نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره دوم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

ارزیابی کارایی مولد کلیژن در تولید داده‌های اقلیمی به‌منظور استفاده در مدل WEPP (مطالعه موردی: ایستگاه زیدشت، استان البرز)

علی‌اکبر نظری‌سامانی[۱] و *شهربانو عباسی‌جندانی[۲]

[۱]دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [۲]دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: مدل‌های هیدرولوژیک ابزار مهمی برای مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست هستند، این مدل‌ها به داده‌های ورودی مختلف (مثل تابش خورشیدی، سرعت باد، بیشینه و کمینه دما، بارش، محتوای آب خاک، جریان آبراهه و غلظت رسوب) با فواصل زمانی متفاوت (مثل روزانه، ساعتی) نیاز دارند. این داده‌ها در بسیاری مناطق محدود می‌باشند. بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی 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 به‌دست آمده از مشاهدات کوتاه‌مدت با استفاده از توزیع‌های آماری متفاوت نیاز دارند. مولدها به‌طور گسترده‌ای برای تولید سری‌های هواشناسی ترکیبی طولانی با مشخصات آماری مطابق با داده‌های تاریخی که بیش‌تر کوتاه و حاوی داده مفقود شده هستند، استفاده می‌شوند. کلیژن (مولد اقلیمی) یک مولد هواشناسی تصادفی است که ۱۰ متغیر هواشناسی از قبیل بارش روزانه، مدت رگبار، شدت رگبار، تابش خورشیدی، دمای بیشینه و کمینه و سرعت و جهت باد را تولید می‌کنند. از کلیژن برای تولید فایل اقلیمی مدل WEPP استفاده شده است. هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی کلیژن در ایستگاه زیدشت استان البرز است.

مواد و روش‌ها: مقادیر پارامترهای ماهانه مورد نیاز کلیژن بر اساس دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۲ برای متغیرهای مربوط به بارش (مقدار بارش، احتمال روز مرطوب بعد از روز مرطوب و روز مرطوب بعد از روز خشک، حداکثر شدت نیم‌ساعته و زمان تا پیک بارش) و ۲۰۱۳-۲۰۰۷ برای متغیرهای دیگر (دمای بیشینه و کمینه، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد در ۱۶ جهت) استخراج شده است. برای محاسبه متغیر زمان تا حداکثر شدت نیز از الگوی شدت ۱۶۵ رگبار استفاده شده است. در نهایت برای مقایسه میانگین داده‌های مشاهداتی و مجموعه‌های چندگانه تولیدشده توسط کلیژن از آزمون آماری t استفاده شده است. از ضریب نش- ساتکلیف نیز برای ارزیابی کارایی کلیژن استفاده شده است.

یافته‌ها: نتایج حاصل از اجرای آزمون t نشان داد که بین میانگین گروه‌های مختلف متغیرهای بررسی شده (بارش کل سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه، دمای کمینه و دمای بیشینه) اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و کلیژن ابزار خوبی در

* مسئول مکاتبه: sh.abbasi@ut.ac.ir

این زمینه است. علاوه بر این مولد کلیژن کارایی خوبی نیز برای تولید داده بارش کل ماهانه دارد. همچنین نتایج به‌دست آمده از ارزیابی کارایی کلیژن با ضریب نش- ساتکلیف نشان داد که به‌دلیل وجود ساختار تصادفی در تولید داده‌های اقلیمی، استفاده از این ضریب در ارزیابی نتایج مولدهای اقلیمی نتایج گمراه‌کننده‌ای به همراه خواهد داشت.
نتیجه‌گیری: هر چند نتایج حاصل از این مطالعه نشان‌دهنده کارایی قابل‌قبول کلیژن می‌باشند، اما با توجه به این‌که این مطالعه اولین مطالعه از نوع خود در سطح کشور ایران است و نیز طول دوره آماری مشاهداتی استفاده در این مطالعه تا حدی کوتاه بوده است، بنابراین تأیید نهایی کارایی این مولد به بررسی‌های بیش‌تر در ایستگاه‌های هواشناسی مختلف نیاز دارد.

واژه‌های کلیدی: مولد هواشناسی، کلیژن، آزمون آماری، حداکثر شدت بارش نیم‌ساعته، زنجیره مارکوف، زیدشت

مقدمه

داده‌های هواشناسی روزانه برای کاربردهای زیادی از قبیل طراحی ساختارهای هیدرولیکی، مطالعات هیدرولوژی حوزه آبخیز، تعیین تبخیر، ارزیابی وضعیت آلودگی‌ها در خاک، مدلسازی آب موجود در خاک و اجرای مدل‌های شبیه‌ساز، مورد نیاز می‌باشند. بسیاری از مدل‌ها برای ارزیابی تأثیرات هیدرولوژیکی، کشاورزی و اکولوژیکی به اطلاعات ورودی طولانی‌مدت و سری زمانی داده‌های هواشناسی روزانه نیاز دارند (۳۱). با این وجود مشاهدات هواشناسی با مشکلاتی از قبیل داده مفقود شده، مشاهدات نادرست، کامل نبودن داده‌ها، قابل دسترس نبودن و نیز فواصل زمانی زیاد در مشاهدات روبه‌رو هستند، به‌عنوان مثال داده بارش با فواصل زمانی یک‌روزه برای ارزیابی شاخص فرسایندگی باران مناسب نیست. علاوه بر این، هنوز هم مناطق بسیاری وجود دارند که فاقد ایستگاه هواشناسی برای ثبت داده‌ها می‌باشند (۹). ممکن است داده‌های ثبت شده طول کافی نداشته باشند و یا تنها اطلاعات ماهانه آن‌ها در دسترس باشد. بنابراین در زمینه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی کشاورزی، هیدرولوژی و اکوسیستم محدودیت‌های جدی وجود دارد (۱۲). بنابراین تولید داده اقلیمی روزانه درست برای برطرف کردن این قبیل نیازها، لازم است.

مولد اقلیمی تصادفی یک الگوریتم کامپیوتری است که از داده‌های هواشناسی موجود برای تولید سری‌های طولانی‌مدت داده هواشناسی روزانه ترکیبی استفاده می‌کند. انتظار می‌رود که مشخصات آماری داده تولیدشده با مشخصات آماری داده واقعی استفاده‌شده، مشابه باشد. بر خلاف داده‌های هواشناسی ثبت‌شده که ممکن است حاوی داده مفقود شده نیز باشند، خروجی‌های مولد اقلیمی یک سری کامل از داده‌های اقلیمی را برای دوره زمانی مورد نظر ارائه می‌کنند که استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک پیوسته را بهبود می‌بخشد (۱۴). علاوه بر این با استفاده از آمار داده‌های مشاهداتی، مولدهای هواشناسی تصادفی می‌توانند داده‌های هواشناسی را برای مناطقی با الگوهای هواشناسی مشابه تولید کنند. این دلیل استفاده گسترده از این مولدها می‌باشد (۴، ۹). یکی از کاربردهای مهم مولدهای اقلیمی، استفاده از آن‌ها به‌عنوان ابزار محاسباتی ارزان‌قیمت برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم چندین ساله در مقیاس زمانی روزانه است که برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده استفاده می‌شود (۱۷، ۲۸، ۳۰). پارامترهای مدل مولد اقلیمی می‌تواند به راحتی برای شبیه‌سازی تغییرات دلخواه در مقادیر میانگین و واریانس برای آنالیز حساسیت دست‌کاری شوند و یا برای تقلید از تغییرات در

میانگین و واریانس که توسط مدل‌های اقلیم جهانی (GCM_s) برای ارزیابی اثرات پیش‌بینی شده‌اند، عمداً تغییر داده شوند (۷).

امروزه مولدهای اقلیمی به‌طور گسترده‌ای توسط پژوهشگران مختلف و با اهداف متفاوت استفاده می‌شوند. مولدها ابزار قوی برای مطالعه و ارزیابی خطر تغییر اقلیم و بروز دوره‌های خشک، بارش‌های رگباری و وقوع سیلاب و نیز ابزارهای استانداردی برای سیستم‌های تصمیم‌گیری در بخش کشاورزی، مدیریت محیطی و هیدرولوژی محسوب می‌شوند (۱۳). نکته ضروری در استفاده از این مولدها اعتبارسنجی آن‌ها می‌باشد. آزمایش و اعتبارسنجی آن‌ها در موقعیت‌هایی متفاوت از منطقه توسعه، بسیار لازم و ضروری می‌باشد. در واقع داده اقلیمی روزانه تولیدشده برای یک منطقه باید ویژگی‌های آماری مشابهی با داده هواشناسی واقعی آن منطقه داشته باشد.

