کمتر از میانگین دمای مشاهداتی می‌باشد. با این وجود در ۱۰ گروه دیگر اختلاف معنی داری بین میانگین مشاهداتی و تولید شده وجود ندارد. نتایج حاصل از مقایسه متغیرهای تولید شده با CLIGEN با داده‌های واقعی در ایستگاه زیدشت نیز نشان دهنده انطباق بسیار خوب میانگین مشاهداتی و تولید شده چهار متغیر در نظر گرفته شده بوده و در هیچ یک از گروه‌ها اختلاف معنی داری بین آن‌ها وجود نداشته است که تأیید کننده کارایی مولد CLIGEN در تولید این متغیرها در ایستگاه زیدشت می‌باشد.

به علت اهمیت متغیر بارش به خصوص در مطالعات مربوط به فرسایش، این متغیر در مقیاس ماهانه نیز مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در ایستگاه سنگانه در اکثر ماه‌ها به جز ماه می (اردیبهشت)، اکتبر (مهر) و نوامبر (آبان)، میانگین‌های مشاهداتی و تولید شده انطباق خوبی با یکدیگر داشته و اختلاف معنی داری بین آن‌ها وجود ندارد. با این وجود در ماه می (اردیبهشت) میانگین دو گروه از داده‌های تولید شده در گروه سطح اختلاف MSD و SSD قرار می‌گیرند. میانگین بارش تولید شده در این دو گروه بسیار بیشتر از میانگین بارش مشاهداتی است. در ماه اکتبر (مهر) نیز میانگین یک گروه از ۱۲ گروه داده تولید شده، اختلاف اندکی با میانگین داده‌های مشاهداتی دارد، در این گروه میانگین داده تولید شده کمتر از مقدار مشاهداتی می‌باشد. در ماه نوامبر (آبان) نیز در چهار گروه از داده‌های تولید شده که میانگین آن‌ها بسیار بالاتر از میانگین مشاهداتی متناظر با خود بوده است، سطح اختلاف داده میانگین در گروه

اولیه برای الگوریتم تولید عدد تصادفی در هر باری که کلیژن اجرا می‌شود تغییر نکند، توالی‌های یکسان تولید می‌شوند. سپس برای مقایسه داده‌های مشاهداتی و تولید شده از آزمون t (ت جفتی) استفاده شده است. متغیرهای در نظر گرفته شده برای مقایسه شامل مقدار بارش سالانه، مقدار بارش ماهانه، تعداد روز مرطوب سالانه، دمای بیشینه و دمای کمینه سالانه می‌باشند. سطح معنی داری نیز با مقدار P تعیین شده است. اگر P کمتر از مقدار آستانه باشد، دو مجموعه به صورت معنی داری متفاوت هستند. معمولاً آستانه مقدار P بر اساس دقت آماری مورد نیاز در یکی از سه مقدار ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱۰، قرار می‌گیرد. برای کشف دقیق تفاوت‌ها، در این مطالعه از هر سه آستانه استفاده شده و لذا چهار سطح اختلاف تعریف می‌شود: $P < 0.01$: خیلی معنی دار (VSD)^۱، $0.01 \leq P < 0.05$: معنی داری متوسط (MSD)^۲، $0.05 \leq P < 0.1$: کمی معنی دار (SSD)^۳ و $P \geq 0.10$: غیر معنی دار (NSD)^۴ [۲۱]. محاسبات آماری در این تحقیق نیز با استفاده از بسته نرم افزاری SPSS 16 انجام شده است.

۳. نتایج

۳.۱. مولد CLIGEN

نتایج حاصل از مقایسه متغیرهای تولید شده با CLIGEN یعنی مقدار بارش سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه، دمای بیشینه و دمای کمینه سالانه با داده‌های واقعی برای هر یک از زیر دوره‌های تولید شده با استفاده از آزمون t (ت جفتی) در چهار سطح اختلاف در دو ایستگاه سنگانه و زیدشت در جدول ۱ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود میانگین‌های بارش کل سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه و دمای بیشینه

^۱ Very Significant

^۲ Moderately Significant

^۳ Slightly Significant

^۴ Not Significant

آن‌ها وجود ندارد. در ماه نوامبر نیز میانگین تنها یک گروه از داده‌های تولید شده در گروه سطح اختلاف SSD قرار گرفته است. در این مورد، CLIGEN بر خلاف ایستگاه سنگانه مجموع بارش ماهانه را کمتر از میانگین مشاهداتی تولید کرده است.

