

کاربرد یک رهیافت ناپارامتری در شبیه سازی داده های روزانه دما و بارندگی همسو

با تغییرات اقلیم

مهدی ققماسی^۱، نوذر قهرمان^{۲*}، شهاب عراقی نژاد^۲

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه تهران

۲. استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

چکیده

با توجه به تاثیر به سزای تغییر اقلیم بر فرآیندهای مختلف محیطی، کمی سازی این تغییرات از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرفی دیگر کاربرد مدل های شبیه ساز متغیرهای هواشناسی در قالب کلی مولدهای وضع هوا منجر به توسعه روزافزون آنها شده است. سری های شبیه سازی شده این مولدها با مشخصات سری های مشاهده شده می باشند و واقعیات اقلیمی پیش رو در آنها درج نشده است. در این مطالعه کاربرد یک روش ناپارامتری مبتنی بر باز نمونه گیری هدفمند از سری های مشاهده شده، برای اعمال اثرات اقلیمی پیش بینی شده بر سری های شبیه سازی شده دما و بارندگی توسط مولدهای وضع هوا، مورد بحث قرار گرفته است. پارامتر کلیدی این روش، "پارامتر شکل" می باشد که تعریف هدفمند آن موجب دقت مضاعف فرایند تولید داده می شود. مدل شبیه ساز متغیرهای هواشناسی مورد استفاده، روشی ناپارامتری مبتنی بر نزدیک ترین همسایه با قابلیت تولید داده هایی خارج از سری مشاهده شده می تواند سری هایی با طول آماری دلخواه همراه با مشابهت های آماری با سری تاریخی تولید نماید. کاربست این رهیافت برای پنج ایستگاه همدیدی تهران، مشهد، بوشهر، قزوین و تبریز به صورت تک مکانی مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج براساس آزمون های مختلف آماری مناسب ارزیابی شده است. با اجرای این رهیافت ناپارامتری، اثر تغییرات اقلیمی هم در نرمال درازمدت سری آماری لحاظ گردید و هم در فراوانی وقوع دوره های با ویژگی های معین به عنوان مثال دوره های یخبندان. این نتایج به خصوص برای متغیرهای دمایی قابل قبول تر می باشند یافته های مطالعه قابلیت کاربرد این روش را تایید کرد.

کلید واژه ها: مولد وضع هوا، باز نمونه گیری هدفمند، نزدیک ترین همسایه، پارامتر شکل.

مقدمه

(برن ۱۹۹۸، سمینویک و لی ۲۰۰۳، شریف و برن ۲۰۰۶). به عنوان مثال با تغییر اقلیم، زمان بندی وقوع پدیده های هیدرولوژیکی و شدت آن ها تغییر می کند. وسماکت و برن (۱۹۹۷) دریافتند که مرتبه و شدت وقایع هیدرولوژیکی تحت شرایطی که رواناب ذوب برف زودتر اتفاق افتد، با زمان کاهش می یابد. همچنین سمونوف و همکاران (۲۰۰۹) براساس تحقیقی که روی اثر تغییر اقلیم بر وقوع تنش گرمایی در دوران گلدهی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که در منطقه مورد مطالعه باید گیاهان مقاوم به تنش گرمایی در دوران گلدهی کشت شود.

روش شناختی مطالعات تغییر اقلیم به سه دسته اصلی تقسیم می شود: روش های تجربی، روش هایی بر پایه فرآیندهای فیزیکی جو و روش های تلفیقی (شریف و برن ۲۰۰۶). در روش های تجربی از روی مشاهدات می توان به روند تغییرات الگوهای مهم آب و هوایی مانند پدیده انسو^۲ پی برد.

روش های فرآیند-پایه بررسی تغییر اقلیم که در قالب مدل های گردش عمومی^۳ به کار می روند، در حقیقت بیانی ریاضی از گردش عمومی جو و اقیانوس می باشند و به دلیل الحاق واقعیات فیزیکی جو از دقت بالایی برخوردارند. در کنار پیچیدگی خاص، عیب اصلی این روش ها بزرگ مقیاس بودن آن ها است، به طوری که هر شبکه آن مستطیلی به ابعاد ۲ در ۲/۵ درجه را در بر می گیرد. روش های تلفیقی، در حقیقت ترکیبی از روش های تجربی و خروجی های مدل های اقلیمی می باشند. دلایل توسعه ی چنین روش هایی به اختصار زیر است:

۱. دسترسی به سری های دراز مدت متغیرهای متعدد

در چند دهه ی اخیر، مولدهای هواشناسی^۱ با هدف شبیه سازی سری های عناصر اقلیمی مانند دما، بارندگی و غیره کاربرد زیادی در مطالعات مختلف مرتبط با فرآیندهای پیچیده ی محیطی مانند فرآیندهای زراعی (رشد و نمو، مراحل فنولوژیکی گیاه و غیره)، هیدرولوژیکی (تولید رواناب، ذوب برف، برداشت از ذخایر آبی و غیره)، حفاظت آب و خاک و فرسایش و غیره، دارند. چرا که یکی از ورودی های مدل هایی که فرآیندهای مذکور را شبیه سازی می کنند، داده های اقلیمی هستند. به طور کلی در ساختار این مولدها از دورهیافت پارامتری و ناپارامتری استفاده می شود. در این میان، رهیافت های ناپارامتری به دلیل عدم پذیرش پیش فرض هایی مانند تبعیت مجموعه ی داده ها از مدلی پارامتری (از جمله توابع توزیع تجمعی نرمال، گاما و غیره)، عموماً سری هایی با کیفیت بالاتر تولید کرده و برای اکثر مناطق دنیا قابل استفاده هستند.

از طرفی دیگر پیش بینی شده است که در آینده ی پیش رو، اقلیم جهانی به علت افزایش مستمر سطوح دی اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه ای تغییرات معنی داری خواهد داشت و سیستم های ذخایر آبی، میزان عملکرد زراعی، شدت فرآیندهای فرسایش، میزان تولید رواناب و سایر فرآیندهای هیدرولوژیکی تحت تاثیر مستقیم یا غیرمستقیم تغییرات اقلیم خواهند بود، و بنابراین لحاظ این تغییرات در شبیه سازی طولانی مدت داده های هواشناسی از اهمیت بسزایی برخوردار است.

محققین مختلف دریافتند که تاثیرات تغییر اقلیم هم روی نرمال اقلیمی و هم روی وقایع حدی مشهود می باشد

¹ Weather Generators

³ General Circulation Models (GCMs)

² ENSO (El Niño-Southern Oscillation)

در قالب مولد LARS از یک روش رگرسیونی برای ریزمقیاس‌نمایی استفاده و سپس تغییرات منطقه‌ای پیش‌بینی شده را در سری‌های طولانی چندین متغیر هواشناسی اعمال نمودند. مولد‌های پارامتری از جمله LARS-WG در مطالعات مختلفی جهت ریزمقیاس‌نمایی و تولید داده‌های هواشناسی در ایران مورد استفاده قرار گرفته است، (قهرمان و همکاران ۱۳۸۸، عباسی و همکاران ۱۳۸۹). شریف و برن (۲۰۰۶) نیز با استفاده از یک تکنیک ناپارامتری مبتنی بر باز نمونه‌گیری از مجموعه مشاهدات اقدام به اعمال این تغییرات در سری‌های شبیه‌سازی شده دمای بیشینه نمودند.

در این مطالعه هدف اصلی آن است که با فرض دسترسی به سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای، روشی برای اعمال این تغییرات بر سری‌های درازمدت متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه و بارندگی، برگرفته از روش شریف و برن (۲۰۰۶) ارائه گردد. رهیافت پیش‌رو ترکیبی از دو روش شبیه‌سازی و همسوساز است. ابتدا پارامترهای اقلیمی براساس خروجی مدل‌های گردش عمومی جو تغییر می‌کنند و سری جدید بعنوان داده، وارد مدل شبیه‌سازی شده و سری‌هایی از عناصر اقلیمی با طول دوره‌ی آماری مکفی و همسو با تغییرات اقلیم در دسترس قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

همانطور که مشخص است پیش‌بینی میزان تغییرات نرمال اقلیمی یک منطقه به تنهایی نمی‌تواند کاربردی در مطالعات مرتبط داشته باشد و باید برای عملیاتی شدن این تغییرات، سری اطلاعات هواشناسی در مقیاس‌های زمانی روزانه و یا ماهانه و با همان ویژگی مدنظر از لحاظ میزان

هواشناسی برای ارائه‌ی پیش‌بینی‌ها و پیشگویی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و زراعی ضرورت دارد.

۲. با توجه به وجود تغییرات پارامترهای اقلیمی در آتی، درج این واقعیات در سری‌ها ضروری است.

۳. مدل‌های گردش عمومی جو با درج ساختار فیزیک و ریاضی محیط پیرامون در ساختار خود از دقت بالایی نسبت به روش‌های تجربی برخوردار است. ولی آن‌ها در مقیاس جهانی^۱ و توان تفکیک اندک کاربرد دارند و از طرف دیگر نیاز به سناریوهای منطقه‌ای^۲ وجود دارد چرا که اکثر مطالعات در مقیاس منطقه‌ای و ایستگاهی و یا در سطح یک حوزه‌ی آبریز است.