در طول این سال‌ها، چندین مولد اقلیمی توسعه داده شده است که می‌توان به مولدهایی از قبیل WGEN (۲۱، ۲۲)، USCLIMATE (۱۰)، CLIGEN (۲۰)، ClimGen (۲۴)، LARS-WG (۲۳) اشاره کرد. این مولدهای اقلیمی با استفاده از مشخصات آماری پایگاه داده هواشناسی کوتاه‌مدت موجود، داده‌های هواشناسی روزانه بلندمدت ترکیبی را تولید می‌کنند. کلیژن (۲۰) برنامه مستقلی است که فایل‌های ورودی اقلیمی را برای مدل WEPP تولید می‌کند. کلیژن، ابتدا برای مدل‌های EPIC[1] و SWRRB[2]، ایجاد شد و سپس در مدل‌های فرسایش WEPP و WEPS[3]، نیز به‌کار برده شد. کلیژن برای هر ایستگاه به متغیرهای هواشناسی ماهانه بلندمدت نیاز دارد تا با استفاده از آن‌ها و بر اساس توابع موجود در آن، متغیرهای هواشناسی روزانه را تولید کند. کلیژن تنها مولد اقلیمی است که می‌تواند الگوهای داخلی رگبار را که برای اجرای مدل‌های فرسایشی WEPP و WEPS نیاز هستند، تولید کند (۳۱). در واقع آن‌چه که در کلیژن در مقایسه با سایر مولدها منحصر به فرد است توانایی آن در تولید الگوهای رگبار (مدت رگبار، شدت پیک و زمان تا پیک) است. این مزیت برای بسیاری از کاربران مدل‌های هیدرولوژیک از قبیل WEPP، SWAT و RUSLE جذاب است، به‌دلیل این‌که شدت بارش درون‌رگباری برای فرآیندهای هیدرولوژیک و فرسایش بی‌نهایت مهم می‌باشد (۱۵). البته باید توجه داشت که در هنگام استفاده از کلیژن، باید کاربرد داده‌های حاصل از آن نیز در نظر گرفته شود. مثلاً اگر مدلی به شاخص‌های روزانه دو یا چند پارامتر تولیدشده با کلیژن حساس است، ممکن است کلیژن مناسب‌ترین مولد اقلیمی برای آن شرایط نباشد. دلیل این امر آن است که کلیژن برای هر روز معین، تابش خورشیدی و دمای بیشینه و کمینه را کاملاً مستقل از بارش تولید می‌کند، در حالی‌که تجربه نشان می‌دهد که این پارامترها مستقل از هم نیستند. بنابراین لازم است تا کارایی آن در منطقه مورد مطالعاتی و برای هدف مورد نظر ارزیابی شود.

امروزه به‌طور گسترده‌ای از مولدهای اقلیمی در سراسر جهان استفاده می‌شود. مطالعات زیادی در مورد ارزیابی و اعتبارسنجی کلیژن در داخل آمریکا (۱۱، ۱۳، ۲۰، ۲۶، ۲۹) و سایر کشورها (۵، ۸، ۹، ۱۵، ۱۶، ۲۵، ۲۷، ۳۰) انجام شده است. برای نمونه، کو و همکاران (۲۰۰۷) برای ارزیابی دقت داده‌های تولیدشده با کلیژن از داده‌های روزانه پنج ایستگاه با طول دوره آماری ۳۰ ساله استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده

1- Erosion Productivity Impact Calculator
2- Simulator for Water Resources in Rural Basins
3- Wind Erosion Prediction System

نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب این مولد در مورد میانگین پارامترها و عملکرد قابل‌قبول آن در مورد انحراف استاندارد پارامترهای تولیدشده بوده است (۱۵). فان و همکاران (۲۰۱۳) اعتبار داده‌های باران شبیه‌سازی‌شده با کلیژن را در شمال تایوان بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده اختلاف معنی‌داری را بین میانگین و پارامترهای توزیع مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی برای پارامترهای بارش یعنی مقدار بارش ماهانه، تعداد روزهای مرطوب در ماه، بارش در روز مرطوب برای هر ماه و انحراف استاندارد بارش روزانه در هر ماه نشان نداد. با این وجود، حداکثر شدت‌های پیک ۳۰-۵ دقیقه‌ای بیش از حد تخمین زده شده بودند (۹). چن و همکاران (۲۰۱۴) پنج مولد هواشناسی WGEN، ClimGen، Cligen، WeaGETS و LARSWG را در فلات لسی چین مقایسه نمودند. نتایج حاصله نشان داد که به‌طور کلی مدل WeaGETS نسبت به سایر مولدها عملکرد بهتری دارد. علاوه بر این، مولد کلیژن نیز در مورد وقایع حدی بارش عملکرد قابل‌قبولی داشته که برای مطالعات فرسایش خاک مناسب می‌باشد (۶). آل‌مختار و همکاران (۲۰۱۴) کارایی کلیژن را برای شبیه‌سازی داده بارش در حوزه آبخیز باوتزن[1] آلمان ارزیابی کرد. نتایج حاصله نشان داد که کلیژن می‌تواند به‌طور رضایت‌بخشی برای شبیه‌سازی بارش و پارامترهای الگوی رگبار استفاده شود (۱). اگرچه این مولد در بسیاری از نقاط جهان از جمله شمال آمریکا (۱۹)، استرالیا (۲۵، ۲۶) و آفریقا (۸) آزمایش شده است، اما هنوز نمی‌توان گفت که این مولد کاربردی جهانی دارد. بنابراین لازم است که قبل از استفاده در مکانی با اقلیمی منحصر به فرد، آزمایش شود (۱۵).

با توجه به ماهیت تصادفی‌بودن بسیاری از پدیده‌های طبیعی، بررسی نوسانات آن‌ها در طول زمان با استفاده از داده‌های طولانی‌مدت امکان‌پذیر است. کوتاه بودن طول دوره آماری در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور ایران از یک طرف و وجود گپ‌های اطلاعاتی در آمار این ایستگاه‌ها از طرف دیگر، استفاده از روش‌های آماری و به‌ویژه مولدها را برای تطویل آمار اجتناب‌ناپذیر می‌کند. بنابراین لازم است تا ابتدا کارایی، صحت و دقت داده‌های تولیدشده توسط مولدها مشخص شود. علاوه بر این ارزیابی بسیاری از مدل‌های شبیه‌ساز نیز به داده‌های طولانی‌مدت نیاز دارد. یکی از این مدل‌های فیزیکی پایه و پیچیده برای برآورد فرسایش و رسوب مدل WEPP می‌باشد. این مدل به سطح داده‌های بسیار 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 اقلیمی کلیژن استفاده می‌شود. با توجه به مشکلات کار با کلیژن در ایران از جمله کمبود داده و سختی محاسبه برخی از پارامترهای آن، تاکنون ارزیابی مدل WEPP با انتخاب ایستگاهی مشابه با منطقه مطالعاتی از آمریکا و اجرای کلیژن با ترکیبی از داده‌های منطقه مطالعاتی و ایستگاه مشابه از آمریکا صورت می‌گرفت. این پژوهش به دنبال اجرای کلیژن بدون استفاده از ایستگاهی مشابه از آمریکا و تنها با استفاده از داده‌های منطقه مطالعاتی مورد نظر است که گامی در جهت افزایش کارایی مدل WEPP در ایران می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش امکان‌سنجی اجرای مولد کلیژن با استفاده از داده‌های واقعی و برای اولین بار در کشور و ارزیابی صحت کلیژن می‌باشد که امکان ارزیابی واقعی مدل‌های فرسایشی فرآیند محور

1- Bautzen

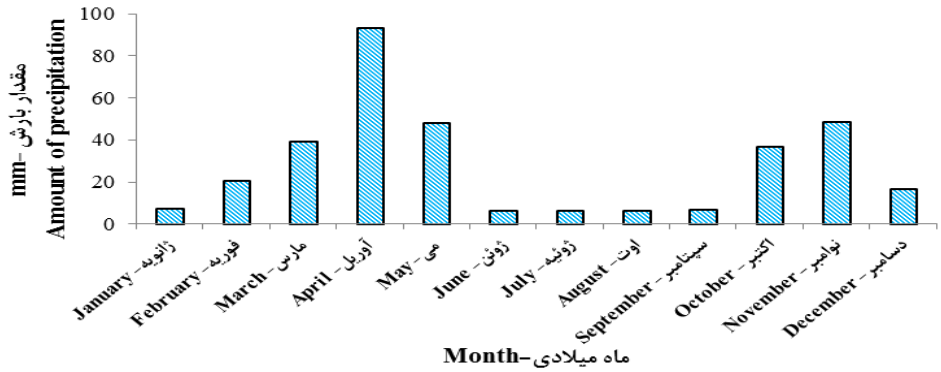
مانند WEPP و WEPS فراهم می‌کند. تولید این فایل برای ایستگاه‌های منتخبی که در واقع معرف شرایط اقلیمی ناحیه اقلیمی در برگیرنده می‌باشند، این امکان را ایجاد می‌کند تا پژوهشگرانی که برای ارزیابی مدل‌های فرسایشی نظیر WEPP و WEPS ناگزیر به تعیین ایستگاهی مشابه از آمریکا و استفاده از اطلاعات آن‌ها هستند، از فایل‌های تهیه‌شده برای ایستگاه‌های منتخب در داخل کشور استفاده کنند که سبب افزایش دقت مطالعات آن‌ها می‌شود.

