

## پیش‌بینی نوسان‌های دما و بارش در پهنه‌ی مرکزی استان فارس برای دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با کاربرد شبیه ECHAM5

وحیده روان<sup>\*</sup>، سید محمد جعفر ناظم السادات<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۴/۰۳

### چکیده

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و افزایش جهانی دما، نشان پر رنگی بر اندازه تولید و ویژگی‌های فرآورده‌های کشاورزی خواهد داشت. نشان این دگرگونی‌ها در کوتاه شدن دوره‌ی رشد، افزایش تبخیر-تعرق، افزایش عملکرد و نوسان ارزش خوراکی گیاهان نمایان گردیده است. از جمله روش‌های پیش‌بینی دما و بارش در چنددهه‌ی آتی، به‌کارگیری شبیه‌های گردش همگانی جو (GCM) می‌باشد. از آن‌جا که برون‌داد این شبیه‌ها نشانگر ویژگی‌های اقلیمی در پهنه‌های بزرگ جغرافیایی است، برای به‌کارگیری آنها در گستره‌های محلی و حوضه‌های آبخیز نیاز به کوچک اندازه کردن برون‌دادها می‌باشد. در این پژوهش، دو روش ناهمسان برای کوچک اندازه کردن آماری برای برون‌دادهای شبیه‌های GCM به‌کار گرفته و سپس بهترین روش انتخاب شده است. در گام دوم، برون‌دادهای شبیه گردش همگانی جو ECHAM5 در دو نمایشنامه‌ی 20C3M و 1PTO2X برای دوره‌ی ۲۰۰۵-۱۹۵۱ کوچک اندازه شدند. پس از آنکه واسنجی‌ها نشان داد که برون‌دادهای کوچک اندازه شده شبیه همخوانی بالایی با داده‌های دیده‌بانی شده دارند، همان روش کوچک اندازه کردن برای برون‌دادهای شبیه در دوران ۲۰۱۱-۲۰۴۰ به‌کار گرفته شد. یافته‌های پژوهش نشانگر افزایش دمای پهنه مرکزی استان فارس در دوره سی‌ساله‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ در سنجش با دوره‌ی زمانی گذشته ۰/۵۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در نمایشنامه‌ی 20C3M و ۲/۳۵ درجه سانتی‌گراد در نمایشنامه‌ی 1PTO2X می‌باشد. همچنین اندازه‌ی بارش دوره سی‌ساله‌ی آتی در دو نمایشنامه‌ی 20C3M و 1PTO2X، یکی پس از دیگری، ۱۴٪ کاهش و ۱۹٪ افزایش نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، شبیه‌های گردش همگانی جو، کوچک اندازه کردن.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه شیراز.

۲- استاد هواشناسی دانشگاه شیراز.

\* نویسنده‌ی مسول: vahideravan@yahoo.com

## مقدمه

گزارش‌های IPCC (۲۰۰۱) نشان می‌دهد که در چنددهه‌ی گذشته، غلظت گازهای گلخانه‌ای مانند  $CO_2$  و  $CH_4$  در هوای پیرامون زمین روند فزاینده‌ای داشته است. از آن‌جا که هر مولکول از این گازها، جابای پرتنگی در ربایش خیزاب‌های (امواج) گرمایی دارد، افزایش آنها همراه با گرم شدن بیشتر زمین در گستره‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی می‌باشد (Charlson و همکاران، ۱۹۹۲). افزایش جهانی دما در یک قرن گذشته، نزدیک  $0.3$  تا  $0.6$  درجه‌ی سانتی‌گراد برآورد شده و هم‌اکنون نیز با شتاب بیشتری در حال رخ‌دادن است (بی‌نام، ۲۰۰۹). پژوهش‌ها نشان می‌دهد چنانچه روند افزایش غلظت این گازها ایستا نگردد، میانگین دمای کره‌ی زمین ۱ تا  $3/5$  درجه‌ی سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد (مساح بوانی و مرید، ۲۰۰۶).

کامگا (۲۰۰۱) با به‌کارگیری شبیه‌های چرخش همگانی جو نشان داد که تا سال ۲۱۰۰، پهنه‌های بالادستی رود بنو در کامرون با افزایش دما ۱ تا ۳ درجه‌ی سانتی‌گراد و افزایش بارندگی ۴ تا ۱۳٪ روبرو خواهند شد. وی همچنین نشان داد که میانگین سالانه‌ی بده‌ی مزبور از ۳- تا  $18+$ ٪ نوسان خواهد کرد.

در چهارمین گزارش IPCC (۲۰۰۷) که بر کاربرد شبیه‌های منطقه‌ای پافشاری می‌کند، آمده است که چنانچه گامی برای کاهش پخش گازهای گلخانه‌ای برداشته نشود، تا پایان این قرن، میانگین جهانی دمای رویه‌ی زمین در خوش‌بینانه‌ترین حالت بین  $1/8$  تا ۴ و در بدبینانه‌ترین حالت تا  $6/4$  درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. مسترسانجژ و فیچولوبو (۲۰۰۸) گزارش کردند که نشانه‌های دگرگونی اقلیم نه تنها از دیدگاه اقتصادی و بوم‌زیستی کاهش فرآورده‌های کشاورزی را در پی دارد، بلکه در کاستن نیروی کار بخش کشاورزی نیز نشانی پرتنگ برجای خواهد گذاشت. شمس و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن باعث افزایش عملکرد محصول شده و نیاز آبی گیاه را کاهش می‌دهد. بنابراین چشم‌داشت آن می‌رود در آینده پدیده گازهای گلخانه‌ای بتواند تا حدودی باعث افزایش عملکرد گیاهی در برخی مناطق دنیا گردد، چرا که از یک طرف افزایش

گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش دما و افزایش فصل رشد شده و همچنین دمای بهینه رشد گیاهی را نیز افزایش داده که باعث مقاومت بیشتر گیاهان نسبت به افزایش دما می‌گردد. با این حال ناگفته نماند که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و افزایش دما در برخی مناطق نیز می‌تواند زیان‌های زیادی را در بخش فرآورده‌های کشاورزی در پی داشته باشد (شمس و همکاران، ۲۰۱۲).

در گزارش‌های تازه‌تر IPCC (۲۰۰۸) نیز بر نشان پرتنگ افزایش گرمای جهانی بر دگرگونی‌های چرخه‌ی آبشناسی پافشاری شده است. افزایش بخار آب جو، دگرگونی در الگوی بارش، نوسان زیاد در شدت و کمبود بارش، کاهش پوشش برفی و افزایش ذوب برف و کاهش نم خاک و افزایش رواناب نمونه‌هایی از این دگرگونی می‌باشند. همانند (شبیه‌سازی شبیه‌های اقلیمی برای قرن ۲۱ نشان‌دهنده‌ی افزایش بارندگی در عرض‌های جغرافیایی بالا و بخش‌هایی از گستره‌ی استوایی و کاهش آن در برخی گستره‌های نزدیک گرمسیری و عرض‌های پایینتر از پهنه‌های خنک (معتدله) می‌باشند (IPCC، ۲۰۰۸).

