



## شبیه‌سازی عددی تغییرات آب و هوایی ایران با استفاده از الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی

مظفر فرجی<sup>۱</sup>، مجید رضایی بنفشه درق<sup>۲</sup>، بهروز ساری صراف<sup>۳</sup>، علی محمد خورشید دوست<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز ایران.  
<sup>۲</sup> استاد تمام آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز ایران.  
<sup>۳</sup> استاد آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز ایران.  
<sup>۴</sup> استاد آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲۶

### چکیده

هدف از این مطالعه شبیه‌سازی عددی و پیش‌بینی تغییرات آب‌وهوای ایران با تأکید بر دو پارامتر اقلیمی دما و بارش است. روش مورد استفاده این تحقیق الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش ۲۴ ساعته برحسب گام زمانی ماهانه در طی یک دوره ۳۱ ساله نسبت به دوره پایه است. از تحلیل مانوا برای مقایسه میانگین تغییرات دما و بارش طی دوره مشاهده شده ۱۹۹۰-۲۰۲۰ و دوره شبیه‌سازی شده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ استفاده شده است. نتایج مقایسه نشان می‌دهد، تفاوت معنی‌داری بین تغییرات دما و بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در ایران وجود دارد. مربع جزئی اتا محاسبه شده، تغییرات بارش و دمای ثبت شده به ترتیب برابر ۴۲/۱ و ۱۷/۹ درصد، تغییرات بارش و دمای شبیه‌سازی شده نیز به ترتیب برابر ۴۱/۶ و ۱۸/۱ درصد می‌باشد. بیشترین و کمترین بارش مشاهده شده در ماه‌های مارس و ژوئیه رخ داده است. شبیه‌سازی‌ها بیشترین و کمترین میزان بارش را برای ماه‌های مارس و اوت پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین بیشترین و کمترین میانگین دمای مشاهده شده به ترتیب در ماه‌های ژوئیه و ژانویه رخ داده و شبیه‌سازی‌ها نیز این مقادیر را برای همین ماه‌ها پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج مقایسه ایستگاه‌های هواشناسی منتخب طی دوره‌های مذکور نشان داد، بیشترین و کمترین مقادیر بارش مشاهده شده به ترتیب در ایستگاه‌های رشت ۱۰۹/۹۵ و یزد ۴/۳۶ میلی‌متر ثبت شده و شبیه‌سازی‌ها نیز برای همین ایستگاه‌ها ۱۱۲/۴۶ و ۵/۶۳ میلی‌متر پیش‌بینی کرده‌اند. بیشترین و کمترین میانگین دمای مشاهداتی به ترتیب در ایستگاه‌های بندرعباس ۲۶/۹۹ و اردبیل ۹/۳۶ درجه سانتی‌گراد ثبت شده و شبیه‌سازی‌ها نیز برای همین ایستگاه‌ها ۲۷/۱۰ و ۹/۴۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی کرده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** شبیه‌سازی عددی، تغییرات آب‌وهوایی ایران، دما و بارش، الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی

### مقدمه

بنا بر گزارش پنجم هیئت بین‌دولت تغییرات آب و هوایی (۲۰۱۳) این تغییرات که در سراسر جهان مشاهده می‌شوند، نقش عوامل انسانی در بروز آنها بسیار زیاد است. تغییر اقلیمی به سبب افزایش

گازهای گلخانه‌ای در چند دهه‌ی اخیر باعث برهم خوردن تعادل آب‌وهوایی کره‌ی زمین شده است. تأثیرات منفی این پدیده بر سیستم‌های مختلف مانند منابع آب، کشاورزی، صنعت و... موجب نگرانی‌هایی برای جوامع بشری شده است. دما و بارش دو متغیر مهم در تعیین آب و هوای یک منطقه می‌باشند و تغییرات این دو نیز در سیستم‌های مختلف به طور

مستقیم و غیرمستقیم تأثیرگذار هستند. به همین دلیل مطالعات در زمینه‌ی تغییر اقلیم عمدتاً روی این دو عنصر صورت گرفته است. دو پارامتر مهم در هیدرولوژی و منابع آب، دما و بارش هستند. تأثیر تغییر اقلیم بر روی این دو پارامتر نیز موضوع بسیاری از مطالعات بوده است که مدل‌های گردش عمومی جو یکی از بهترین روش‌ها برای برآورد این تأثیرات به شمار می‌روند. در مطالعات تغییر اقلیم لحاظ نکردن عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف ارزیابی اثرات تغییر اقلیم سبب کاهش قطعیت و اطمینان به خروج‌های نهایی سیستم خواهد شد (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۷).

دمای هوا در صدسال اخیر حدود یک درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است که افزایش دمای حداقل، بیش‌تر از افزایش دمای حداکثر بوده است (واس و همکاران، ۲۰۰۵). تغییر دمای هوا باعث تغییرات عمده در رفتارهای اقلیمی سیستم طبیعی زمین شده است و تغییرات مشهودی را در میزان و الگوی بارش، میزان تابش خورشید، میزان پراکنش نور آن (که در فتوسنتز مؤثر است) و ابرناکی ایجاد نموده است. انجمن بین‌المللی تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌کند تا سال ۲۱۰۰ میانگین جهانی دمای سطح زمین بین ۱/۸ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. با افزایش ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد انتظار می‌رود که تقریباً ۲۰ تا ۳۰ درصد از گونه‌های گیاهی و حیوانی در خطر انقراض قرار گیرند و همچنین اثرات نامطلوبی بر امنیت غذایی در کشورهای در حال توسعه خواهد داشت (فائو، ۲۰۰۷). همچنین تغییرات اقلیمی بر سیل، خشک‌سالی، اکوسیستم‌های طبیعی، جامعه و اقتصاد نیز مؤثر هستند (اونوز و بایازی، ۲۰۰۳). به‌صورت کلی بی‌ثباتی در اقلیم یک منطقه تحت تأثیر دو گروه عامل قرار دارد: گروه اول، عواملی که سبب تغییرات سالانه اقلیم می‌شوند شامل: ال‌نینو، لانینا و نائو و گروه دوم، عواملی که روند تغییر دراز مدت را به وجود می‌آورند. تغییرات بلند تحت تأثیر دو عامل اصلی یعنی انرژی ورودی از خورشید و گرمایش جهانی ناشی از تشدیدهای گلخانه‌ای قرار دارند. این