با این تفسیر روش‌های ریزمقیاس‌نمایی^۳ آماری و یا تجربی توسط محققین مختلفی توسعه یافته است (لندمن و همکاران ۲۰۰۱، هویسون ۱۹۹۶، شریف و برن ۲۰۰۶) که در آن از روش‌های متفاوت شامل رگرسیون خطی چندگانه (کلین ۱۹۸۳)، تحلیل همبستگی (لندمن و همکاران ۲۰۰۱)، نزدیکترین همسایه (زیتا و استک ۱۹۹۹) و رهیافت‌های شبکه عصبی مصنوعی (کنون و همکاران ۲۰۰۲، کرن و همکاران ۱۹۹۸) استفاده شده است. در مطالعات تغییر اقلیمی کوچک‌مقیاس (با تفکیک مکانی بالا)، دو حوزه کاری تعریف می‌گردد: ابتدا تبدیل مقیاس خروجی GCMS با تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی به مقیاس منطقه‌ای و سپس اعمال تغییرات پیش‌بینی شده بر سری‌های شبیه‌سازی شده توسط روش‌های آماری. به عبارت دیگر با روش‌هایی، تغییرات درازمدت اقلیمی در مقیاس‌های روزانه یا ماهانه‌ی سری تولید شده، سرشکن می‌شود که نتیجه درازمدت آن کاهش یا افزایش پارامتر خاص اقلیمی می‌باشد. در این زمینه سمونوف و بارو (۱۹۹۷)

¹ Global Scale
³ Downscaling

² Site-Specific

ناپارامتری به نام k نزدیکترین همسایه^۳ با قابلیت تولید داده‌هایی خارج از مشاهده شده‌ها (مرحله‌ی آشفتگی^۴) می‌باشد. نوع کلاسیک این روش توسط مهرترا و همکاران (۲۰۰۶) و بنایان و هوگن بوم (۲۰۰۷) کار شده است که البته قابلیت برون‌یابی^۵ داده‌ها در آن وجود ندارد. اصطلاح "ناپارامتری" به معنای دخالت همه و یا برخی از مشاهدات در شبیه‌سازی سری می‌باشد و برخلاف روش‌های پارامتری که از پیش، فرض تبعیت تراکم داده‌ها از یک مدل خاص بر ساختار روش حاکم می‌باشد، هیچ‌گونه فرضی را دخالت نمی‌دهد.

مولدهای با چنین ساختاری تاکنون توسط محققین مختلفی مانند یاکوویتز و کارلسون (۱۹۸۷)، یاکوویتز (۱۹۹۳)، راجاگوپالان و همکاران (۱۹۹۷)، لال و همکاران (۱۹۹۶)، شارما و همکاران (۱۹۹۷)، شارما و لال (۱۹۹۹)، شارما و انیل (۲۰۰۲)، مهرترا و همکاران (۲۰۰۶)، شریف و برن (۲۰۰۶)، بنایان و هوگن بوم (۲۰۰۷)، قمقامی و همکاران (۱۳۸۹) و غیره کاربردی شده است.

الگوریتم نزدیکترین همسایه شامل انتخاب تعدادی مشخص از بردار داده‌ها و سپس بازنمونه‌گیری تصادفی از آن مجموعه برای شبیه‌سازی دوره‌ی زمانی متعاقب یک دوره معین می‌باشد.

در ابتدای کار با تعریف یک پنجره متحرک حول روز t ، همه همسایگانی که می‌توانند در شبیه‌سازی بردار

اختلاف با اقلیم گذشته در دسترس باشد. با اندکی تغییرات در مولدهای وضع هوا می‌توان به این مهم نائل شد. براساس یافته‌های محققین تاثیر این تغییرات باید هم بر نرمال اقلیمی ایستگاه و هم بر وقایع حدی، به عنوان مثال فراوانی وقوع دوره‌های یخبندان بررسی گردد. در این مطالعه از رهیافت ناپارامتری مبتنی بر بازنمونه‌گیری هدفمند^۱ از سری مشاهده شده استفاده شده است. در این روش در واقع فرض دسترسی به سناریوهای اقلیمی ایستگاه لحاظ شده است و در پی ایجاد یک ارتباط بین این سناریوها و مولد هواشناسی بکاررفته می‌باشد. متغیرهای مورد بحث شامل دمای بیشینه، دمای کمینه و بارندگی در مقیاس روزانه می‌باشند که برای بررسی عملکرد تکنیک، ۵۰ سال داده‌ی روزانه تولید شد.

• مطالعه‌ی موردی

این مطالعه به صورت تک‌مکانی^۲ برای ایستگاه‌های تهران-مهرآباد، مشهد، قزوین، بوشهر، تبریز صورت گرفته است که از لحاظ طول و کیفیت دوره‌ی آماری در دسترس، قابل اعتماد و شامل ۴۵ سال (دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱) به استثنای ایستگاه بوشهر که دارای ۲۴ سال (۲۰۰۵-۱۹۸۲) است، می‌باشند. مشخصات جغرافیایی آن در جدول ۱ آورده شده است.

• مولد وضع هوا

مدل شبیه‌ساز متغیرهای هواشناسی یک تکنیک با ساختار

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه‌ها	قزوین	تبریز	بوشهر	مشهد	تهران
طول	۵۰/۰۱	۴۶/۲۹	۵۰/۸۳	۵۹/۵۹	۵۱/۴۲
عرض	۳۶/۲۶	۳۸/۰۸	۲۸/۹۷	۳۶/۳۰	۳۵/۶۷
ارتفاع	۱۲۹۰	۱۳۹۵	۹	۱۰۲۲	۱۱۴۹

^۱ Strategic Re-sampling

^۳ K-Nearest Neighbor (KNN)

^۵ Extrapolation

^۲ Single site

^۴ Perturbation

$$W_l = \frac{1/j}{\sum_{l=1}^k 1/j}, P_j = \sum_{l=1}^j W_l \quad (3)$$

۸. تولید یک عدد تصادفی (r) بین صفر و یک. اگر $r < P_j$ باشد روز متناظر با اندیس j از سری زمانی اصلی انتخاب و بردار روز متعاقب آن به عنوان بردار X_{t+1} لحاظ می‌شود.

۹. بردار تولید شده می‌تواند به کار گرفته شود اما برای تولید مقادیری خارج از سری مشاهداتی، به طور حتم زیرروالی به روش اضافه می‌شود. در ابتدا یک توزیع ناپارامتری برآوردگر کرنل (شارما و همکاران ۱۹۹۷، شارما و انیل ۲۰۰۵) بر نزدیکترین همسایگان برازش می‌یابد که شامل تخمین انحراف معیار داده‌ها (σ_i) و پارامتر عرض باند (λ) می‌باشد.

۱۰. با تولید تصادفی متغیر Z_{t+1} از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک مقدار جدید برای روز متعاقب روز t از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$y_{i,t+1} = x_{i,t+1} + \lambda \sigma_i z_{t+1} \quad (4)$$

که i شاخص متغیر و y نیز مقدار شبیه‌سازی شده برای روز $t+1$ با اعمال قابلیت آشفته‌گی در داده‌ها می‌باشد.

۱۱. با توجه به اینکه مقادیر بارش مرزی هستند، اجرای مراحل ۹ و ۱۰ ممکن است منجر به تولید مقادیر منفی بارش شود که غیرقابل قبول می‌باشد. در برخی از مولدها این مقادیر صفر در نظر گرفته می‌شوند که البته ممکن است منجر به بیش‌برآورد در مقادیر ماهانه‌ی این متغیر شود (شریف و برن ۲۰۰۶). برای غلبه بر این مساله باید احتمال وقوع مقادیر منفی به حداقل برسد که از طریق تعریف یک مقدار احتمال آستانه‌ای (α) و تغییر مقدار پارامتر عرض باند اعمال

روز $t+1$ مشارکت داشته باشند تعیین می‌گردند. سپس با تعیین نزدیکترین همسایگان از طریق برآورد فاصله ماهالانیس (اقتباس از دیویس ۱۹۸۶) و برازش یک توزیع احتمالاتی گسسته یا توزیع ناپارامتری بر آن‌ها، بردار روز بعدی یکی از همسایگان به روش تصادفی انتخاب و وارد مرحله آشفته‌گی می‌شود. روند گام به گام شبیه‌سازی به شرح زیر است:

۱. فراخوانی ماتریس داده‌ها از فایل هواشناسی که سطور ماتریس، طول دوره آماری و ستون‌های آن متغیرهای هدف (دمای کمینه و بیشینه و بارندگی) می‌باشند:

$$X_{i,p} = [x_{i,1} \quad x_{i,2} \quad \dots \quad x_{i,p}] \quad (1)$$

۲. تعیین عرض پنجره متحرک و ماتریس همسایگان روز t (L طول ماتریس)، بنابراین این ماتریس دارای ابعاد $L * p$ می‌باشد.

۳. محاسبه‌ی ماتریس کوواریانس C_t برای هر روز براساس ماتریس همسایگان.

۴. انتخاب اولیه مقادیر بردار (فرضا یک ژانویه) و شروع فرآیند شبیه‌سازی ($t=1$).

۵. محاسبه‌ی فاصله‌ی ماهالانیس براساس دو بردار X_t و X_m که $m = 1 : L$:

$$D_m = \sqrt{(X_t - X_m) C_t^{-1} (X_t - X_m)^T} \quad (2)$$

۶. مرتب نمودن این فواصل به صورت صعودی و تعیین k تعداد از نزدیکترین بردارها ($k: j=1$).

۷. برازش یک توزیع احتمالاتی گسسته بر این مقادیر همسایه. به طوری که هرچه مشابهت بین دو بردار اصلی و همسایه بیشتر باشد براساس توزیع مذکور، بردار همسایه وزن (W_l) بیشتری هم به خود می‌گیرد. همچنین احتمال تجمعی هر همسایه (P_j) محاسبه می‌گردد:

ادامه‌ی روند کار است. واژه‌ی بازنمونه‌گیری به نمونه‌گیری مکرر از یک جامعه آماری گفته می‌شود. هدف در این جا، ساخت سری داده‌هایی است که ویژگی‌هایی از آن برجسته تر جلوه داده شود. به عنوان مثال روزها و یا ماه‌های گرم‌تر تکرار گردند، بدین معنا که نرمال درازمدت دمایی بیشتر یا کمتر گردد. به طور دقیق می‌توان این موضوع را برای پرباران و کم باران نیز بیان نمود. واژه هدفمند نیز به همین دلیل به کار رفته است که حاصل بازنمونه‌گیری از سری مشاهده شده، تولید سری‌هایی براساس ویژگی‌های مدنظر کاربر می‌باشد. با توجه به کارایی مولد KNN در شبیه‌سازی مناسب نرمال درازمدت اقلیمی و انطباق معنی دار آن با نرمال تاریخی (در بخش بعد به آن پرداخته می‌شود)، میزان تغییرات اعمال شده در سری مشاهده شده از طریق تکنیک بازنمونه‌گیری هدفمند، می‌تواند با اجرای مولد نزدیک‌ترین همسایه به سری شبیه‌سازی شده داده‌های هواشناسی انتقال یابد و منجر به ساخت سری‌هایی مصنوعی با اعمال تغییر اقلیم گردد.

