معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۶۱)

ایمان باباثیان [۱]، زهرا نجفی نیک [۲]

(تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۸۵/۷/۳۰)

چکیده

علیرغم افزایش قابل ملاحظه دقت مدل های عددی گردش عمومی جو و مدل های منطقه ای، تاکنون هیچکدام از آنها قادر به پیش بینی در مقیاس ریز و در حد ایستگاههای هواشناسی نیستند. به این منظور مدلهای مختلف آماری و دینامیکی برای شبیه سازی و ریزمقیاس نمایی خروجی مدلهای GCM [۳] و RCM [۴] ابداع شده اند. همچنین آنها قادر به شبیه سازی داده های گم شده در ایستگاههای هواشناسی هستند. در این مقاله، ابتدا بررسی مختصری بر روی انواع مدلهای متداول Weather Generator انجام خواهد شد و سپس با تاکید بر مدل LARS-WG قدرت آن در همانند سازی داده های دوره آماری، مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد. ارزیابی بر روی چهار ایستگاه سینوپتیک استان خراسان (قبل از تقسیم) شامل مشهد، بیرجند، سبزوار و تربت حیدریه انجام شده است. مقایسه نتایج حاصل از مقادیر دیدبانی و مدل سازی شده چهار پارامتر بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش ماهانه همراه با مقادیر انحراف معیار آنها نشان می دهد که بیشترین خطا مربوط به مدل سازی بارش روزانه می باشد. علاوه بر این نتایج نشان می دهند که LARS-WG با دقت بالایی قادر به مدل سازی پارامترهای دمای حداقل وحداکثر است و قدرت مدل درپوشش واریانس پارامترهای مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۵ درصد قابل قبول می باشد. نتایج شهودی و آماری حاکی از قدرت بسیار خوب آن در شبیه سازی داده های دوره آماری است، به طوریکه بیشترین خطای مدل سازی بارش در ایستگاههای تربت حیدریه ۰/۶ میلیمتر، دمای حداقل در ایستگاه سبزوار ۰/۹ درجه، دمای حداکثردر ایستگاه بیرجند ۱/۹ درجه وتابش ۰/۷ مگاژول بر مترمربع بر روز در ایستگاههای بیرجند و تربت حیدریه در دوره

۱ و۲- پژوهشکده اقلیم شناسی، گروه پژوهشی اقلیم شناسی کاربردی

1. Global Circulation Model
2. Regional Climate Model

آماری بوده است. بنابراین مدل LARS-WG می تواند به عنوان یک مدل ارزیابی کننده اقلیم آتی در چهار ایستگاه یاد شده مورد استفاده قرار گیرد. برای این کار لازم است با استفاده از خروجی مدل های اقلیمی یک سناریوی اقلیمی متناسب تهیه و سپس آن را براساس سناریوی تهیه شده اجرا کرد.

کلمات کلیدی: مدل های GCM، ریزمقیاس نمایی، مدل Weather Generator، سناریوی اقلیمی، LARS-WG.

مقدمه

اخیرا قدرت تفکیک مدلهای گردش عمومی و منطقه ای افزایش پیدا کرده است، ولی هیچیک از این مدل ها نمی توانند آب و هوای واقعی را در مقیاس منطقه ای و یا کوچکتر برآورد یا پیش بینی کنند. مدل های مصنوعی مولد پارامتر های هواشناسی (Weather Generator) مدل هایی هستند که خروجی مدل های عددی گردش عمومی جو را با استفاده از روش های آماری به نحوی ریزمقیاس می نمایند که به مقدار واقعی در مقیاس ایستگاهی بسیار شباهت دارد. برای این کار ابتدا همبستگی آماری بین خروجی مدل های گردش عمومی جو در گذشته با داده های دوره آماری ایستگاه هواشناسی واقع در شبکه مدل اقلیمی بدست آمده و سپس این همبستگی به دوره مورد مطالعه در آینده تعمیم داده می شود. برای ارزیابی قدرت مدل های WG[1]، داده های تولیدی توسط آن با داده های دوره آماری مقایسه می شوند. در صورتی که نتایج قابل قبول باشند برای سناریو های آینده نیز مورد استفاده قرار می گیرند. معروفترین این مدلها عبارتند از: WGEN، LARS-WG، MET&ROLL، SDSM، GEM، USCLIMAT و CLIGEN.

WGENیک مدل شبیه ساز مصنوعی پارامترهای آب و هوا است که توسط ریچاردسون[2] و دیگران (۱۹۸۴) در گروه تحقیقاتی آب و خاك USDA-ARS توسعه و عملیاتی شد[۹]. ویلکس[3] (۱۹۹۲) روشی برای کاربرد سناریوهای تغییر اقلیم با مدل مولد مصنوعی WGEN توصیف کرد[۱۲]. کتز[4] (۱۹۹۶) نیز خصوصیات نظری آماری نسخه ساده شده مدل ریچاردسون را معرفی کرده است[۷]. مدل GEM توسط گری جوهانسون[5] و همکاران (۱۹۹۶) ابداع شد[۶]. مدل های GEMسریهای زمانی روزانه دمای ماکزیمم و مینیمم، میزان بارندگی و تابش روزانه را تولید

