

ارزیابی روش شبیه‌سازی تصادفی برای تولید داده‌های هواشناسی

کاظم نصرتی* - دانشجوی دکترای دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی

غلامرضا زهتابیان - استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

اسحق مرادی - استادیار جغرافیای طبیعی دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران

افسانه شهبازی - دانشجوی دکترای دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

دریافت مقاله: ۱۳۸۴/۳/۴ | نایب مقاله: ۸۵/۹/۲۹

چکیده

داده‌های تاریخی هواشناسی بلند مدت، برای به کارگیری مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان لازم و ضروری می‌باشند. داده‌های شبیه‌سازی شده زمانی استفاده می‌شوند که داده‌های تاریخی موجود نبوده و یا قابل اعتماد نمی‌باشند و یا اینکه داده‌های آتی مورد نیاز می‌باشند. برای شبیه‌سازی می‌توان از روش‌های تصادفی که فقط از میانگین‌های بلند مدت اقلیمی استفاده می‌کنند و یا از روشهای غیر تصادفی که بر اساس مقدار یک متغیر و البته، مقدار متغیر مورد نظر را تخمین می‌زنند، استفاده کرد. هدف از این مطالعه شبیه‌سازی تصادفی دماهای بیشینه و کمینه بود و از یک مولد هواشناسی به نام ClimGen برای تولید داده‌های دما استفاده شد. تولید داده‌های دما برای ۱۰ ایستگاه هواشناسی ایران با شرایط اقلیمی متفاوت صورت گرفت و از داده‌های تاریخی ثبت شده در ایستگاه‌های فوق برای بررسی نتایج حاصل استفاده شد. در نهایت از سنجش آماری مانند جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای تقریبی (MBE) و همچنین ضریب همبستگی (R)، شیب (b) و عرض از مبدأ خط رگرسیون برای مقایسه داده‌های تولید شده و داده‌های تاریخی استفاده شد. بر اساس سنجش‌های فوق، مقادیر شبیه‌سازی شده و تاریخی دارای توافق خوبی با هم بودند.

کلید واژه‌ها: مولد هواشناسی، ClimGen، دماهای بیشینه و کمینه

مقدمه

داده‌های معتبر و متوالی هواشناسی (به ویژه بارش، درجه حرارت و تابش خورشیدی) از ورودی‌های اساسی بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیک، اکوژیک و کشاورزی می‌باشند. در بسیاری از موارد داده‌های موجود از تداوم قابل ملاحظه‌ای در ورودی مدل برخوردار نمی‌باشند، لذا به شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی نیاز می‌باشد، تا به توان خلاء آماری در داده‌های تاریخی را پر کرد. با توجه به پدیده‌هایی مانند تغییر اقلیم، توسعه روش‌های شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی لازم می‌باشد (تیلور^۱، ۱۹۷۲، ۲۴۸-۲۶۰). دو نوع اساسی از مولدهای داده‌های

Email: K_Nosrati@sbu.ac.ir

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۱-۲۹۹۰۱

¹ Taylor

هواشناسی وجود دارد که عبارتند از: ۱- مولدهای ریچاردسون^۱ (ریچاردسون، ۱۹۸۱، ۱۸۲-۱۹۰) ریچاردسون و رایت^۲، (۱۹۸۴) و ۲- مولدهای ترتیبی^۳ (راسکو^۴ و همکاران، ۱۹۹۱، ۲۷-۴۱) سیمنوف^۵ و همکاران، ۱۹۹۸، ۹۵-۱۰۷). در مولدهای نوع ریچاردسون (مانند WGEN) از فرآیند زنجیره مارکوف استفاده می‌شود که دو دوره مرطوب و خشک مشخص می‌شود و نمی‌توان توالی دوره خشک و مرطوب را مشخص نمود اما در نوع ترتیبی سعی می‌شود تا ترتیب روزهای خشک و مرطوب مدلسازی گردد. مولدهای هواشناسی^۶ که عموماً با مدل‌های شبیه‌سازی رشد و دیگر مدل‌های گیاهی استفاده می‌شوند، دامنه کاربرد وسیعی در کشاورزی یافته‌اند. این مولدها می‌توانند برای بازسازی و پر کردن خلاء آماری داده‌ها، تولید داده‌های در مناطق بدون ایستگاه و یا برای شبیه‌سازی داده‌ها برای زمان‌های آتی به کار گرفته شوند (ماوروماتیز و هانس^۷، ۲۰۰۱، ۲۸۳-۲۹۶).