عملکرد روش در ادامه می‌آید: فرض می‌کنیم در سری مشاهده شده L دوره d روزه وجود دارد، در این صورت y_t^i مقدار متغیر مورد نظر در سال i ام و روز t ام می‌باشد. و میانگین هر دوره نیز از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$M_l^i = \frac{1}{d} \sum_{t=1}^d y_t^i \quad (6)$$

که M_l^i میانگین دوره i ام در سال i ام می‌باشد. همچنین برای محاسبه میانگین دوره ای در طول سری آماری از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\bar{M}_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_l^i \quad (7)$$

می‌شود. α بزرگترین احتمال منفی شدن مقدار مورد نظر ما می‌باشد که با روش سعی و خطا به دست می‌آید و متغیر نرمال استاندارد متناظر با آن z_α محسوب می‌شود. به این ترتیب مقدار جدید λ از طریق زیر به دست می‌آید:

$$\lambda^{new} = -x_{3,t+1} / (z_\alpha \times \sigma_3) \quad (5)$$

که اندیس ۳ اشاره به متغیر بارندگی دارد. از مقدار عرض باند جدید در رابطه‌ی ۴ برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

۱۲. بردار شبیه‌سازی شده به عنوان ورودی مرحله ۵ مدنظر است و مراحل ۵ تا ۱۱ برای تولید سری با طول مکفی تکرار می‌گردد.

در این مطالعه عرض پنجره متحرک ۷ در نظر گرفته شد که با توجه به طول آماری ۴۵ سال، طول بردار همسایگان برای هر متغیر برابر با $45 \times 15 - 1 = 674$ می‌باشد. همچنین از روش سعی و خطا برای تعیین تعداد نزدیکترین همسایه‌ها استفاده می‌شود. اما شریف و برن (۲۰۰۶) از روش جذر طول همسایگان (L) استفاده نمودند که $k = \sqrt{L}$. در این روش نیز از روش جذر طول همسایگان برای محاسبه تعداد نزدیک‌ترین همسایه استفاده شده است. همچنین برای برآورد عرض باند بهینه از روش ارائه شده توسط سیلورمن (۱۹۸۶) استفاده شده است که مقدار آن در حدود ۰/۵ برآورد گردید. احتمال آستانه‌ای برای به حداقل رساندن مقادیر منفی بارندگی نیز با روش سعی و خطا مقادیر ۰/۰۶ و ۰/۱ حسب ایستگاه‌های مختلف برآورد گردید.

• روش بازنمونه‌گیری هدفمند

در این روش نمونه‌گیری‌هایی هدفمند و البته کاملاً تصادفی از سری مشاهدات گرفته می‌شود که مبنای

تابع را تصادفی می‌کند. پارامتر S_w^i به عنوان پارامتر شکل^۱ در منابع از آن یاد شده است که نقشی کلیدی را در این تابع ایفا می‌نماید. مقدار این پارامتر و یا جهت تغییرات آن نشان دهنده تمایل دوره جدید به گرم‌تر شدن و یا سردتر شدن و یا پربارانی و کم بارانی می‌باشد. تعیین مناسب مقدار پارامتر شکل برای رسیدن به هدف موردنظر در سری جدید از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. با توجه به دویعدی بودن پارامتر شکل، مقدار آن می‌تواند برای هر دوره‌ی هر سال متفاوت باشد که این موضوع به تولید سناریوهایی با تابستان‌های گرم‌تر و سایر فصول بدون تغییر و یا زمستان‌های کم باران‌تر کمک می‌نماید.

یافته‌های تحقیق

با توجه به لزوم عملکرد مناسب مولد وضع هوا برای کاربردی بودن تکنیک بازنمونه‌گیری هدفمند، ابتدا به کیفیت خروجی مولد k نزدیکترین همسایه (۱۰۰ سال داده روزانه) و در ادامه‌ی این قسمت به کارابودن تکنیک همسوساز پرداخته می‌شود.

• شبیه‌سازی داده‌های روزانه

برای بررسی عملکرد مولد هواشناسی از آزمون‌های T (برای میانگین‌ها)، F (برای واریانس‌ها) و $LEPS$ (برای فضای احتمالاتی) و همچنین از نمودار خط نیمساز، نمودار فراوانی دوره‌های گرما و یخبندان و تر و خشک استفاده شده است. جدول شماره ۲ مقادیر آماره‌های آزمون‌های معنی‌داری اختلافات میانگین‌ها و واریانس‌ها را در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین نمودار شماره ۱، نمودار مقایسه‌ی تطبیقی پارامترهای روزانه و ماهانه می‌باشد. مشاهده شد که مولد

که \bar{M}_I میانگین دوره‌ی I ام طی n سال آمار مشاهده شده می‌باشد. میزان انحراف مقدار هر دوره از میانگین آن دوره از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$D_I^i = M_I^i - \bar{M}_I \quad (8)$$

بنابراین سری مشتمل بر $n \times L$ تعداد مقادیر انحراف از میانگین‌ها (اعداد مثبت و منفی) در دسترس می‌باشد. مثلاً در مورد دما، هرچه این انحرافات بزرگتر باشند به معنای گرم‌تر بودن دوره‌های مربوطه می‌باشد و بالعکس. این دوره‌ها می‌توانند ماه یا فصل باشند. به هر حال نکته‌ای که در انتخاب طول دوره باید در نظر باشد، همگنی مقادیر درون آن می‌باشد. ادامه‌ی روند کار شامل بازنمونه‌گیری از این انحرافات به طور هدفمند می‌باشد. انحرافات یک دوره برای رتبه‌دهی، صعودی یا نزولی می‌شوند. به عنوان مثال برای ماه ژانویه، انحرافات این ماه به ترتیب از ژانویه‌های سردتر به سمت ژانویه‌های گرم‌تر مرتب می‌شوند به طوری که گرم‌ترین ژانویه، بیشترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهد. سپس با استفاده از یک تابع تصادفی ساده، برای یک دوره معین در یک سال معین، تعیین می‌کنیم که کدام رتبه باید به آن تعلق گیرد:

$$I_w^i = INT \left[n \times \left(1 - r^{S_w^i} \right) \right] + 1 \quad (9)$$

I_w^i مقداری صحیح بین ۱ تا n می‌باشد. فرض می‌شود برای n سال مشاهده شده سری جدیدی با برجسته شدن بعضی ویژگی‌ها و با طول n می‌خواهد ساخته شود. برای هر دوره پس از رتبه‌دهی به مقادیر و مرتب کردن آن‌ها، مقدار به دست آمده از تابع فوق از سری قدیمی بازگردانده می‌گردد و به عنوان مقدار جدید دوره معین در سال i به حساب می‌آید. در رابطه‌ی فوق Γ عددی تصادفی بین صفر و یک است که با ایفای نقش خود ماهیت این

¹ Shape parameter

مثال، مقدار P-value در دو ایستگاه تبریز و مشهد برای هر دو متغیر دمای کمینه و بیشینه و ماه نوامبر، کمتر از سطح احتمال موردنظر یعنی ۰/۰۵ است که به معنای معنی داری تفاوتها است. هر چند که در برخی از ایستگاهها و ماههای دیگر این تفاوتها براساس آزمون F معنی دار نمی باشند.

همچنین برای بررسی نحوه عملکرد مولد در فضای احتمالاتی، از تست LEPS Score که توسط وارد و فلن (۱۹۹۱)، پتر و همکاران (۱۹۹۶)، رُیز و همکاران (۲۰۰۷) و عراقی نژاد و همکاران (۲۰۰۶) ارائه شده، استفاده شده است. امتیازدهی در این آزمون براساس میزان تطابق سطوح احتمالی پدیده ها در قالب یک تابع صورت می گیرد و مهارت کلی روش شبیه ساز یا پیش بینی کننده، بین ۱۰۰ تا ۱۰۰- می باشد که هرچه به ۱۰۰ نزدیک تر باشد، تطابق بیشتر است و بالعکس. از این آزمون بیشتر برای

ناپارامتری مورد بحث در شبیه سازی میانگین های ماهانه و روزانه ی هر سه متغیر (بخصوص دما) مناسب عمل می نماید و در سطح ۵ درصد هیچ کدام از میانگین های شبیه سازی شده در مقیاس های روزانه و ماهانه (به استثنای بارش روزانه) اختلاف معنی دار با مشاهده شده ها ندارد و در مورد میانگین بارش روزانه نیز برای اکثر ماهها و روزهای سال این نتیجه صحیح است. به عبارت دیگر همان طور که در جدول شماره ۲ مشاهده می شود مقادیر P-value محاسبه شده برای میانگین های ماهانه ی هر سه متغیر بزرگتر از ۰/۰۵ است که به معنای پذیرش فرض اولیه مبنی بر عدم معنی داری تفاوتها می باشد.