مواد و روش‌ها

ایستگاه زیدشت: زیدشت یکی از روستاهای شهرستان طالقان در استان البرز بوده و از مراکز اصلی جمعیتی در این شهرستان می‌باشد. ایستگاه هواشناسی کشاورزی زیدشت به همراه بارانسنج ثبات نیز در شهرستان طالقان و در شمال‌غرب شهر کرج واقع شده است. این ایستگاه در مختصات طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی قرار داشته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۳۰ متر می‌باشد (شکل ۱). میانگین بارش سالانه (بارش مایع) در این ایستگاه برابر با 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 رخ می‌دهد، در حالی‌که بیش‌ترین حداکثر شدت نیم‌ساعته بارش مربوط به ماه ژوئن می‌باشد. میانگین تعداد روزهای مرطوب (بارش مایع بیش از ۰/۲ میلی‌متر) در ایستگاه زیدشت در دوره آماری موردنظر (۲۰۱۳-۲۰۰۲) ۵۶ روز می‌باشد. میانگین دمای بیشینه و کمینه نیز در این ایستگاه به‌ترتیب برابر با ۱۸/۱۵ و ۴/۶۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۷) (لازم به ذکر است که شبیه‌سازی پارامترهای بارش و دما در دو زیر مدل جداگانه در قالب مولد کلیژن انجام می‌شود). برای بقیه متغیرهای مورد نیاز مانند تابش خورشیدی، دمای نقطه شبنم، سرعت و جهت باد از نزدیک‌ترین ایستگاه به این منطقه یعنی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک طالقان استفاده شده است.

شکل ۱- موقعیت ایستگاه زیدشت در کشور.

Figure 1. Location of Zidasht station in Iran.



شکل ۲- میانگین ماهانه بارش در ایستگاه زیدشت.

Figure 2. Monthly Average of precipitation in Zidasht station.

روش کار: کلیژن برای هر ایستگاه به متغیرهای هواشناسی ماهانه بلندمدت شامل میانگین، انحراف معیار و ضریب چولگی عمق بارش، احتمالات روز مرطوب بعد از روز مرطوب و روز مرطوب بعد از روز خشک، میانگین، بیشینه و کمینه دمای هوا و انحراف معیار آن‌ها، حداکثر شدت بارش نیم‌ساعته، 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 نیاز دارد. علاوه بر این اطلاعات، این مولد به داده‌های حداکثر عمق بارش نیم‌ساعته و شش ساعته نیز نیاز دارد. این اطلاعات در قالب فایلی با فرمت PAR.* به کلیژن معرفی می‌شوند. با استفاده از این متغیرهای آماری ماهانه و توابع موجود در این برنامه، کلیژن توالی روزانه داده هواشناسی شبیه‌سازی شده را برای سال‌های مورد نظر، تولید خواهد کرد (شکل ۳). به‌عنوان نمونه، مقدار بارش بر اساس توزیع نرمال چوله محاسبه می‌شود. برای تخمین مدت بارش و شدت پیک رگبار به‌ترتیب از روش آرنولد و همکاران (۱۹۹۰) و آرنولد و ویلیامز (۱۹۸۹) استفاده می‌شود (۲، ۳). 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 کلیژن، 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 حالته مرتبه یک محاسبه می‌شوند و دو احتمال دیگر یعنی روز خشک بعد از روز مرطوب و روز خشک بعد از روز خشک در برنامه کلیژن 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 دو حالته مرتبه یک برای به‌دست آوردن احتمالات شرطی به‌صورت زیر می‌باشد:

$$P\left(\frac{W}{D}\right)=\alpha \qquad (۱)$$

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

$$P\left(\frac{D}{W}\right)=\beta \qquad (۳)$$

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

که در آن، W، D، $P\left(\frac{W}{D}\right)$، $P\left(\frac{D}{D}\right)$، $P\left(\frac{D}{W}\right)$ و $P\left(\frac{W}{W}\right)$ به‌ترتیب روز مرطوب، روز

خشک، احتمال روز مرطوب به روز خشک، روز خشک به روز خشک، روز خشک به روز مرطوب و روز مرطوب به روز مرطوب قبلی می‌باشند. برای به‌دست آوردن این احتمالات، چهار حالت تغییر وضعیت (مرطوب به خشک، خشک به خشک، خشک به مرطوب و مرطوب به روز مرطوب قبلی) در کل دوره آماری در نظر گرفته شده و سپس احتمال وقوع آن‌ها محاسبه شده است.

متغیر زمان تا حداکثر شدت بارش 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 (بهترین بازه زمانی برای محاسبه این متغیر، بازه ۱۵ دقیقه‌ای می‌باشد). 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.

$$k = D_p / (0.08333 D_e) \qquad (۵)$$

که در آن، k فاصله کلاس، D_p زمان تا پیک و D_e مدت مؤثر بارش است. توزیع تجمعی زمان تا پیک همه رگبارها در سال با جمع نسبت‌های تعداد رگبار در هر کلاس، ایجاد می‌شود:

$$Ak = \frac{N_k}{N} \qquad (۶)$$

که در آن، A_k فراوانی تجمعی برای هر فاصله ۱۲، ...،k=۲،۱ N_k تعداد رگبار با زمان تا پیک در فاصله مشخص و N تعداد کل رگبارهای ایستگاه اندازه‌گیری است. همچنین برای به‌دست آوردن متغیرهای حداکثر عمق بارش نیم‌ساعته و شش‌ساعته ابتدا بهترین توزیع آماری برای داده‌های موجود با استفاده از نرم‌افزار Easyfit تعیین شده و سپس مقادیر این پارامترها در ایستگاه زیدشت محاسبه شده است (شکل ۳).

پس از قرار دادن متغیرهای مورد نیاز در قالب فایل par.*، کلیژن اجرا شده و توالی داده‌های هواشناسی روزانه ۱۰۰ ساله تولید شده است. این توالی ۱۰۰ ساله برای بررسی پارامترهای مربوط به خصوصیات بارش به هشت توالی ۱۲ ساله و برای بررسی پارامترهای دمای بیشینه و کمینه به ۱۴ توالی هفت‌ساله تقسیم شده است. دلیل تقسیم توالی طولانی‌مدت به توالی‌های کوتاه‌تر به جای چند بار اجرای مولد برای تولید داده با طول آماری مورد نظر، این حقیقت است که کلیژن از تولیدکننده عدد شبه‌تصادفی استفاده می‌کند. اگر مقدار اولیه برای الگوریتم تولید عدد تصادفی در هر باری که کلیژن اجرا می‌شود تغییر نکند، توالی‌های یکسان تولید می‌شوند (۱۵). بنابراین پارامترهای آمار مجموعه‌های تولیدشده با آمار داده‌های واقعی مقایسه شده است.

در این مطالعه، برای مقایسه داده مشاهداتی و تولیدشده از آزمون t (t جفتی) استفاده شده است. سطح معنی‌داری نیز با مقدار P تعیین شده است. اگر P کم‌تر از مقدار آستانه باشد، دو مجموعه به‌صورت معنی‌داری 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 بنابراین چهار سطح اختلاف تعریف می‌شود: $P<0.01$: خیلی معنی‌دار (VSD)[1]، $0.01 \le P < 0.05$: معنی‌داری متوسط (MSD)[2]، $0.05 \le P < 0.1$: کمی معنی‌دار (SSD)[3] و $P \ge 0.10$: غیرمعنی‌دار (NSD[4])