تا کنون مولدهای مختلفی ارائه شده است که از جمله این مولدهای هواشناسی می‌توان به WGEN، WeatherMan، TAMSIM، SIMMETEO و ClimGen اشاره کرد. تکنیکی که در مولد ClimGen به منظور تولید داده‌های درجه حرارت حداقل و حداکثر به کار می‌رود، مانند مولد WGEN است و بر این فرض است که درجه حرارت فرآیندی است که به طور ضعیف تحت تاثیر ایستگاه^۸ است (ماتالاس^۹، ۱۹۶۷). همچنین بریستو و کمبل^{۱۰} (۱۹۸۴، ۱۵۹-۱۶۶) نشان دادند که تفاوت بین حداکثر و حداقل درجه حرارت روزانه با مقدار انرژی تابش خورشیدی همبستگی دارد، بنابراین می‌توان بر اساس این رابطه هر کدام از این متغیرها را برآورد نمود. جنگ^{۱۱} و همکاران (۱۹۸۶، ۳۶۳-۳۷۶) معادلات رگرسیونی را برای برآورد احتمالات انتقالی، در مولد ClimGen مورد استفاده قرار دادند. این احتمالات می‌تواند به طور مستقیم از داده‌های روزانه (چنانچه طول دوره آماری بیش از ۲۰ سال باشد) تعیین شوند. در مولد ClimGen چنانچه یک روز مرطوب رخ دهد، این مولد تابع توزیع احتمال ویبول را برای تولید داده‌ها به کار می‌برد (سلکر و هایتر^{۱۲}، ۱۹۹۰، ۲۷۳۳-۲۷۴۰).

میانگین دمای هوا در سطح زمین و تغییرات آن نمودی از تغییرات اقلیمی است که تقریباً تمامی نظریه‌های تغییر اقلیم به نوعی از آن یاد می‌کنند. با بررسی روند تغییرات دمای هوا می‌توان تغییرات اقلیمی را ردیابی نمود. از جمله کاربردهای مهم این مولدها استفاده از آن‌ها برای بررسی سناریوهای مختلف تغییر اقلیم و تأثیر آن بر پوشش‌های گیاهی است. ویلکز (۱۹۹۲، ۶۷-۴۸) و ویلکز و ویلبای^{۱۳} (۱۹۹۹، ۳۲۹-۳۵۷) روشی را برای استفاده

2- Richardson
2 - Richardson and Wright
4- Serial
4 - Racsko
5 - Semenov
1 - Weather Generators
2 - Mavromatis and Hansen
8- Weakly Stationary
9 - Matalas
10 - Bristow and Campbell
11 - Geng
12 - Selker and Haither
13 - Wilks and Wilby