همچنین در شبیه سازی واریانس های ماهانه برای متغیر بارندگی نتایج خوبی به دست آمد، اما برای متغیرهای دمایی، کم برآوردی^۱ مشاهده شد که باعث می شود بعضی اختلافات براساس آزمون F معنی دار شود. به عنوان

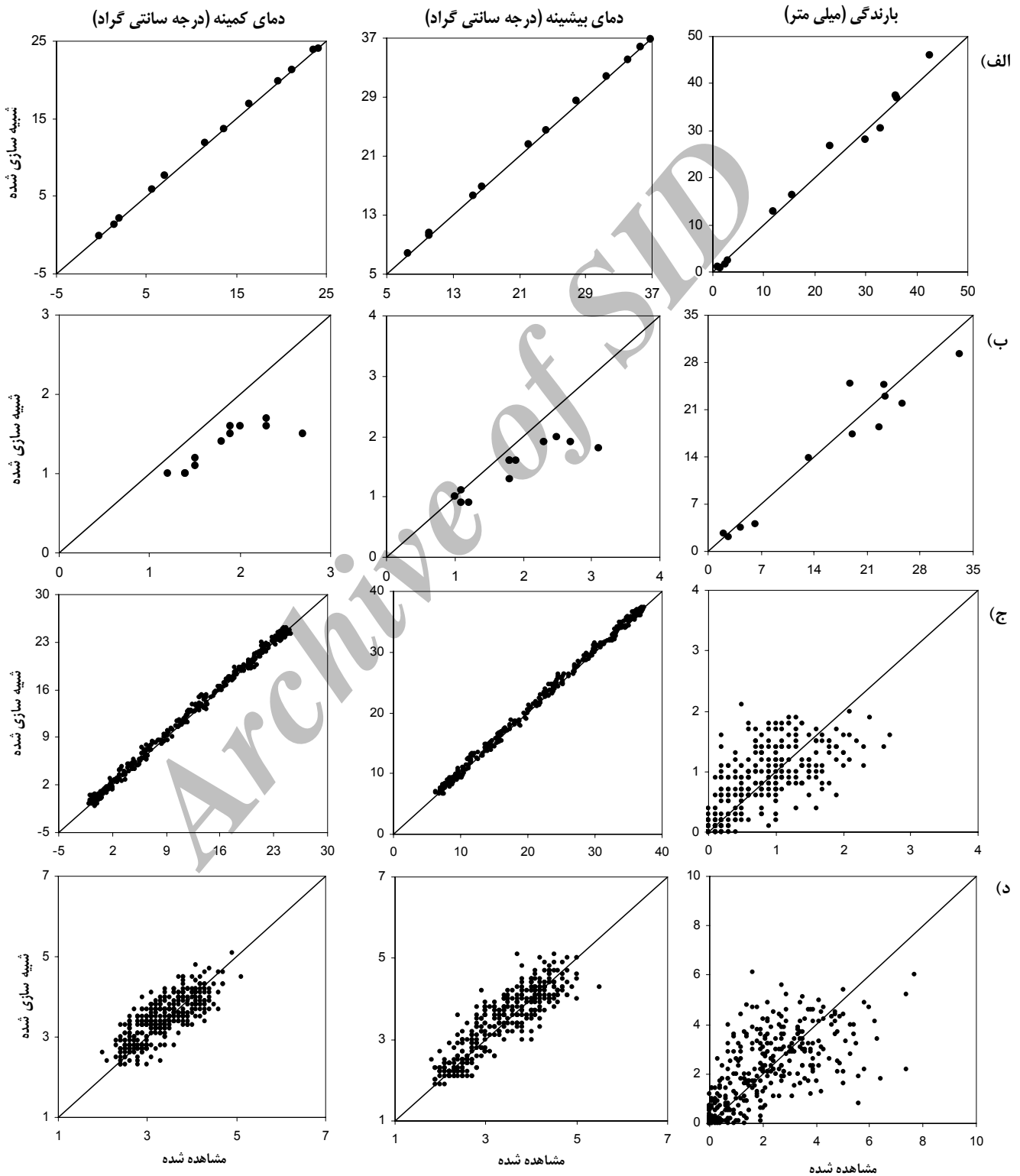
جدول ۲: مقادیر آماره های آزمون T و F برای مولد KNN در ماه منتخب نوامبر

ایستگاه	اجرای مولد آماره های آزمون متغیرها	KNN - WG			
		T-test		F-test	
		T-value	P-value	F-value	P-value
تبریز	دمای کمینه	-۰/۶۱	۰/۵۴	۱/۵۸	۰/۰۶۴
	دمای بیشینه	-۱/۳۶	۰/۱۸	۲/۱۶	۰/۰۰۲
	بارندگی	۰/۳۶	۰/۷۲۲	۱/۵۸	۰/۰۶۴
مشهد	دمای کمینه	-۱/۱۳	۰/۲۶۳	۱/۹۴	۰/۰۰۷
	دمای بیشینه	-۱	۰/۳۲۳	۲/۵۷	۰
	بارندگی	-۰/۵۳	۰/۶	۰/۹۱	۰/۷۴۲
اصفهان	دمای کمینه	-۰/۴۲	۰/۶۸	۱/۱۵	۰/۶۱
	دمای بیشینه	-۰/۶۳	۰/۵۳	۲/۰۱	۰/۰۲
	بارندگی	-۰/۶	۰/۵۵	۱/۴۱	۰/۲۵
تهران	دمای کمینه	-۰/۵۷	۰/۵۷	۲/۶۱	۰
	دمای بیشینه	-۰/۱	۰/۹۲	۱/۹۸	۰/۰۰۵
	بارندگی	-۰/۹	۰/۳۷۲	۰/۶۹	۰/۱۷

^۱ Underestimation

مقایسه بین چندین روش شبیه‌ساز استفاده می‌شود، که در اینجا نتایج آن به عنوان یک معیار سنجش عملکرد مولد برای ایستگاه‌های تبریز و بوشهر و چهار ماه منتخب آورده شده است. با برازش توزیع نرمال بر داده‌های ماهانه دما و توزیع گاما بر داده‌های ماهانه بارندگی دو سری مشاهده شده

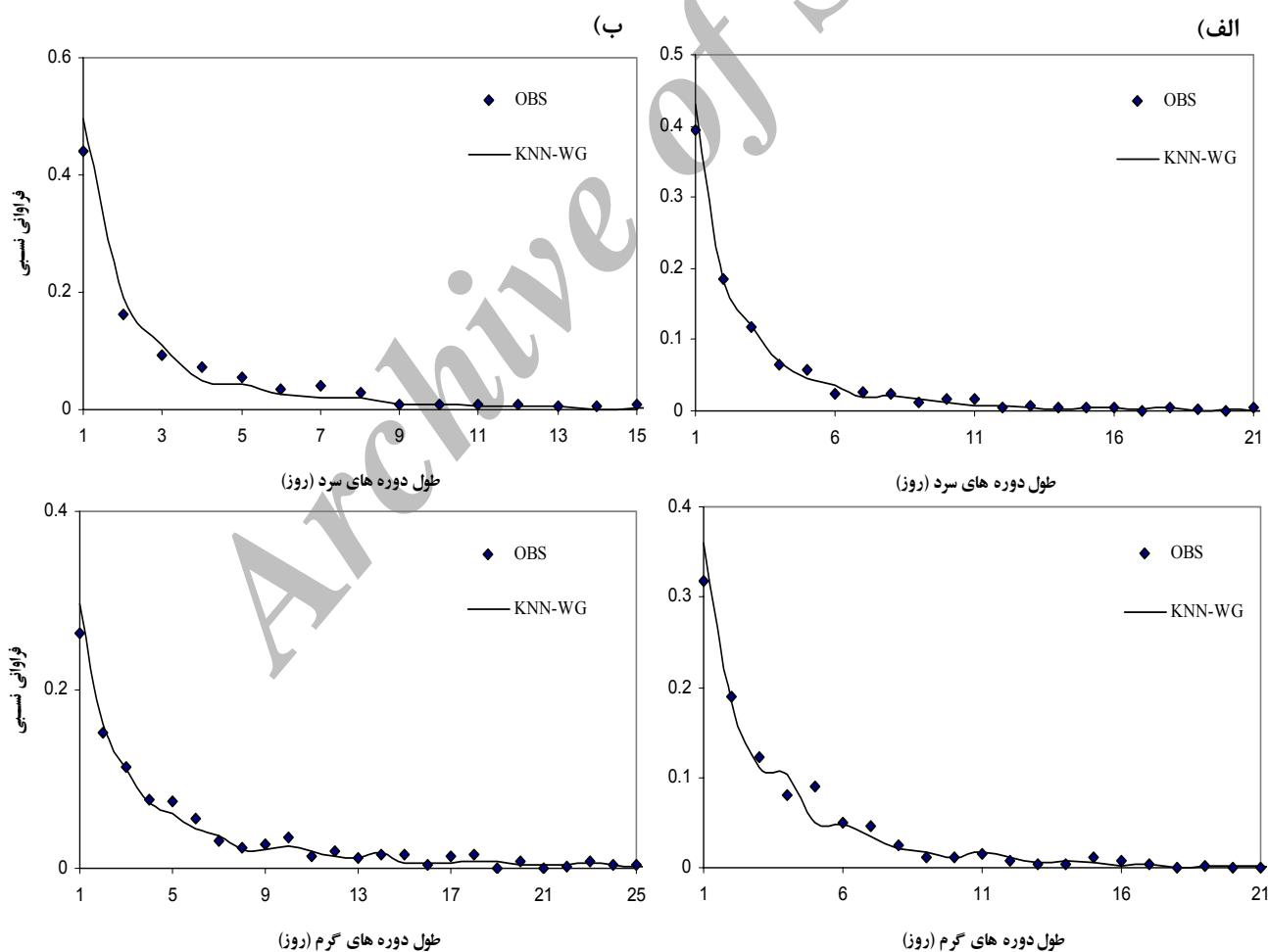
نمودار ۱: مقایسه تطبیقی پارامترهای ماهانه و روزانه شبیه‌سازی شده توسط مولد KNN و مشاهده شده، الف) میانگین ماهانه، ب) انحراف معیار ماهانه، ج) میانگین روزانه و د) انحراف معیار روزانه، ایستگاه تهران.