تغییرات سبب شده است که با آثاری همچون تغییرات هیدرولوژیکی، افزایش استرس‌های دمایی به حیات‌وحش، افزایش سیل، رانش زمین، بهمن، افزایش فرسایش خاک، افزایش رواناب، کاهش تغذیه سفره‌های زیرزمینی، کاهش کمی و کیفی منابع آب، افزایش خطر آتش‌سوزی، بالا رفتن فرسایش ساحلی و آسیب و فشار به گونه‌ها و اکوسیستم‌ها بروز می‌کند (روت و همکاران، ۲۰۰۳). از این‌رو اگرچه تغییرات آب و هوایی پدیده‌ای جهانی است، ولی روند و آثار این پدیده در مقیاس محلی متفاوت بوده و بررسی این تغییرات در مقیاس محلی باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اهمیتی که تغییر اقلیم بر ساختار محیط کره زمین و ساکنین آن داشته و خواهد داشت؛ تلاش در جهت شناخت هرچه بیشتر چگونگی رخدادهای تغییر اقلیم امری مسلم است. این ضرورت به‌ویژه در این دوره که گرم شدن جهانی به یک مسئله جدی تبدیل شده است، آشکار می‌گردد (عزیزی، ۲۰۰۵). مسائل زیست محیطی و بحران‌های طبیعی از قبیل خشک‌سالی‌ها، طوفان‌های گردوخاک، کمبود آب و غذا و فرسایش شدید خاک، معلول تغییر اقلیم می‌باشند. ایران نیز به مثابه یکی از کشورهای خاورمیانه از این تغییرات آب و هوایی و اثرات گسترده جانبی آن مصون نبوده است. اما شدت تغییرات آب و هوایی در نواحی مختلف زمین متفاوت بوده است (داودی و مرادجانی، ۱۳۹۷: ۸۲).

با توجه به تأثیری که تغییر اقلیم بر کره زمین دارد و در حال حاضر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های فراروی جامعه جهانی مطرح بوده، تلاش در جهت شناخت هر چه بیشتر رخدادهای تغییر اقلیم، امری مسلم است (کامیابی و عبدی، ۱۳۹۹: ۱۶۵). به دلیل تأثیر بیشینه بارش محتمل در میزان بارندگی، پیش‌بینی بارش به ویژه بارش‌های سنگین بر اساس این فراسنج، نتایج بسیار مناسبی به دست می‌دهد (استنلی، ۲۰۱۶). با استفاده از برآورد این شاخص در پیش‌بینی کمی بارش، می‌توان از بروز خسارات جانی و مالی ناشی از حوادث اجتناب ناپذیر سیل کاست و از سوی دیگر با محاسبه آب قابل بارشی ابر می‌توان

عملیات بارورسازی ابرها را با موفقیت بیشتری عملی ساخت (حسینی و همکاران، ۱۳۸۴).

مساله اساسی پژوهش این است که در سال‌های اخیر (۱۳۹۷-۱۴۰۱) شاهد افزایش دما و کاهش میزان بارش در مناطق مختلف ایران هستیم که زمینه ساز بروز خشک‌سالی‌های متمادی در فلات ایران شده و عوارض بسیار ناگواری را به همراه داشته است و تغییرات آب و هوایی زیادی را سبب شده است که در برخی مناطق سبب پیشروی کویر، از بین رفتن پوشش گیاهی، ایجاد سیلاب‌های ناگهانی، بارش‌های فوق سنگین و یک‌باره، مهاجرت‌های گسترده، خالی شدن روستاها و شهرهای حاشیه کویر، خشک شدن رودخانه‌های دائمی، از بین رفتن چشمه‌ها و بسیاری از موارد دیگر شده است. بنابراین ابتدا لازم است که نقش دما و بارش با توجه به متکی بودن اقتصاد ایران بر کشاورزی تغییرات آب و هوایی ایران به خوبی بررسی شده و برای دوره‌های آتی با استفاده از الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش بینی شوند تا بر اساس آن برنامه‌ریزی‌های لازم صورت گیرد که تحقیق حاضر در همین راستا می‌باشد و در پی پاسخ به این سؤال اصلی می‌باشد که آیا تغییر آب و هوا بر اساس دو پارامتر دما و بارش اتفاق افتاده است یا نه؟

رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی روند دما و بارش های روزانه حدی در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته و نشان دادند که شرایط اقلیمی طی دوره مورد مطالعه در این منطقه تغییر پیدا کرده است. ساری صراف و همکاران (۱۳۹۴)، اثرات گرمایش جهانی بر اقلیم شهرهای واقع در حوضه دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند نتایج نشان داد، دمای حداقل، حداکثر و متوسط هم در مقیاس سالانه و هم در مقیاس فصلی روند افزایشی را تجربه کرده است. گلپان و بذرافشان مقدم (۱۳۹۵) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای مناطق مختلف کشور ایران نشان دادند که سیر صعودی دما در تمامی مناطق مورد مطالعه وجود دارد.

خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۶) به برآورد و تحلیل مقادیر آبی بارش‌های نواحی خزری با

به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو اقدام کرده‌اند که نتایج نشان داد که با توجه به نتایج معیارهای MBE و MAE، خطای مدل در ماه‌های پربارش بیشتر از ماه‌های کم بارش است. رضایی بنفشه و جلالی عنصرودی (۱۳۹۷)، تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج را بررسی کرده‌اند، نتایج نشان داد که از نظر مکانی نیمه جنوبی حوضه آبریز نسبت به نیمه شمالی در بازه زمانی کوتاه‌تر نسبت به تغییرات تغذیه ناشی از بارش واکنش نشان خواهد داد. خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۷) به مدل سازی و روندیابی شاخص‌های حدی دما و بارش حوضه دریاچه ارومیه پرداخته‌اند که نتایج نشان دهنده افزایش رویدادهای حدی دما و بارش از جمله افزایش روند روزهای تابستان (روزهای گرم)، افزایش روزهای خیلی مرطوب (بارش سنگین) و روزهای خشک متوالی در ایستگاه‌های منتخب واقع در غرب و شرق حوضه می‌باشد؛ عساکره و ورناصری قند علی (۱۳۹۸)، با واکاوی تغییرات مقدار، فراوانی، و شدت بارش سالانه ناحیه خزری طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۱۶ نشان دادند که میانگین بارش سالانه و فراوانی آن به ترتیب در ۴/۶۱ درصد و ۱/۴۷ درصد از پهنه دارای روند افزایشی است. جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۹) با واکاوی تغییرات زمانی - مکانی بارش‌های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال‌های ۲۰۱۶ - ۱۹۶۵ نشان دادند، که با افزایش عرض جغرافیایی در پهنه مورد مطالعه، از مجموع بارش‌های فرین و همین‌طور، از نسبت سهم آن‌ها از بارش سالانه کاسته می‌شود. احمدی (۱۳۹۹)، به بررسی تغییر آب و هوا و اهمیت آن در امنیت منطقه غرب آسیا پرداخته است نتایج نشان داد در حال حاضر به دلیل گرمایش جهانی و اثرات تغییرات آب و هوایی کشورهای منطقه در شرایط سخت اجتماعی، طبیعی و سیاسی مواجه می‌باشند و این مسئله می‌تواند امنیت ملی کشورها را با چالش شدید مواجه و حتی منجر به درگیرهای نظامی بین طرفین گردد. جهانبخش اصل و همکاران (۱۴۰۰)، در بررسی تغییرات دما و بارش حوضه‌ی

می‌باید. کولاولول<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی شوک‌ها و تغییرات آب و هوایی بر معیشت خانوارهای روستایی دلتای اوکوانگو در بوتسوانا پرداخته‌اند که نتایج نشانگر آن بود که تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر زمینه‌ساز بروز بارندگی‌های شدید، سیل و آسیب‌های جدید شده و معیشت مناطق روستایی را تضعیف نموده است.