MSD و SSD قرار گرفته است. با این وجود در این سه ماه نیز در باقیمانده گروه‌ها اختلاف معنی‌داری بین میانگین بارش کل ماهانه تولید شده و مشاهداتی وجود ندارد. اما در ایستگاه زیدشت در همه ماه‌ها به جز ماه نوامبر (آبان)، میانگین‌های مشاهداتی و تولید شده انطباق بسیار خوبی با یکدیگر داشته و اختلاف معنی‌داری بین

جدول ۱. مقایسه میانگین سالانه متغیرهای مشاهداتی و تولید شده با CLIGEN

ایستگاه زیدشت				ایستگاه سنگانه				متغیر
سطح اختلاف*				سطح اختلاف*				
NSD	SSD	MSD	VSD	NSD	SSD	MSD	VSD	
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	بارش سالانه
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	تعداد روز مرطوب
۱۴	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	دمای بیشینه
۱۴	۰	۰	۰	۱۰	۲	۰	۰	دمای کمینه

* VSD: خیلی معنی دار، MSD: معنی داری متوسط، SSD: کمی معنی دار، NSD: غیر معنی دار.

جدول ۲. مقایسه میانگین ماهانه مقدار بارش مشاهداتی و تولید شده با CLIGEN

ایستگاه زیدشت				ایستگاه سنگانه				ماه میلادی ^۱
سطح اختلاف*				سطح اختلاف*				
NSD	SSD	MSD	VSD	NSD	SSD	MSD	VSD	
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	ژانویه
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	فوریه
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	مارس
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	آوریل
۸	۰	۰	۰	۱۰	۱	۱	۰	می
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	ژوئن
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	ژوئیه
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	اوت
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	سپتامبر
۸	۰	۰	۰	۱۱	۱	۰	۰	اکتبر
۷	۱	۰	۰	۸	۲	۲	۰	نوامبر
۸	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	دسامبر

* VSD: خیلی معنی دار، MSD: معنی داری متوسط، SSD: کمی معنی دار، NSD: غیر معنی دار.

^۱ به طور تقریبی اولین ماه میلادی (ژانویه) از دهم دی‌ماه و آخرین ماه میلادی (دسامبر) از دهم آذرماه شروع می‌شود.

گروه‌ها مقدار بارش سالانه را به خوبی شبیه سازی کرده است اما مقدار بارش رخ داده در هر روز مرطوب را به خوبی شبیه سازی نکرده است. نتایج به دست آمده در ایستگاه زیدشت نیز نشان می‌دهد که مولد ClimGen کارایی مناسبی در تولید متغیرهای اقلیمی در نظر گرفته شده یعنی مجموع بارش سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه، میانگین دمای بیشینه و کمینه سالانه ندارد (جدول ۳). در واقع در مواردی که اختلاف معنی داری بین متغیر مشاهده شده و تولید شده شامل بارش سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه، میانگین ماهانه دمای بیشینه و کمینه وجود دارد، مدل این متغیرها را به ترتیب بیشتر، کمتر، بیشتر و بیشتر از مقدار میانگین مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است.

۳,۲. مولد ClimGen

نتایج به دست آمده حاصل از اجرای مولد ClimGen در ایستگاه سنگانه نشان می‌دهد که این تولید کننده کارایی مناسبی در تولید متغیرهای اقلیمی در نظر گرفته شده، ندارد (جدول ۳). در مواردی که اختلاف معنی داری بین متغیر مشاهده شده و تولید شده بارش سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه، دمای بیشینه و دمای کمینه وجود دارد، مدل این متغیرها را به ترتیب بیشتر، کمتر، بیشتر و بیشتر از مقدار میانگین مشاهداتی شبیه سازی کرده است. از بین این متغیرها، کارایی ClimGen برای تولید متغیر تعداد روز مرطوب ضعیف تر بوده و تعداد روز مرطوب را بسیار کمتر از مقدار مشاهداتی شبیه سازی کرده است. در واقع هرچند ClimGen در بعضی از

جدول ۳. مقایسه میانگین سالانه متغیرهای مشاهداتی و تولید شده با ClimGen

ایستگاه زیدشت				ایستگاه سنگانه				متغیر
سطح اختلاف*				سطح اختلاف*				
NSD	SSD	MSD	VSD	NSD	SSD	MSD	VSD	
۳	۰	۱	۴	۶	۳	۲	۱	بارش سالانه
۰	۰	۳	۵	۰	۱	۴	۷	تعداد روز مرطوب
۰	۰	۰	۱۴	۶	۳	۳	۰	دمای بیشینه
۰	۱	۰	۱۳	۴	۴	۳	۱	دمای کمینه

* VSD: خیلی معنی دار، MSD: معنی داری متوسط، SSD: کمی معنی دار، NSD: غیر معنی دار.