با توجه به وجود زیرروال Perturbation در برنامه مدل، برخلاف نسخه‌ی کلاسیک آن (ارائه شده توسط مهرترا و همکاران ۲۰۰۶ و بنایان و هوگن بوم ۲۰۰۷) که سری شبیه‌سازی شده تماماً تکرار سری مشاهده شده می‌باشد، قابلیت تولید اعدادی خارج از دامنه‌ی مقادیر مشاهده شده وجود دارد که با توجه به اهمیت این موضوع در شبیه‌سازی پدیده‌های با دوره بازگشت بالا در سری‌های طولانی، در این مطالعه نیز لحاظ شد و نتایج به دست آمده حاکی از عملکرد مناسب در این زمینه است. مولد KNN قادر به حفظ ضرایب همبستگی متقاطع متغیرها می‌باشند، این خاصیت به خصوص بین دمای کمینه و بیشینه که این

و شبیه‌سازی شده، تطابق مناسب منحنی‌های احتمالی مشاهده گردید که نتایج آن در جدول ۳ مشاهده می‌شود. همچنین در نمودار شماره ۲، میزان انطباق فراوانی نسبی دوره‌های با ویژگی‌های معین برای دوره‌ی ۴۵ سال سری مشاهده شده و ۵۰ سال سری شبیه‌سازی شده مشاهده می‌شود. همانطور که مشخص است در تولید فراوانی نسبی دوره‌های کوتاه مدت و بلندمدت یخبندان و گرما، منحنی شبیه‌سازی شده برازش خوبی بر داده‌ها دارد. این نتیجه برای دوره‌های تر و خشک به خصوص دوره‌های بلند مدت که در مطالعات ارزیابی ریسک نقش مهمی ایفا می‌نماید، نیز کسب شده است.

نمودار ۲: فراوانی نسبی طول دوره‌های یخبندان و گرما برای الف (قزوین، ب) تهران



جدول ۳: توانایی کلی مولد ناپارامتری در میزان تطابق منحنی‌های احتمال براساس آزمون LEPS Score برای دو ایستگاه منتخب

ایستگاه متغیر	فوریه		می		اوت		نوامبر	
	بوشهر	تبریز	بوشهر	تبریز	بوشهر	تبریز	بوشهر	تبریز
دمای کمینه	۹۰/۶	۸۹/۴	۹۰/۲	۹۱	۹۳/۶	۸۹/۱	۹۸/۲	۸۳/۷
دمای بیشینه	۸۷	۷۹/۷	۸۶/۱	۸۱/۵	۸۵/۸	۸۱/۹	۸۰/۶	۸۱/۲
بارندگی	۹۶/۸	۸۶/۷	۸۶/۵	۹۲	۹۷/۶	۹۴/۷	۹۲/۵	۹۶/۷

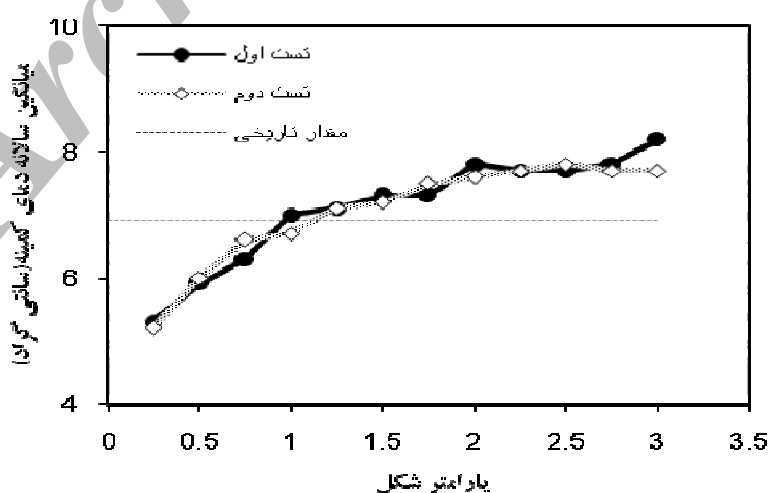
دما همراه است. در مورد دمای کمینه و بیشینه نتایج تا حدودی یکسان است و البته در جزئیات تفاوت‌هایی دارند. در واقع این روش بر داده‌های مشاهده شده اعمال می‌گردد و خروجی آن به عنوان ورودی مولد شبیه‌ساز در نظر گرفته می‌شود. همانطور که در بخش مواد و روش‌ها ذکر گردید، تغییرات پارامتر شکل در میزان تفاوت نرمال اقلیمی در دو سری مشاهده شده اولیه و جدید موثر است. نمودارهای ۳ و ۴ این تغییرات را براساس مقادیر مختلف پارامتر برای متغیرهای دمای کمینه و بیشینه و بارندگی طی دو آزمون نشان می‌دهد که نتایج متفاوتی دارند.

ضرایب معنی‌دار هستند، بیشتر مشاهده شد. به عنوان مثال مقدار این ضریب برای ماه نوامبر و یکی از ایستگاه‌های منتخب در سری مشاهده شده معادل ۰/۳۸ و در سری شبیه‌سازی شده معادل ۰/۳۲ می‌باشد که با این ویژگی این مولد، یک مولد چندمتغیره^۱ محسوب می‌گردد.

اجرای روش باز نمونه‌گیری هدفمند

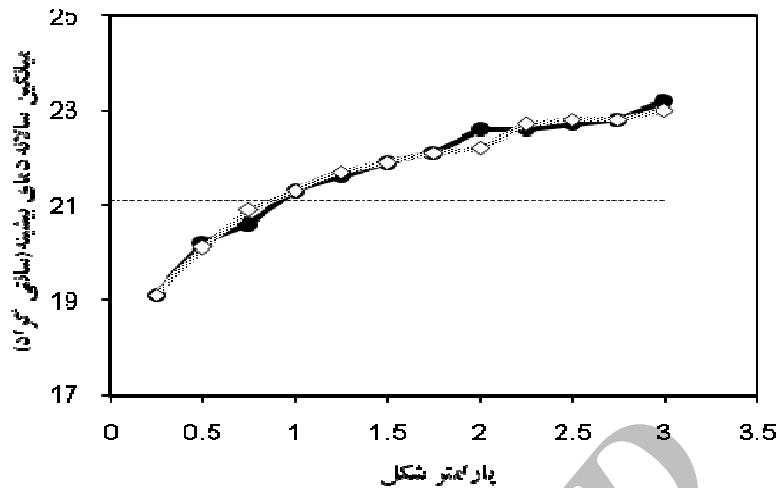
اجرای این روش برای متغیرهای دما و بارندگی نتایج گوناگونی به دست می‌دهد. برآورد پارامتر شکل برای متغیر بارندگی با عدم قطعیت و نوسانات بیشتری نسبت به

نمودار ۳: اثر تغییرات پارامتر شکل تابع باز نمونه‌گیری هدفمند، بر میزان انحراف از نرمال اقلیمی درازمدت (ایستگاه قزوین) متغیرهای دمای کمینه و بیشینه

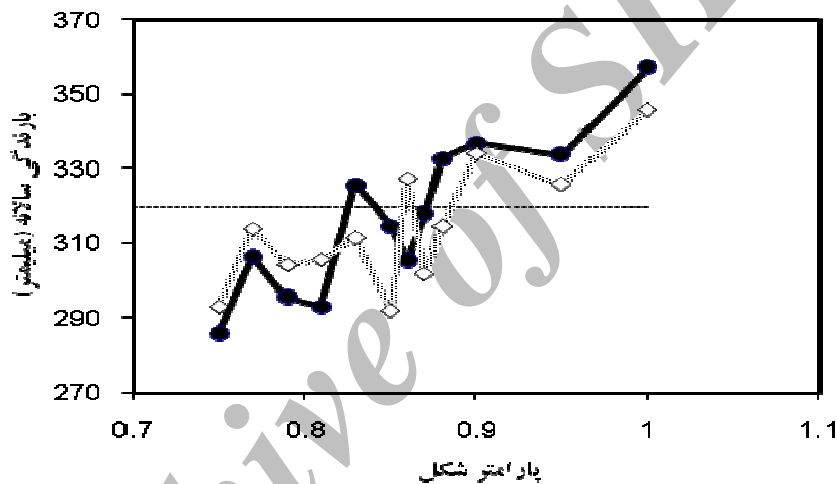


¹ Multivariate

(ادامه نمودار ۳) اثر تغییرات پارامتر شکل تابع باز نمونه گیری هدفمند، بر میزان انحراف از نرمال اقلیمی درازمدت (ایستگاه قزوین) متغیرهای دمای کمینه و بیشینه



نمودار ۴: اثر تغییرات پارامتر شکل تابع باز نمونه گیری هدفمند، بر میزان انحراف از نرمال اقلیمی درازمدت (ایستگاه قزوین) متغیر بارندگی



تغییرات مشاهده شده است و روند کلی آن افزایشی (با افزایش مقادیر پارامتر) است. مقدار منطبق بر محور عمودی در مقادیر نزدیک به 0.85 به خط نرمال اقلیمی (مقدار تاریخی) نزدیک می شود و نشان از عدم تفاوت معنی دار دو نرمال در این دامنه از پارامتر شکل دارد. بنابراین بر مبنای میزان انحراف از نرمال اقلیمی (خروجی مدل های گردش عمومی جو)، می توان مقدار پارامتر شکل بهینه را تقریب زد. به طور دقیق تر میزان انحراف از نرمال اقلیمی برای دو ایستگاه منتخب و براساس سه مقدار متفاوت از پارامتر شکل در جدول ۴ آورده شده است. مطابق با یافته های بالا، سری هایی سردتر یا گرمتر و کم

مشاهده می شود برای متغیرهای دمایی، اتخاذ مقادیر زیر واحد برای پارامتر شکل منجر به کاهش مقدار نرمال دراز مدت و در نتیجه تولید سری سردتر و منظور نمودن مقادیر بیشتر از واحد منجر به تولید سری های گرم تر می گردد. همچنین مقادیر واحد و نزدیک به واحد، نرمال درازمدت مشابه با سری اولیه را به دست می دهد. مشابه چنین نتایجی برای سایر ایستگاه ها دریافت شد. شب تغییرات انحراف از نرمال اقلیمی، در متغیر دمای بیشینه بیشتر از دمای کمینه است. به عبارت دیگر این تکنیک برای شبیه سازی تغییرات زیاد نرمال دراز مدت دمای کمینه مناسب نمی باشد. برای متغیر بارندگی، نوسانات بیشتری در روند

اصلی است و سری‌های شبیه‌سازی شده با واحد شکل ۰/۲۵ و ۲/۵ به ترتیب در سطح پایین و بالای مشاهده شده قرار می‌گیرند که این به معنی توزیع این تغییرات در عرض سال است. به هر حال همان‌طور که ذکر شد، می‌توان با تعریف این پارامتر برای هر دوره‌ی معین (به عنوان مثال ماه) به طور مجزا، توزیع تغییرات در عرض سال را هدفمند نمود. چنین نتایجی برای بارندگی نیز به دست آمد، ولی به علت بی‌نظمی منحنی آن در عرض سال به خوبی گویای مطلب نمی‌باشد.