1. Weather Generator (WG)
2. Richardson
3. Wilks
4. Katz
5. Johnson

می کند. نسخه های جدید GEM می تواند برای شبیه سازی آب و هوای منطقه ای کوچک مانند یک حوضه آبریز یا یک دریاچه استفاده شود و پیش بینی شده است در چند سال آینده این تکنیک برای تمام ایالت های آمریکا اجرا گردد. یکی دیگر از این مدل ها CLIGEN می باشد این مدل مولد تصادفی داده های آب و هواشناسی، سری های زمانی روزانه بارندگی، دما، نقطه شبنم، باد و تابش خورشیدی را برای یک مکان جغرافیایی مشخص، برآورد می کند[۱۴]. MET & ROLL چهارمین نوع مدل های مولد آب و هوا است که قادر به ایجاد پارامترهای تابش خورشیدی، مقدار بارندگی روزانه، دمای ماکزیمم و مینیمم است و برای استفاده در مدل رشد محصول CERES درنظر گرفته شده است[۳]. «کلار گودز»[1] مدل آب و هوای شرطی (CWG) را برای ریزمقیاس کردن آماری مدلهای GCM طراحی کرد. رخداد و مقدار بارندگی روزانه می تواند توسط CWG مدل سازی شود[۵]. اما نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد[۱۰]. کارایی دو مدل LARS-WG و WGENدر ۱۸ ایستگاه آمریکا، اروپا و آسیا توسط زمنف[2] در سال ۱۹۹۰ بررسی شده است[۱۱]. مدل های مولد مصنوعی هواشناسی شامل دو نوع ریچاردسون و سریال هستند. در نوع ریچاردسون برای مدل سازی رویداد بارندگی از روش مارکف استفاده می شود. در این روش برای پیش بینی بارش ابتدا «تر» یا «خشک» بودن روز مورد مطالعه مشخص می شود و سپس درصورتی که آن روز یک روز «تر» پیش بینی شده باشد، میزان بارش براساس بارش روزهای قبل و بعد محاسبه می شود. در مدل نوع سریال، اولین قدم مدل سازی متوالی سری زمانی روزهای تر و خشک است[۱]. در ابتدا راسکو[3] و دیگران(۱۹۹۱) WG نوع سریال را توسعه دادند و سپس به طور اساسی توسط زمنف و همکارانش (۱۹۹۸) تکمیل شد[۸]. اطلاعات روزانه آب و هوایی مانند دمای کمینه، بیشینه، رطوبت، بارش و تابش نمونه هایی از پارامترهای هواشناسی هستند که می توانند به طور مصنوعی ایجاد شوند[۲]. این مدل ها می توانند پارامتر های کشاورزی، هواشناختی و آبشناختی را همانندسازی کرده و سناریوهای ممکن تغییر اقلیم را در منطقه مطالعه نمایند. مدل های رایج WG امکان مدل سازی چندین متغیر هواشناسی شامل بارندگی (تکرار و شدت)، دمای بیشینه، کمینه (انحراف معیار و میانگین)، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و باد (سرعت و جهت) را دارندWG . ها ابزارهای کم هزینه و نسبتاً ساده ای هستند که می توانند در گستره های گوناگون استفاده شوند. آنها توانایی ایجاد

1. Clare Goodes
2. Semnov
3. Rasco

سری های زمانی پارامتر های فوق را برای دوره های زمانی دلخواه دارند و همچنین می توانند برای ایستگاه هایی که اطلاعاتی در آنها برای یک دوره زمانی گم شده یا وجود ندارد، داده های مصنوعی تولید نمایند، به نحوی که از لحاظ اقلیمی و آماری مشابه دوره دیدبانی شده باشد[۴]. مدل های WGدر دو مرحله پارامترهای هواشناسی را شبیه سازی می کنند: در مرحله اول رخداد بارندگی و شدت آن و در مرحله بعد سایر پارامترهای باقی مانده مانند دمای کمینه، بیشینه، تابش، رطوبت و سرعت باد. مدل های مولد مصنوعی داده های آب و هوایی یک ابزار بسیار قوی برای مطالعه و ارزیابی خطر تغییر اقلیم و دوره های خشک، بارشهای رگباری و وقوع سیلاب هستند و ابزاری جهت تصمیم گیری ها و برنامه ریزی های بلندمدت اقتصادی و اجتماعی محسوب می شوند[۶].

در این مقاله مبانی آماری مدل های WG و چندین نوع متداول آن با تاکید بر مدل LARS-WG مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته، سپس توانمندی این مدل در تولید و بازسازی اقلیم چهار ایستگاه منتخب خراسان شامل مشهد، بیرجند، تربت حیدریه و سبزوار مورد بررسی قرار گرفته است.

مبانی آماری مدل های Weather Generator با تاکید بر مدل LARS-WG

در مدل های WG عمدتاً از دو روش آماری استفاده می شود: زنجیره مارکف (در نوع ریچاردسون) و توزیع نیمه تجربی (در نوع زمنف). در ادامه دو روش مورد استفاده در مدل های WG توضیح داده شده است.

الف) نوع ریچاردسون (زنجیره مارکف)

در این قسمت به اصول تولید پارامترهای بارش، دمای هوا و تابش در مدل های نوع ریچاردسون می پردازیم. نظر به اینکه زنجیره مارکف در شبیه سازی بارش نقش اساسی دارد، در ابتدا توضیح مختصری در زمینه زنجیره مارکف می دهیم:

مجموعه ای از متغیرهای اتفاقی X_j که X_j معرف یک پدیده جوی و j معرف شماره روز باشد درنظر بگیرید که در آن $P_1(j)=p(x_j=1)$ احتمال اقلیمی وقوع پدیده جوی در روز jام بوده و $p_{11}(j)=P\ (x_{j+1}=1|\ x_j=1)$ که در آن $p_{11}(j)$ احتمال شرطی وقوع پدیده تحت بررسی در روز معین j+1 است، به طوریکه پدیده در روز j+1 و j اتفاق افتاده باشد. در اینجا $P_0(j)+p_1(j)=1$ و $p_{00}(j)+p_{01}(j)=1$ به طوریکه $p_{01}(j)$ و $p_{11}(j)$ احتمال گذار نامیده می شوند.