یکی از کارهای بنیادی و دانش پایه برای کاهش نشان‌های ناگوار دگرگونی اقلیمی، پیش‌بینی الگو و روند آنها در دهه‌های آینده می‌باشد. با روشن شدن اندازه‌ی افزایش دما در آینده می‌توان نشان آن را بر زندگی گیاهان و انسان‌ها واکاوی نموده و چاره‌اندیشی کرد. ساختن شبیه‌های عددی گردش عمومی جو (General Circulation Models) نمونه‌ای از کارهای ریشه‌ای و دانش بنیان برای پیش‌بینی دگرگونی‌های سازه‌های اقلیمی در دهه‌های آینده می‌باشد. این شبیه‌ها، با پردازش داده‌ها و رفتارهای گذشته و کنونی جو- اقیانوس و خشکی، الگوهای رفتاری سازه‌های اقلیمی مانند دما، بارش، نم هوا، باد و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و پویایی آب اقیانوس‌ها را برای چند دهه پیش‌بینی می‌کنند.

از آن‌جا که شیب فزاینده‌ی کربن دی‌اکسید به درستی روشن نیست و کانون‌های پژوهشی دنیا غلظت‌های گوناگونی را از این گاز برای چنددهه‌ی آینده پیش‌بینی کرده‌اند، شبیه‌های GCM بر پایه‌ی نمایشنامه‌های

تطبیق با دگرگونی اقلیم<sup>۲</sup> انجام شده است. همچنین، کوچکی و همکاران (۲۰۰۶)، با کاربرد کوچک اندازه کردن برون‌آمدهای شبیه‌های GCM نشانه‌های پر رنگ دگرگونی اقلیم را در مورد آفتابگردان و نخود در تبریز بررسی کردند. ایشان دریافتند که در شرایط افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و دما، دوره‌ی رشد این دوگونه‌ی گیاهی در کشت دیم و غرقابی کاهش می‌یابد. مدیریان و همکاران (۲۰۱۰) برای دستیابی به شبیه اقلیمی متناسب با شرایط اقلیمی استان خراسان از ۴ نمایشنامه‌ی مختلف شبیه RegCM3 از جمله شبیه‌های GCM استفاده کرده و با برآورد اندازه‌ی اریبی فصلی بین داده‌های شبیه و واقعی بارش و دما، بهترین نمایشنامه را تعیین کردند.

در گام نخست این پژوهش، روش بهینه‌ای برای کوچک اندازه کردن برون‌آمدهای (خروجی) شبیه‌های GCM برگزیده می‌شود. پس از آن که برون‌آمدهای شبیه‌های مزبور با این روش برگزیده کوچک اندازه گردید و روشن شد که داده‌های همانندسازی شده شبیه و دیده‌بانی برای دوره‌ی گذشته هم‌خوانی بسنده‌ای دارند، داده‌های شبیه برای آینده همانندسازی خواهند شد. همانندسازی برای دو نمایشنامه‌ی 20C3M و 1PTO2X به انجام خواهد رسید تا پیش‌بینی ریزبینانه‌تری از چگونگی دما و بارش آینده این پهنه به‌دست آید. در نمایشنامه‌ی نخست پیش‌بینی‌ها بر این پایه استوار است که روند افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای همان باشد که در قرن بیستم دیده‌بانی گردیده است. در نمایشنامه‌ی دوم این‌گونه انگاشته می‌شود که از دوره‌ی پیش از انقلاب صنعتی، روند افزایش گازهای گلخانه‌ای با سرعت ۱٪ در هر سال تا رسیدن غلظت آن به دو برابر پیوستگی دارد (IPCC, 2007).

انگیزه‌ی انجام این پژوهش پیش‌بینی دما و بارش پهنه‌ی مرکزی استان فارس برای دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ با کاربرد شبیه ECHAM5 به دلیل تأثیر این دو ویژگی هواشناسی بر کشاورزی این پهنه می‌باشد. افزایش غلظت گاز CO<sub>2</sub> و دما باعث کوتاهی دوره‌ی رشد گیاهان و دگرگونی در سوخت و ساز نوری و هدایت روزنه‌ای به‌شمار می‌آید. از این روی، داده‌های دیده‌بانی شده‌ی دو ایستگاه

گونگونی از روند افزایشی این گاز پایه‌ریزی شده‌اند. در برخی شبیه‌ها این گونه پنداشته می‌شود که روند افزایشی گازهای گلخانه‌ای بسیار زیاد خواهد شد و غلظت آن در گذر چنددهه به دو برابر خواهد رسید. برخی دیگر از شبیه‌ها روند کندتری از افزایش این گازها را نشان می‌دهند. از آن‌جا که شبیه‌های گردش همگانی جو، بزرگان‌اندازه‌اند، ویژگی‌های محلی و منطقه‌ای در آنها کمتر دیده شده است. از این روی، میان برون‌داد این شبیه‌ها و گروه‌های زمانی دیده‌بانی شده ناسازگاری‌های زیادی دیده می‌شود (دتلینگر و همکاران، ۲۰۰۴؛ سالاد، ۲۰۰۴؛ آذرانفر و همکاران، ۲۰۰۶؛ مساح و مرید، ۲۰۰۶، سالیاری و همکاران، ۲۰۰۶). برای از میان بردن این ناسازگاری‌ها، روش‌های گوناگون آماری، عددی و هوشمند به‌کار برده می‌شوند که به روش‌های کوچک اندازه کردن<sup>۱</sup> برون-آمدهای شبیه شناخته می‌گردند. در فرآیند کوچک اندازه کردن، داده‌های دیده‌بانی و برون‌دادهای شبیه GCM در دوره‌ی زمانی گذشته سنجیده می‌شوند. چنان‌چه میان داده‌های اندازه‌گیری و همانندسازی شده هم‌خوانی نباشد، با به‌کارگیری روش‌های آماری بیشترین همانندی میان آنها به‌دست آید. به دیگر سخن، در فرآیند کوچک اندازه کردن، رابطه‌ی ریاضی بین داده‌های دیده‌بانی و همانندسازی گردیده بیرون آورده می‌شود. پس از آن، این رابطه‌ی ریاضی، برای هرچه بیشتر راستین کردن پیش-بینی‌های آینده‌ی شبیه‌های GCM به‌کار گرفته می‌شود. از این روی، می‌توان برون‌آمدهای شبیه‌های GCM را برای پهنه‌های کوچکتر به‌کار بست (ویلیبی و ویگلی، ۱۹۹۷).