سیلمان<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۷) به درک، مدل سازی و پیش بینی شرایط آب و هوایی چالش‌ها و فرصت‌ها اقدام کرده‌اند که نتایج نشان داد که شبیه‌سازی‌های مدل آب و هوایی با وضوح بالا برای مطالعه رویدادهای شدید، مانند بازخورد رطوبت برف خاک بر روی الگوهای گردش جریان‌ها هوایی، مانند طوفان‌های کوچک در دریاچه ویکتوریا و تغییرات آن‌ها در آینده، مورد نیاز است. آلوتاییبی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۸) به پیش بینی‌های آینده بارندگی و دما با استفاده از GCM و ANN برای مناطق خشک: مطالعه موردی برای منطقه قاسم، عربستان سعودی پرداخته‌اند که به‌طور کلی، پیش بینی‌های آینده نشان داد که دمای منطقه قاسم با الگوی مشخصی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۹۹ افزایش می‌یابد. وگنر<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۰) روند بارش جهانی در دوره ۱۹۹۶-۲۰۰۳ به این نتیجه دست یافتند که افزایش ۳/۸ درصدی داشته است. شهاب و همکاران (۲۰۲۱) به تغییرات ناهمگونی آب و هوای جهانی تحت گرمایش جهانی قرن ۲۱ پرداخته‌اند و نشان دادند که افزایش دما نقش مهمی در کاهش ناهمگونی آب و هوای جهانی نسبت به بارش و گرم شدن زمین دارد. یان لونگ و همکاران (۲۰۲۱) به تأثیر تغییرات آب و هوا بر تغذیه آب‌های زیرزمینی و دمای سفره‌های آبرفتی سوئیس نشان دادند که تعیین درجه حرارت وابسته به سفره‌های آب در درجه اول با نفوذ به آب‌های سطحی تعیین می‌شود. لیبیهیت و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۲۲) به اندازه‌گیری

سیمره با استفاده از مدل‌های اقلیمی سری CMIP5 نشان دادند که بارش دوره آتی به‌طور متوسط در سطح حوضه حدود ۴/۵٪ کاهش خواهد یافت در حالی که دمای حداقل ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر ۲/۱۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. اکبری و همکاران (۱۴۰۰) به تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران پرداخته‌اند، مهم‌ترین پیامد پدیده تغییر اقلیم در ایران را افزایش فرین‌های جوی داشتند. که به‌طور کلی یا بازه زمانی - فضایی الگوهای آب‌وهوایی تغییر کرده است یا رخداد آن‌ها بیشتر یا کمتر از میانگین بوده است. عساکره و همکاران (۱۴۰۰)، تفکیک نقش عوامل درونی و بیرونی در وردایی دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین را طی چهار دهه اخیر (۱۳۹۴-۱۳۵۵) مطالعه کردند و نشان دادند طی چهار دهه اخیر تأثیر عوامل بیرونی مؤثر بر بارندگی ایران موجب کاهش پهنه‌های بارشی شده‌اند. حجازی و همکاران (۱۴۰۱) به شبیه‌سازی و پیش بینی برخی متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و سناریوهای RCP در حوضه آبخیز حاجیلر پرداخته‌اند و نتایج نشان داد که در سناریوهای RCP2.6 و ۴.۵ در فصل بهار کاهش بارش به میزان ۱۴ تا ۵ میلی‌متر در ایستگاه سینوپتیک اهر رخ می‌دهد.

ایزتورک<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۴) اثر اقلیم کنونی و آینده بر روی منابع آب زیرزمینی را در یک حوضه کوچک با مدل SWAT۲ ارزیابی نمودند. مطابق با نتایج به دست آمده، تقریباً همه اجزای بیلان آب کاهش یافته و انتظار می‌رود کمبود آب در آینده تبدیل به یک مسئله مهم شود. هوز<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵) به تجزیه و تحلیل تأثیر تغییر آب و هوای آینده بر روی سطح آب زیر زمینی در یک حوضه آبریز در انگلستان پرداختند و نتیجه گرفتند که اثر تغییر متغیرهای اقلیمی نظیر بارش، دما و تبخیر و تعرق، سطح آب زیر زمینی در منطقه مورد مطالعه کاهش

4. Kolawole  
5. Sillmann  
6. Alotaibi  
7. Wagner  
8. Labbiheit et al

1. Ertürk  
2. Soil and Water Assessment Tool  
3. House

دوره ۳۱ ساله نسبت به دوره پایه است. از تحلیل مانوا برای مقایسه میانگین تغییرات دما و بارش طی دوره مشاهده شده ۲۰۲۰-۱۹۹۰ و دوره شبیه سازی شده ۲۰۵۰-۲۰۲۰ استفاده شده است.

**الگوریتم شبکه های عصبی مصنوعی**، یکی از روش های جدید در حل مسائل مختلف، روش شبکه عصبی مصنوعی است. شبکه های عصبی مصنوعی یک سیستم پردازشگر اطلاعات توده ای هستند که به صورت موازی قرار گرفته اند و عملکردی شبیه شبکه ی مغز انسان دارند. در ادامه از الگوریتم شبکه های عصبی مصنوعی برای شبیه سازی متغیرهای دما و بارش طی دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ استفاده شده است.

**فرآیند تحلیل**، نشان داد که از ۱۱۴۱۳ داده مورد بررسی، تعداد ۷۹۷۵ مورد به بخش آموزش و تعداد ۳۴۳۴ مورد به بخش آزمون شبکه اختصاص یافته است و هیچ داده نیز از فرآیند تحلیل خارج نشده است (جدول ۱).

**اطلاعات شبکه طراحی شده**، مربوط به هر سه لایه شبکه (ورودی، مخفی و خروجی) می باشد. لایه ورودی مربوط به متغیر مستقل کمکی که شامل یک نرون به شبکه بود (کد گذاری ایستگاه های هواشناسی در گام زمانی ماهانه بر حسب دما و بارش) که با روش مقیاس بندی استاندارد انتخاب شد. لایه پنهان شامل یک لایه است که تعداد نرون های اختصاص یافته در این لایه جهت پردازش آورده شده، که از ساختار اتوماتیک و یک نرون جهت پردازش از تابع محرک تانژانت هیپربولیک استفاده شد. در لایه خروجی که شامل دو متغیر دما و بارش می باشد، روش مقیاس بندی مجدد برای متغیر وابسته را نشان داده که روش استاندارد استفاده شد سپس اطلاعات تابع محرک در لایه خروجی و در آخر تابع خطا که مجموع مربعات خطا در نظر گرفته شده را نشان داده است (جدول ۲).