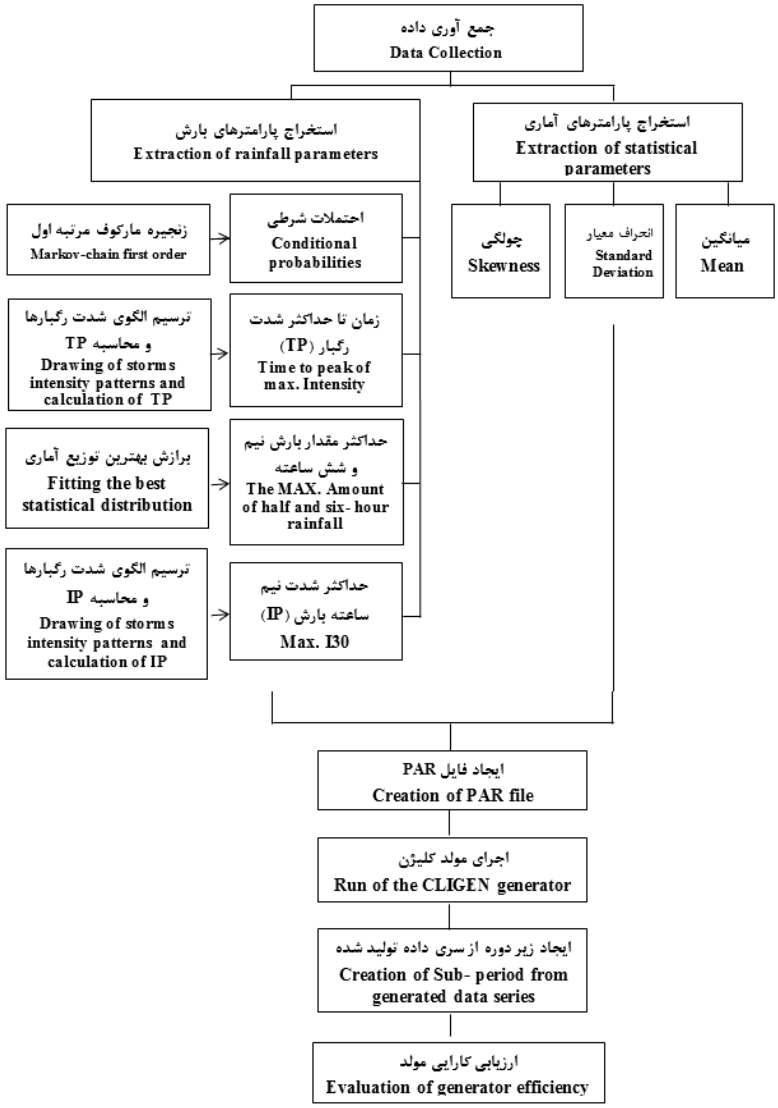
1- Very Significant
2- Moderately Significant
3- Slightly Significant
4- Not Significant

(۱۵). برای متغیرهای در نظر گرفته شده (مقدار بارش سالانه، مقدار بارش ماهانه، تعداد روز مرطوب سالانه، دمای بیشینه و دمای کمینه سالانه)، مقایسه مجموعه‌های داده تولیدشده و داده مشاهداتی انجام می‌شود. محاسبات آماری در این مطالعه با استفاده از بسته نرم‌افزار SPSS.16 انجام شده است.

علاوه بر این در این مطالعه از ضریب کارایی نش- ساتکلیف (E_{NS}) نیز برای ارزیابی کارایی مولد اقلیمی کلیژن استفاده شده است. در واقع هدف اصلی این کار سنجش امکان استفاده از این ضریب در ارزیابی کارایی این قبیل مولدهای تصادفی می‌باشد. این ضریب به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (۲۵):

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(o_i - \bar{o})^2} \qquad (۷)$$

که در آن، P_i و O_i مقادیر مشاهدشده و پیش‌بینی‌شده و $\bar{o}$ میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد. دامنه مقادیر ENS از $-\infty$ تا یک است که، مقدار یک کاملاً مناسب است.

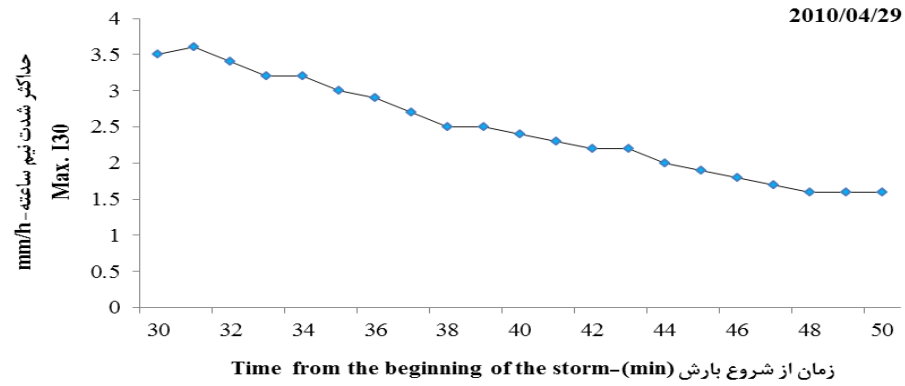


شکل ۳- نمودار جریانی روش کار در این پژوهش.

Figure 3. Flowchart of methodology in this study.

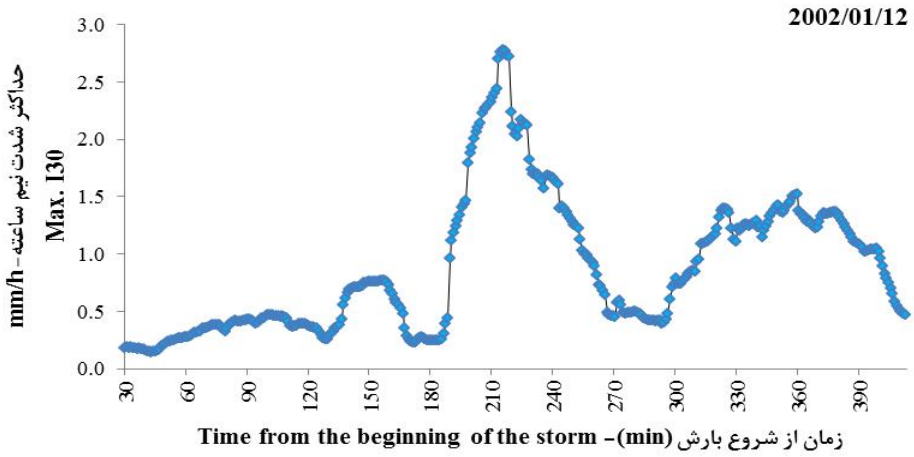
نتایج و بحث

یکی از پارامترهای کلیدی در تعیین فرساینده بودن یک رگبار زمان تا حداکثر شدت بارش می‌باشد. ممکن است دو رگبار با مشخصات مشابه ولی زمان تا حداکثر شدت بارش متفاوت نقش مختلفی در فرسایش و فرآیندهای هیدرولوژیک داشته باشند. سه نوع متفاوت الگوی رگبار در منطقه زیدشت در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است. هر یک از این رگبارها سبب بروز پاسخی متفاوت در حوزه آبخیز می‌شوند. در رگبار رخ داده در تاریخ ۲۰۱۰/۰۴/۲۹، شدت بارش در ابتدا زیاد بود و سپس کاهش یافته است، اما در رگبار رخ داده در تاریخ ۱۹۹۹/۱۲/۰۳ عکس این حالت وجود دارد و حداکثر شدت بارش در انتهای بارش به وقوع می‌پیوندد (شکل ۴). در رگبار نشان داده شده در شکل ۵ (رگبار تاریخ ۲۰۰۲/۰۱/۱۲) نیز حداکثر شدت بارش در بازه میانی بارش رخ می‌دهد. به‌طور کلی و بر اساس تقسیم‌بندی ارائه شده در برنامه کلیژن، رگبارهای رخ داده در ایستگاه زیدشت در ۱۲ کلاس قرار گرفته‌اند (شکل ۷). سپس پارامتر A_k تجمعی برای قرار دادن در فایل با فرمت *.par محاسبه شده است (جدول ۱).



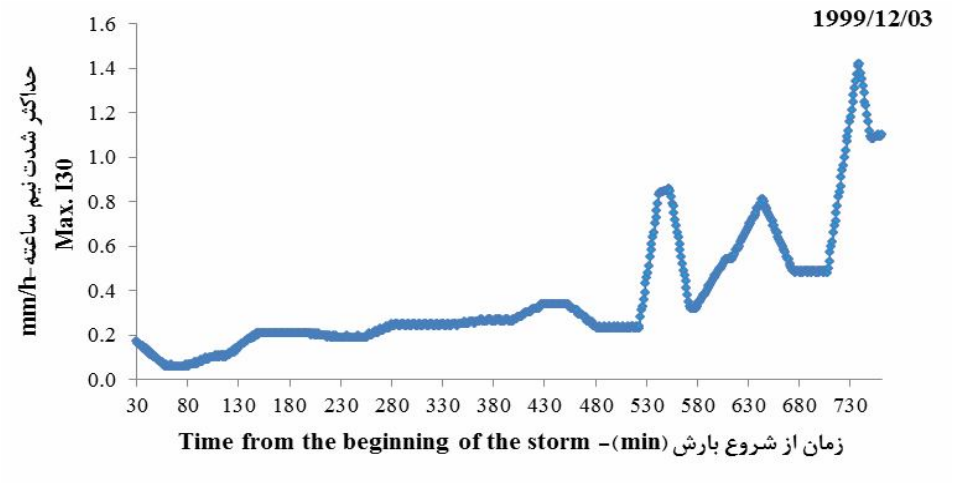
شکل ٤- الگوی شدت بارش- کلاس ۱.

Figure 4. Pattern of precipitation intensity-First class.