استان فارس، به‌ویژه در پهنه‌ی مرکزی، از کانون‌های ریشه‌دار کشور در تولید فرآورده‌های زراعی است که گرم شدن جهانی می‌تواند فرایند تولید را با کاستی‌های زیادی روبرو سازد. یافته‌های علمی در راستای پیش‌بینی اندازه‌ی دگرگونی اقلیمی برای این پهنه و بیشتر بخش‌های جنوبی کشور یافت نشدند. جستجوها نشانگر انجام پژوهش‌هایی برای حوضه‌ی آبخیز زاینده‌رود بود که از سوی مساح بوانی و مرید (۲۰۰۶) به‌عنوان بخشی از طرح پژوهشی جهانی

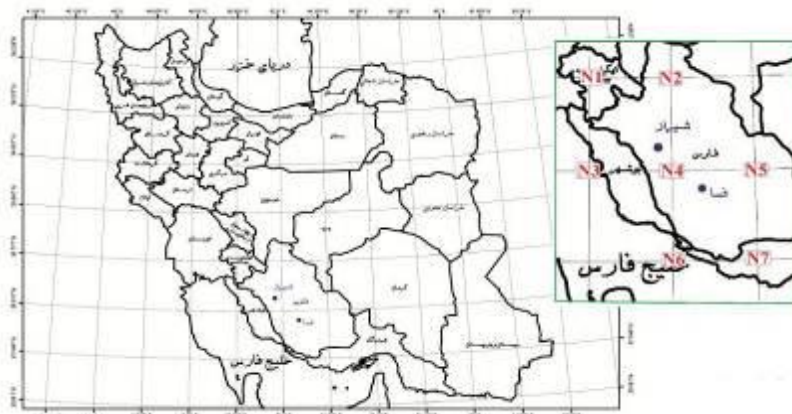
برده در شکل (۱) نشان داده شده است. این گره‌ها با نام‌های N1 تا N7 نشان داده شده‌اند.

پس از آماده‌سازی و آراسته نمودن داده‌ها، همبستگی گروه زمانی دیده‌بانی شده و تولیدی شبیه برای هر چهار گره در هر ماه آزمون شد. به دیگر سخن، این پرسش آزمون گردید که آیا بدون انجام فرآیند کوچک اندازه کردن برون‌آمدهای شبیه، همبستگی معنی‌داری میان داده‌های دیده‌بانی شده و این برون‌آمدها وجود دارد یا نه؟ دستاوردهای آزمون همبستگی نشانگر آن بودند که در هر چهار گره، برون‌آمدهای شبیه GCM پیوند پذیرفتنی با داده‌های دیده‌بانی شده ندارند. بنابراین، نیاز بود تا این برون‌آمدها با کاربرد روش دانش‌ورانه پردازش گردند تا همبستگی میان آنها و گروه‌های زمانی دیده‌بانی شده از دیدگاه آماری پذیرفتنی گردند.

شیراز و فسا که در بخش مرکزی استان فارس جاگرفته‌اند، به‌کار گرفته شدند.

### مواد و روش‌ها

داده‌های میانگین دما و بارش ماهانه‌ی ایستگاه‌های شیراز و فسا از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ از پایگاه اینترنتی سازمان هواشناسی کشور ([www.weather.ir](http://www.weather.ir)) بیرون کشیده شدند. هم‌ارز این گروه‌های زمانی دیده‌بانی شده، داده‌های دما و بارش ماهانه‌ی تولیدی شبیه ECHAM5 برای ۴ گره جغرافیایی پیرامون ایستگاه‌های شیراز و فسا از مرکز داده‌های اقلیمی جهانی موسسه‌ی ماکس پلانک آلمان از پایگاه <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Index.jsp> به‌دست آمدند. افزون بر آن، داده‌های این گره‌ها تا سال ۲۰۴۰ نیز از همان پایگاه اینترنتی بیرون کشیده شدند. جایگاه جغرافیایی شیراز و فسا در میان گره‌های شبیه نام



شکل ۱. جایگاه ایستگاه‌های شیراز و فسا در میان گره‌های شبیه ECHAM5 در پهنه‌ی مرکزی فارس.

$1.8^{\circ} \times 1.8^{\circ}$  می‌باشد و همچنین ۳۱ لایه‌ی عمودی در

جو و ۴۰ لایه عمودی در اقیانوس‌ها را پوشش می‌دهد.

#### کوچک اندازه کردن

در این پژوهش برای کوچک اندازه کردن آماری روش وایازی به‌کار گرفته می‌شود. برتری این روش کارآمدی آن از دیدگاه محاسباتی است و می‌تواند از شمار زیادتری از نمایشنامه‌های اقلیمی بهره‌مند گردد. افزون بر آن، در روش آماری وایازی می‌توان پیوند فیزیکی میان پدیده‌ها را بهتر درک کرد.

#### شبیه ECHAM5

شبیه ECHAM5 یکی از نوین‌ترین شبیه‌های گردش همگانی جو و نسل پنجم شبیه‌های ECHAM با ترکیبی نو و سازگاری بیشتر نسبت به نمونه‌های پیشین خود می‌باشد که در مرکز هواشناسی ماکس پلانک آلمان آماده گردیده است (روکنر، ۲۰۰۳).

برای نمونه، ECHAM4 با جداسازی مکانی  $2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$  (طول  $\times$  عرض جغرافیایی)، دربرگیرنده‌ی ۱۹ لایه‌ی عمودی در جو و ۱۱ لایه‌ی عمودی در اقیانوس می‌باشد. در برابر، جداسازی مکانی در شبیه ECHAM5 برابر با

## روش محاسباتی

در فرآیند کوچک اندازه کردن برون‌آمدهای شبیه، دو روش بنام‌های الف) روش نسبت و تفاوت و ب) روش همسو سازی پراکنش احتمالاتی<sup>۱</sup> به کار گرفته می‌شوند. در نخستین روش که از سوی سالاد (۲۰۰۴) پیشنهاد گردیده است، تلاش می‌شود تا با بهره‌جویی از رابطه‌های [۱] و [۲]، که به ترتیب برای دما و بارش به کار می‌روند، میانگین برون‌آمدهای شبیه GCM و میانگین داده‌های دیده‌بانی در دوره‌ی گذشته یکسان گردند. بدین گونه در برابر هر داده‌ی دیده‌بانی شده و یا همانندسازی شده، یک عدد کوچک اندازه شده به دست می‌آید (روکنر، ۲۰۰۳).

[۱]  $T_{ds}(x, t) = T_{mod}(x, t) + ((\bar{T}_{obs})_{sea} - (\bar{T}_{mod})_{sea})$

در رابطه‌ی بالا  $T_{mod}(x, t)$  میانگین دمای ماهانه‌ی شبیه در نقطه‌ی X و زمان t بدون هرگونه پردازشی می‌باشد.  $(\bar{T}_{obs})_{sea}$  و  $(\bar{T}_{mod})_{sea}$  یکی پس از دیگری میانگین فصلی دمای دیده‌بانی شده و شبیه در دوره‌ی دیده‌بانی می‌باشند. همچنین،  $T_{ds}(x, t)$  میانگین دمای ماهانه‌ی کوچک اندازه شده در نقطه X و زمان t است.

[۲]  $P_{ds}(x, t) = P_{mod}(x, t) \times \frac{(\bar{P}_{obs})_{sea}}{(\bar{P}_{mod})_{sea}}$

در رابطه‌ی بالا  $P_{mod}(x, t)$  میانگین بارش ماهانه‌ی شبیه در نقطه‌ی X و زمان t بدون هرگونه پردازش است.  $(\bar{P}_{obs})_{sea}$  و  $(\bar{P}_{mod})_{sea}$  یکی پس از دیگری میانگین فصلی بارش دیده‌بانی شده و شبیه در دوره‌ی دیده‌بانی شده می‌باشند. همچنین  $P_{ds}(x, t)$  میانگین بارش ماهانه‌ی کوچک اندازه شده در نقطه X و زمان t می‌باشد.