درجا و شبیه سازی عددی عملکرد حرارتی مبدل حرارتی ماریچی زمین-هوا تحت آب و هوای گرم پرداخته اند نتایج نشان داد که توزیع دمای گمانه در جهت محوری در سطح بالایی بالاتر است و سپس با طول HGAHE کاهش می یابد. فیلهاب و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۲۲) نشان دادند که استفاده از هوش مصنوعی می تواند پشتیبانی خوبی از تلاش های جهانی برای درک بهتر و مدیریت چالش های متعدد مرتبط با تغییر آب و هوا باشد.

**ویژگی های به کار رفته تحقیق** که آن را از سایر تحقیقات متمایز میکند استفاده از حجم بالای دیتاهای ثبت شده به صورت ساعتی از سایت سازمان هواشناسی کشور به آدرس [datairimo.ir](http://datairimo.ir) و بکار گیری روش های پیشرفته زبان برنامه نویسی R و S برای تحلیل داده ها و ترسیم نمودارها، استفاده از پیشرفته ترین مدل برای شبیه سازی و آزمون آماری پیشرفته مانوا برای مقایسه دوره های مشاهده شده و شبیه سازی شده در تحقیق حاضر است که در سایر تحقیقات صورت گرفته اقلیمی به ندرت از آن ها استفاده شده، دقت نتیجه گیری این تحقیق را افزایش داده است.

### داده ها و روش کار

**داده ها و روش گردآوری اطلاعات**، برای جمع آوری داده های تحقیق، از اطلاعات ایستگاه های سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور مراکز استان ها به صورت سینوپ ساعتی روزانه، از دهه های ۲۰۲۰ - ۱۹۹۰ استفاده شد. ایستگاه ساری سال برداشت اطلاعات آن ۲۰ سال می باشد.

روش مورد استفاده این تحقیق الگوریتم شبکه های عصبی مصنوعی برای شبیه سازی متغیرهای دما و بارش ۲۴ ساعته بر حسب گام زمانی ماهانه، طی یک

جدول ۱- فرآیند تحلیل

آزمون شبکه		تعداد	درصد
نمونه	آموزش	۷۹۷۵	۶۹٪/۹
	آزمون	۳۴۳۴	۳۰٪/۱
معتبر		۱۱۴۱۳	۱۰۰٪
خارج شده		۰	
کل		۱۱۴۱۳	

جدول ۲- اطلاعات شبکه

لایه ورودی	متغیر کمکی	۱	کد ایستگاه
	تعداد واحدها		
لایه پنهان	تعداد لایه‌های پنهان		۱
	تعداد واحدها در لایه پنهان		۱۶
	تابع فعال‌ساز		تانژانت هیپربولیک
لایه خروجی	متغیرهای وابسته	۱	بارش ۲۴ ساعته
		۲	دما ۲۴ ساعته
	تعداد واحدها		۲
	روش تغییر مقیاس برای متغیرهای وابسته		استاندارد
	تابع فعال‌ساز		تابع
	تابع خطا		مجموع مربعات

شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل مناسبی برای شبیه سازی پارامترهای (دما و بارش) در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب ایران می‌باشد (جدول ۳).

**خلاصه مدل شبکه،** نتایج مربوط به آموزش و آزمون مدل آورده شده که شامل مجموع مربعات خطا، خطای نسبی و زمان آموزش است در این مطالعه به دلیل آن که میزان خطا کاهش یافته است الگوریتم

جدول ۳- خلاصه مدل شبکه

آموزش	مجموع مربعات خطا		۱۸۸۶.۸۲۱
	میانگین خطای نسبی کل		۰.۲۳۷
	خطای نسبی برای متغیرهای وابسته	بارش	۰.۴۴۵
		دما	۰.۰۲۸
	قانون زمان متوقف شده		یک مرحله متوالی بدون کاهش خطا
زمان آزمون		۰:۰۰:۵۷.۹۹	
آزمون	مجموع مربعات خطا		۹۳۶.۳۱۲
	میانگین خطای نسبی کل		۰.۲۷۸
	خطای نسبی برای متغیرهای وابسته	بارش ۲۴ ساعته	۰.۰۵۴
		دما ۲۴ ساعته	۰.۰۳۲

جدول ۴- آزمون کولموگروف - اسمیرنوف برای تعیین نرمال بودن پارامترها

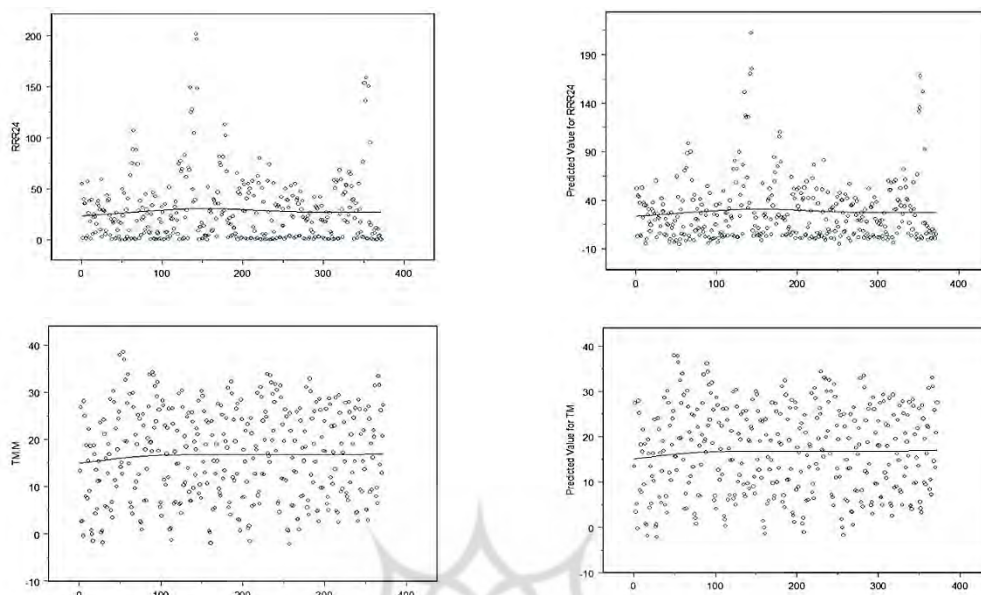
ایستگاه	بارش مشاهده شده	دما مشاهده شده	بارش شبیه سازی شده	دما شبیه سازی شده
اهواز	۰.۱۸۳	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
اراک	۰.۲۰۰*	۰.۱۰۶	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
اردبیل	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
بندر عباس	۰.۰۰۲	۰.۰۶۶	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
بیرجند	۰.۰۷۲	۰.۰۴۵	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
بجنورد	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
بوشهر	۰.۰۱۶	۰.۰۲۲	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
اصفهان	۰.۱۳۲	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
گرگان	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
همدان	۰.۱۵۷	۰.۱۲۹	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
ایلام	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
کرج	۰.۱۲۸	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
کرمان	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
کرمانشاه	۰.۱۰۰	۰.۰۵۴	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
خرم آباد	۰.۰۹۰	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
مشهد	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
ارومیه	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
قزوین	۰.۱۴۲	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
قم	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
رشت	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۱۲۰
سنندج	۰.۱۳۲	۰.۱۹۷	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
ساری	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
سمنان	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
شهرکرد	۰.۱۱۳	۰.۰۷۶	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
شیراز	۰.۰۱۷	۰.۰۲۰	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
تبریز	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
تهران	۰.۰۴۳	۰.۱۲۹	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
یاسوج	۰.۰۱۵	۰.۰۱۷	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
یزد	۰.۱۴۳	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
زاهدان	۰.۰۷۸	۰.۱۳۶	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*
زنجان	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*	۰.۲۰۰*