از سناریوهای تغییر اقلیم با مولدهای هواشناسی WGEN تشریح نمودند. پاول و ولتزین^۱ (۲۰۰۰، ۲۰۰۵-۲۲۰)، خشکسالی؛ و کلی و هولم^۲ (۱۹۹۳، ۷-۱)، بیابان‌زایی ناشی از تغییر اقلیم را با استفاده از روش های تولید داده‌های اقلیمی آتی برآورد نموده اند. سلطانی و همکاران (۲۰۰۰، ۱-۱۲)، WGEN را برای شبیه سازی پارامترهای مختلف هواشناسی از جمله دماهای ماکزیمم و می نیمم در ایستگاه تبریز به کار بردند. آن ها از میانگین های ۳، ۵، ۷ و ۱۰ ساله برای اجرای شبیه سازی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که استفاده از میانگین های بلند مدت نتایج بهتری را حاصل می کند. آن ها هم چنین نتیجه از یک مدل رشد برای گیاه نخود جهت بررسی نتایج استفاده کردند و گزارش کردند که نتایج حاصل با استفاده از داده های تاریخی و شبیه سازی شده دارای تفاوت معنی دار می باشند. مرادی و نصرتی (۲۰۰۲، ۲۴۶-۲۵۱)، ClimGen را برای شبیه سازی دماهای ماکزیمم و می نیمم و همچنین تابش خورشید در چند ایستگاه ایران بکار بردند و گزارش کردند داده های شبیه سازی شده برای دما دارای توافق خوبی با داده های واقعی می باشند ولی در مورد داده های تابش این توافق وجود ندارد. مینک و همکاران (۱۹۹۵، ۲۲۵-۲۷۱)، WGEN و TAMSIM را برای شبیه سازی دما و تابش در استرالیا بکار بردند و نتیجه گرفتند که داده های تولید شده برای مناطق معتدله نسبت به داده های تولید شده برای ایستگاه های واقع در مناطق مرطوب حاره دارای توافق بهتری با داده های واقعی می باشند.

WGEN یک مولد کاملاً شناخته شده است که در بسیاری از مناطق دنیا کارکرد آن بررسی شده و ClimGen نیز در واقع نسخه بهبود یافته WGEN می باشد که همراه با مدل CROPSYST یا به صورت جداگانه عرضه می شود. هدف از این مطالعه استفاده از روش ClimGen برای شبیه سازی دماهای ماکزیمم و می نیمم در ایران بوده است.

مواد و روش ها

معرفی ClimGen

روش استفاده شده در ClimGen برای شبیه سازی دمای ماکزیمم و دمای می نیمم هوا شبیه روش مورد استفاده در WGEN بوده و بر این فرض استوار است که دما یک فرآیند تصادفی است. این روش دماهای ماکزیمم و می نیمم را به عنوان فرآیندهای تصادفی چندگانه در نظر می گیرد که میانگین و انحراف استاندارد آن هاتوسط وضعیت بارندگی (تر یا خشک) مشخص می شود. سری های زمانی باقیمانده های دماهای ماکزیمم و می نیمم به وسیله انتقال میانگین های دوره ای و تأثیر انحراف استاندارد بدست می آیند (ریچاردسون، ۱۹۸۱، ۱۸۲-۱۹۰).

مؤلفه های باقیمانده ها $X_{p,i}$ برای متغیر Z (ماکزیمم یا می نیمم دما) به صورت زیر محاسبه می شوند:

1 - Paul and Weltzin

2 - Kelly and Hulme

1 - Meinke

معادله (۱)

$$X_{p,i}(j) = [X_{p,i}(j) - \bar{X}_i^0(j)] / (S_i^0) \quad Y_{p,i} = 0$$

و یا

$$X_{p,i}(j) = [X_{p,i}(j) - \bar{X}_i^1(j)] / (S_i^1) \quad Y_{p,i} > 0$$

که در آن ها \bar{X}_i^0 میانگین و S_i^0 انحراف معیار برای یک روز خشک ($Y_{p,i} = 0$) و \bar{X}_i^1 میانگین و S_i^1 انحراف معیار برای یک روز تر ($Y_{p,i} > 0$) می باشند. سپس مدل حاصل برای تولید سری‌های باقیمانده ها به صورت زیر در می آید:

$$X_i(j) = AX_{i-1}(j) + Be_i(j) \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن $X_i(j)$ و $X_{i-1}(j)$ به ترتیب ماتریس‌های (2×1) برای روزهای i و $i-1$ هستند و عناصر آن ها مانده های دمای ماکزیمم ($j=1$) و ($j=2$) می باشند.

e_j ماتریس 2×1 ، مؤلفه های تصادفی مستقل که دارای توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف استاندارد واحد هستند. A و B ماتریس‌های 2×2 هستند که عناصر آن ها به گونه ای تعریف می شوند که توالی های جدید دارای ضرایب دوره ای و همبستگی مطلوب هستند.