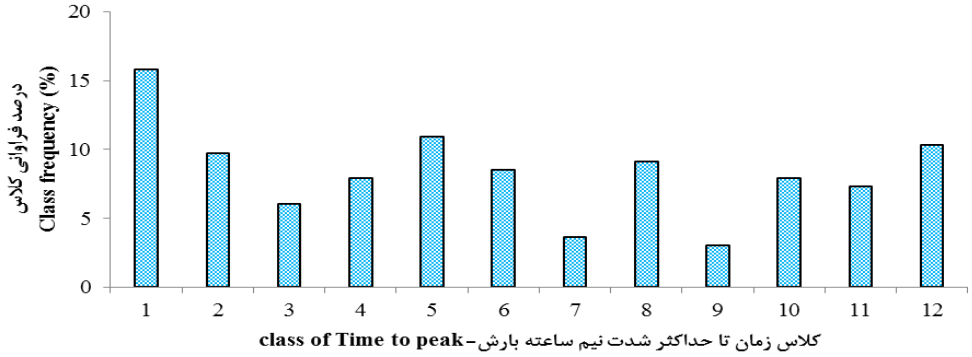
شکل ۵- الگوی شدت بارش- کلاس ٦.

Figure 5. Pattern of precipitation intensity-Sixth class.



شکل ٦- الگوی شدت بارش- کلاس ۱۲.

Figure 6. Pattern of precipitation intensity-Twelfth class.



شکل ۷- توزیع رگبارها بر اساس کلاس زمان تا حداکثر شدت.

Figure 7. Distribution of storms based on time to peak class of precipitation intensity.

جدول ۱- تفکیک رگبارها بر اساس کلاس‌های ۱۲ گانه در ایستگاه زیدشت.

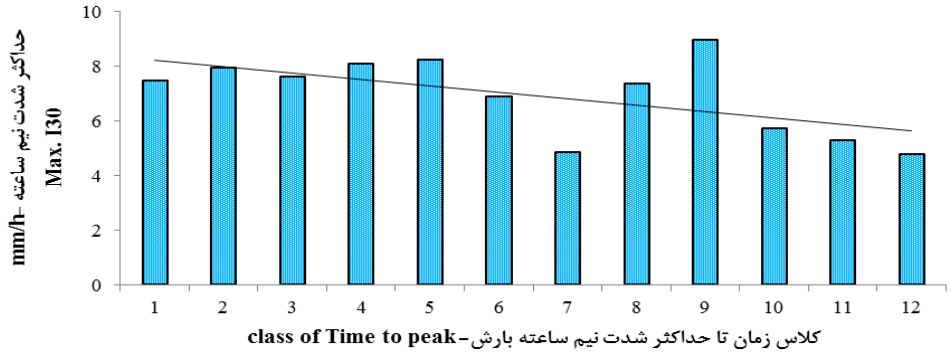
Table 1. Separation of event based on twelve classes in Zidasht station.

مجموع Sum	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	کلاس Class
165	17	12	13	5	15	6	14	18	13	10	16	26	Nk
-	1	0.90	0.82	0.74	0.71	0.62	0.59	0.50	0.39	0.31	0.25	0.16	Ak تجمعی Cumulative Nk

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که ۱۶ درصد از رگبارهای ثبت‌شده در ایستگاه زیدشت در فاصله زمانی یک‌دوازدهم مدت کل بارش به حداکثر شدت خود می‌رسند (شکل ۷). در واقع در این رگبارها حداکثر شدت در ابتدای بارش رخ می‌دهد. با این وجود در اکثر کلاس‌های باقی‌مانده پراکنش رگبارها تقریباً یکنواخت بوده است. وقوع حداکثر شدت در ابتدای بارش به‌خصوص در رگبارهای کوتاه‌مدت

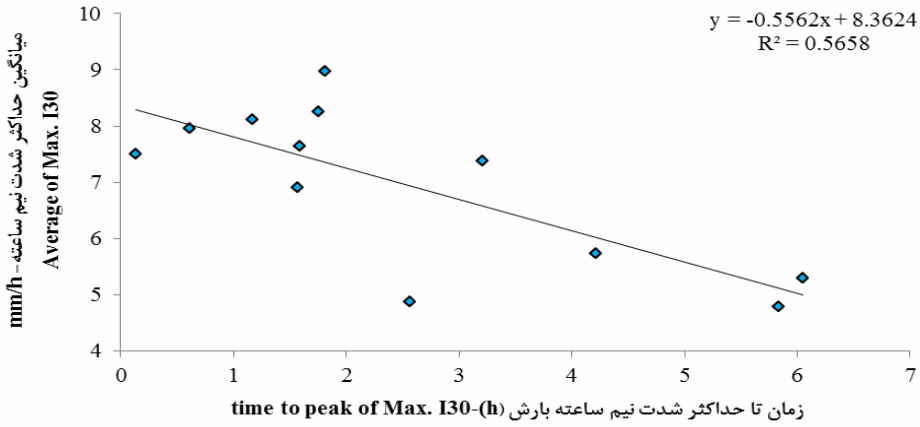
بارزتر است به‌طوری‌که ۲۶ درصد این رگبارهایی با مدت کم‌تر از سه ساعت که حدود ۴۰ درصد از کل رگبارهای رخ داده در طول دوره آماری را شامل می‌شوند، در کلاس یک قرار می‌گیرند (حدود ۶۹ درصد از رگبارهای کلاس یک). در حالی‌که تنها هفت درصد از رگبارهایی با مدت زمان بیش از سه ساعت در این کلاس قرار می‌گیرند. اما برعکس این حالت در رگبارهای کلاس دوازدهم دیده می‌شود. به‌طوری‌که مدت زمان بارش در ۶۵ درصد از رگبارهای این کلاس بیش از چهار ساعت است.

تغییرات متغیر حداکثر شدت نیم‌ساعته در طول کلاس‌های ۱۲ گانه نیز در شکل ۸ نشان داده شده است. صرف‌نظر از رگبارهای کلاس نهم که در منطقه مطالعاتی به‌طور متوسط کوتاه‌ترین مدت کل بارش و بالاترین حداکثر شدت نیم‌ساعته را دارند، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که همگام با افزایش شماره کلاس، روندی تقریباً معکوس در حداکثر شدت نیم‌ساعته بارش دیده می‌شود. به‌طوری‌که پایین‌ترین مقدار میانگین حداکثر شدت نیم‌ساعته مربوط به رگبارهای کلاس دوازدهم است. علاوه بر این، مدت زمان کل بارش در رگبارهایی که در کلاس‌های پایانی قرار می‌گیرند، بیش‌تر از رگبارهایی با مشخصه کلاس‌های ابتدایی است.



شکل ۸- تغییرات متغیر زمان تا حداکثر شدت نیم‌ساعته بارش در کلاس‌های ۱۲ گانه.

Figure 8. Changes of time to peak of Max. I30 variable in twelve classes.



شکل ۹- رابطه بین زمان تا حداکثر شدت نیم‌ساعته بارش با حداکثر شدت نیم‌ساعته بارش.

Figure 9. Relationship between time to peak of Max. I30 and Max. I30 in twelve classes.

رابطه بین حداکثر شدت نیم‌ساعته بارش و زمان تا حداکثر شدت بارش نیز در شکل ۹ نیز نشان داده شده است. رابطه معکوس و معنی‌داری در سطح پنج درصد بین حداکثر شدت نیم‌ساعته بارش و زمان تا حداکثر شدت بارش وجود دارد، یعنی با افزایش شماره کلاس رگبار، حداکثر شدت نیم‌ساعته بارش کاهش می‌یابد.

نکته دارای اهمیت دیگر، تغییرات دو متغیر حداکثر شدت نیم‌ساعته و زمان تا حداکثر شدت بارش در طول سال است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که رگبارهای رخ داده در ماه‌های مرطوب سال (ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، اکتبر، نوامبر و دسامبر) نسبت به رگبارهای رخ‌داده در ماه‌های خشک‌تر (ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر)، به‌طور میانگین دارای T_p بالاتر و I_{max30} کم‌تری هستند. در واقع این خصوصیت در ارتباط با مدت کل بارش نیز می‌باشد. به‌طوری‌که میانگین مدت کل بارش در رگبارهای ماه‌های خشک در منطقه مطالعاتی در حدود ۱/۶۷ ساعت می‌باشد در حالی‌که این مقدار برای ماه‌های مرطوب در حدود ۵/۰۷ ساعت است.