$(Xj)_j$ را یک فرایند مارکف می گوییم به شرطی که برای تمامی روزهای j ام احتمال وقوع یک پدیده در روز j+1 از فرمول زیر تبعیت کند:

$$P(x_{j+1} = 1|x_i = x_i, i <= j) = p(x_{j+1} = 1|x_j = x_i) \quad (۱)$$

اگر احتمال گذار به j وابسته نباشد آنگاه زنجیره مارکف بیان می دارد که زمان همگن می باشد.
مرتبه m ام زنجیره مارکف (m = 1, 2, ...) به صورت زیر تعریف شود:

$$P(x_{j+1} = 1|x_i = x_i, i <= j) = p(x_{j+1} = 1|x_j = x_i, j - m < i <= j) \quad (۲)$$

بیشتر WGها در مورد بارش روشهای جداگانه ای را برای وقوع بارش و شدت آن استفاده می کنند. مرتبه اول زنجیره مارکف برای وقوع بارش با دو احتمال گذار شرطی زیر تعریف می شود.

P_{01}=Pr (روز j ام بارش باشد| روز j-1 بدون بارش باشد)

P_{11}=Pr (روز j ام بارش باشد| اگر روز j-1 بارش باشد)

مقادیر روزانه بارش به میزان خیلی زیادی انحراف به راست دارند. ساده ترین و مستدل ترین مدل توزیع، نمایی است که تنها به یک پارامتر μ نیاز دارد و تابع چگالی احتمال آن به صورت زیر تعریف می شود:

$$f(x)=\frac{1}{\mu}\exp\left[\frac{-x}{\mu}\right] \quad (۳)$$

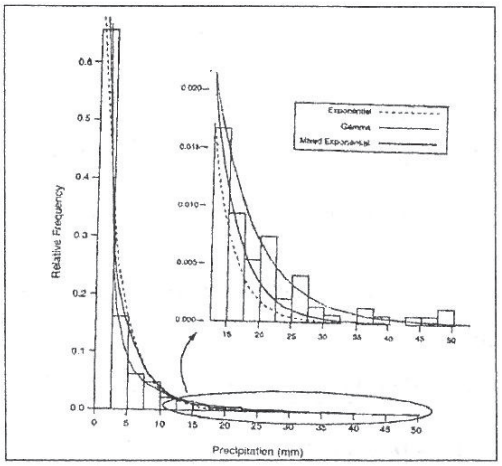
توزیع دو پارامتری که توسط پارامتر مقیاسی β تعریف شده، به صورت زیر است:

$$f(x) = \frac{(x/ß)^{\alpha-1}\exp[-x/ß]}{ß\Gamma(\alpha)} \quad (۴)$$

بیشتر WGها مقادیر بارش در روزهای متوالی مرطوب را مستقل فرض می کنند.
شکل ۱ نمودار مقایسه ای مقادیر بارش روزهای مرطوب ژانویه نیویورک در سال های ۱۹۹۸-۱۹۰۰ را با توابع چگالی احتمال نمایی، گاما و نمایی مختلط نشان می دهد[۱۳].
متغیرهای جوی دیگر نظیر ماکزیمم و مینیمم دما و تابش خورشیدی عموماً به تابش مرتبط هستند. در مدل کلاسیک WGEN متغیرها با استفاده از روش خود هبستگی مدل شده اند.

$$Z(T) = [A]\,Z(T-1) + [B]\varepsilon(T) \quad (۵)$$

که در آن Z(T) توزیع مقادیر را به صورت نرمال برای روزهای بدون بارش مشخص می کند و



شکل۱- مقایسه مقادیر بارش باتوزیع تابع گاما، نمایی و نمایی مختلط

همچنین Z(T-1) همین عمل را برای روز قبل انجام داده است . [A] و [B] ماتریسهای K×Kیی از پارامترهای مورد مطالعه هستند و$\varepsilon(T)$، White–noise forcing می باشد . Z(T) به صورت زیر به متغیرهای جوی وابسته به بارندگی تغییر می یابد :

$$T_k(t)=\begin{cases}\mu_{k,0}+\sigma_{k,0}(t)Z_k(t) & \text{برای روزهای خشک}\\ \mu_{k,1}+\sigma_{k,1}(t)Z_k(t) & \text{برای روزهای تر}\end{cases} \qquad (۶)$$

به طوریکه هر T_k یکی از متغیرهای بدون بارش، $\mu_{k,0}$ و $\sigma_{k,0}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار روزهای خشک و $\mu_{k,1}$ و $\sigma_{k,1}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار برای روزهای تر است . مقادیر فصلی میانگین ها و انحراف معیارها معمولاً از طریق سری فوریه به دست می آید . در مدل های نوع ریچاردسون، دیگر متغیرهای جوی برحسب میزان بارش مدل می باشند[۲] .