سر انجام، مقادیر شبیه سازی شده برای دماهای ماکزیمم و یا می نیمم توسط ضرب عنصر مانده تولید شده معادله (۲) در انحراف استاندارد و اضافه نمودن میانگین محاسبه می شود:

$$t_i = X_i \times S(i) + M(j) \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن، t_i مقدار شبیه سازی شده برای دمای ماکزیمم ($j=1$) و یا دمای می نیمم ($j=2$)، $S_i(j)$ انحراف استاندارد برای روز i و $M_i(j)$ میانگین روز مورد نظر است (استوکل و نیلسون، ۲۰۰۱).

داده های تاریخی

ده ایستگاه سینوپتیک ایران، با داده های اقلیمی با مقیاس زمانی روزانه و با دوره آماری ۲۱ سال (۱۹۷۵-۱۹۹۵) برای این مطالعه به کار گرفته شدند. ایستگاه ها در مناطق اقلیمی مختلف انتخاب شدند تا نتایج حاصل قابل گسترش به سایر نقاط ایران نیز باشند. جدول (۱)، ایستگاه های مورد مطالعه با میانگین های اقلیمی آن ها برای پارامترهای مهم هواشناسی را نشان می دهد.

جدول ۱ میانگین‌های اقلیمی پارامترهای مهم هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	دمای حداکثر	دمای حداقل	بارش
بوشهر	۲۸/۹۵	۵۰/۸۵	۸/۴	۲۷/۷	۲۱/۱	۲۶۱/۲
اصفهان	۳۲/۶۷	۵۱/۸۷	۱۶۰۰/۷	۲۳/۲	۹	۱۲۱/۱
مشهد	۳۶/۲۷	۵۹/۶۳	۹۹۰	۲۰/۹	۶/۷	۲۵۹/۳
تبریز	۳۸/۰۸	۴۶/۲۳	۱۳۶۱	۱۷/۸	۶/۷	۳۰۱
تهران	۳۵/۶۸	۵۱/۳۲	۱۱۹۰	۲۲/۵	۱۱/۵	۲۳۰/۲
شیراز	۲۹/۳۳	۵۲/۳۶	۱۴۸۸	۲۵/۵	۹/۵	۳۴۴/۲
کرج	۳۵/۵۵	۵۰/۵۴	۱۳۱۲/۵	۲۰/۸	۸/۲	۲۴۵/۸
کرمانشاه	۳۴/۱۹	۴۷/۷	۱۳۲۲	۲۲/۳	۵/۶	۴۵۶/۸
همدان	۳۵/۱۲	۴۸/۴۳	۱۶۷۹/۷	۱۹	۲/۸	۳۳۹
یزد	۳۱/۵۴	۵۴/۲۴	۱۲۳۰/۲	۲۶/۳	۱۱/۴	۶۲/۷

روش‌های آماری مقایسه نتایج

از سنجه‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)^۱ و میانگین خطای اریبی (MBE)^۲ برای مقایسه نتایج استفاده شده است:

معادله (۴):

$$RMSE = \left\{ \left[\sum (C_i - M_i)^2 \right] / n \right\}^{1/2}$$

$$MBE = \left[\sum (C_i - M_i) \right] / n$$

که در آن C_i ، M_i ، i امین مقدار محاسبه شده به وسیله مدل و M_i ، i امین مقدار اندازه‌گیری شده بر روی سطح شیدار و n شمار کل مشاهدات می‌باشند. هر چه مقدار RMSE و $|MBE|$ (قدر مطلق MBE) کمتر باشند دقت مدل بالاتر است. مقادیر مثبت MBE نشان دهنده آنست که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل بیشتر از مقادیر واقعی و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده آنست که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل کمتر از مقادیر واقعی می‌باشند. روش دیگر مقایسه نتایج دو مدل استفاده از رگرسیون ساده خطی بین مقادیر واقعی و مقادیر محاسبه شده است. اگر خط رگرسیون به صورت $C_i = bM_i + a$ تعریف شود، هر چه ضریب همبستگی (R) بالاتر و عرض از مبدأ (a) و شیب خط رگرسیون (b) به ترتیب به صفر و یک نزدیکتر باشند دقت مدل بالاتر است.