سنگانه نشان می‌دهد که این تولید کننده کارایی مناسبی در تولید متغیرهای اقلیمی مقدار بارش و تعداد روز مرطوب سالانه دارد. اما کارایی این مولد در تولید داده‌های میانگین دمای بیشینه و کمینه در ایستگاه سنگانه تأیید نمی‌شود و همه ۱۲ گروه داده‌های تولید شده اختلاف معنی داری با داده‌های مشاهداتی داشته‌اند (جدول ۵). در مواردی که اختلاف معنی داری بین میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه مشاهداتی و تولید شده وجود دارد، مدل این متغیرها را به ترتیب کمتر و بیشتر از مقدار مشاهداتی شبیه سازی کرده است. با این وجود کارایی مولد

در مورد بارش ماهانه در دو ایستگاه سنگانه و زیدشت نیز با وجود اینکه مولد ClimGen در نیمی از ماه‌ها، کارایی خوبی داشته، اما در نیمی دیگر از سال (ماه‌هایی با بارش کمتر) کارایی خوبی در تولید مقدار بارش ماهانه نداشته است (جدول ۴). در گروه‌هایی که اختلاف معنی داری بین مقادیر مشاهداتی و تولید شده وجود دارد، مولد ClimGen مقادیر بارش ماهانه را بیشتر از میانگین دوره مشاهداتی برآورد کرده است.

۳,۳. مولد LARS-WG

نتایج حاصل از اجرای مولد LARS-WG در ایستگاه

مشاهده شده وجود دارد، مدل بارش را در اکثر موارد در ایستگاه سنگانه کمتر از مقدار میانگین مشاهداتی و در ایستگاه زیدشت بیشتر از مقدار میانگین مشاهداتی شبیه سازی کرده است. علاوه بر این کارایی مولد LARS-WG در تولید متغیرهای اقلیمی در ایستگاه زیدشت بهتر از ایستگاه سنگانه بوده است که می تواند به دلیل ماهیت اقلیمی این منطقه باشد.

LARS-WG در تولید متغیرهای اقلیمی مورد نظر در ایستگاه زیدشت نیز بسیار خوب بوده و در واقع در هیچ یک از ۱۴ گروه داده های تولید شده اختلاف معنی داری با داده های واقعی وجود نداشته است (جدول ۵). در مقیاس ماهانه نیز کارایی مولد LARS-WG در هر دو ایستگاه سنگانه و زیدشت در تولید داده کل بارش ماهانه قابل قبول می باشد (جدول ۶). با این وجود در مواردی که اختلاف معنی داری بین داده تولید شده و

جدول ۴. مقایسه میانگین ماهانه مقدار بارش مشاهداتی و تولید شده با ClimGen

ایستگاه زیدشت				ایستگاه سنگانه				ماه میلادی ^۱
سطح اختلاف*				سطح اختلاف*				
NSD	SSD	MSD	VSD	NSD	SSD	MSD	VSD	
۸	-	-	-	۱۱	۱	۰	۰	ژانویه
۸	-	-	-	۱۱	۱	۰	۰	فوریه
۸	-	-	-	۱۲	۰	۰	۰	مارس
۸	-	-	-	۱۲	۰	۰	۰	آوریل
۷	-	۱	-	۱۱	۰	۱	۰	می
۴	۱	۲	-	۱۱	۰	۱	۰	ژوئن
۵	۱	-	۱	۹	۲	۱	۰	ژوئیه
۵	۱	۱	-	۸	۳	۱	۰	اوت
۶	-	۱	-	۹	۲	۱	۰	سپتامبر
۵	۱	۱	-	۱۱	۰	۰	۱	اکتبر
۸	-	-	-	۹	۱	۲	۰	نوامبر
۸	-	-	-	۱۲	۰	۰	۰	دسامبر

* VSD: خیلی معنی دار، MSD: معنی داری متوسط، SSD: کمی معنی دار، NSD: غیر معنی دار.
^۱ به طور تقریبی اولین ماه میلادی (ژانویه) از دهم دی ماه و آخرین ماه میلادی (دسامبر) از دهم آذرماه شروع می شود.