ب: توزیع نیمه تجربی (نوع زمنف)

LARS-WGنمونه ای از مدل هایWG است که از روشهای توزیع نیمه تجربی استفاده می کند . ضعفWG های نوع ریچاردسون در نشان دادن طول سری خشک و تر است، مانند وقایع طولانی مدت خشکسالی یا ترسالی که در کشاورزی تاثیر گذارند و وقوع آن در مرحله خاصی از رشد

محصول ممکن است منجر به کاهش یا عدم محصول دهی شود. در این نوع همه مشاهدات روزانه باید در فرآیند شبیه سازی به کار روند، بنابراین به نظر می رسد که این نوع بهتر از بقیه باشد. معروفترین مدلی که می تواند در این گروه قرار گیرد، LARS-WG است. LARS-WG یکی از مشهورترین مدل های مولد داده های تصادفی وضع هوا است و برای تولید بارش روزانه، تابش و ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت های روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده، به کار می رود. LARS-WG توزیع های آماری پیچیده ای را برای مدل سازی متغیرهای هوا به کار می برد. نتایج این مدل در مقایسه با WGEN همخوانی بیشتری با داده های دیدبانی شده دارند [۹]. این مدل برای طول روزهای تر و خشک، بارش روزانه و تابش آفتابی از توزیع نیمه تجربی زیر استفاده می کند:

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i;\ i=0, 1, 2, \ldots, 10\} \qquad (۷)$$

که در اینجا EMP یک هیستوگرام با ده بازه با شدت های مختلف بارش است:

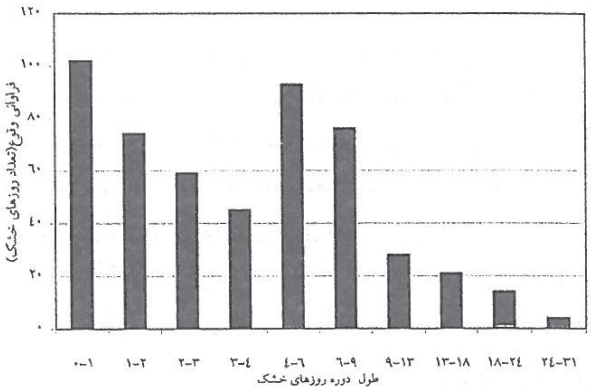
$$[a_{i-1}, a_i) \quad a_{i-1} \langle a_i \qquad (۸)$$

و h_i تعداد رخداد بارش در i امین فاصله را نشان می دهد.

مقادیر تصادفی از توزیع نیمه تجربی با انتخاب یکی از فاصله ها و سپس انتخاب یک مقدار در آن محدوده از توزیع یکنواخت، مشخص می شوند. این نوع توزیع قابل انعطاف بوده و می تواند تا حدودی تبدیل به تنوع وسیعی از شکل های گوناگون با بازه های مختلف $[a_{i-1}, a_i)$ شوند. امتیاز این انعطاف پذیری در این است که این توزیع به ۲۱ پارامتر نیاز دارد که با نسخه های جدیدتر این مدل که از سه پارامتر برای نشان دادن سری خشک و تر استفاده می کنند، ارجحیت دارد[۱۰].

فاصله $[a_{i-1}, a_i)$ براساس توزیع قابل انتظار از رفتار متغیرهای هواشناسی است. برای تابش خورشیدی فاصله های بین مقادیر بیشینه وکمینه داده های دیدبانی شده ماهانه برابر هستند، درصورتی که برای طول سری خشک و تر و بارش، اندازه فاصله ها به تدریج با افزایش i، افزایش می یابد. در این دو مورد نوعاً مقادیر کوچک به تعداد زیاد و مقادیر بزرگ به مقدار کمی وجود دارند که این نحوه انتخاب فاصله، از به کار بردن یک دقت پایین برای فواصل کوچک جلوگیری می کند. نمونه ای از سری های تر و خشک که با استفاده از LARS-WG تولید شده اند، در شکل های۲ و ۳ نشان داده شده است.

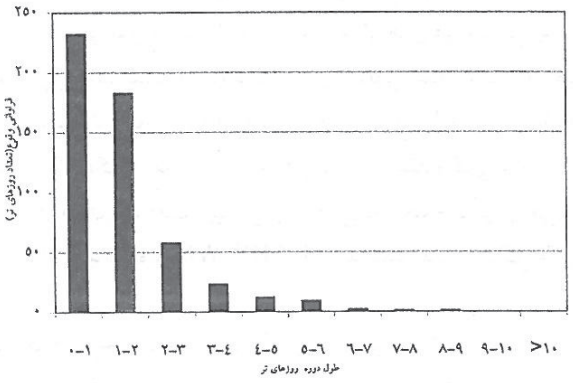
ملاحظه می شود که در مرحله اول بیشترین تکرار روزهای بدون بارش مربوط به دوره های یک روزه با ۱۰۲ مورد و پس از آن به بازه ۶-۴ و ۹-۶ روز به ترتیب با ۹۲ و ۷۷ مورد متوالی می باشد.



شکل۲- توزیع روزهای خشک فصل زمستان مشهد در دوره ۲۰۰۳-۱۹۶۱ با استفاده از توزیع نیمه تجربی

براساس محاسبات این مدل تعداد روزهای متوالی با ۲۴ تا ۳۱ روز متوالی بدون بارش، ۵ بار می باشد. همچنین از شکل ۲ می توان نتیجه گیری کرد که در ایستگاه مشهد در دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳) تعداد موارد با ۹ روز بارش متوالی ۳ بار بوده است.