نتایج

سنجه‌های آماری شامل RMSE، MBE، شیب خط رگرسیون (b)، عرض از مبدأ (a) و ضریب همبستگی (R) بین مقادیر واقعی و برآورد شده در جدول (۲) آمده‌اند. آزمون آماری t - تست معنی دار بودن ضرایب همبستگی را با سطح اعتماد ۹۹ درصد تأیید می‌نماید.

2 - Root Mean Square Error

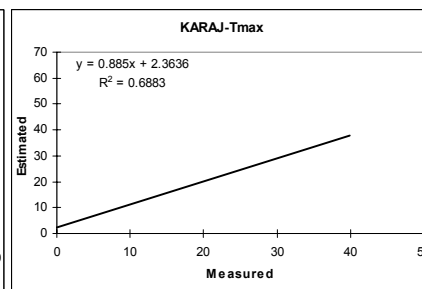
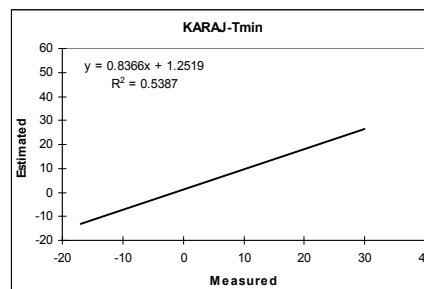
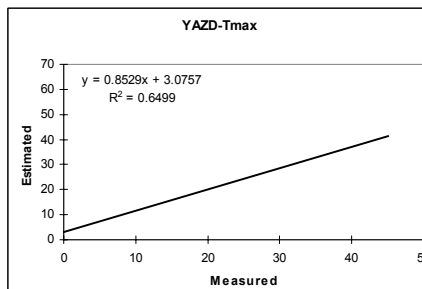
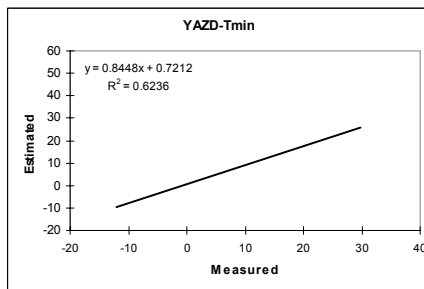
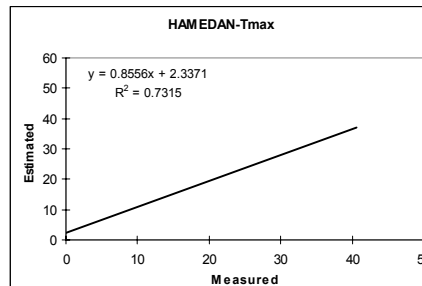
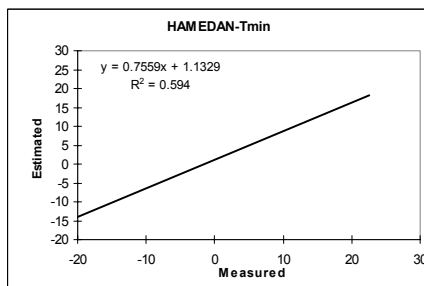
3 - Mean Bias Error