جدول ۵. مقایسه میانگین سالانه متغیرهای مشاهداتی و تولید شده با LARS-WG، ایستگاه سنگانه

ایستگاه زیدشت				ایستگاه سنگانه				متغیر
سطح اختلاف*				سطح اختلاف*				
NSD	SSD	MSD	VSD	NSD	SSD	MSD	VSD	
۱۴	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	بارش سالانه
۱۴	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	تعداد روز مرطوب
۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲	دمای بیشینه
۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲	دمای کمینه

* VSD: خیلی معنی دار، MSD: معنی داری متوسط، SSD: کمی معنی دار، NSD: غیر معنی دار.

جدول ۶. مقایسه میانگین ماهانه مقدار بارش مشاهداتی و تولید شده با LARS-WG، ایستگاه سنگانه

ایستگاه زیدشت				ایستگاه سنگانه				ماه میلادی ^۱
سطح اختلاف*				سطح اختلاف*				
NSD	SSD	MSD	VSD	NSD	SSD	MSD	VSD	
۱۴	۰	۰	۰	۱۰	۲	۰	۰	ژانویه
۱۴	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	فوریه
۱۲	۲	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	مارس
۱۴	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	آوریل
۱۴	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	می
۱۴	۰	۰	۰	۱۱	۱	۰	۰	ژوئن
۱۳	۰	۱	۰	۱۲	۰	۰	۰	ژوئیه
۱۴	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	اوت
۱۳	۱	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	سپتامبر
۱۴	۰	۰	۰	۱۱	۱	۰	۰	اکتبر
۱۴	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	نوامبر
۱۴	۰	۰	۰	۹	۲	۱	۰	دسامبر

* VSD: خیلی معنی دار، MSD: معنی داری متوسط، SSD: کمی معنی دار، NSD: غیر معنی دار.
^۱ به طور تقریبی اولین ماه میلادی (ژانویه) از دهم دیماه و آخرین ماه میلادی (دسامبر) از دهم آذرماه شروع می‌شود.

LARS-WG، درصد گروه‌هایی با عدم اختلاف معنی دار بین داده‌های مشاهداتی و تولید شده محاسبه شده و در جدول ۷ نشان داده شده است.

۴.۳. مقایسه کارایی سه مولد CLIGEN،

LARS-WG، ClimGen

برای مقایسه کارایی سه مولد CLIGEN، ClimGen و

جدول ۷. مقایسه کارایی سه مولد CLIGEN، ClimGen و LARS-WG در دو ایستگاه سنگانه و زیدشت

درصد NSD		متغیر	مولد
ایستگاه زیدشت	ایستگاه سنگانه		
۱۰۰	۱۰۰	مجموع بارش سالانه	CLIGEN
۹۸/۹۹	۹۵/۱۴	مجموع بارش ماهانه	
۱۰۰	۱۰۰	مجموع تعداد روز مرطوب سالانه	
۱۰۰	۱۰۰	میانگین سالانه دمای بیشینه	
۱۰۰	۸۳/۳۳	میانگین سالانه دمای کمینه	
۳۷/۵۰	۵۰	مجموع بارش سالانه	
۸۳/۳۳	۸۷/۵۰	مجموع بارش ماهانه	ClimGen
۰	۰	مجموع تعداد روز مرطوب سالانه	
۰	۵۰	میانگین سالانه دمای بیشینه	
۰	۳۳/۳۳	میانگین سالانه دمای کمینه	
۱۰۰	۱۰۰	مجموع بارش سالانه	
۹۷/۶۲	۹۵/۱۴	مجموع بارش ماهانه	
۱۰۰	۱۰۰	مجموع تعداد روز مرطوب سالانه	LARS-WG
۱۰۰	۰	میانگین سالانه دمای بیشینه	
۱۰۰	۰	میانگین سالانه دمای کمینه	