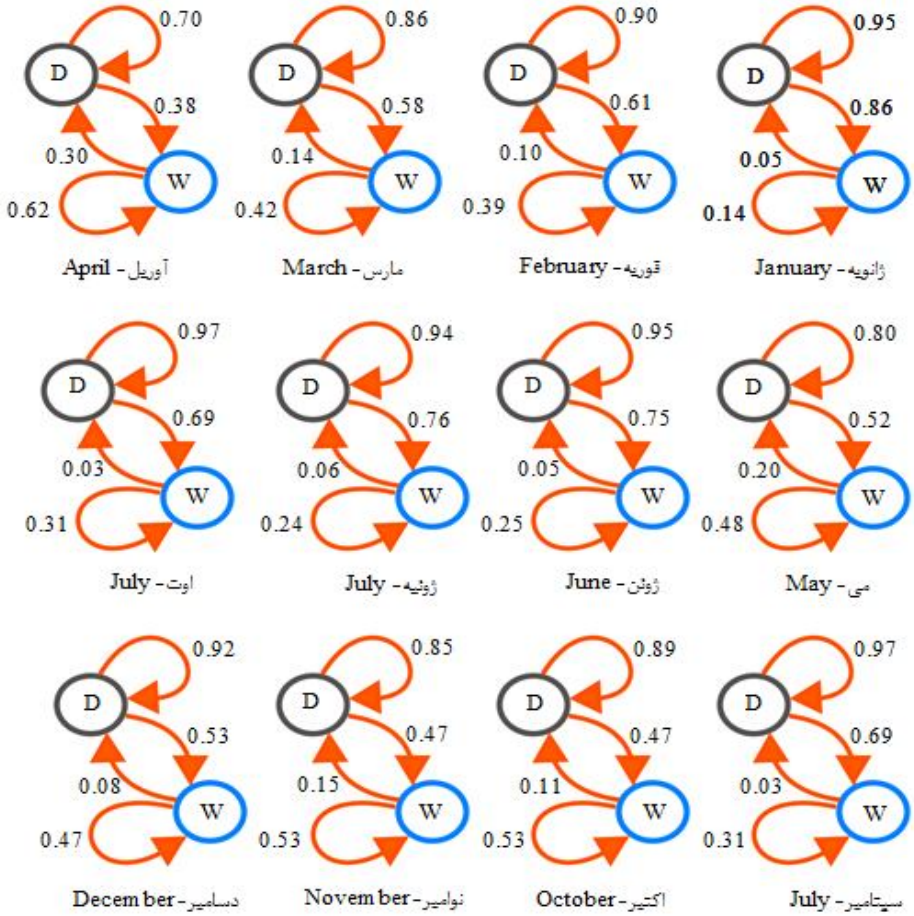
توالی روزهای خشک و مرطوب نیز از دیگر مشخصه‌های مهم بارش می‌باشد. نتایج احتمالات انتقال چهارگانه W/W، D/W، W/D و D/D در هر ماه برای تعیین روز وقوع بارش که بر اساس زنجیره مارکوف مرتبه یک برای ایستگاه زیدشت محاسبه شده در جدول ۲ ارائه شده است. نمودار تغییر وضعیت این احتمالات نیز ترسیم شده و در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که احتمال این‌که بعد از یک روز خشک (بدون بارش) یک روز خشک دیگر رخ دهد در تمام ماه‌ها بیش‌ترین مقدار است. در ماه‌های پر بارش یعنی ماه‌های ۵-۱ (ژانویه تا می) و ۱۲-۱۰ (اکتبر تا نوامبر)، احتمال این‌که بعد از روز مرطوب (روز همراه با بارش)، روز مرطوب دیگری رخ دهد بالاتر بوده و نشان‌دهنده این است که در منطقه زیدشت بارش بیش‌تر به‌صورت وقایع پشت سر هم رخ داده و احتمال فرسایش را افزایش می‌دهد.

مقادیر مربوط به سایر متغیرها نیز محاسبه شده و به‌صورت شکل ۱۱ در قالب فایل zidasht.par قرار گرفته است.

جدول ۲- احتمال حالت‌های وقوع بارش بر اساس زنجیره مارکوف مرتبه اول به تفکیک ماه.

Table 2. Probability of occurrence status of precipitation based on Markov-chain first order at each month.

ماه Month / حالت انتقال Transmission state	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W/W	0.14	0.39	0.42	0.62	0.48	0.25	0.24	0.31	0.31	0.53	0.53	0.47
D/W	0.86	0.61	0.58	0.38	0.52	0.75	0.76	0.69	0.69	0.47	0.47	0.53
W/D	0.05	0.10	0.14	0.30	0.20	0.05	0.06	0.03	0.03	0.11	0.15	0.08
D/D	0.95	0.90	0.86	0.70	0.80	0.95	0.94	0.97	0.97	0.89	0.85	0.92



شکل ۱۰- تغییر وضعیت احتمالات وقوع بارش بر اساس زنجیره مارکوف مرتبه اول به تفکیک ماه.

Figure 10. Change status of occurrence of precipitation based on Markov-chain first order at each month.

```
zidasht IRN                                   999999 0
LATT=  36.06 LONG=  50.69 YEARS= 20. TYPE= 3
ELEVATION = 6201. TP5 = 0.86 TP6= 1.33
MEAN P    0.16  0.22  0.25  0.29  0.20  0.15  0.10  0.23  0.22  0.25  0.26  0.18
S DEV P   0.21  0.30  0.29  0.37  0.22  0.25  0.12  0.29  0.17  0.35  0.32  0.24
SKEW  P   2.20  2.33  2.26  2.52  2.30  4.01  2.61  2.49  1.07  3.61  2.11  4.32
P(W/W)    0.14  0.39  0.42  0.61  0.48  0.25  0.24  0.31  0.31  0.53  0.53  0.47
P(W/D)    0.05  0.10  0.14  0.30  0.20  0.05  0.06  0.03  0.03  0.11  0.15  0.08
TMAX AV  40.83 43.24 53.86 62.72 72.05 83.32 90.18 87.81 80.50 67.60 51.00 46.09
TMIN AV  20.35 23.59 31.96 39.80 47.33 53.66 58.94 57.20 52.19 42.42 32.18 25.00
SD TMAX   7.95  8.07  9.73  7.61  7.00  6.44  4.48  4.87  5.52  8.60  8.40  7.09
SD TMIN   9.67  8.81  8.60  6.53  4.91  4.60  4.94  3.81  4.92  5.96  6.20  6.60
SOL.RAD 588.0 626.0 634.0 604.0 561.0 549.0 550.0 597.0 640.0 651.0 600.0 572.0
SD SOL    16.4  17.0  22.1  31.8  38.8  37.6  39.4  31.8  21.5  11.8  15.8  17.6
MX .5 P   0.18  0.21  0.22  0.27  0.32  0.71  0.37  0.41  0.29  0.26  0.29  0.23
DEW PT   16.91 22.61 24.87 31.08 37.13 42.26 47.04 42.77 39.84 33.85 28.03 20.58
Time Pk  0.158 0.225 0.315 0.394 0.503 0.588 0.624 0.715 0.745 0.824 0.897 1.000
% N       1.08  0.00  0.00  0.00  1.08  0.00  0.00  1.08  1.11  0.00  0.00  0.00
MEAN      1.85  0.00  0.00  0.00  1.85  0.00  0.00  3.60  2.88  0.00  0.00  0.00
STD DEV   0.13  0.00  0.00  0.00  0.05  0.00  0.00  0.05  0.08  0.00  0.00  0.00
SKEW     -1.48  0.00  0.00  0.00  -.11  0.00  0.00  -.05  -.02  0.00  0.00  0.00
% NNE     2.15  2.35  0.00  2.22  1.08  3.33  0.00  1.08  0.00  1.08  1.11  2.15
MEAN      0.41  0.41  0.00  2.57  2.06  2.19  0.00  2.26  0.00  1.21  2.67  3.19
STD DEV   0.05  0.02  0.00  0.31  0.06  0.66  0.00  0.06  0.00  0.34  0.07  0.51
SKEW      1.73  1.73  0.00  0.02  0.12 -1.55  0.00  -.17  0.00  1.72  -.45  0.00
% NE      3.23  2.35  0.00  2.22  0.00  0.00  0.00  0.00  1.11  0.00  1.11  0.00
MEAN      1.51  2.47  0.00  2.26  0.00  0.00  0.00  0.00  0.82  0.00  0.41  0.00
STD DEV   0.66  1.44  0.00  0.62  0.00  0.00  0.00  0.00  0.04  0.00  0.03  0.00
SKEW      1.55  0.00  0.00  0.02  0.00  0.00  0.00  0.00  -.23  0.00  -.15  0.00
```

شکل ۱۱- بخشی از فایل zidasht.par.

Figure 11. Part of Zidasht.par file.

نتایج حاصل از مقایسه متغیرهای تولیدشده با کلیژن یعنی مقدار بارش سالانه، تعداد روز مرطوب سالانه، دمای بیشینه و دمای کمینه سالانه با داده‌های واقعی برای هر یک از زیر دوره‌های ۱۲ ساله برای بارش و تعداد روز مرطوب و زیر دوره‌های هفت‌ساله برای دمای کمینه و بیشینه با استفاده از آزمون t (t جفتی) در چهار سطح اختلاف در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین سالانه متغیرهای مشاهداتی و تولیدشده با کلیژن.

Table 3. Comparison between means of yearly variables observed data and CLIGEN generated data.