در اینجا رخداد بارش با استفاده از سری های تر و خشک مدل می شوند. طول هر سری به طور تصادفی از توزیع نیمه تجربی ماهانه خشک و تر انتخاب شده است. برای یک روز تر، یعنی روزی با



شکل۳- توزیع روزهای تر فصل زمستان مشهد در دوره ۲۰۰۳ - ۱۹۶۱ با استفاده از توزیع نیمه تجربی

بارش بیش از صفر میلیمتر، مقدار بارش با به کار بردن توزیع نیمه تجربی به دست می آید. دمای کمینه و بیشینه روزانه با استفاده از تر یا خشک بودن روز مورد نظر تولید می شود. مدل سازی دماهای کمینه و بیشینه روزانه به صورت فرآیندی آماری با لحاظ میانگین و انحراف معیار روزانه این پارامترها صورت می گیرد. مولفه های فصلی میانگین و انحراف معیار دما با استفاده از سری فوریه مرتبه سوم مدل سازی می شوند. مقادیر باقیمانده دما نیز با استفاده از توزیع نرمال مدل می شوند. چنانچه تابش آفتاب از توزیع نرمال تبعیت نکند آنگاه مدل سازی تابش آفتابی روزانه با استفاده از یک توزیع نیمه تجربی مستقل از دما انجام می شود[۱].

بررسی خروجی های LARS-WG

LARS-WG توزیع نیمه تجربی را برای مدل سازی طول دوره روزهای خشک و تر، بارش روزانه و سری های تابش بکار می برد. سری فوریه نیز درجه حرارت را تخمین می زند. مقادیر تابش با استفاده از توزیع نیمه تجربی به صورت تقسیم فاصله ها به طور مساوی بین تابش بیشینه و کمینه ماهانه، صورت می گیرد. در حالی که فاصله ها برای طول روزهای تر و خشک و بارش افزایشی هستند. دمای بیشینه و کمینه روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل سازی می شوند. در این مدل سری فوریه مرتبه سوم برای همانند سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می رود. مقادیر مانده ها که از تفریق مقادیر میانگین دید بانی شده به دست می آیند، برای محاسبه خودهمبستگی زمانی داده های بیشینه و کمینه مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجا که پارامتر تابش از توزیع نرمال تبعیت نمی کند، بنابراین توزیع نیمه تجربی مبتنی بر تعداد روزهای تر و خشک برای همانند سازی تابش روزانه به کار می رود. در این مدل تابش به طور مستقل از دما مدل می شود. همچنین می توان به جای تابش از ساعات آفتابی نیز استفاده کرد[۹]. یکی از نیازهای اساسی LARS-WG ایجاد سناریو از خروجی مدل های GCM می باشد. قبل از اجرای مدل، دو فایل اصلی شامل فایل های دید بانی شده (بارش، تابش، دمای بیشینه و کمینه) و متادیتا[1] مورد نیاز است (متادیتا فایلی است که داده های دید بانی شده را توصیف می کند و در برگیرنده نام، ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی ایستگاه است) (شکل ۴ و ۵). فرآیند تولید داده های مصنوعی توسط مدل LARS-WG در سه مرحله انجام می گیرد[۱۰]:

1. Meta Data

کالیبره کردن مدل

برای کالیبره کردن مدل لازم است دو فایل station-name.st و station-name.sr جهت آنالیز داده های دیدبانی شده دوره اقلیمی ایستگاه ایجاد شوند. Station-name.st نام، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، ارتفاع و مسیر داده های دیدبانی شده و شکل آنها را توصیف می کند. براساس فرمت تعریف شده برای ایجاد فایل sr که در اینجا mashad.sr نامیده می شود، سال، شماره روز ژولیوسی، دمای کمینه، بیشینه، میزان بارش روزانه و تابش (یا ساعت آفتابی) ضروری است.

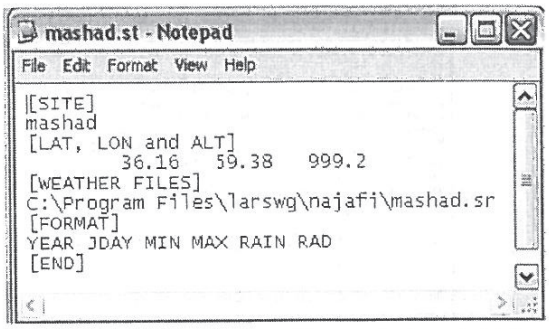
سپس مدل اجرا شده و خروجی ها در دو فایل که در برگیرنده خصوصیات آماری داده های مشاهده ای هستند، با نام های station-name.sta و station-name.wg ذخیره می شوند. فایل با پسوند sta در برگیرنده توزیع تجربی سری های تر و خشک بوده و فایل با پسوند wg برای تولید داده های مصنوعی روزانه در مدل بکار می رود. این فایل در برگیرنده تمامی پارامترهای لازم برای تولید داده های مصنوعی است. LARS-WG خودهمبستگی میانگین بین داده های دیدبانی شده را برای مدل کردن دمای بیشینه و کمینه و تابش بکار می برد[۱۱].

ارزیابی مدل

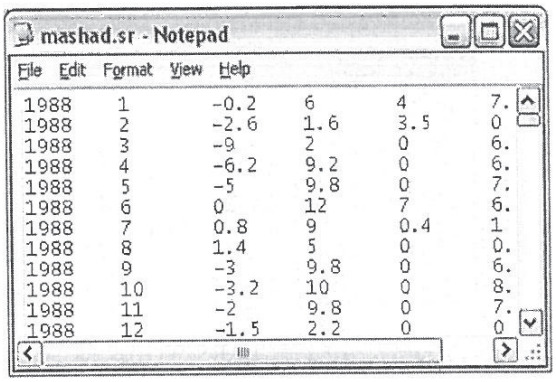
گام دوم در اجرای LARS-WG ارزیابی مدل است. در این مرحله باید تعیین شود که آیا این مدل برای تولید داده های تصادفی در مکان مورد مطالعه مناسب است یا خیر؟ در بخش بعد توانایی این مدل به طور مفصل مورد ارزیابی قرار می گیرد.