برای ارزیابی بهتر پراکنش تغییرات در طول دوره آماری شبیه‌سازی شده، نمودار مقادیر ماهانه‌ی دمای بیشینه دوسری مشاهده شده و شبیه‌سازی شده براساس سه مقدار مذکور پارامتر شکل و برای دو ایستگاه منتخب آورده شده است (نمودار ۶). در نمودار ۶ در سمت چپ خط چین عمودی سال‌های مشاهده شده و در سمت راست آن سال‌های شبیه‌سازی شده بر روی محور افقی قرار گرفته‌اند و محور عمودی نیز متوسط ماهانه‌ی متغیر خاص می‌باشد. سری شبیه‌سازی شده براساس پارامتر

باران تر یا پر باران تر از سری تاریخی اولیه به دست می‌آیند که این سری به طور هدفمند ورودی مولد وضع هوا می‌باشد.

شبیه‌سازی تغییر اقلیم

برای بررسی عملکرد روش مذکور در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی و توزیع این تغییرات در طول n سال سری شبیه‌سازی شده توسط مولد وضع هوا، سری ۵۰ ساله از متغیرها شبیه‌سازی شده است که ورودی مولد بر مبنای سه مقدار متفاوت از پارامتر شکل می‌باشد. این سه مقدار معادل ۰/۲۵، ۱ و ۲/۵ برای دمای بیشینه و کمینه و ۰/۷، ۰/۸۵ و ۱ برای بارندگی می‌باشد.

نکته‌ی قابل توجه توزیع این تغییرات در عرض سال می‌باشد. نمودار ۵ نشان دهنده‌ی روند پارامترهای ماهانه‌ی متغیر دمای بیشینه و کمینه در عرض سال است. این منحنی‌ها برای سه مقدار متفاوت پارامتر می‌باشند. مشاهده می‌شود که سری شبیه‌سازی شده با مقدار پارامتر شکل معادل واحد، منطبق بر سری مشاهده شده

جدول ۴: تغییرات نرمال درازمدت اقلیمی با اجرای تکنیک باز نمونه‌گیری هدفمند

ایستگاه	مشهد			تهران			
	متغیرها	دمای کمینه	دمای بیشینه	بارندگی	دمای کمینه	دمای بیشینه	بارندگی
سری مشاهده شده							
اولیه	۷/۲	۲۱/۳	۲۵۶/۱	۱۲/۲	۲۲/۷	۲۳۵/۷	
جدید*	۵	۱۹/۳	۲۱۴/۱	۱۰/۴	۲۰/۸	۲۰۷/۶	
جدید**	۷/۱	۲۱/۵	۲۵۹/۳	۱۲/۳	۲۲/۷	۲۳۱/۷	
جدید***	۸/۴	۲۳/۳	۲۸۴	۱۳/۷	۲۴/۲	۲۵۷/۶	

* پارامتر شکل برای بارندگی معادل ۰/۷ و برای دما معادل ۰/۲۵

** پارامتر شکل برای بارندگی معادل ۰/۸۵ و برای دما معادل ۱

*** پارامتر شکل برای بارندگی معادل ۱ و برای دما معادل ۲/۵

۰/۰۲۱ به دست آمده است. مشابه چنین نتایجی برای دوره های سرد، پرباران و کم باران نیز مشاهده شده است. اهمیت شبیه سازی مناسب فراوانی وقوع دوره های با ویژگی معین در پیش بینی های هواشناسی، هیدرولوژیکی و عملکرد زراعی بیشتر احساس می شود. به عنوان مثال با بیشتر شدن فراوانی دوره های گرما، انتظار می رود که فصل رشد به درون زمستان کشیده شود که زمان بندی مناسب آن برای تنظیم بازار حائز اهمیت است.

همچنین ذوب سریع برف، منجر به تغییر زمان بندی تولید رواناب رودخانه ها می گردد که در برنامه ریزی های مدیریتی باید لحاظ شود. در مجموع عملکرد تکنیک بازنمونه گیری هدفمند در شبیه سازی سری های زمانی همسو با سناریوهای تغییر اقلیم مثبت ارزیابی می گردد.

نتیجه گیری

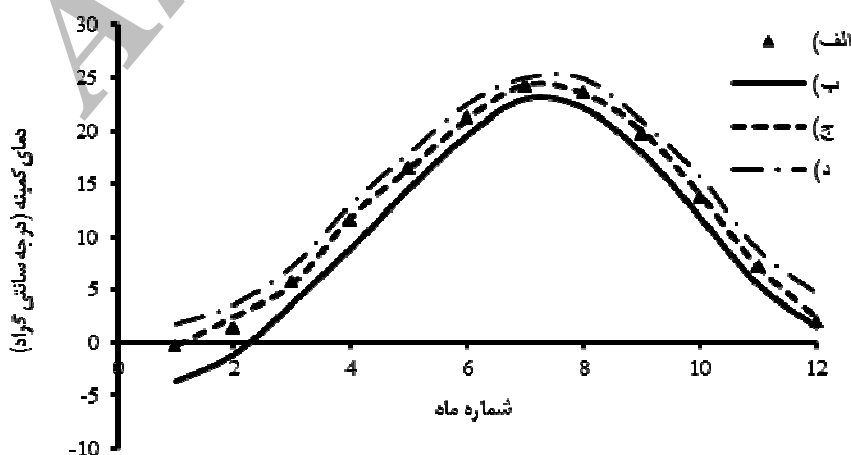
در این مطالعه عملکرد یک رهیافت ناپارامتری مبتنی بر بازنمونه گیری از سری مشاهده شده، برای شبیه سازی سری های طولانی تر داده های هواشناسی مورد بررسی قرار گرفته است که این رهیافت ترکیبی از یک مولد

شکل یک، هم تراز با داده های مشاهده شده است که با مربع توپر نشان داده شده است.

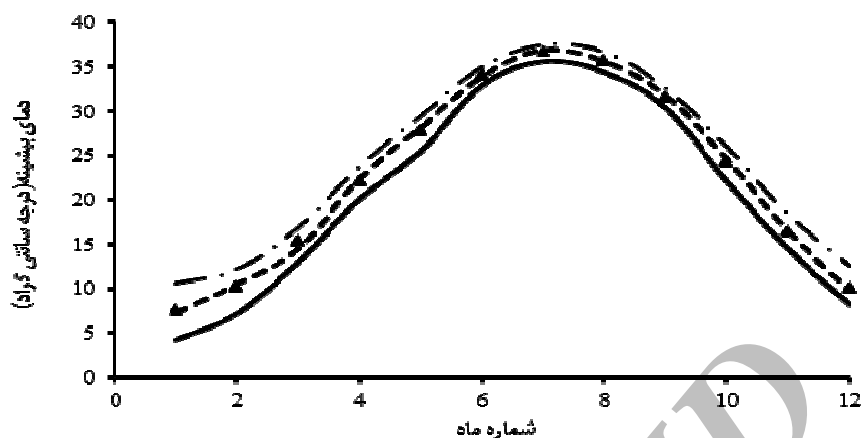
همین طور سری شبیه سازی شده براساس پارامتر شکل معادل ۲/۵ و ۰/۲۵ به ترتیب با مثلث توپر و ستاره نشان داده شده اند که به ترتیب در تراز بالتر و پایین تر از سری مشاهده شده می باشند و بیانگر سری هایی گرم تر و سردتر هستند. اثر دیگر اجرای تکنیک بر فراوانی وقوع دوره های گرما و یخبندان و تر و خشک می باشد. به طور قطع در سری های گرم تر، انتظار می رود که فراوانی وقوع دوره های گرما بیشتر باشد.

عکس چنین نتایجی برای سری های سردتر صحت دارد. در سری های تولید شده توسط مولد KNN با دخالت اثر تکنیک بازنمونه گیری هدفمند، برای سری های کوتاه تر از ۱۰ روز نظم خاصی مشاهده نشد، ولی برای سری های با طول دوره ی بزرگ تر از ۱۰ روز، فراوانی وقوع دوره های گرما در سری های گرم تر نسبتاً بیشتر می باشد. به عنوان مثال، فراوانی نسبی دوره ۱۶ روزه ی متوالی گرما در سری شبیه سازی شده براساس پارامتر شکل ۰/۲۵، ۱ و ۲/۵ به ترتیب ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۷ و

نمودار ۵: منحنی های سالانه پارامترهای ماهانه، الف) سری مشاهده شده ب) سری شبیه سازی شده با پارامتر شکل معادل ۰/۲۵ ج) سری شبیه سازی شده با پارامتر شکل معادل ۱ د) سری شبیه سازی شده با پارامتر شکل معادل ۲/۵، ایستگاه تهران



(ادامه نمودار ۵) منحنی‌های سالانه پارامترهای ماهانه، الف) سری مشاهده شده ب) سری شبیه‌سازی شده با پارامتر شکل معادل ۰/۲۵ ج) سری شبیه‌سازی شده با پارامتر شکل معادل ۱ د) سری شبیه‌سازی شده با پارامتر شکل معادل ۲/۵، ایستگاه تهران



تحقیق به خوبی شبیه‌سازی شده‌اند.