مولد را در تولید مقدار ماهانه بارش و میانگین ماهانه دمای بیشینه و کمینه در کامرون تأیید کردند. نتایج حاصل از اجرای مولد LARS-WG در ایستگاه سنگانه نیز نشان دهنده کارایی مناسب این مولد در تولید متغیرهای اقلیمی مقدار بارش و تعداد روز مرطوب سالانه و کارایی نامناسب آن در تولید داده‌های میانگین دمای بیشینه و است. با این وجود کارایی این مولد در تولید متغیرهای اقلیمی مورد نظر در ایستگاه زیدشت بسیار خوب بوده است. در مقیاس ماهانه نیز کارایی مولد LARS-WG در هر دو ایستگاه سنگانه و زیدشت در تولید داده کل بارش ماهانه قابل قبول می‌باشد. [۱۷] نیز نشان دادند که دقت مولد LARS-WG نسبت به دو مولد WeatherMan و ClimGen برای شبیه سازی پارامتر حداقل دما و تابش خورشیدی بیشتر است. در مجموع نتایج به دست آمده از مقایسه ارزیابی این سه مولد نشان دهنده کارایی بهتر مولد CLIGEN نسبت به دو مولد دیگر یعنی ClimGen و LARS-WG است. از طرفی کارایی دو مولد CLIGEN و LARS-WG در ایستگاه زیدشت با میانگین بارش مایع سالانه ۳۳۶ میلیمتر بهتر از ایستگاه سنگانه با میانگین بارش مایع سالانه ۱۸۷ میلیمتر بوده است، که چند علت را می‌توان برای آن ذکر کرد. ابتدا اینکه طول دوره آماری استفاده شده برای متغیرهای مربوط به بارش در ایستگاه زیدشت طولانی‌تر بوده است (۱۲ سال در مقابل هشت سال). با افزایش طول دوره آماری، ناهمگنی‌های زمانی و نوسانات طبیعی متغیرهای اقلیمی پوشش داده می‌شود که می‌تواند نشان دهنده شرایط واقعی‌تر متغیر مورد نظر در منطقه باشد. دلیل دوم نیز می‌تواند مربوط به خود شرایط اقلیمی این منطقه باشد. شرایط اقلیمی در ایستگاه زیدشت معتدل‌تر از ایستگاه سنگانه بوده و لذا تغییرپذیری‌های داده‌های اقلیمی در این ایستگاه کمتر از ایستگاه سنگانه که در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است می‌باشد. لذا این مولدها و به ویژه CLIGEN که به مشخصات بیشتری از بارش نیاز دارد، در اقلیم‌های معتدل‌تر کارایی بهتری نسبت به اقلیم‌های خشک و

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که به طور کلی مولد CLIGEN نسبت به دو مولد دیگر کارایی بهتری داشته است. علاوه بر این، به غیر از مولد ClimGen که در ایستگاه سنگانه نتایج بهتری نسبت به ایستگاه زیدشت داشته، نتایج دو مولد CLIGEN و LARS-WG در ایستگاه زیدشت بهتر از ایستگاه سنگانه بوده است.

۴. بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه کارایی سه مولد CLIGEN، ClimGen و LARS-WG در دو ایستگاه سنگانه در شمال شرق کشور و ایستگاه زیدشت در نیمه شمالی کشور ارزیابی و با هم مقایسه شده است. نتایج به دست آمده از ارزیابی مولد CLIGEN در دو ایستگاه سنگانه و زیدشت نشان می‌دهد که این مولد کارایی مناسبی در شبیه سازی متغیرهای اقلیمی در نظر گرفته شده دارد. محققین مختلفی [۲، ۸، ۹، ۱۲، ۱۳، ۲۱] نیز در بررسی‌های خود کارایی این مولد را به خصوص در مورد مقادیر میانگین متغیرهای اقلیمی تأیید کرده‌اند. از طرفی کارایی مولد CLIGEN در تولید داده‌های اقلیمی مورد نظر در ایستگاه زیدشت بهتر از ایستگاه سنگانه بوده است. اما بر اساس نتایج به دست آمده مولد ClimGen در ایستگاه‌های سنگانه و زیدشت کارایی مناسبی برای تولید متغیرهای اقلیمی سالانه در نظر گرفته شده، ندارد. کارایی این مولد در مورد بارش ماهانه نیز در هر دو ایستگاه در نیمی از سال خوب بوده در نیمی دیگر از آن (ماه‌هایی با بارش کمتر) کارایی خوبی در تولید مقدار بارش ماهانه نداشته است. [۳۳] نیز نشان دادند که هرچند ClimGen کارایی مناسبی برای دمای بیشینه و کمینه و سرعت باد دارد اما به وضوح تعداد وقایع حدی با شدت بیشتر از ۱۰۰ میلیمتر در روز را کمتر از حد برآورد کرده است. همچنین آن‌ها بیان کردند که این مولد قادر به تکرار الگوی بارش مشاهداتی در سه ایستگاه از چهار ایستگاه مشاهداتی نیست. با این وجود [۳۹] کارایی این