روش دوم بر پایه همسو سازی پراکنش احتمالاتی برون‌آمدهای شبیه با داده‌های دیده‌بانی شده استوار است. در این روش، این‌گونه پنداشته می‌شود که داده‌های همانندسازی شده باید همان پراکنش آماری را داشته باشند که داده‌های دیده‌بانی شده دارا هستند. پس از آن که پراکنش آماری داده‌های دیده‌بانی شده و شبیه در دوره‌ی گذشته کم و بیش یکسان گردیدند، از روابط وایزی برای کوچک اندازه کردن برون‌آمدهای شبیه بهره برده می‌شود. در اینجا از روش ارائه شده از سوی دتینگر و

همکاران (۲۰۰۴) برای همسو کردن توابع توزیع احتمال دو گروه داده دیده‌بانی شده و شبیه بهره گرفته شد. در همین پیوند گام‌های زیر برداشته شدند:

۱- گروه زمانی دیده‌بانی شده و برون‌آمد شبیه (برای هر چهار گره) جداگانه برای هر نمایشنامه از بزرگ به کوچک آراسته گشته و رو در روی هم جای داده شدند تا چهار جفت از گروه زمانی ماهانه آراسته گشته برای هر یک از ماه‌ها به دست آید. بدین گونه، بزرگترین و کوچکترین داده دیده‌بانی شده و برون‌آمد شبیه رو در روی یکدیگر جای گرفتند. از آن‌جا که هر سال ۱۲ ماه می‌باشد، روی هم رفته ۴۸ جفت از این گروه‌های زمانی آراسته شده برای هر یک از پدیده‌های دما و بارش به دست آمد. هر گروه زمانی دارای ۵۵ رسته (ردیف) داده از ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ بود. ۲- به کمک رابطه‌ی ویبول (رابطه [۳])، احتمال رخداد برای هر جفت داده روبروی هم برآورد گردید. در این جا  $m$  رتبه‌ی نمونه،  $N$  تعداد نمونه‌ها در هر گروه و  $p$  احتمال وقوع برابر یا کوچکتر می‌باشد.

$$P = \frac{m}{N+1} \quad [۳]$$

۳- برای هر ماه از سال، معادله‌ی همبستگی میان داده‌های دیده‌بانی شده (X) و برون‌آمد شبیه (Y) که از بالا به پایین آراسته گشته‌اند، به دست آمد. با به کارگیری این معادله و جای گذاری داده‌های دیده‌بانی شده در آن یک گروه زمانی نوین که با دیده‌بانی‌ها همسو است، برای هر گره به دست آمد. به این گونه، برای هر احتمال مشخص یک داده دیده‌بانی شده، یک داده‌ی شبیه و یک داده‌ی کوچک اندازه شده خواهیم داشت.

۴- ضریب همبستگی و خطای موجود بین گروه داده‌های دیده‌بانی و داده‌های کوچک اندازه شده یکی پس از دیگری به کمک رابطه‌ی [۴] و [۵] مورد ارزیابی قرار گرفتند.

$$R^2 = \frac{\sum_{m=1}^K X_m Y_m}{\sqrt{\sum_{m=1}^K X_m^2 \sum_{m=1}^K Y_m^2}} \quad [۴]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^K (X_m - Y_m)^2}{K}} \quad [۵]$$

۵- اندازه‌ی ضریب همبستگی و مجذور مربعات خطا (RMSE) در گره‌های چهارگانه با یکدیگر سنجیده شد تا

### همسوسازی داده‌های دیده‌بانی شده و همانندسازی شده

شکل ۲ پراکنش احتمال برای داده‌های دیده‌بانی شده (obs)، برون‌آمد شبیه (mod) و کوچک اندازه شده (ds) را در ماه ژانویه در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۵۱ برای دما و بارش نشان می‌دهند. نمودار سایر ماه‌ها نیز کم و بیش، همانند ماه ژانویه بود که از نشان دادن آنها خودداری می‌گردد. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با دستاوردهای دتینگر و همکاران (۲۰۰۴) و همچنین آذرانفر و همکاران (۲۰۰۶) همخوانی دارند و همان‌گونه که دیده می‌شود، پس از کوچک اندازه کردن برون‌آمدهای شبیه، پراکنش (توزیع) احتمالی این داده‌ها و داده‌های دیده‌بانی شده کم و بیش روی هم افتاده‌اند. بدین ترتیب، می‌توان آسوده‌دل بود که روابط وایزی به‌کار گرفته شده در فرآیند کوچک اندازه کردن داده‌های گذشته، می‌تواند به شیوه‌ای بسنده برون‌آمدهای شبیه برای دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ نیز کوچک اندازه بنماید. کاربرد این روش بر این پندار استوار است که بسامد دوران‌های گرم و سرد در آینده همان الگویی را خواهد داشت که در گذشته دیده‌بانی شده است. برای نمونه، اگر در دوران گذشته در ۳۰٪ دیده‌بانی‌ها دمای هوا به اندازه ۲ درجه سانتی‌گراد کمتر از میانگین آن دوره بوده است، همین الگو کم و بیش در آینده هم رخ خواهد داد. روش به‌کار گرفته شده بر این پافشاری ندارد که اندازه‌ی دما یا بارشی که در یک ماه ویژه در چند دهه‌ی آینده رخ خواهد داد، درست همان باشد که در این‌جا پیش‌بینی می‌شود. پافشاری بر پایدار بودن ویژگی‌های بنیادی آماری مانند میانگین، میانه، واریانس و توزیع آماری است. همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود، همسوسازی برای داده‌های دما بهتر از بارش انجام شده است که علت اصلی آن پیروی داده‌های دما از پراکنش بهنجار می‌باشد. ارزیابی‌ها نشان دادند که در دوره‌ی دیده‌بانی، پراکنش داده‌های بارش بر توزیع گاما برازش بسنده‌ای دارند. از همین روی، پیش‌بینی دما از ریزینی بیشتری برخوردار است.

روشن گردد که داده‌های کدام‌یک از این چهار گره پیرامون ایستگاه‌های شیراز و فسا پیوند بیشتری با داده‌های دیده‌بانی شده دارند. گره دارای بیشترین  $R^2$  و کمترین RMSE برای پردازش‌های آتی برگزیده شد و دیگر گروه‌های زمانی در پردازش‌های پس از این به‌کار گرفته نشدند.

۶- پس از گزینش بهترین گره، به کمک روابط وایزی به‌دست آمده برای هر ماه، داده‌های آینده‌ی شبیه در همان گره کوچک اندازه شدند.