نشان داده که برای ایستگاه های هواشناسی ترسیم گردیده است. شکل ۱، نمودار درون یابی خطی اسپلاین تغییرات دما و بارش مشاهده‌ای و شبیه سازی ایستگاه‌ها را به صورت منحنی برازش نشان داده، شکل ۲، مقادیر دما و بارش محاسبه شده ایستگاه‌ها برابر ۳- و ۳+ بوده که در اطراف خط مستقیم و نزدیک به هم قرار گرفته و نشان از نرمال بودن توزیع دما و بارش می‌باشد. شکل ۳، نمودار ترکیبی ماتریس

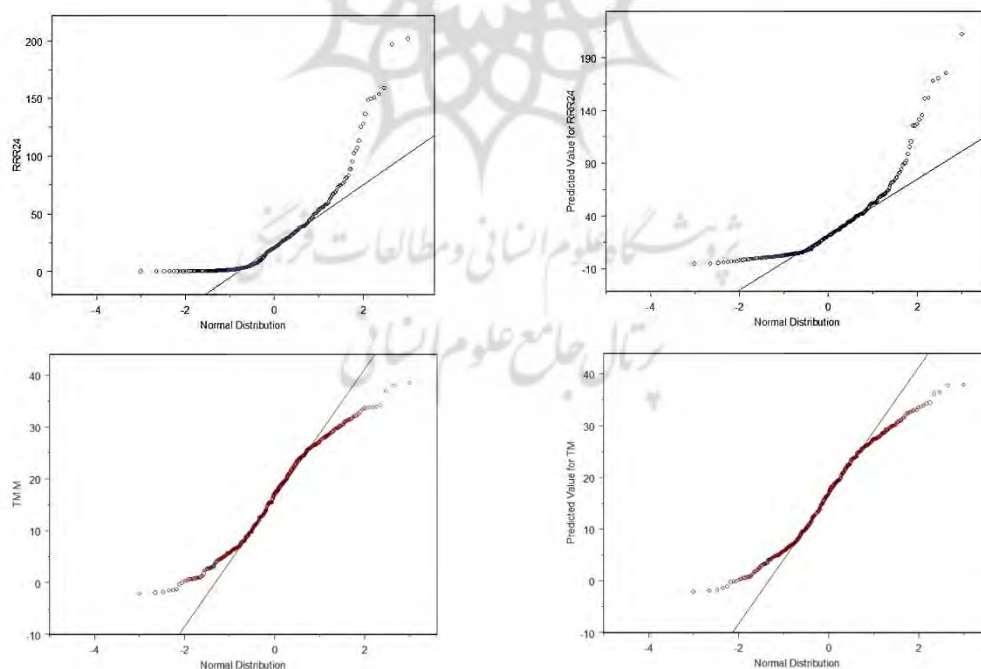
آزمون کولموگروف - اسمیرنوف برای تعیین نرمال بودن پارامترها سطح معنی داری محاسبه شده اکثر ایستگاه های هواشناسی برابر  $P > 0.05$  بوده و نشان از نرمال بودن توزیع دما و بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده در سطح اطمینان ۹۵٪ درصد می‌باشد. نتایج آزمون در جدول ۴ گزارش شده، شکل‌های، ۴ تا ۱ به ترتیب الگوی توزیع دما و بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی، برحسب گام زمانی سالانه را

اول تا سوم و خط میانه، مقادیر دما و بارش ایستگاه‌ها با احتمال نسبتاً قوی دارای یک توزیع نرمال است.

پراکنش و هیستوگرام، همبستگی، پراکندگی و درصد فراوانی تغییرات دما و بارش را نشان داده، شکل ۴، نمودار باکس پلات با توجه به فاصله بین چارک‌های

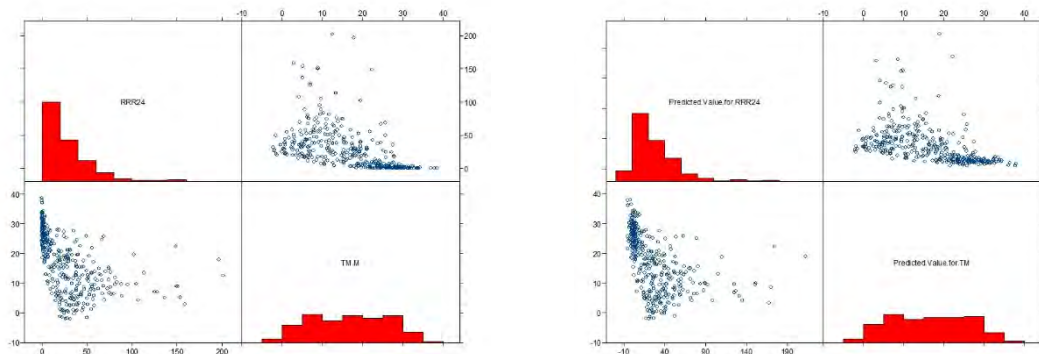


شکل ۱- نمودار اسپلین دما و بارش مشاهده شده ۲۰۲۰-۱۹۹۰ و شبیه‌سازی شده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ ایستگاه‌ها برحسب گام زمانی سالانه، برحسب اشکال: RRR24 بارش مشاهده، TM دما مشاهده، Predicted Value for RRR24 بارش شبیه‌سازی، Predicted Value for TM دما شبیه‌سازی.