ایجاد داده های مصنوعی

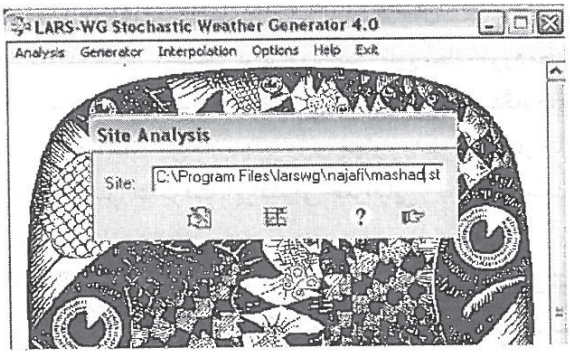
بعد از کالیبره کردن و ارزیابی مدل LARS-WG، بایستی پارامترهای هواشناسی تولید شوند. در اینجا از گزینه Generator برای تولید داده های مصنوعی که خواص آماری آنها مشابه داده های دیدبانی شده یا سناریوی تعریف شده هستند، استفاده می شود (شکل ۶). برای تولید داده های مصنوعی آب و هوایی نیاز به یک سناریوی تغییر اقلیم است. سناریو یک فایل متنی با پسوند sce است که نحوه تغییرات پارامترهای هواشناسی مورد نیاز را شرح می دهد[۹]. چون در مطالعه حاضر هدف ارزیابی قدرت مدل LARS-WG در شبیه سازی داده های دوره آماری است، لذا سناریوی مورد نیاز به صورت سناریوی حالت پایه، یعنی بدون وجود تغییرات اقلیمی، درنظر گرفته شد (شکل۷). همچنین در شکل ۸ نمونه ای از خروجی مدل LARS-WG دیده می شود.



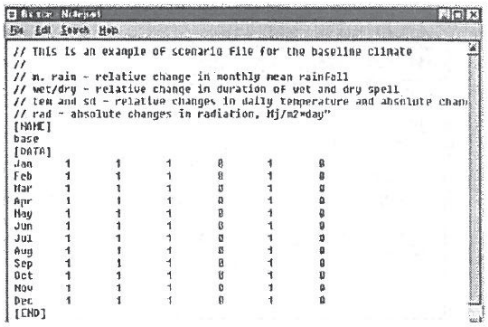
شکل۴- فایل st که شامل اطلاعات مکان، فرمت داده ها و مسیر داده های دیدبانی می باشد



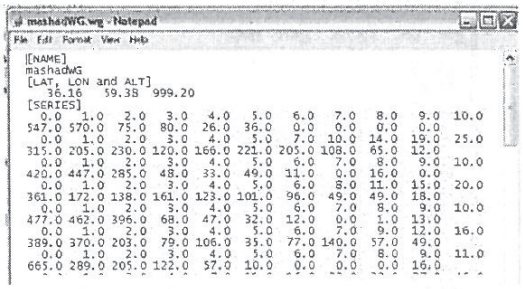
شکل۵- فایل Mashad.sr که شامل داده های دیدبانی شده از قبیل دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش می باشد



شکل۶- نمای کلی از نحوه اجرای مدل LARS-WG



شکل۷- سناریوی بدون وجود تغییر اقلیم که مربوط به مدل سازی دوره آماری می باشد

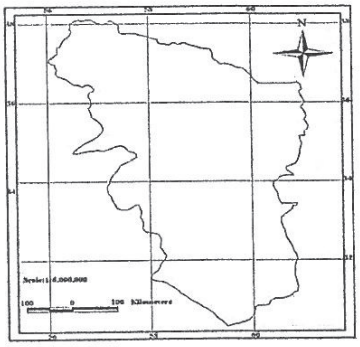


شکل۸- نمونه ای ازخروجی های مدل LARS-WG برای طول دوره روزهای تروخشک درماه های مختلف

ارزیابی مدل LARS-WG بر روی ایستگاههای منتخب استان خراسان

توانایی مدل LARS-WG تاثیر مستقیمی در برآورد تغییر اقلیم منطقه مورد مطالعه دارد. در این مطالعه، مدل یاد شده با استفاده از ۴۳ سال داده های هواشناسی، برای ایستگاه های مشهد، تربت حیدریه، بیرجند و سبزوار اجرا شد. این کار تنها بر روی چهار پارامتر مورد نیاز مدل یعنی دمای کمینه، بیشینه، تابش و بارش صورت گرفت. پراکندگی جغرافیایی و دیگر اطلاعات لازم ایستگاه ها در شکل ۹ دیده می شود.

ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه بین داده های گذشته با داده های تولید شده توسط مدل انجام گرفت. در این مطالعه دوره ۲۰۰۳-۱۹۶۱ به عنوان دوره گذشته انتخاب گردید و تمامی پارامترهای هواشناسی ایستگاه های مذکور در فاصله زمانی قید شده تهیه و به مدل خورانده شد.



شکل۹- پراکندگی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه

سپس با اجرای مدل، قدرت آن در باز تولید داده های دوره آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. خصوصیات آماری مقادیر دیدبانی و همانندسازی شده شامل میانگین ماهانه، انحراف معیار، خطاهای نسبی، مقادیر میانگین، خطاهای نسبی، انحراف معیار، همبستگی و سایر مشخصه های آماری دو سری داده های مورد بحث استخراج گردیدند. نتایج حاصل نشان دهنده قدرت بالای مدل LARS-WG در همانندسازی داده های واقعی می باشد. در جداول ۱ و ۲ میانگین مقایسه ای چهار پارامتر بارش، دمای کمینه، بیشینه و تابش ماهانه دیده می شود.