### دستاوردهای پژوهش

نخستین پردازش‌ها نشان دادند که به‌کارگیری روش نسبت و تفاوت (رابطه [۱] و [۲])، همبستگی میان داده‌های اندازه‌گیری شده و برون‌آمد شبیه را به‌گونه‌ای چشمگیر افزایش نمی‌دهد و اندازه‌ی RMSE هم چندان کم نشد. از این رو، روش همسوسازی پراکنش احتمالاتی بر پایه‌ی روش دتینگر و همکاران (۲۰۰۴) به‌کار گرفته شد. برای این کار، داده‌های دیده‌بانی شده و برون‌آمد شبیه در هریک از گره‌ها برای هر ماه از بزرگ به کوچک آراسته گردیدند. پس از آن، اندازه  $R^2$  و RMSE برای این دو گروه آراسته شده برآورد گردید. بالاترین همبستگی میان برون‌آمدهای شبیه و داده‌های دیده‌بانی شده ایستگاه‌های شیراز و فسا در گره N4 یافت شد (شکل ۱ و جدول ۱) که در این‌جا جداول مربوط به ایستگاه فسا، به‌دلیل همانندی با ایستگاه شیراز نشان داده نشده‌اند. داده‌های بارش در این گره نیز بالاترین همبستگی را با بارش دیده‌بانی شده نشان داد که از آوردن ضریب همبستگی خودداری می‌گردد. همان‌گونه که دیده می‌شود، طول و عرض جغرافیایی این گره، یکی پس از دیگری، ۵/۵۲ درجه شرقی و ۲۸/۹۱۱ درجه شمالی است. پس از به‌دست آمدن پیوند وایزی برای دوره‌ی گذشته، با جای‌گذاری داده‌های برون‌آمد شبیه برای دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰، داده‌های کوچک اندازه شده شبیه برای این دوره در دو نمایشنامه‌ی 20C3M و 1PTO2X همانندسازی گردیدند.

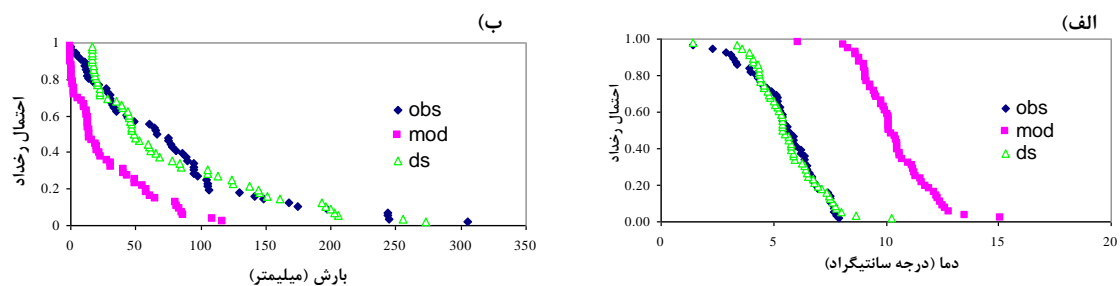
جدول ۱. اندازه‌ی ضریب تبیین (R2) و مجذور مربعات خطا (RMSE) بین گروه زمانی دیده‌بانی شده‌ی دما و گروه زمانی کوچک اندازه شده‌ی شبیه Echem5 در چهار گره پیرامون ایستگاه شیراز.

گره ماه	N4		N3		N2		N1	
	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2
ژانویه	۰/۴۳	۰/۹۲	۰/۵۳	۰/۸۸	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۵۷	۰/۸۶
فوریه	۰/۲۵	۰/۹۸	۰/۳۳	۰/۹۶	۰/۶۰	۰/۸۷	۰/۴۰	۰/۹۴
مارس	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۲۵	۰/۹۸	۰/۴۷	۰/۸۸	۰/۲۸	۰/۹۶
آوریل	۰/۳۵	۰/۹۵	۰/۳۹	۰/۹۴	۰/۸۳	۰/۷۷	۰/۵۴	۰/۹۰
می	۰/۴۱	۰/۹۲	۰/۴۷	۰/۹۱	۰/۵۸	۰/۸۵	۰/۵۲	۰/۸۸
ژوئن	۰/۱۹	۰/۹۵	۰/۳۷	۰/۸۳	۰/۶۲	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۶۵
ژوئیه	۰/۱۹	۰/۹۶	۰/۲۲	۰/۹۴	۰/۲۵	۰/۹۳	۰/۲۰	۰/۹۵
اوت	۰/۱۷	۰/۹۸	۰/۲۲	۰/۹۶	۰/۱۹	۰/۹۷	۰/۲۰	۰/۹۷
سپتامبر	۰/۲۰	۰/۹۷	۰/۲۱	۰/۹۶	۰/۲۳	۰/۹۵	۰/۲۴	۰/۹۵
اکتبر	۰/۲۶	۰/۹۵	۰/۲۹	۰/۹۳	۲/۱۵	۰/۹۴	۰/۳۳	۰/۹۲
نوامبر	۰/۱۱	۰/۹۹	۰/۱۳	۰/۹۸	۰/۱۳	۰/۹۸	۰/۱۴	۰/۹۸
دسامبر	۰/۳۷	۰/۹۴	۰/۴۳	۰/۹۲	۰/۳۹	۰/۹۴	۰/۳۸	۰/۹۴

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار پایای (بلند مدت) دمای دیده‌بانی شده، برون آمد شبیه Echem5 و داده‌های کوچک اندازه شده بر حسب درجه‌ی سانتیگراد.

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	دیده بانی
میانگین	۵/۶۵	۷/۹۹	۱۱/۷۸	۱۶/۶۴	۲۲/۷۰	۲۷/۸۶	دیده بانی
انحراف معیار	۱/۵۶	۱/۶۶	۱/۳۷	۱/۷۵	۱/۵۳	۰/۸۹	انحراف معیار
شبیه ECHAM5	۱۰/۴۲	۱۲/۰۱	۱۶/۳۰	۲۱/۵۹	۲۷/۱۶	۳۱/۴۸	شبیه ECHAM5
انحراف معیار	۱/۵۰	۱/۸۶	۱/۸۹	۱/۷۱	۱/۷۷	۱/۰۸	انحراف معیار
کوچک اندازه شده	۵/۶۵	۷/۹۹	۱۱/۷۸	۱۶/۶۴	۲۲/۷۰	۲۷/۸۶	کوچک اندازه شده
انحراف معیار	۱/۵۴	۱/۶۵	۱/۳۷	۱/۷۴	۱/۵۰	۰/۸۷	انحراف معیار

ماه	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
دیده بانی	۲۹/۹۸	۲۸/۹۵	۲۴/۹۶	۱۸/۸۷	۱۲/۰۶	۷/۳۶	دیده بانی
انحراف معیار	۰/۹۶	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۶	۱/۱۴	۱/۵۷	انحراف معیار
شبیه ECHAM5	۲۹/۹۳	۳۲/۲۱	۲۸/۶۹	۲۲/۸۲	۱۶/۷۵	۱۲/۲۰	شبیه ECHAM5
انحراف معیار	۰/۹۲	۰/۹۲	۱/۲۶	۱/۲۳	۱/۵۹	۱/۴۴	انحراف معیار
کوچک اندازه شده	۲۹/۹۸	۲۸/۹۵	۲۴/۹۶	۱۸/۸۷	۱۲/۰۶	۷/۳۶	کوچک اندازه شده
انحراف معیار	۰/۹۵	۱/۱۲	۱/۰۹	۱/۱۴	۱/۱۴	۱/۵۳	انحراف معیار



شکل ۲. پراکنش احتمالاتی داده‌های دیده‌بانی شده، برون آمد شبیه Echem5 و کوچک اندازه شده در پهنه‌ی مرکزی فارس (الف) میانگین دمای ژانویه؛ (ب) میانگین بارش ژانویه برای دوره‌ی زمانی ۱۹۵۱-۲۰۰۵.