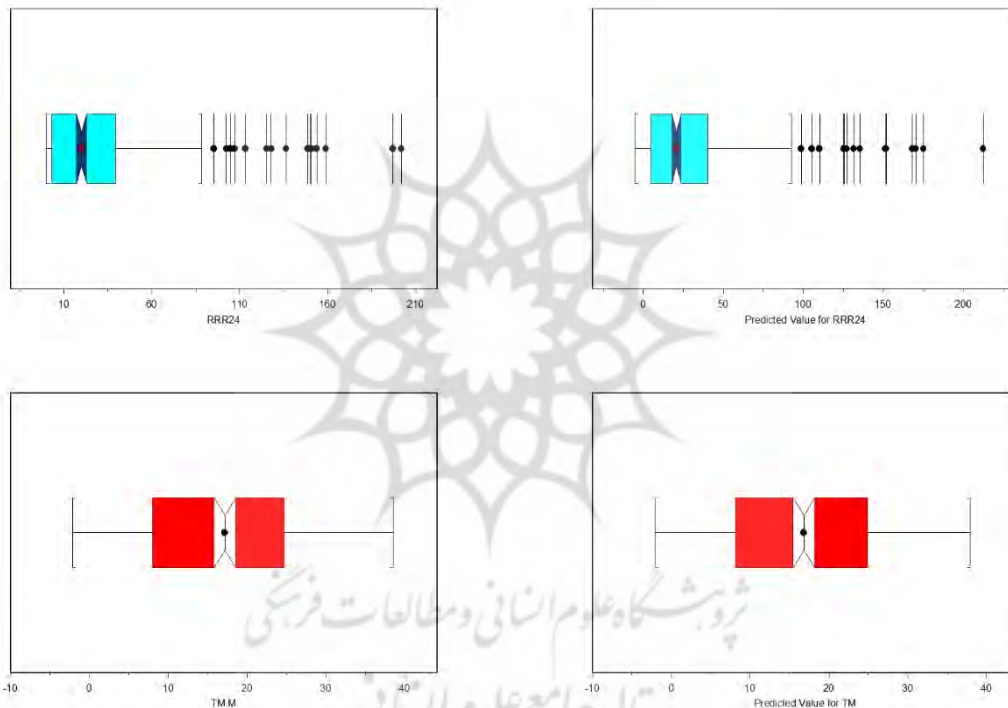


شکل ۲- نمودار کیو پلات دما و بارش مشاهده شده ۲۰۲۰-۱۹۹۰ و شبیه‌سازی شده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ ایستگاه‌ها برحسب گام زمانی سالانه، برحسب اشکال: RRR24 بارش مشاهده، TM دما مشاهده، Predicted Value for RRR24 بارش شبیه‌سازی، Predicted Value for TM دما شبیه‌سازی.





شکل ۳- نمودار ماتریس پراکنش دما و بارش مشاهده شده ۲۰۲۰-۱۹۹۰ و شبیه سازی شده ۲۰۵۰-۲۰۲۰ ایستگاه ها برحسب گام زمانی سالانه، برحسب اشکال: RRR24 بارش مشاهده، TMM دما مشاهده، Predicted Value for RRR24 بارش شبیه سازی، Predicted Value for TMM دما شبیه سازی.



شکل ۴- نمودار باکس پلات دما و بارش مشاهده شده ۲۰۲۰-۱۹۹۰ و شبیه سازی شده ۲۰۵۰-۲۰۲۰ ایستگاه ها برحسب گام زمانی سالانه، برحسب اشکال: RRR24 بارش مشاهده، TMM دما مشاهده، Predicted Value for RRR24 بارش شبیه سازی، Predicted Value for TMM دما شبیه سازی.

نتایج آزمون های مذکور نشان می دهد که بین گروه ایستگاه های منتخب در پارامترهای دما و بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده تفاوت معنی داری وجود دارد. سطح معنی داری محاسبه شده آزمون ها برابر  $P < 0.05$  در سطح اطمینان ۹۵٪ درصد می باشد (جدول ۵).

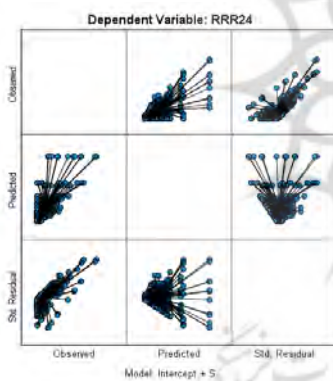
آزمون تحلیل مانوا، برای تعیین معنی داری اثرات گروه ایستگاه ها بر پارامترهای دما و بارش، از آزمون های اثر پیلای، لامبدای ویلکز، اثر هتلینگ و بزرگترین ریشه روی، استفاده شد که نتایج حاصل در جدول ۴ گزارش شده است.

جدول ۵ - نتایج آزمون، اثر پیلای، لامبدای ویلکز، اثر هتلینگ، بزرگترین ریشه روی در تحلیل واریانس مانوا چند متغیره پارامترهای دما و بارش<sup>a</sup> Multivariate Tests

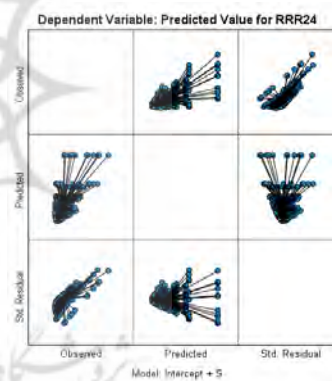
سطح P	خطای درجه آزادی	درجه آزادی مدل	آماره F	ارزش	آزمون
.۰۰۰	۱۳۶۴.۰۰۰	۱۲۰.۰۰۰	۳.۳۰۷	.۹۰۱	اثر پیلای
.۰۰۰	۱۳۶۴.۲۴۲	۱۲۰.۰۰۰	۳.۹۳۷	.۳۰۲	لامبدای ویلکز
.۰۰۰	۱۳۶۴.۰۰۰	۱۲۰.۰۰۰	۴.۷۵۰	۱.۶۹۴	اثر هتلینگ
.۰۰۰	۳۴۱.۰۰۰	۳۰.۰۰۰	۱۴.۸۱۸	۱.۳۰۴	بزرگترین ریشه روی

نتایج تحلیل واریانس چند متغیره مانوا اثرات گروه ایستگاه‌ها بر پارامترهای دما و بارش، سطح معنی‌داری محاسبه شده برابر  $P < 0/05$  بوده و نشان از معنی‌دار بودن آزمون تحلیل مانوا در سطح اطمینان ۹۵٪ درصد می‌باشد. نتایج مقایسه دوره‌های مشاهده شده و شبیه سازی شده نشان می‌دهد. تفاوت معنی‌داری بین تغییرات دما و بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در ایران وجود دارد.