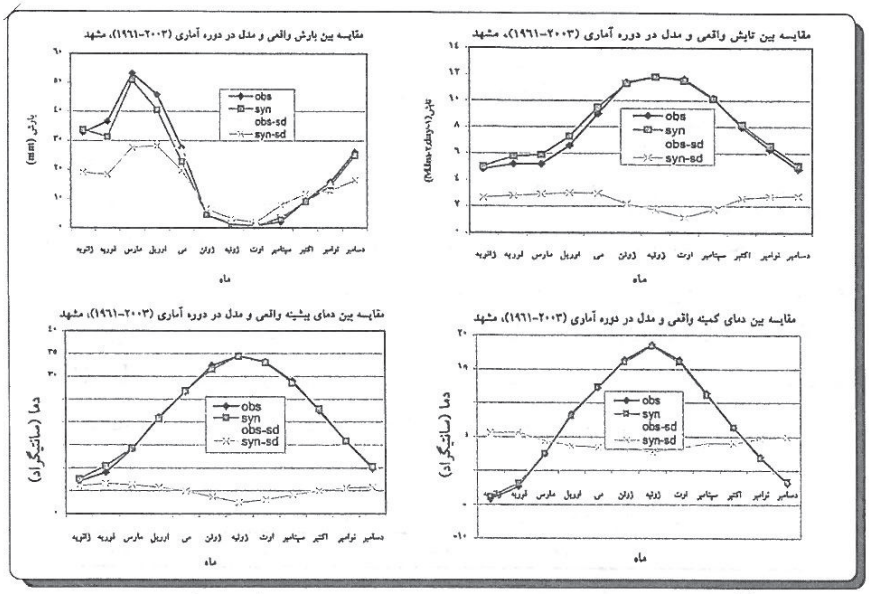
جدول۱ - مقایسه میانگین داده های دیدبانی و مدل برای ماه ژانویه

نام ایستگاه	بارندگی		دمای کمینه		دمای بیشینه		تابش	
	واقعی	مدل سازی	واقعی	مدل سازی	واقعی	مدل سازی	واقعی	مدل سازی
مشهد	۲۷/۶	۲۴/۹	-۱/۹	-۱/۶	۹/۹	۱۰/۳	۴/۸	۵/۱
بیرجند	۲۰/۴	۲۱/۹	-۱/۱	-۰/۵	۱۳/۵	۱۳/۶	۶/۵	۶/۵
سبزوار	۲۷/۴	۲۷/۹	۰/۶	۰/۴	۱۱/۵	۱۱/۴	۵/۵	۵/۹
تربت حیدریه	۳۷/۶	۴۰/۳	-۱/۲	-۱/۹	۹/۶	۹/۸	۵/۶	۵/۹

جدول۲ - مقایسه میانگین داده های دیدبانی و مدل برای ماه ژوئیه

نام ایستگاه	بارندگی		دمای کمینه		دمای بیشینه		تابش	
	واقعی	مدل سازی	واقعی	مدل سازی	واقعی	مدل سازی	واقعی	مدل سازی
مشهد	۴/۵	۴/۵	۱۶/۳	۱۶	۳۷/۴	۳۱/۴	۱۱/۴	۱۱/۳
بیرجند	۰/۵	۰/۶	۱۷/۹	۱۷/۵	۳۵	۳۴	۱۱/۳	۱۱/۳
سبزوار	۲/۴	۳	۲۱/۱	۲۰/۴	۳۵/۸	۳۵	۱۱	۱۱
تربت حیدریه	۴/۴	۲/۹	۱۶/۹	۱۶/۷	۳۲/۲	۳۱/۹	۱۱/۷	۱۱/۷

شکل ۱۰ مقایسه نتایج حاصل از مقادیر دیدبانی شده و مدل سازی شده چهار پارامتر بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش ماهانه همراه با مقادیر انحراف معیار آنها را نشان می دهد. ملاحظه می شود که بیشترین خطا مربوط به مدل سازی بارش است. نتایج نشان می دهند که مدل LARS-WG با دقت بالایی قادر به مدل سازی پارامترهای دمای کمینه و بیشینه می باشد.



شکل ۱۰- مقایسه مقادیر دمای بیشینه و کمینه، بارش و تابش دیدبانی و مدل برای مشهد

obs:داده های واقعی obs-sd: انحراف معیار داده های واقعی

syn:داده های مدل syn-sd:انحراف معیار داده های مدل

قدرت مدل در پوشش واریانس پارامترهای مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۵ درصد قابل قبول است. بر اساس نتایج آماری که در هر یک از فایل های ایستگاه ها ذخیره شده است، داده های دیدبانی شده و مدل از یک جامعه آماری بوده و میانگین و انحراف معیار هر کدام از این دو مجموعه از لحاظ آماری مشابه هستند. قدرت مدل در همانندسازی بارش و دما نسبت به دو پارامتر دیگر بهتر است. قدرت کلی مدل سازی، مقدار بایاس و خطای مطلق مدل سازی با استفاده از معادلات زیر محاسبه می شوند:

$$\text{Bias} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i) \qquad (۹)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|S_i - O_i| \qquad (۱۰)$$

که در آن S_i و O_i به ترتیب نشاندهنده پارامتر مدل و دیدبانی شده هستند که شامل پارامترهای دمای حداقل، حداکثر، بارش و تابش می باشند. اندیس i نشان دهنده ماه های سال است.

در جدول ۳ مقادیر بایاس و خطای مطلق هر یک از پارامترهای مورد مطالعه در چهار ایستگاه مشهد، بیرجند، تربت حیدریه و سبزوار آورده شده است.