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار پایای (بلند مدت) بارش دیده‌بانی شده، برون‌آمد شبیه ECHAM5 و داده‌های کوچک اندازه شده بر حسب میلی‌متر.

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
دیده بانی	۹۰/۱۹	۵۲/۰۵	۵۶/۱۹	۲۶/۶۹	۶/۹۶	۰/۲۲
انحراف معیار	۷۱/۱۴	۴۰/۳۷	۴۴/۶۲	۲۷/۴۱	۱۳/۱۱	۰/۹۶
شبیه ECHAM5	۲۴/۴۴	۲۴/۷۸	۳۳/۴۴	۲۱/۳۴	۹/۴۳	۵/۶۱
انحراف معیار	۳۳/۱۶	۵۱/۲۱	۴۳/۸۲	۲۸/۹۹	۲۳/۱۲	۱/۳۵
کوچک اندازه شده	۹۰/۱۹	۵۲/۰۵	۵۶/۱۹	۲۶/۶۹	۶/۹۶	۰/۲۲
انحراف معیار	۷۱/۱۱	۴۰/۳۲	۴۴/۶۱	۲۷/۳۹	۱۳/۰۹	۰/۹۵

ماه	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
دیده بانی	۱/۱۷	۰/۵۴	۰/۰۰	۳/۹۵	۲۸/۸۹	۷۸/۰۹	۳۴۵/۲۳
انحراف معیار	۴/۵۱	۳/۱۰	۰/۰۲	۱۱/۷۲	۵۲/۳۴	۷۰/۶۸	۱۳۱/۴۶
شبیه ECHAM5	۸/۹۰	۰/۹۶	۰/۵۶	۱۶/۳۱	۲۸/۹۲	۲۸/۳۵	۱۶/۹۲
انحراف معیار	۶/۲۳	۴/۴۴	۰/۷۵	۶۹/۰۹	۲۹/۴۳	۳۴/۸۲	۵۶/۳۲
کوچک اندازه شده	۱/۱۷	۰/۵۴	۰/۰۰	۳/۹۵	۲۸/۸۹	۷۸/۰۹	۳۴۵/۲۳
انحراف معیار	۴/۵۰	۲/۹۹	۰/۰۲	۱۱/۷۲	۵۲/۳۴	۷۰/۶۸	۱۳۱/۴۳

جدول ۴. میانگین ماهانه‌ی دمای دیده‌بانی شده و پیش‌بینی شده بر حسب درجه‌ی سانتی‌گراد در دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱.

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
دیده بانی (۱۹۵۱-۲۰۰۵)	۵/۶۵	۷/۹۹	۱۱/۷۸	۱۶/۶۴	۲۲/۷۰	۲۷/۸۶
20C3M (۲۰۱۱-۲۰۴۰)	۶/۰۵	۸/۳۴	۱۳/۷۲	۱۶/۷۵	۲۳/۱۷	۲۸/۱۶
1PTO2X (۲۰۱۱-۲۰۴۰)	۶/۶۹	۹/۴۱	۱۴/۴۱	۱۸/۵۳	۲۵/۴۵	۳۱/۱۴

ماه	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
دیده بانی (۱۹۵۱-۲۰۰۵)	۲۹/۹۸	۲۸/۹۵	۲۴/۹۶	۱۸/۸۷	۱۲/۰۶	۷/۳۶	۱۷/۹۱
20C3M (۲۰۱۱-۲۰۴۰)	۳۰/۲۷	۳۰/۰۱	۲۵/۳۲	۱۹/۵۰	۱۲/۴۵	۷/۶۷	۱۸/۴۵
1PTO2X (۲۰۱۱-۲۰۴۰)	۳۳/۵۷	۳۳/۰۸	۲۷/۷۸	۲۱/۳۸	۱۳/۱۹	۸/۳۵	۲۰/۲۵

نه تنها میانگین داده‌های کوچک اندازه شده و دیده‌بانی شده را یکسان نگه می‌دارد، بلکه دیگر ویژگی‌های آماری دو گروه زمانی نیز از همسانی بالایی برخوردارند.

#### پیش‌بینی دما و بارش برای دوره‌ی آماری ۲۰۴۰-۲۰۱۱

همان‌گونه که نشان داده شد، روش مورد استفاده برای کوچک اندازه کردن برون‌آمدهای شبیه، ویژگی‌های آماری گروه زمانی دیده‌بانی شده را درون گروه زمانی کوچک اندازه شده نگه می‌دارد. از این روی، می‌توان باور داشت که اگر برون‌آمدهای شبیه برای دوره‌ی آینده نیز با همین روش کوچک اندازه شوند، این ویژگی‌های بنیادی در آنها پایدار خواهد ماند. به دیگر سخن، میانگین، میانه، واریانس و ... داده‌های کوچک اندازه شده شبیه در دوره‌ی

در جداول ۲ و ۳ میانگین و انحراف معیار دما و بارش دیده‌بانی شده، برون‌آمد شبیه و کوچک اندازه شده‌ی دما برای دوره‌ی ۵۵ ساله‌ی گذشته نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که دیده می‌شود، در همه‌ی ماه‌ها، میانگین پایای (بلندمدت) گروه زمانی داده‌های کوچک اندازه شده و دیده‌بانی شده برابرند و انحراف‌های معیار نیز کم و بیش همسان می‌باشند. برای نمونه، در ماه ژوئیه که گرمترین ماه سال است، میانگین دمای دیده‌بانی شده و کوچک اندازه شده با یکدیگر برابرند ( $29.98^{\circ}\text{C}$ ) و انحراف معیار آنها را نیز می‌توان برابر دانست. همین همسانی میان داده‌های دیده‌بانی شده و کوچک اندازه شده برای بارش ماهانه نیز دیده می‌شود. به دیگر سخن، کاربرد این روش



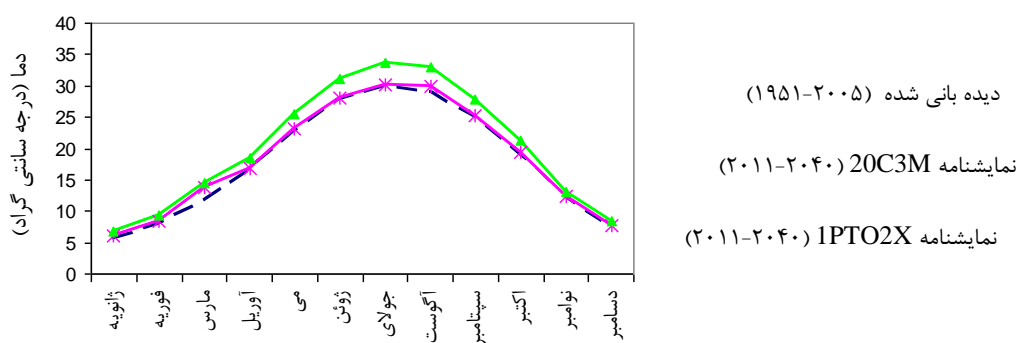
۰/۹۹ و ۴/۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و به‌طور میانگین در این دوره‌ی ۳۰ ساله انتظار افزایش دما به اندازه‌ی ۲/۳۵ وجود خواهد داشت.