اما برخلاف آن واریانس‌های ماهانه دمای بیشینه و کمینه در برخی موارد کمتر شبیه‌سازی شده است که به ساختار مدل شبیه‌ساز برمی‌گردد. در هر صورت می‌توان با روش‌هایی این قابلیت را به مولد داد که واریانس‌ها را هم مانند سایر پارامترهای اقلیمی مناسب شبیه‌سازی نماید.

در بخش دیگری از این تحقیق، از یک روش همسوساز برای اعمال تغییرات اقلیمی بر سری شبیه‌سازی شده استفاده شده است که با کمک یک تابع تصادفی و محاسبه هدفمند یک پارامتر، سری‌های سردتر یا گرم‌تر و پرباران و کم‌باران از سری مشاهده‌شده به سری جدید بازگردانده می‌شوند. این پارامتر بزرگتر از صفر است و با افزایش آن سری جدیدی گرم‌تر یا پرباران‌تر ایجاد می‌شود. با بکارگیری این روش سه نتیجه‌ی زیر دریافت شده است:

۱. شبیه‌سازی نرمال اقلیمی توسط KNN براساس خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (افزایش یا کاهش) با تعریف مناسب پارامتر شکل و برای یک دوره‌ی زمانی معین در آینده مقدور می‌باشد.

هواشناسی و یک همسوساز اقلیمی است و تغییرات اقلیمی پیش‌رو را بر سری شبیه‌سازی شده اعمال می‌کند. آزمون‌های مختلف آماری کارکرد مناسب مولد هواشناسی را نشان داده‌اند که به برخی از نتایج در بخش‌های قبلی اشاره شد. به عنوان مثال، میانگین‌های ماهانه و روزانه‌ی داده‌های شبیه‌سازی شده دما و بارندگی به خوبی و منطبق بر مشاهده‌شده‌ها هستند.

همین‌طور طبق آزمون LEPS Score سطوح احتمالاتی وقایع آب و هوایی مانند احتمال وقوع بارندگی کمتر از یک حد معین (که البته بیشتر برای وقایع حدی یا آستانه‌ها کاربرد دارد) در مولد KNN بسیار نزدیک به واقعیت ساخته شده است. به عنوان مثال مقدار تابع توزیع تجمعی مجموع بارندگی ماه فوریه در ایستگاه مشهد، براساس تابع گاما در سری مشاهده شده معادل ۰/۶۶ و در سری شبیه‌سازی شده معادل ۰/۶۵ است که حکایت از دقت مدل دارد.

علاوه بر این، شبیه‌سازی مناسب همبستگی‌های متقاطع متغیرهای مدنظر از ویژگی‌های دیگر مولد KNN می‌باشد. واریانس‌های ماهانه‌ی بارندگی نیز براساس یافته‌های این

تابش روزانه خورشیدی، سرعت باد، رطوبت نسبی (دمای نقطه شبنم) و غیره را وارد مدل نمود و کارایی مولد ناپارامتر را دریافت.

همچنین می توان روند شبیه سازی را در مقیاس بزرگتر مانند ماهانه و یا کوچک تر مانند مقیاس ساعتی تعریف نمود.

در این مطالعه برای برآورد عرض باند بهینه تابع چگالی از روش سیلورمن استفاده شده است که این پارامتر به طور مستقیم از روی بعد تابع چگالی و طول مجموعه به دست می آید.

در بعضی از مطالعات از روش های دیگری استفاده می شود، مانند روش حداکثر درستنمایی، کمترین مربعات خطا و غیره که نیاز به محاسبات بیشتر دارد و البته دقیق تر می باشند و منجر به برآورد بهتری از پارامترهای تابع چگالی ناپارامتری می گردد.

همچنین برای مدل سازی دقیق تر تراکم نزدیک ترین همسایه ها می توان از عرض باند موضعی^۱ به جای عرض باند کلی^۲ استفاده نمود که باعث برآورد دقیق تر مقدار چگالی احتمالی در مجاورت نماها و مدها می گردد و به طور قطع در شبیه سازی واقعی تر سری درازمدت متغیرهای وضع هوا موثر است. این مولد، تنها قادر به شبیه سازی سری مصنوعی برای یک ایستگاه است که یک رهیافت Single-site محسوب می گردد.

در بسیاری از تحقیقات که مقیاس مطالعاتی در سطح یک حوزه آبریز می باشد، اغلب نیاز به دسترسی مناسب به سری های درازمدت وضع هوا و براساس سناریوهای اقلیمی در چندین ایستگاه وجود دارد که البته اجرای این رهیافت به صورت تک ایستگاهی با مشکل روبرو است.

۲. روش بازنمونه گیری هدفمند قادر به اعمال تغییرات پیش بینی شده در عرض سال و در طول دوره آماری می باشد که نمودارهای ۵ و ۶ این نتایج را نشان می دهند.

۳. با کمک روش مذکور فراوانی وقوع وقایع حدی مانند دوره های گرما و یخبندان و دوره های تر و خشک نیز تحت تاثیر تغییرات اقلیمی قرار می گیرد، به طوری که فراوانی وقوع دوره های با طول مشخص گرما در سری گرم تر و فراوانی وقوع دوره های با طول مشخص یخبندان در سری سردتر افزایش می یابد. برای دوره های تر و خشک نیز چنین است.

با وجود قابلیت های مذکور، روش بازنمونه گیری هدفمند دارای معایبی نیز است. به عنوان مثال اثر کم برآوردی واریانس های دمایی که به ساختار مولد نزدیک ترین همسایه برمی گردد، با اجرای روش بازنمونه گیری مضاعف می گردد. چرا که هدفمند بودن نمونه گیری ها منجر به انتخاب دامنه ی معینی از داده ها می شود.

بنابراین باید با اعمال روش هایی این نقطه ی ضعف روش را به حداقل رساند. یکی از مزایای این رهیافت برخلاف سایر رهیافت های شبیه ساز وضع هوا این است که در تولید همزمان متغیرهای وضع هوا با این روش محدودیتی وجود ندارد، به عبارت دیگر می توان همزمان بیش از ۱۰ متغیر را تولید نمود با این اطمینان که در صورت معنی داری ضرایب همبستگی متقاطع متغیرها، این ضرایب در سری مشاهده شده حفظ و بازگردانده می شوند.

بنابراین می توان در صورت نیاز علاوه بر متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق، سایر متغیرها از جمله میزان

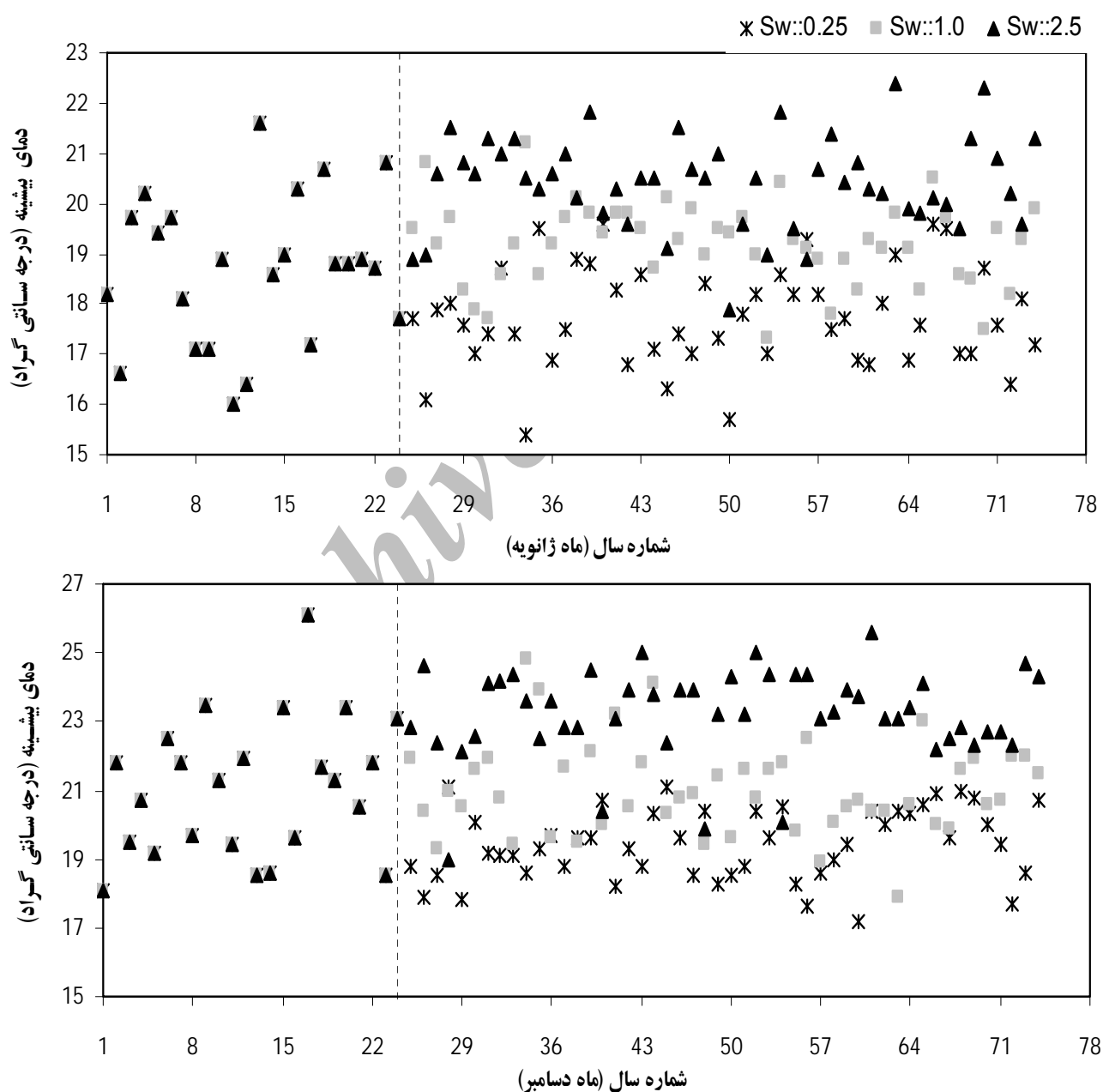
^۱ Local Bandwidth

^۲ Global Bandwidth

می‌شود. یکی از مزایای این رهیافت برخلاف سایر رهیافت‌های شبیه‌سازی وضع هوا این است که در تولید همزمان متغیرهای وضع هوا با این روش محدودیتی وجود ندارد، به عبارت دیگر می‌توان همزمان بیش از ۱۰ متغیر را تولید نمود با این اطمینان که در صورت معنی‌داری ضرایب همبستگی مقاطع متغیرها، این ضرایب در

بنابراین باید گامی در جهت شبیه‌سازی همزمان دنباله‌های ساختگی برای چندین ایستگاه در سطح یک حوزه برداشت. لازمه‌ی توسعه‌ی چنین مولدی، نیل به تکنیکی در مولد می‌باشد که بتواند همبستگی‌های مکانی را در صورت معنی‌داری در شبیه‌سازی دخالت دهد که چنین مولدی به طور حتم یک مولد Multi-site محسوب

نمودار ۶: مقادیر ماهانه‌ی دمای بیشینه برای دو ماه منتخب و برای دو سری مشاهده‌شده (۲۴ سال) و شبیه‌سازی‌شده (۵۰ سال) و براساس سه مقدار متفاوت از پارامتر، ایستگاه بوشهر.