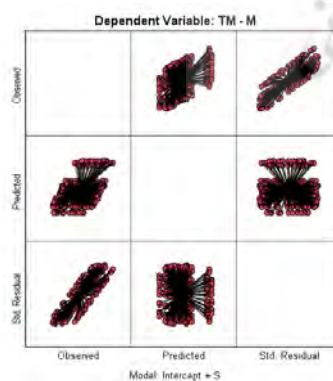
مربع جزئی اتا محاسبه شده، تغییرات بارش و دمای ثبت شده به ترتیب برابر ۴۲/۱ و ۱۷/۹ درصد، تغییرات بارش و دمای شبیه سازی شده نیز به ترتیب برابر ۴۱/۶ و ۱۸/۱ درصد می‌باشد. (جدول ۶). شکل‌های ۸ تا ۵ نمودار ترسیم شده ماتریس پراکنش، مجموع مشاهدات و باقیمانده مقادیر بارش و دما مشاهده شده و شبیه سازی شده ایستگاه‌ها بر حسب انحراف معیار می‌باشد.



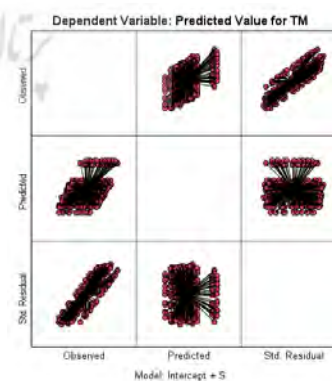
شکل ۶



شکل ۵



شکل ۸

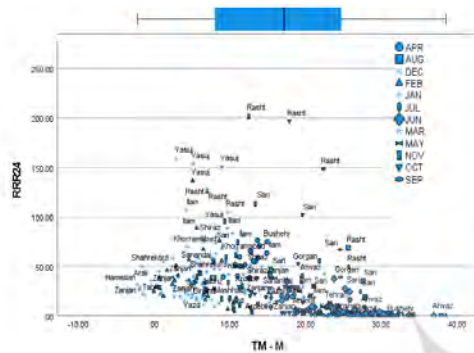


شکل ۷

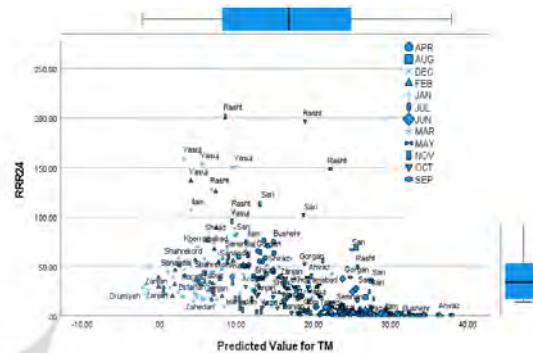
شکل الف، نمودار ماتریس پراکنش، مجموع مشاهدات و باقیمانده مقادیر بارش و دما مشاهده شده و شبیه سازی شده ایستگاه‌ها بر حسب انحراف معیار

جدول ۶- نتایج آزمون، تحلیل واریانس چند متغیره مانوا اثرات گروه ایستگاه ها بر پارامترهای دما و بارش و Tests of Between-Subjects Effects

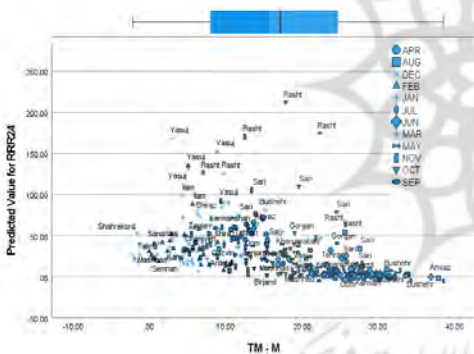
منبع تغییرات	متغیرهای وابسته	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F آمار	سطح P	مربع جزئی اتا
اثرات متقابل	بارش مشاهده شده	۹۷۳.۱۵۸۸۹	۳۰	۳۲.۴۳۹۶	۲۴۹.۸	۰.۰۰۰	۴۲۱.
اثرات متقابل	دما مشاهده شده	۳۲۶.۶۱۶	۳۰	۱۰.۸۸۵۴	۴۸۳.۲	۰.۰۰۰	۱۷۹.
اثرات متقابل	بارش شبیه سازی شده	۱۲۸.۱۵۵۴۲۶	۳۰	۴.۲۷۱۸	۱۰۲.۸	۰.۰۰۰	۴۱۶.
اثرات متقابل	دما شبیه سازی شده	۸۹۶.۶۱۵۹	۳۰	۲۹.۸۸۵۳	۵۲۰.۲	۰.۰۰۰	۱۸۱.



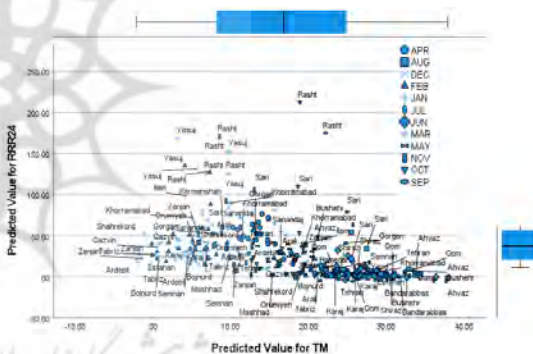
شکل ۱۰



شکل ۹



شکل ۱۲



شکل ۱۱

شکل ب، نمودارهای رسم شده ترکیب رگرسیون و باکس پلات دما و بارش مشاهده شده ۲۰۲۰-۱۹۹۰ و شبیه سازی شده ۲۰۵۰-۲۰۲۰ ایستگاه ها بر حسب گام زمانی ماهانه.