همچنین، برآوردهای دگرگونی بارش در دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نشانگر کم شدن اندازه‌ی بارندگی در نمایشنامه‌ی 20C3M به اندازه‌ی ۱۴٪ و زیاد شدن آن در نمایشنامه‌ی 1PTO2X به اندازه‌ی ۱۹٪ نسبت به دوره‌ی گذشته می‌باشد. در این پیش‌بینی‌ها پراکنش باران سالانه در هر فصل، ناسازگاری چندانی با این سال‌ها ندارد، به گونه‌ای که بارش زمستان، پاییز و بهار همچنان در رسته‌های نخست، دوم و سوم هستند. افزایش بارش بیشتر در نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه رخ خواهد داد. بارش در فصل بهار بر روال کنونی خواهد بود و تابستان‌ها همچنان با بی‌بارانی روبرو است. گرم شدن تابستان و نبودن بارش در این فصل، نیاز آبی گیاهان مصرف آب در شهرها را افزایش خواهد داد. از این رو، برای فراهم ساختن آب در گستره‌های شهری و روستایی باید برنامه‌ریزی‌های همه سوبه‌ای را به انجام رسانید.

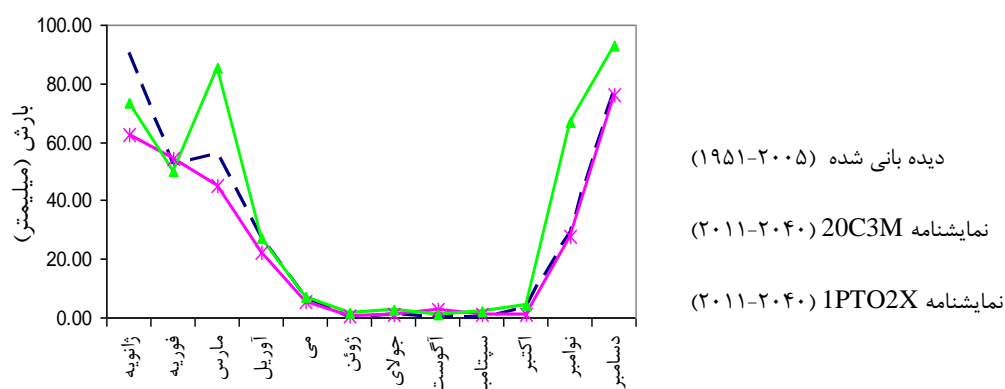
۲۰۴۰-۲۰۱۱، همخوانی زیادی با رخدادهای این دوره دارند. با این پنداشتها و به‌کارگیری معادلات همبستگی در دوران گذشته و جای‌گذاری برون‌آمدهای شبیه‌گروه زمانی، نوسان‌های دما برای دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ همانندسازی شد.

در شکل‌های ۳ و ۴ میانگین دما و بارش ماهانه برای این دوره برای هر دو نمایشنامه‌ی 20C3M و 1PTO2X نشان داده شده‌اند. در جداول ۴ و ۵ نیز اندازه دما و بارش در هر ماه برای نمایشنامه‌های دوگانه و افزایش یا کاهش آن در سنجش با دوره‌ی دیده‌بانی شده عرضه گردیده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، در نمایشنامه‌ی 20C3M، کمترین افزایش دما در آوریل و بیشترین افزایش دما در مارس یکی پس از دیگری، ۰/۱۰ و ۱/۹۴ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین، افزایش دما به‌طور میانگین در ۳۰ سال آینده ۰/۵۵ درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

در نمایشنامه‌ی 1PTO2X کمترین افزایش دما در دسامبر و بیشترین افزایش دما در اوت یکی پس از دیگری



شکل ۳. میانگین دمای ماهانه‌ی دیده‌بانی شده بر حسب درجه‌ی سانتی‌گراد در دوره گذشته و پیش‌بینی شده (نمایشنامه‌های 20C3M و 1PTO2X) برای سی سال آینده.



شکل ۴. میانگین بارش دیده‌بانی شده بر حسب میلی‌متر در دوره‌ی گذشته و پیش‌بینی شده (نمایشنامه‌های 20C3M و 1PTO2X) برای سی سال آینده.

### نتیجه‌گیری

این پژوهش در راستای پیش‌بینی اقلیمی چگونگی نوسان‌های دما و بارش پهنه‌ی مرکزی استان فارس در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ به‌دلیل نشان پررنگ آن بر کشاورزی این پهنه به انجام رسید. برای رسیدن به این هدف، گروه زمانی دما و بارش ماهانه‌ی شبیه ECHAM5 برای دوره‌ی زمانی ۱۹۵۱-۲۰۰۵ و دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ به‌ترتیب به‌عنوان دوره‌ی زمانی گذشته و دوره‌ی زمانی آینده از مرکز داده‌های اقلیمی جهانی مؤسسه‌ی ماکس پلانک آلمان بیرون آورده شد. همبستگی داده‌های برون‌آمد شبیه با داده‌های دیده‌بانی شده برای دوره زمانی گذشته ارزیابی گردید. این ارزیابی نشان داد که گروه زمانی اندازه‌گیری شده و برون‌آمد شبیه دارای تفاوت چشمگیری می‌باشند. از این‌رو روش‌های پذیرفته شده آماری برای همسوسازی این دو گروه زمانی مورد آزمون قرار گرفتند. یافته‌های این آزمون نشانگر آن بودند که همسو نمودن توزیع احتمال مربوط به گروه زمانی دیده‌بانی شده و برون‌آمد شبیه روشی بهینه برای نزدیک‌سازی داده‌های این دو گروه زمانی می‌باشد. با کاربرد روش توابع توزیع احتمال و برقراری رابطه‌ی وایازی بین گروه داده‌های تولید شده شبیه به‌عنوان پیش‌بینی کننده و گروه داده‌های دیده‌بانی شده به‌عنوان پیش‌بینی شده، داده‌های شبیه کوچک اندازه گردیدند. همچنین، با بهره‌گیری از روابط وایازی حاصل، تغییرات دما و بارش در

دو نمایشنامه‌ی 20C3M و 1PTO2X برای دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ پیش‌بینی گردیدند. نتیجه‌ی این پیش‌بینی‌ها نشان‌دهنده‌ی افزایش دما در ۳۰ سال آینده بر پایه‌ی هر دو نمایشنامه‌ی نام برده می‌باشد. همچنین، چشم‌داشت کاهش درصد بارش در نمایشنامه‌ی 20C3M و افزایش آن در نمایشنامه‌ی 1PTO2X می‌رود. دستاوردهای این پژوهش نشانگر افزایش دما در نمایشنامه‌ی 20C3M در سال‌های آینده بین ۰/۱ درجه تا ۱/۹۴ درجه‌ی سانتی‌گراد و در نمایشنامه‌ی 1PTO2X از ۰/۹۹ تا ۴/۱۳ درجه‌ی سانتی‌گراد وجود خواهد داشت. براساس پردازش‌های آماری و کوچک اندازه کردن گروه‌های زمانی شبیه نام برده در شرایطی که روند افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای مطابق قرن بیستم ادامه یابد افزایش دما در دوره‌ی ۳۰ ساله به‌طور میانگین تا حدود ۰/۵۵ درجه‌ی سانتی‌گراد انتظار می‌رود. همچنین، در شرایطی که غلظت گازهای گلخانه‌ای و به‌خصوص دی‌اکسیدکربن در جو تا رسیدن به ۲ برابر مقدار آن قبل از انقلاب صنعتی پیش برود انتظار افزایش دما به‌طور میانگین تا حدود ۲/۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد وجود دارد؛ بنابراین، چنانچه اقدامات اساسی در سطح منطقه‌ای و جهانی برای مهار کردن گازهای گلخانه‌ای، مهار کردن گاز CO<sub>2</sub> صورت نگیرد، حتی در شرایطی که افزایش غلظت این گازها مطابق قرن بیستم باشد، افزایش دما و دگرگونی در اندازه‌ی بارش اجتناب‌ناپذیر است.