NSD	SSD	MSD	VSD	Difference level / Variable	سطح اختلاف / متغیر
8	0	0	0	Yearly total precipitation	بارش کل
8	0	0	0	Number of wet day	تعداد روز مرطوب
14	0	0	0	Max. temperature	دمای بیشینه
14	0	0	0	Min. temperature	دمای کمینه

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود میانگین مشاهداتی و تولیدشده چهار متغیر سالانه در نظر گرفته شده (بارش کل، تعداد روز مرطوب، دمای بیشینه و دمای کمینه) انطباق بسیار خوبی با یکدیگر داشتند و در هیچ‌یک از گروه‌ها اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشته است که تأییدکننده کارایی مولد کلیژن در تولید این متغیرها می‌باشد. پژوهشگران مختلف مانند الیوت و آرنولد (۲۰۰۱)، کو و همکاران (۲۰۰۷)، ساویگلیون و همکاران (۲۰۱۳)، فان و همکاران (۲۰۱۳)، چن و همکاران (۲۰۱۴)، آل‌مختار و همکاران (۲۰۱۴) نیز در بررسی‌های خود کارایی این مولد را به‌خصوص در مورد مقادیر میانگین متغیرهای اقلیمی تأیید کرده‌اند (۱، ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۵).

به‌علت اهمیت متغیر بارش به‌خصوص در مطالعات مربوط به فرسایش، این متغیر در مقیاس ماهانه نیز مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در همه ماه‌ها به‌جز ماه نوامبر، میانگین‌های مشاهداتی و تولیدشده انطباق بسیار خوبی با یکدیگر داشته و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود ندارد. با این وجود در ماه یازدهم یعنی ماه نوامبر میانگین تنها یک گروه از داده‌های تولیدشده در گروه سطح اختلاف SSD قرار گرفته است. در این گروه میانگین بارش تولیدشده مقداری کم‌تر از میانگین بارش مشاهداتی است. به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده در مقیاس سالانه و ماهانه کارایی این مولد پیچیده را در تولید متغیرهای در نظر گرفته شده تأیید می‌کند.

جدول ٤- مقایسه میانگین ماهانه مقدار بارش مشاهداتی و تولیدشده با کلیژن.

Table 4. Comparison between means of monthly total observed precipitation and CLIGEN generated data.

NSD	SSD	MSD	VSD	Difference level / Month	سطح اختلاف / ماه میلادی
8	0	0	0	January	ژانویه
8	0	0	0	February	فوریه
8	0	0	0	March	مارس
8	0	0	0	April	آپریل
8	0	0	0	May	می
8	0	0	0	June	ژوئن
8	0	0	0	July	ژوئیه
8	0	0	0	August	اوت
8	0	0	0	September	سپتامبر
8	0	0	0	October	اکتبر
7	1	0	0	November	نوامبر
8	0	0	0	December	دسامبر

همچنین نتایج حاصل از ارزیابی کارایی این مولد با استفاده از ضریب نش- ساتکلیف مبین این است که رفتار مولد در تولید داده‌ها از روند یکسانی برخوردار نیست. در واقع ضریب نش- ساتکلیف هرچه به‌سمت یک میل کند بیانگر دقت بهتر مدل است. مقادیر صفر آن نشان‌دهنده این است که مدل در برآورد مقادیر میانگین دارای کارایی است و مقدار منفی آن نیز بیانگر این است که واریانس مقادیر باقی‌مانده بیش‌تر از مقادیر واقعی است. در این پژوهش در مجموع مقدار شاخص مذکور به‌سمت صفر میل می‌کند و این نشان‌دهنده این است که مدل در بیان مقادیر میانگین دارای دقت مناسبی است اما مقادیر حدی را نمی‌تواند نشان دهد (جدول ۵). این یافته مشابه نتایج مقایسه میانگین‌ها است که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر میانگین داده‌های تولیدی و مشاهداتی وجود نداشته است. همچنین با توجه به این‌که در این مطالعه برای مقایسه داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده زیر دوره‌های هشت‌ساله برای متغیرهای مربوط به بارش و زیر دوره‌های ۱۴ ساله برای متغیرهای دما به‌طور تصادفی انتخاب شده‌اند، بنابراین به‌دلیل تصادفی بودن روند تولید داده در این مولدهای اقلیمی ضرایبی مانند نش- ساتکلیف که بر مبنای مقایسه داده مشاهداتی و تولیدشده برای یک زمان مشابه می‌باشند ضرایب مناسبی نیستند، به‌طوری‌که در پژوهش‌های انجام شده قبلی نیز (۱، ۶، ۹، ۱۵، ۱۶) برای ارزیابی کارایی مولدهای اقلیمی از روش آزمون مقایسه میانگین‌ها استفاده شده است. علت این امر در واقع نامعلوم بودن داده هم‌تراز با داده مشاهداتی در طول دوره آماری تولیدشده می‌باشد. بنابراین در این موارد استفاده از آزمون‌های مقایسه میانگین نتایج مطمئن‌تری به همراه خواهد داشت.

جدول ۵- ارزیابی کارایی مولد کلیژن با استفاده از ضریب کارایی نش- ساتکلیف.

Table 5. Evaluation of efficiency of CLIGEN generator by Nash- Sutcliffe coefficient.

14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Group / Variable	گروه / متغیر
						-1.02	-1.12	-1.25	-01.4	-0.56	-0.75	-1.06	-0.84	Yearly total precipitation	بارش کل
						-1.88	-1.18	-1.59	0.02	-1.05	-0.72	-1.11	-0.13	Number of wet day	تعداد روز مرطوب
-0.12	-0.06	-0.23	-0.36	-0.37	0.08	-0.27	0.003	-0.18	-0.11	-0.12	-0.31	-0.06	0.04	Max. temperature	دمای بیشینه
0.004	-0.24	-0.2	-0.44	-0.5	0.27	-0.29	0.08	-0.59	0.13	-0.003	-0.17	0.13	0.07	Min. temperature	دمای کمینه
									بارش ماهانه						
						-0.43	-0.27	-0.28	-1.81	-0.74	-0.38	-1.17	-2.47	January	ژانویه
						0.26	-0.29	-0.38	-0.26	-1.37	-0.04	0.05	-0.07	February	فوریه
						-2	-1.39	-0.17	-0.42	-2.82	-0.1	-0.35	-0.93	March	مارس
						-0.01	-0.52	-0.88	-0.73	-0.76	-2.56	-1.83	-0.86	April	آپریل
						-1.95	-1.71	-0.91	-0.28	-0.56	-0.93	-0.57	0.12	May	می
						-0.49	0.27	0.41	-0.93	-2.39	-0.84	0.12	0.11	June	ژوئن
						-1.32	-0.92	-0.63	-0.38	-1.85	-0.63	0.37	-0.49	July	ژوئیه
						-1.25	-0.24	-2.09	-0.88	-0.36	-1.99	0.17	-0.37	August	اوت
						-0.09	-0.47	-0.59	-0.53	-0.93	-0.52	-0.13	-0.02	September	سپتامبر
						-0.41	-0.17	-2.1	-0.58	-0.59	0.15	-1.16	0.23	October	اکتبر
						-3.53	-2.73	-0.73	-2.34	-2.14	-1.02	-4.67	-5.99	November	نوامبر
						-0.5	-0.46	-0.45	-2.23	-0.43	-1.24	-0.48	-0.62	December	دسامبر

نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارایی مولد کلیژن در ایستگاه زیدشت استان البرز بررسی شده است. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده کارایی بسیار خوب این مولد در تولید داده‌های بارش کل سالانه، بارش کل ماهانه، تعداد روز مرطوب سالانه، میانگین دمای کمینه و دمای بیشینه سالانه است. علاوه بر این استفاده از چند سطح اختلاف بر اساس مقادیر P (۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱) امکان ارائه اطلاعات دقیق‌تر در مورد ارزیابی کلیژن را فراهم می‌کند. در واقع استفاده از مقدار منفرد P کافی نبوده و نسبت به تشخیص تفاوت‌های ظریف موجود بین داده مشاهداتی و تولیدشده حساس نمی‌باشد. همچنین نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که به‌علت وجود ساختاری تصادفی در تولید داده‌های اقلیمی توسط مولدهای اقلیمی در هنگام ارزیابی کارایی آن‌ها با استفاده از ضرایبی مانند نش- ساتکلیف مدل تنها قادر خواهد بود داده‌هایی در محدوده میانگین را بازنمایی کند. بنابراین استفاده از ضریب نش- ساتکلیف می‌تواند در ارزیابی نتایج مولدهای اقلیمی نتایج گمراه‌کننده‌ای به همراه داشته باشد.