جدول۳ - بایاس و خطای مطلق مدل سازی پارامترهای هواشناسی ایستگاههای مشهد، بیرجند، تربت حیدریه و سبزوار

نام ایستگاه	بارش		دمای حداقل		دمای حداکثر		تابش	
	Bias	MAE	Bias	MAE	Bias	MAE	Bias	MAE
مشهد	-۰/۴۰	۰/۶۱	-۰/۴۰	۰/۶۰	-۱/۶	۱/۵	۰/۶	۰/۶
سبزوار	-۰/۲	۰/۴	-۰/۷	۰/۹	-۱/۹	۱/۸	-۰/۶	۰/۵
بیرجند	-۰/۲	۰/۴	-۰/۶	۰/۷	-۱/۹	۱/۹	-۰/۶	۰/۷
تربت حیدریه	-۰/۴	۰/۶	-۰/۵	۰/۷	-۱/۷	۱/۸	-۰/۵	۰/۷

نتیجه گیری

با استفاده از مدل های Weather Generator می توان داده های خروجی چندین سال (از یک دهه تا چند صد سال) مدل های جهانی پیش بینی عددی را تا حد ایستگاه های هواشناسی به مقیاس ریز تبدیل کرد و از این طریق پس از تهیه سناریوهای اقلیمی، موضوع تغییر اقلیم در هر نقطه از کره زمین را مورد ارزیابی قرار داد. گام اول در بررسی و شناخت تغییر اقلیم در هر نقطه، بررسی و صحت سنجی مدل های مورد استفاده است. در این مقاله قدرت مدل LARS-WG برای مدل کردن داده های دیدبانی شده چهار ایستگاه سینوپتیک مشهد، سبزوار، بیرجند و تربت حیدریه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان دهنده قدرت بالای این تکنیک در مدل کردن داده های دیدبانی شده است. LARS-WG پارامتر های بارش، دمای حداقل و حداکثر را در هر سه ایستگاه مشهد، سبزوار و بیرجند کمتر از مقادیر واقعی پیش بینی نموده است، به طوری که بیشترین بایاس بارش در ایستگاههای مشهد و تربت حیدریه به میزان ۰/۴ - میلیمتر بوده است. بیشترین بایاس دمای حداقل

در ایستگاه سبزوار به میزان ۰/۷ - درجه سانتیگراد و دمای حداکثر در ایستگاه های سبزوار و بیرجند به میزان ۱/۹ - درجه سانتیگراد محاسبه شده است. میزان تابش مدل شده در ایستگاه مشهد بیش از مقدار دیدبانی شده می باشد. سایر ایستگاه های دارای بایاس منفی تابش هستند. بررسی کلی خطاها و بایاس مدل حاکی از کمترین خطا و بایاس برای ایستگاه سینوپتیک مشهد می باشد. براساس نتایج آماری که در فایل های wg و sta ذخیره شده اند، قدرت مدل در پوشش واریانس پارامترهای مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۵٪ قابل قبول است. بنابراین مدل LARS-WG می تواند برای ارزیابی تغییر اقلیم این چهار ایستگاه و یا تولید داده های گم شده مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر

این مقاله از پروژه ارزیابی مدل LARS-WG بر روی ایستگاه های منتخب خراسان استخراج شده است. بدینوسیله از سازمان هواشناسی کشور برای حمایت مالی از این پروژه قدردانی می شود.

منابع

۱- بابائیان، ایمان، ۱۳۸۴، مطالعه مقدماتی و ارزیابی مدل های Weather Generator مطالعه موردی: ارزیابی مدل LARS-WG بر روی ایستگاههای منتخب خراسان، پژوهشکده اقلیم شناسی، گزارش پروژه.

2. Babaeian, I., Kwon, W.T., and Im, E.S., 2004, Application of Weather Generator Technique for Climate Change Assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research Lab, 98pp.
3. Dubrovsky M., 1998, Estimating Climate Change Impacts on Crop Yields with Use of Crop Growth Model and Weather Generator. Proc. 14th Conf. Prob. Stat., AMS.
4. Dubrovsky, M., 1996, Met&Roll: The Stochastic Generator of Daily Weather Series for the Crop Growth Model. Meteorological Bulletin 49, 97-105.
5. Goodess, C.M., 2000, The Construction of Daily Rainfall Scenarios for Mediterranean Sites Using a Circulation-type Approach to Downscaling, PhD Thesis, University of East Anglia.
6. 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. Applied Meteorology 35, 1878-1896.

7. Katz, R. W., 1996, Use of Conditional Stochastic Models to Generate Climate Change Scenarios, Climate Change 32, 237-255.
8. Rasco, P., Szeidl, L., and Semenov, M.A., 1991, A Serial Approach to Local Stochastic Models. J. Ecological Modeling 57, 27-41.
9. Richardson, C.W., and Wright, D.A., 1984, WGEN: A Model for Generating Daily Weather Variables. U.S. Dept. Agr., Agricultural Research Service, Publ. ARS-8, 83 pp.
10. Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 2002, LARS-WG a Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. User's manual, Version3.0.
11. Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W., 1998, Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators in divers Climates. Climate Research 10, 95-107.
12. Wilks, D.S., 1992, Adapting Stochastic Weather Generation Algorithms for Climate Change Studies. Climate Change, 22, 67-84.
13. 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.
14. Zhang, X.C., 2003, Evaluation of CLIGEN Precipitation Parameters and their Implication on WEPP Runoff and Erosion Prediction, Transaction of the ASAE, Vol. 46(2):311-320.