برای تبخیر و تعرق این آب‌ها هزینه گردیده تا دمای هوا کمتر از اندازه‌ی واقعی آن نشان داده شود.

اگر این آب‌ها در زیرزمین می‌ماندند و برای تبخیر و تعرق هزینه نمی‌شدند، دمای هوا و نمایه‌های نمناکی هوا در بسیاری از ایستگاه‌ها، یکی پس از دیگری، بیشتر و کمتر از اندازه‌ای می‌شد که هم اکنون در دسترس می‌باشد. از آن‌جا که داده‌های کمتر از اندازه‌ی راستین برای کوچک اندازه کردن برون‌داده‌های شبیه به‌کار گرفته شد، چشم‌داشت آن است که اندازه‌ی افزایش دما در دوره‌های آینده نیز بیشتر از دستاوردهای این پژوهش باشد. به دیگر سخن، اگر آب‌های زیرزمینی بیرون کشیده نمی‌شدند، داده‌های دما در گذر این ۳۰ سال بیشتر از اندازه‌ای می‌شدند که هم‌اکنون در دسترس‌اند. در آن صورت، در فرآیند کوچک اندازه‌سازی، داده‌های راستین به‌کار می‌رفت و دمای پیش‌بینی شده بیش از آن می‌گردید که در شکل ۳ و جدول ۴ آمده است. از این رو، با خشک شدن بسیاری از چاه‌ها و کاهش بهره‌وری بسیاری از مراتع، پیش‌بینی می‌شود که در دهه‌های آینده دمای هوا به گونه‌ای جهشی و فراتر از پیش‌بینی‌ها، افزایش یابد.

البته در نمایشنامه‌های نام‌برده هدف تعیین رفتار سامانه‌ی اقلیمی آینده و تأثیر آن بر دما و بارش بر پایه‌ی تغییرات گازهای گلخانه‌ای است و دیگر عوامل مؤثر بر آنها، از جمله رخ‌دادن خشکسالی مورد بررسی نمی‌باشند؛ بنابراین، در شرایط واقعی و در صورت ادامه یافتن خشکسالی احتمال افزایش دمای بیشتری در منطقه وجود داشته و باعث دگرگونی در اندازه‌ی بارش خواهد شد که بایستی برای برنامه‌ریزی به‌منظور توسعه‌ی پایدار، به‌خصوص در بخش کشاورزی، مدنظر قرار گیرد. در ۳۰ سال گذشته، داده‌های گردآوری شده در ایستگاه‌های هواشناسی فارس و بسیاری از دشت‌های ایران راستین نبوده و تا اندازه‌ای به کارکردهای کشاورزی وابسته است. در گذر این ۳۰ سال، میلیاردها مترمکعب آب زیرزمینی در گستره‌ی این استان از ژرفای خاک بیرون کشیده شده و در کالبد تبخیر و تعرق به هوا رفته و هوای نزدیک به رویه‌ی زمین را خنک‌تر کرده‌اند. گرچه در بسیاری از شهرهای استان فارس، رودی روان نیست، اندازه‌ی آب تبخیر شده مانند آن بود که در هر شهری رودی پر آب روان است و باغ‌ها و کشتزارها از این رود آبیاری می‌گردند، بنابراین، بخش کم و بیش بزرگی از کارمایه‌ی خورشیدی

**References:**

1. Azaranfar, A., A. Abrishamchi, and M. Tajrishi. 2006. Evaluating the Effects of Climate Change on Precipitation and Temperature in Zayandehrud Basin by Using General Circulation Models Output. Civil Engineering Department Of Sharif University. Water Resource Conference (In Persian).
2. Charlson, R. J., S. E. Schwartz, J. M. Hales, R. D. Cess, J. A. Coakley, J. E. Hansen and D. J. Hofmann. 1992. "Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols". *Science*. 255 (5043), 423-430.
3. Environment, "Climate Change" [Online]. <[http://ec.europa.eu/environment/climat/home\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/home_en.htm)> [Jan 2009].
4. Dettinger, M. D., D. R. Cayan, Meyer, M. K., and E. J. Anne. 2004. Simulated Hydrological responses to Climate variations and Change in the Merced, Carson, and American river basin, Sierra Nevada, California, 1900-2099. *Climatic Change*. 62: 283-317.
5. Intergovernmental Panel on Climate change, The Data Distribution Centre, "What is a GCM?" [Online 2010].
6. IPCC. 2001. The Scientific Basis of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
7. IPCC Technical Paper VI. 2008. Climate Change and Water.
8. Kamga, F. M. 2001. Impact of greenhouse gas induced climate change on the runoff of the Upper Benue River (Cameroon). *Journal of Hydrology*. 252: 145-156.
9. Koocheki A., M. Nassiri, A. Soltani, H. Sharifi and R. Ghorbani. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *CLIMATE RESEARCH*. 30: 247-253.
10. Massah, A. R. and S. Morid. 2006. Impact of climate change on water resources and food production of zayandeh rud basin. *Iranian Journal of water resource*. 1(1): 40-47. (In Persian).
11. Mestre-Sanchis, F. and M. L. Feijoo-Bello. 2008. Climate Change and its marginalizing effect on agriculture. *Ecological Economics*. ECOLEC-03197; No of pages: 9.
12. Modirian, R. I. Babaeian, and M. Karimian. 2010. The Optimum Configuration of REGCM3 Model for Simulation of Precipitation and Temperature at Autumn Seasonal Over Khorasan Region in 1991-2000. *Physical Geography Research*. 70:107-120. (In Persian).
13. Roeckner, E. 2003. "The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Simulated climatology and comparison with observations". Report No.349, Max-Planck-Institute for Meteorology, Hamburg.
14. Salathe, E.P. 2004. Downscaling Simulation of future Global Climate with Application to Hydrologic Modeling. *International Journal of Climatology*. 25: 419-436.
15. Salinari, F., S. Giosue, F. N. Tubiello, A. Rettori, V. Rossi, F. Spanna, C. Rosenzweig and M. L. Gullino. 2006. "downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change". *Global Change Biology*. 12: 1299-1307.
16. Shams, S., S. M. J. Nazemosadat, A. A. Kamgar-Haghighi, and S. Zandparsa. 2012. The Effect of Increasing Carbon Dioxide on Evapotranspiration and Red Bean's Yield Under Different Irrigation Levels. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture - Isfahan University of Technology*. In Press. (In Persian).
17. Wilby, R.L., T. M. L. Wigley. 1997. Downscaling General Circulation Model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography*. 21: 530-548