زیدشت داشته، اما کارایی آن در تولید داده‌های میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه در ایستگاه سنگانه تأیید نمی‌شود. اما مولد CLIGEN در هر دو ایستگاه سنگانه استان خراسان رضوی و ایستگاه زیدشت استان البرز کارایی خوبی داشته است. با این وجود در صورتی که در منطقه‌ای کارایی مولد CLIGEN برای متغیرهایی مانند دمای بیشینه و کمینه مناسب نباشد، می‌توان متغیرهای دمایی تولید شده با مولدی با کارایی مناسب مانند LARS-WG را در فایل اقلیمی تولید شده با CLIGEN جایگزین کرد. البته مشکل اصلی در مورد استفاده از این مولد CLIGEN به دست آوردن دو متغیر حداکثر شدت نیم ساعته و زمان تا حداکثر شدت بارش است، پیشنهاد می‌شود که با در نظر گرفتن طبقه بندی اقلیمی در کشور، برای چند ایستگاه معرف هر طبقه اقلیمی، پارامترهای مذکور محاسبه شده و برای سایر ایستگاه‌های واقع در هر طبقه اقلیمی استفاده شود. این امر می‌تواند دامنه کاربرد این مولد پیچیده و نیز مدل WEPP را در مناطقی با محدودیت داده افزایش دهد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی با عنوان "امکان سنجی تولید فایل ورودی به مدل WEPP برای برآورد فرسایش با استفاده از داده‌های موجود در ایران" می‌باشد و با حمایت مالی دانشگاه تهران انجام شده است. لذا مؤلفین مراتب تشکر و قدردانی خود را از حوزه معاونت پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران اعلام می‌دارند.

نیمه‌خشک خواهند داشت. [۱] نیز بیان کردند که کارایی مولدی مانند LARS-WG در ایستگاه‌های شمالی کشور نسبت به ایستگاه‌های جنوبی کشور بهتر است. از طرفی هر چند حداقل داده‌های مشاهده‌ای مورد نیاز برای اجرای این مولدها ۳۰-۱۵ سال است، اما نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با وجود طول دوره آماری نسبتاً کوتاه استفاده شده در این مطالعه، دو مولد CLIGEN و LARS-WG کارایی خوبی داشته و قابل کاربرد هستند. با این وجود انتخاب بهترین مولد وابستگی بسیاری به هدف مطالعه دارد. CLIGEN مولدی است که بیشتر در مطالعات فرسایش و رسوب استفاده می‌شود. مزیت عمده این مولد نسبت به سایر مولدهای اقلیمی، توانایی آن در تولید پارامترهای مورد نیاز الگوی رگبار است که نقش مهمی در تعیین فرسایندهای باران دارند. از طرف دیگر، CLIGEN مولدی پیچیده بوده، پارامترهای مورد نیاز برای اجرای این مولد زیاد بوده و به دست آوردن بعضی از پارامترهای آن با استفاده از داده‌های روزانه امکان پذیر نیست که از آن جمله می‌توان به زمان تا حداکثر شدت بارش و حداکثر شدت نیم ساعته بارش اشاره کرد. اما ذکر این نکته نیز ضروری است که اکثر پارامترهای مورد نیاز برای اجرای CLIGEN در مقیاس ماهانه مورد نیاز بوده و بیشتر پارامترهای اقلیمی را نیز در بر می‌گیرد. از طرف دیگر مولد LARS-WG بیشتر برای مطالعات تغییر اقلیم استفاده می‌شود. پارامترهای مورد نیاز برای اجرای این مولد نسبت به CLIGEN کمتر بوده و کار با آن راحت تر می‌باشد. پارامترهای خروجی این مولد نیز کمتر از مولد CLIGEN می‌باشد. با این وجود هرچند مولد LARS-WG کارایی خوبی به خصوص در ایستگاه

Reference

- [1] Ababaei, B., Mirzaei, F. and Sohrabi, T. (2011). Assessmet of LARS-WG performance in 12 coastal stations of Iran. *Iran Water Research Journal*, 5(9), 217-222.