نتایج مثبت این مطالعه می‌تواند سبب تسهیل استفاده از این مولد در منطقه مطالعاتی شود. همچنین با توجه به این‌که اکثر مدل‌های هیدرولوژیک به داده‌های هواشناسی مفصلی نیاز دارند، این مولد می‌تواند سبب تسهیل در استفاده از این گونه مدل‌ها شود. علاوه بر این، داده‌های تولیدشده با این مولد در پیچیده‌ترین مدل فرسایش و رسوب یعنی مدل WEPP استفاده می‌شود. تأیید کارایی این مولد امکان بررسی دقیق‌تر مدل WEPP را نیز فراهم می‌کند. البته عامل محدودکننده در استفاده از این مولد پیچیده، نوع داده‌های مورد نیاز و سختی به‌دست آوردن آن‌ها می‌باشد. همین امر سبب شده است تا در اکثر مطالعات انجام شده در کشور با مدل WEPP، برای تولید فایل اقلیمی و به‌خصوص برای متغیرهای مربوط به بارش یعنی زمان تا حداکثر شدت از ایستگاه‌هایی از کشور آمریکا به‌عنوان ایستگاه کمکی استفاده شود. به‌نظر می‌رسد که با توجه به اهمیت الگوهای بارش و پارامتری مانند T_p در تعیین فرساینده بودن رگبارها که از عوامل اصلی وقوع فرسایش می‌باشد، استفاده از ایستگاه مشابه بدون در نظر گرفتن متغیرهای مؤثر در تعیین فرسایندگی باران (T_p، I_{max30} و احتمال وقوع بارش) تا حدی گمراه‌کننده بوده و نتایج به‌دست آمده از مدل فرسایشی WEPP نیز قابل اعتماد نخواهد بود. بنابراین در این راستا پیشنهاد می‌شود که با توجه به پهنه‌بندی اقلیمی کشور، در هر اقلیم ایستگاهی معرف انتخاب شده و فایل پارامتری PAR.* برای آن ایستگاه ایجاد شود. در این صورت نیازی به ارجاع به ایستگاه‌های آمریکا برای اجرای مدل WEPP نخواهد بود. البته لازم به ذکر است که هر چند نتایج به‌دست آمده کارایی این مولد را در تولید داده‌های در نظر گرفته شده، تأیید می‌کند، اما با توجه به این‌که این مطالعه اولین مطالعه از نوع خود در سطح کشور ایران می‌باشد و با توجه شرایط اقلیمی بسیار متنوع در سطح کشور، تایید نهایی کارایی این مولد به بررسی‌های بیش‌تر در ایستگاه‌های هواشناسی مختلف نیاز دارد. علاوه بر این، افزایش طول دوره آماری مشاهداتی، صحت داده‌های تولیدشده با این مولد را افزایش خواهد داد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی با عنوان "امکان‌سنجی 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. بنابراین مؤلفین مراتب سپاسگزاری خود را از حوزه معاونت پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران اعلام می‌دارند.

منابع

1.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.

2.Arnold, J.G., and Williams, J.R. 1989. Stochastic generation of internal storm structure. Trans. ASAE. 32: 1. 161-166.

3.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, 236p.

4.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.

5.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. Campina Grande June 2013.

6.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. Inter. J. Climatol. 34: 10. 3089-3105.

7.Chen, J., Brissette, F.P., and Leconte, R. 2010. A daily stochastic weather generator for preserving low-frequency of climate variability. J. Hydrol. 388: 480-490.

8.Elliot, W.J., and Arnold, C.D. 2001. Validation of the weather generator CLIGEN with precipitation data from Uganda. Trans ASAE. 44: 1. 53-58.

9.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.

10.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.

11.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.

12.Hoogenboom, G. 2000. Contribution of agro-meteorology to the simulation of crop production and its applications. Agric. For. Meteorol. 103: 137-157.

13.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: 1. 1878-1896.

14.Kevin, M., Ramesh, R., John, O., Imran, A., and Bahram, G. 2005. Evaluation of weather generator ClimGen for southern Ontario. Can. Water Resour. J. 30: 4. 315-330.

15.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. J. Hydrol. 347: 347-357.

16.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.

17.Minville, M., Brissette, F., and Leconte, R. 2008. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. J. Hydrol. 358: 70-83.

18.Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles. J. Hydrol. 10: 3. 282-290.

19.Nicks, A.D., and Gander, G.A. 1994. CLIGEN: a weather generator for climate inputs to water resources and other models, P 903-909. In: D.G. Watson, F.S. Zazueta and T.V. Harrison (Eds.), Proceedings of fifth International Conference on Computer in Agriculture. ASAE, St. Joseph, MI.

20.Nicks, A.D., Lane, L.J., and Gander, G.A. 1995. Chapter 2. Weather Generator, P2.1-2.22 In: D.C. Flanagan 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.

21.Richardson, C.W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. Water Resources Research. 17: 182-190.
22.Richardson, C.W., and Wright, D.A. 1984. WGEN: A model for generating daily weather variables. US Dept. Agric., Agricultural Research Service. Publ. ARS-8.
23.Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 2002. LARS-WG, A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, User Manual.
24.Stockle, C.O., Campbell, G.S., and Nelson, R. 1999. ClimGen Manual. Biological Systems Engineering Department, Washington State University, Pullman, WA.
25.Vaghefi, P., and Yu, B. 2016. Use of CLEGEN to simulated decreasing precipitation trends in the Southwest of Western Australia. Transactions of the ASABE. 59: 1. 49-61.
26.Yu, B. 2000. Improvement and evaluation of CLIGEN for storm generation. Trans. ASAE. 43: 2. 301-307.
27.Yu, B. 2005. Adjustment of CLIGEN parameters to generate precipitation change scenarios in southeastern Australia. Catena. 61: 196-209.
28.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.
29.Zhang, X.C., and Garbrecht, J.D. 2003. Evaluation of CLIGEN precipitation parameters and their implication on WEPP runoff and erosion prediction. Trans. ASAE. 46: 311-320.
30.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.
31.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.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(2), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Evaluation of efficiency of Cligen Generator for producing of climate data for using in WEPP model (Case study: Zidasht station, Alborz province)

A.A. Nazari Samani[1] and *Sh. Abbasi Jondani[2]

[1]Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran,
[2]Ph.D. Student, Dept. of Watershed Management Science and Engineering, University of Tehran
Received: 07/12/2015; Accepted: 12/09/2015

Abstract

Background and Objectives: Hydrological models have been distinguished as a useful requirement for managing of natural resource over the past decades. However, these models need to various input climate data (i.e., solar radiation, wind speed, temperature, precipitation, soil water content, streamflow) at a different temporal scales (e.g. daily, hourly). Normally in many regions of the world physically based models are suffering from lake of environmental data. Many climate stations have very limited records as well as missing data in a continuous time series. Therefore, the users of hydrological models try to use the weather generators to produce the massive climate data from the short-term local observations records through statistical approaches. The generators are widely used to produce the long synthetic weather series through using of statistical parameters corresponding to those of the recorded data faced to lake of sufficient data. CLIGEN (CLImate GENerator) is a stochastic weather generator to simulate 10 meteorological variables, such as daily precipitation, storm duration, storm intensity, solar radiation, maximum and minimum daily temperature and wind velocity and direction. CLIGEN has primarily been used to provide climate input for WEPP, WEPS and ANSEWRS models. In this research we tried to examine and assess the capability of CLIGEN for regenerate the climate data in the Zidasht station located in central Elburz of Iran.

Materials and Methods: To create the CLIGEN file the required monthly average data for precipitation such as liquid precipitation, probability of a wet day following a wet day, probability of a wet day following a dry day, maximum daily 30 minute liquid precipitation intensity, time to peak of rainfall intensity in 12 class were collected from 2002-2013 of recorded database, while other variables (max. and min, temperature, solar radiation, dew point temperature, wind velocity and direction in 16 direction) were collected from 2007-2013 of Zidasht station. The time to peak and intensity of rain storm was calculated by analysis of 165 storms. Finally, t student distribution and R^2 were applied to compare the differences between observed weather data and CLIGEN generated data. Also, Nash-Sutcliffe coefficient has been used for evaluating of efficiency of CLIGEN.

Results: The results showed no significant difference between observed and generated values ($P<1\%$) for all of considered variables namely total annual precipitation, number of rainy days, maximum and minimum temperature. Infacts the ability of CLIGN for average parameters are very well. Moreover, the efficiency of CLIGEN for generating of the monthly total precipitation is well. Also the obtained result from evaluation efficiency of CLIGEN by Nash-Sutcliffe coefficient showed that due to the random structure of climate data production, using of this coefficient for evaluation of result of climate generator will have misleading results.

Conclusions: Findings revealed that using of short local climate data to generate the long appropriate weather data file needed for WEPP model is better than of using the similar station from data base of WEPP. However, considering of short time series and climate variability more researches are needed to elucidate the goodness of CLIGEN under Iran condition.

Keywords: Weather generator, CLIGEN, Efficiency coefficient, Mean maximum 30 minute precipitation intensity, Markov chain, Zidasht

* Corresponding Author; Email: sh.abbasi@ut.ac.ir