اجرای این رهیافت به صورت تک ایستگاهی با مشکل روبرو است.

بنابراین باید گامی در جهت شبیه سازی همزمان دنباله های ساختگی برای چندین ایستگاه در سطح یک حوزه برداشت. لازمه توسعه چنین مولدی، نیل به تکنیکی در مولد می باشد که بتواند همبستگی های مکانی را در صورت معنی داری در شبیه سازی دخالت دهد که چنین مولدی به طور حتم یک مولد Multi-site محسوب می شود.

فهرست منابع

۱. قمقامی، مهدی، جواد بذرافشان، نوذر قهرمان، ۱۳۸۹، ارزیابی عملکرد یک رهیافت ناپارامتری در شبیه سازی داده های بارندگی ماهانه در چند ایستگاه قدیمی ایران، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، موسسه ژئوفیزیک، صص. ۳۵-۳۲.
۲. قهرمان، نوذر، افسانه فلاح، جواد بذرافشان، ۱۳۸۸، ارزیابی مولدهای هواشناسی LARS-WG و ClimGen در تولید داده های دما و بارش. چهارمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان.
۳. عباسی، فاطمه، شراره ملبوسی، ایمان بابائیان، مرتضی اثمیری، رضا برهانی، ۱۳۸۹، پیش بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، سال ۲۴، شماره ۲، صص ۲۱۸-۲۳۳.
4. Araghinejad, S., D. H. Burn, and M.

سری مشاهده شده حفظ و بازگردانده می شوند.

بنابراین می توان در صورت نیاز علاوه بر متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق، سایر متغیرها از جمله میزان تابش روزانه خورشیدی، سرعت باد، رطوبت نسبی (دمای نقطه شبنم) و غیره را وارد مدل نمود و کارایی مولد ناپارامتر را دریافت.

همچنین می توان روند شبیه سازی را در مقیاس بزرگتر مانند ماهانه و یا کوچکتر تر مانند مقیاس ساعتی تعریف نمود. در این مطالعه برای برآورد عرض باند بهینه تابع چگالی از روش سیلورمن استفاده شده است که این پارامتر به طور مستقیم از روی بعد تابع چگالی و طول مجموعه به دست می آید. در بعضی از مطالعات از روش های دیگری استفاده می شود، مانند روش حداکثر درستنمایی، کمترین مربعات خطا و غیره که نیاز به محاسبات بیشتر دارد و البته دقیق تر می باشند و منجر به برآورد بهتری از پارامترهای تابع چگالی ناپارامتری می گردد. همچنین برای مدل سازی دقیق تر تراکم نزدیک ترین همسایه ها می توان از عرض باند موضعی^۱ به جای عرض باند کلی^۲ استفاده نمود که باعث برآورد دقیق تر مقدار چگالی احتمالی در مجاورت نماها و مدها می گردد و به طور قطع در شبیه سازی واقعی تر سری درازمدت متغیرهای وضع هوا موثر است.

این مولد، تنها قادر به شبیه سازی سری مصنوعی برای یک ایستگاه است که یک رهیافت Single-site محسوب می گردد. در بسیاری از تحقیقات که مقیاس مطالعاتی در سطح یک حوزه آبریز می باشد، اغلب نیاز به دسترسی مناسب به سری های درازمدت وضع هوا و براساس سناریوهای اقلیمی در چندین ایستگاه وجود دارد که البته

¹ Local Bandwidth

² Global Bandwidth

- Climate Research, Vol. 7, pp. 85–95.
11. Klein, W.H., 1983, **Objective specification of monthly mean surface temperature from mean 700 mb heights in winter**, Monthly Weather Review, Vol. 113, pp. 277–290.
 12. Lall, U., B. Rajagopalan, and D.G. Tarboton, 1996, **A nonparametric wet/dry spell model for re-sampling daily precipitation**, Journal of Water Resources, Vol. 32, No. 9, pp. 2803–2823.
 13. Landman, W.A., S.J. Mason, P.D. Tyson, and W.J. Tennant, 2001, **Statistical downscaling of GCM simulations to streamflow**, Journal of Hydrology, Vol. 252, pp. 221–236.
 14. Mehrotra, R., R. Srikanthan, and A. Sharma, 2006, **A comparison of three stochastic multi-site precipitation occurrence generators**, Journal of Hydrology, Vol. 331, pp. 280–292.
 15. Potts, J.M., C.K. Folland, I.T. Jolliffe, and D. Sexton, 1996, **Revised LEPS scores for assessing climate model simulations and long-range forecasts**, Journal of Climate, Vol. 9, pp. 34–53.
 16. Rajagopalan, B., U. Lall, and D.G. Tarboton, 1997, **Evaluation of kernel density estimation methods for daily precipitation re-sampling**, Journal of Stochastic Hydrology And Hydraulics, Vol. 11, pp. 523–547.
 17. Ruiz, J.E., I. Cordery, and A. Sharma, 2007, Karamouz, 2006, **Long-lead probabilistic forecasting of stream-flow using ocean-atmospheric and hydrological predictors**, Journal of Water Resour. Res., Vol. 42, No.3, pp. 1–11.
 5. Bannayan, M., and G. Hoogenboom, 2007, **Predicting realization of daily weather data for climate forecasts using the non-parametric nearest-neighbor re-sampling technique**, International Journal of Climatology, Vol. 28, No. 10, pp. 1357–1368.
 6. Burn, D.H., 1998, **Climatic change impacts on Hydrological extremes and the implications for reservoirs**, Proc. Second Intl. Conf. on Climate and Water, Espoo, Finland, pp. 273–281.
 7. Cannon, A.J., and P.H. Whitfield, 2002, **Downscaling recent stream-flow conditions in British Columbia, Canada using ensemble neural network models**, Journal of Hydrology, Vol. 259, pp. 136–151.
 8. Crane, R.G., and B.C. Hewitson, 1998, **Doubled CO2 precipitation changes for the Susquehanna basin: downscaling from the general circulation model**, International Journal of Climatology, Vol. 18, pp. 65–76.
 9. Davis, J., 1986, **Statistics and data analysis in geology**, Wiley, New York.
 10. Hewitson, B., 1996, **Climate downscaling: techniques and application**, Journal of

24. Silverman, B.W., 1986, **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**, Chapman and Hall, New York.
25. Simonovic, S.P., and L. Li, 2003, **Methodology for assessment of climate change impacts on large-scale flood protection system**, ASCE Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 129, No. 5, pp. 361–372.
26. Ward, M.N., and C.K. Folland, 1991, **Prediction of seasonal rainfall in the north Nordeste of Brazil using eigenvectors of sea- surface temperature**, International Journal of Climatology, Vol. 11, pp. 711–743.
27. Westmacott, J.R., and D.H. Burn, 1997, **Climate change effects on the hydrological regime within the Churchill– Nelson river Basin**, Journal of Hydrology, Vol. 202, pp. 263–279.
28. Yakowitz, S., 1993, **Nearest neighbor regression estimation for null-recurrent Markov time series**, Journal of Stoch. Proc. Appl., Vol. 48, pp. 311–318.
29. Yakowitz, S., 1987, **Nearest neighbor methods for time series analysis**, Journal of Time Ser. Anal., Vol 8, No. 2, pp. 235–247.
30. Zorita, E., and H. vonStorch, 1999, **The analog method as a simple statistical downscaling: comparison with more complicated methods**, Journal of Climate, Vol. 12, pp. 2474–2489.
- Forecasting stream-flows in Australia using the tropical Indo- Pacific thermocline as predictor**, Journal of Hydrology, Vol. 341, pp. 156– 164.
18. Semenov, M.A., and E.M. Barrow, 1997, **Use of stochastic weather generator in the development of climate change scenarios**, Journal of Climatology, Vol. 35, pp. 397–414.
19. Semenov, M.A., 2009, **Impacts of climate change on wheat in England and Wales**. J. R. Soc. Interface, Vol. 6, pp. 343–350.
20. Sharif, M., and D.H. Burn, 2006, **Simulating climate change scenarios using on improved k nearest neighbor model**, Journal of Hydrology, Vol. 325, pp. 179–196.
21. Sharma, A., and U. Lall, 1999, **A nonparametric approach for daily rainfall simulation**, Journal of Mathematics And Computer In Simulation, Vol. 48, pp. 361–371.
22. Sharma, A. and U. Lall, 1997, **A nearest neighbor conditional bootstrap for re-sampling daily rainfall**, 24th Hydrology and Water Resources Symposium, The Institution of Engineers, Australia, pp. 439–444.
23. Sharma, A., and R. O'neil, 2002, **A nonparametric approach for representing inter-annual dependence in monthly stream-flow**, Journal of Water Res. Res., Vol. 138, No. 7, pp. 5-1:5-10.