- [2] Al-Mukhtar, M., Dunger, V. and Merkel, B. (2014). Evaluation of the climate generator model CLIGEN for rainfall data simulation in Bautzen catchment area, Germany. *Hydrology Research*, 45(4-5), 615–630.
- [3] Arnold, J.G. and Williams, J.R. (1989). Stochastic generation of internal storm structure. *Trans. ASAE*, 32(1), 161-166.
- [4] Arnold, J.G., Williams, J.R., Nicks, A.D. and Sammons, N.D. (1990). SWRRB, A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management. *Texas A&M University Press*. 236 pp.
- [5] Babaiyan, I. and Najafi Nik, Z. (2006). Defining and evaluation of LARS-WG model for modeling of climate parameter in Khorasan province, statistical period of 1961-2003. *Journal of Nivar*, 62-63, 49-65.
- [6] Baffault, C., Nearing, M.A. and Nicks, A.D. (1996). Impact of CLIGEN parameters on WEPP predicted average annual soil loss. *Transactions of the ASAE*, 39 (2), 447–457.
- [7] Castellvi, F. and Stockle, C.O. (2001). Comparing the performance of WGEN and ClimGen in the generation of temperature and solar radiation. *Transactions of ASAE*, 44, 1683–1687.
- [8] Caviglione, J.H., Fonseca, I.C.D.E. and Filho, J.T. (2013). Viability of CLIGEN in the climatic conditions of Paraná state, Brazil. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 17(6).
- [9] Chen, J. and Brissette, F.P. (2014). Comparison of five stochastic weather generators in simulating daily precipitation and temperature for the Loess Plateau of China. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3089–3105.
- [10] Chen, J., Brissette, F.P. and Leconte, R. (2010). A daily stochastic weather generator for preserving low-frequency of climate variability. *Journal of Hydrology*, 388, 480–490.
- [11] Danuso, F. and Della, M.V. (1997). CLIMAK reference manual. DPVTA, *University of Udine, Italy*.
- [12] Elliot, W.J. and Arnold, C.D. (2001). Validation of the weather generator CLIGEN with precipitation data from Uganda. *Transactions of ASAE*, 44(1), 53–58.
- [13] Fan, J-Ch., Yang, Ch-H., Liu, Ch-H. and Huang, H-Y. (2013). Assessment and validation of CLIGEN-simulated rainfall data for Northern Taiwan. *Paddy Water Environ.*, 11, 161–173.
- [14] Groisman, P.Y., Knight, R.W. and Karl, T.R. (2001). Heavy precipitation and high streamflow in the contiguous United States: Trends in the twentieth century, *Bul. of the Am. Met. Soc.*, 82, 219–246.
- [15] Hanson, C.L., Cumming, K.A., Woolhiser, D.A. and Richardson, C.W. (1994). Microcomputer Program for Daily Weather Simulations in the Contiguous United States. *USDA_ARS Publ. ARS_114, Washington, DC*.
- [16] Headrick, M.G. and Wilson, B.N. (1997). An evaluation of stochastic weather parameters for Minnesota and their impact on WEPP. *ASAE Paper No. 972230*. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- [17] Hejarpoor, A., usefi, M. and Kamkar, B. (2013). Test of simulations accuracy of LARS-WG, WeatherMan and ClimGen in simulating of climate parameter in three climate deferent (Gorgan, Gonbad and Mashhad). *Geography And Development Iranian Journal*, 35. 201-216.
- [18] Hoogenboom, G. (2000). Contribution of agro-meteorology to the simulation of crop production and its applications. *Agric. and Forest Meteorol.*, 103, 137-157.
- [19] Johnson, G.L., Hanson, C.L., Hardegree, S.P. and Ballard, E.B. (1996). Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. *J. Appl. Meteorol.*, 35, 1878–1896.
- [20] Kevin, M., Ramesh, R., John, O., Imran, A. and Bahram, G., (2005). Evaluation of weather generator ClimGen for southern Ontario. *Canadian Water Resources Journal*, 30 (4), 315–330.
- [21] Kou, X., Ge, J., Wang, Y. and Zhang, C. (2007). Validation of the weather generator CLIGEN with daily precipitation data from the Loess Palteau, China. *Journal of Hydrology*, 347, 347-357.
- [22] McKague, K., Rudra, R., Ogilvie, J., Ahmed, I. and Gharabaghi, B. (2005). Evaluation of Weather Generator ClimGen for Southern Ontario. *Canadian Water Resources Journal*, 30 (4), 315-330.
- [23] Mikhail, A. Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. and Richardson, C.W. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *CLIMATE RESEARCH*, 10, 95–107.