همچنین قابل مشاهده است که در مورد تمام ایستگاه‌ها مقادیر $|MBE|$ برای دمای حداقل به طور قابل ملاحظه ای از مقادیر $|MBE|$ برای دمای حداکثر بیشتر بوده اند. به طوریکه میانگین $|MBE|$ برای دماهای حداقل ۱/۱ و برای دماهای حداکثر ۰/۴۵۱ بوده است. MBE به طور کلی بیانگر خطای مدل در کوتاه مدت می باشد. ولی مقادیر میانگین RMSE دماهای حداکثر و حداقل (بترتیب برابر ۶/۴۶ و ۶/۴۲) اختلاف چندانی با هم نداشته‌اند. یعنی در دراز مدت برای میانگین‌ها شبیه سازی دماهای ماکزیمم و مینیمم نتایج نسبتاً یکسانی را حاصل می کنند. شکل (۱) رگرسیون خطی بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده را نشان می دهد. بر اساس شکل (۱) و جدول (۲)، ملاحظه می شود که در مورد دماهای حداکثر ضرایب رگرسیون به عدد یک نزدیکتر می باشند. ولی در مورد عرض از مبدأ مقادیر مربوط به دمای حداقل به صفر نزدیکتر می باشند. مقادیر میانگین نیز بیان کننده این مطالب هستند. شکل (۲) با استفاده از مدل به کار برده شده دو مورد پیش‌بینی را نشان می‌دهد که با مقادیر مشاهده شده مقایسه شده است. چنانچه مشاهده می‌شود با ضریب تبیین بیشتر از ۰/۸ مقادیر داده از همبستگی بالایی برخوردار می‌باشد.

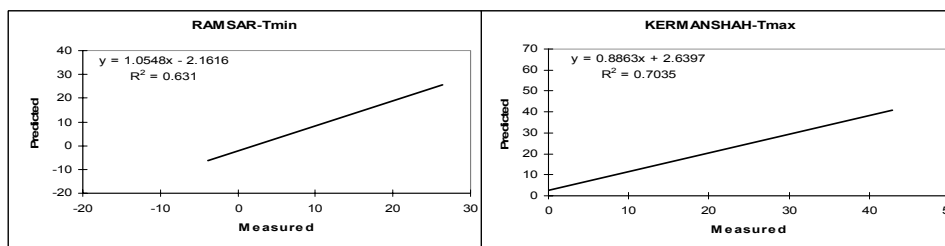
جدول ۲ سنجه‌های آماری بین مقادیر واقعی و برآورد شده در ایستگاه‌های منتخب

پارامتر	ایستگاه	N	b	a	R	RMSE	MBE
دمای حداکثر	بوشهر	3617	0.75	5.4	0.62	5.55	-2.17
	اصفهان	3643	0.86	3.27	0.68	6.36	0.05
	مشهد	3652	0.79	4.1	0.59	7.77	-0.42
	تبریز	3630	0.89	1.85	0.72	6.82	-0.03
	تهران	2632	0.9	2.3	0.61	6.8	0.05
	شیراز	3617	0.74	6.83	0.71	7.81	0.22
	کرج	2631	0.89	2.36	0.83	6.67	0.19
	کرمانشاه	3647	0.89	2.64	0.66	6.62	0.09
	همدان	3650	0.86	2.34	0.85	3.63	-0.47
	یزد	3643	0.85	3.08	0.81	6.55	-0.82
میانگین ایستگاه‌ها	3436	0.85	3.45	0.77	6.26	0.451	
دمای حداقل	بوشهر	3617	0.87	3.85	0.68	4.76	1.48
	اصفهان	3643	0.02	8.4	0.01	6.12	-1.33
	مشهد	3652	0.81	-0.52	0.52	7.27	-2.31

تبریز	3630	0.87	0.23	0.63	6.58	-0.74
تهران	2631	0.88	0.3	0.61	6.93	-1.28
شیراز	3617	0.74	1.85	0.66	6.96	-0.87
کرج	2631	0.84	1.25	0.74	6.50	0.72
کرمانشاه	3647	0.73	1.09	0.84	6.86	0.59
همدان	3650	0.76	1.13	0.77	5.94	0.63
یزد	3643	0.84	0.72	0.79	6.31	-1.12
میانگین ایستگاه‌ها	3436	0.78	1.21	0.76	6.51	1.1



شکل ۱ رگرسیون خطی بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده در برخی ایستگاه‌ها