- [24] Min, Y.M., Kryjov, V.N., An, K.H., Hameed, S.N., Sohn, S.J., Lee, W.J. and Oh, J.H. (2011). Evaluation of the weather generator CLIGEN with daily precipitation characteristics in Korea. *Asia-Pacific. J. Atmos. Sci.*, 47(3), 255-263.
- [25] Minville, M., Brissette, F. and Leconte, R. (2008). Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. *Journal of Hydrology*, 358, 70-83.
- [26] Nicks, A.D. and Gander, G.A. (1994). CLIGEN: a weather generator for climate inputs to water resources and other models. In: Watson, D.G., Zazueta, F.S., Harrison, T.V. (Eds.), *Proceedings of fifth International Conference on Computer in Agriculture. ASAE, St. Joseph, MI*, 903-909.
- [27] Nicks, A.D., Lane, L.J. and Gander, G.A. (1995). Chapter 2. Weather Generator. In: (Flanagan, D.C., and M.A. Nearing, (eds.)) *Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report No. 10, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN*.
- [28] Nosrati, K., Zehtabiyani, Q.R. and Shhbazi, A. (2007). Evaluation of stochastic simulation's method for production of meteorological data. *Journal of Geography Research*, 62, 1-9.
- [29] Parlange, M.B. and Katz, R.W. (2000). An extended version of the Richardson Model for simulating daily weather variables. *J. Appl. Meteorol.*, 39, 610-622.
- [30] 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.
- [31] Richardson, C.W. (1981). Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resources Research*, 17, 182-190.
- [32] Richardson, C.W. and Wright, D.A. (1984). WGEN: a model for generating daily weather variables. USDA, Agricultural Research Services, Bulletin No. ARS-8. *Government Printing Office, Washington, DC*.
- [33] Safeeq, M. and Fares, A. (2011). Accuracy evaluation of ClimGen weather generator and daily to hourly disaggregation methods in tropical conditions. *Theor. Appl. Climatol.*, 106, 321-341.
- [34] Selker, J.S. and Haithier, D.A. (1990). Development and Testing of Single- Parameter Precipitation Distributions. *Water Resources Research*, 26(11), 2733-2740.
- [35] Semenov, M.A. and Barrow, E.M. (2002). LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. *User's manual*, Version 3, 27.
- [36] Semenov, M.A. and Brooks, R.J. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10, 95-107.
- [37] Stockle, C.O., Bellocchi, G. and Nelson, R. (1998). Evaluation of the weather generator ClimGen for several world locations. *7th International Congress for Computer Technology in Agriculture, Italy*.
- [38] Stockle, C.O., Campbell, G.S. and Nelson, R. (1999). *ClimGen Manual*. Biological Systems Engineering Department, *Washington State University, Pullman, WA*.
- [39] Tingen, M., Rivington, M., Azam-Ali, S. and Colls, J. (2007). Assessment of the ClimGen stochastic weather generator at Cameroon sites. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 1 (4), 086-092.
- [40] Yu, B. (2000). Improvement and evaluation of CLIGEN for storm generation. *Transactions of ASAE*, 43(2), 301-307.
- [41] Yu, B. (2005). Adjustment of CLIGEN parameters to generate precipitation change scenarios in southeastern Australia. *CATENA*, 61, 196-209.
- [42] Zhang, X.C. (2005). Spatial downscaling of global climate model output for site-specific assessment of crop production and soil erosion. *Agricultural and Forest Meteorology*, 135, 215-229.
- [43] Zhang, X.C. and Garbrecht, J.D. (2003). Evaluation of CLIGEN precipitation parameters and their implication on WEPP runoff and erosion prediction. *Transactions of ASAE*, 46, 311-320.
- [44] Zhang, X.C. and Liu, W.Z. (2005). Simulating potential response of hydrology, soil erosion, and crop productivity to climate change in Changwu tableland region on the Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 131, 127-142.

-
- [45] Zhang, X.C., Singh, B., Gagnon, S., Rousselle, J., Evora, N. and Weyman, S. (2004). The Application of WGEN to Simulate Daily Climatic Data for Several Canadian Stations . *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 29(1), 59-72.
- [46] Zhang, Y., Liu, B., Wang, Z., and Zhu, Q. (2008). Evaluation of CLIGEN for storm generation on the semiarid Loess Plateau in China. *CATENA*, 73(1), 1-9.