شکل ۲- مقادیر پیش‌بینی شده در دو ایستگاه و مقایسه آن با مقادیر مشاهده شده

بحث

نرم افزار ClimGen برای شبیه سازی دماهای حداقل و حداکثر بکار گرفته شد. عملکرد این نرم افزار برای شبیه سازی این پارامترها در ۱۰ ایستگاه کشور با اقلیم نسبتاً متفاوت بر اساس شاخص های آماری مورد بررسی قرار گرفت. برخی از سنج‌ها مناسب بودن این مدل را برای دمای حداقل و برخی دیگر مناسب بودن آن را برای شبیه سازی دماهای حداکثر نشان می دهند. ولی در کل نتایج حاصل برای هر دو پارامتر رضایت بخش بوده و این مدل می تواند برای پر کردن خلاء های آماری ایستگاه های موجود، یا شبیه سازی دماهای ماکزیمم و می نیمم در مناطقی که فاقد داده بلندمدت و یا این که کلاً فاقد آمار می باشند مورد استفاده قرار گیرد.

از دیگر استفاده های این مدل به کارگیری آن برای شبیه سازی دماهای حداقل و حداکثر بر اساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم می باشد که با استفاده از نتایج حاصل می توان به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی و منابع طبیعی و بویژه پوشش گیاهی کشور پرداخت.

منابع

- 1- Bristow, K.L. and Campbell, G.S., 1984. On the Relationship between incoming Solar Radiation and Daily Maximum and Minimum Temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 31:159-166.
- 2- Geng, S., Penning De Vries, F.W., and Supit, I, 1986. A Simple Method for Generating Daily Rainfall Data. *Agricultural and Forest Hydrology* 36:363-376.
- 3- Kelly M. and Hulme M. 1993. Desertification and climate change. *Tiempo* 8: 1-7.
- 4- Matalas, N.C, 1967. Mathematical assessment of synthetic hydrology, *Water Resources Research* 3(4).
- 5- Mavromatis, T., and J. W. Hansen, 2001. Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. *Agr. For. Meteorol.* 109: 283-296.
- 6- Meinke, H., P. S. Carberry, M. R. McCaskill, M.A. Hills, and I. McLeod, 1995. Evaluation of radiation and temperature data generators in the Australian tropics and sub-tropics using crop simulation models. *Agr. For. Meteorol.* 104: 225-271.
- 7- Moradi, I., Nosrati, K., 2002. Evaluation of stochastic simulation methods for generating meteorological data. *Proceeding of 3th International Iran and Russia Conference Agriculture and Natural Resources, Moscow.* 246-251
- 8- Paul J. H., and J. F. Weltzin, 2000. Drought disturbance from climate change: response of United States forests. *The Science of the Total Environment* 262: 205-220.

- 8- Racsco, P., Szeidl, L. and Semenov, M.A. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling* 57: 27-41.
- 9- Richardson, C.W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. *Water Resources Research* 17: 182-190.
- 10- Richardson, C.W. and Wright, D.A. 1984. WGEN: a model for generating daily weather variables. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8, 83pp.
- 11- Selker, J.S. and Haither, D.A., 1990. Development and Testing of Single-Parameter Precipitation Distributions. *Water Resources Research* 26(11):2733-2740.
- 12- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. and Richardson, C.W. 1998. Comparison of WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research* 10: 95-107.
- 13- Soltani, A., Latifi, N., Nasiri, M., 2000. Evaluations of WGEN for generating long term weather data for crop simulation. *Agric. for Meteorol.* 102: PP: 1-12.
- 14- Stockle, C. O., and R. L. Nelson, 2001. ClimGen – Climatic data Generator, user's manual.
- 15- Taylor, C. J., 1972. A stochastic model of temperature variations at weather stations in Britain *Applied Statistics*, 21(3): 248-260.
- 16- Wilks, D.S. 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Climatic Change* 22: 67-84.
- 17- Wilks, D.S. and Wilby, R.L. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography* 23: 329-357.