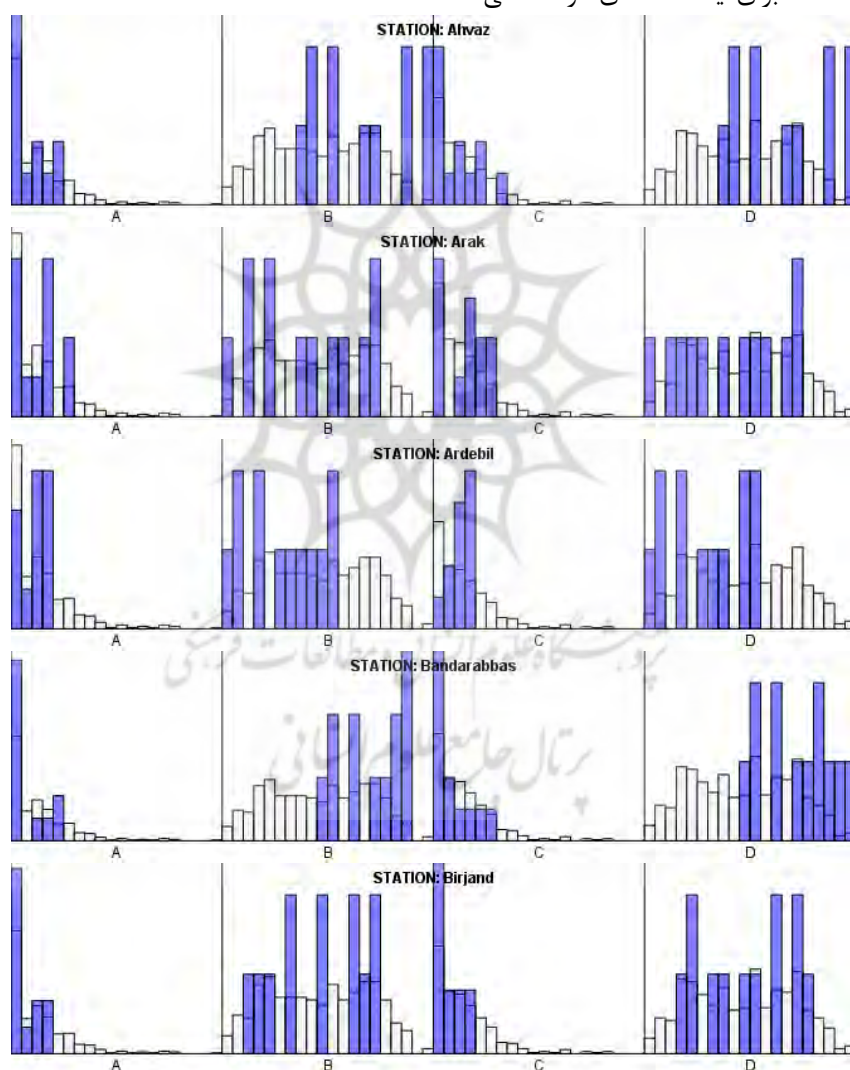
ژانویه، دسامبر، نوامبر، فوریه، آوریل، اکتبر، مه، سپتامبر، ژوئن، ژوئیه، اوت پیش بینی کرده اند. بیشترین و کمترین میزان دمای مشاهده شده به ترتیب در ماه های ژوئیه، اوت، ژوئن، سپتامبر، مه، اکتبر، آوریل، نوامبر، مارس، فوریه، دسامبر، ژانویه رخ داده است که شبیه سازی ها این مقادیر را به ترتیب برای ماه های ژوئیه، اوت، ژوئن، سپتامبر، مه، اکتبر، آوریل، نوامبر، مارس، فوریه، دسامبر، ژانویه پیش بینی کرده اند. نتایج مقایسه ایستگاه های هواشناسی منتخب

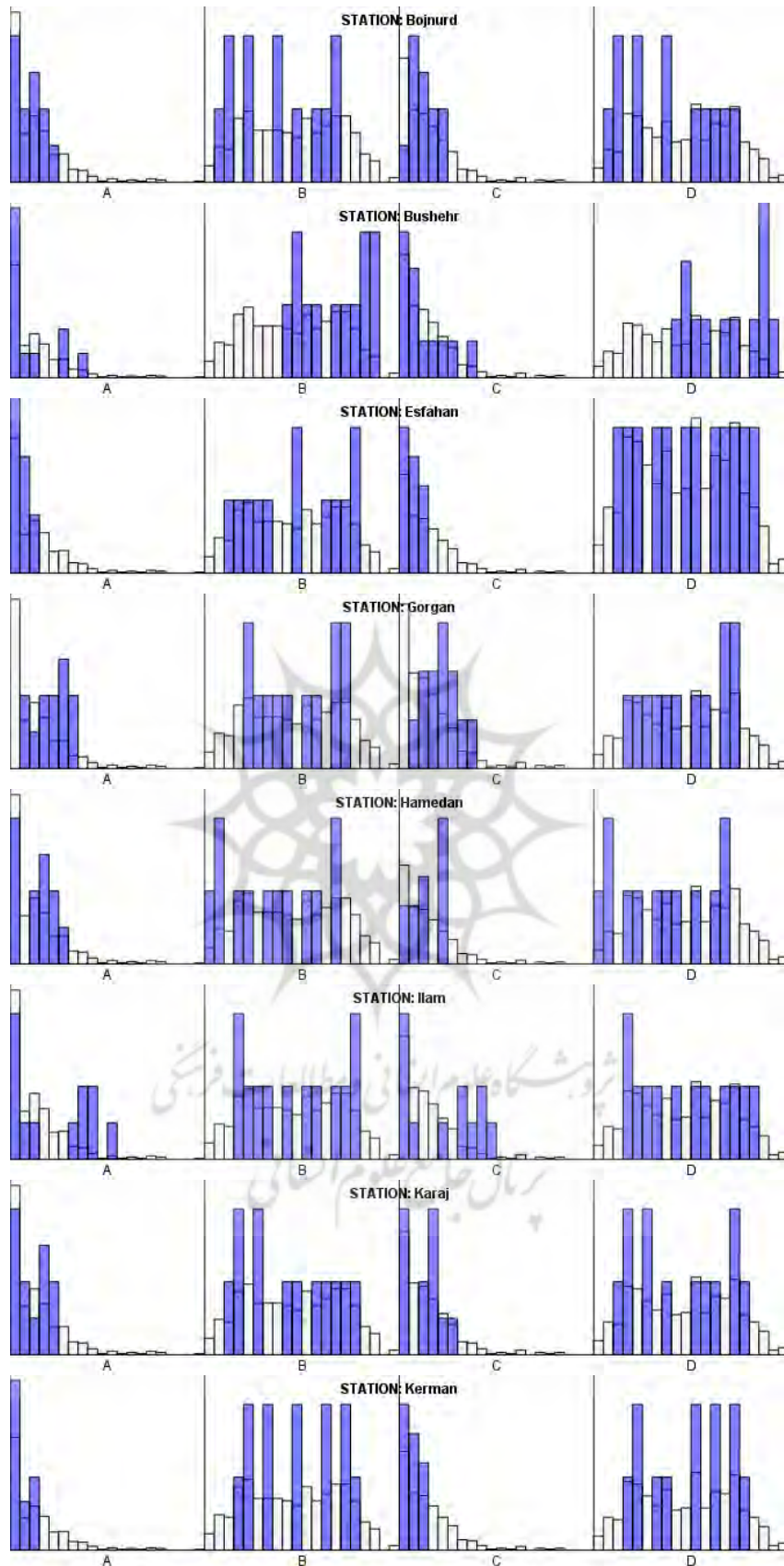
ارزیابی تحلیل دما و بارش بر حسب گام زمانی ماهانه شکل ب، الگوی رگرسیونی و باکس پلات دما و بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده، ایستگاه های هواشناسی بر حسب گام زمانی ماهانه را نشان داده، بیشترین و کمترین بارش مشاهده شده به ترتیب در ماه های مارس، ژانویه، دسامبر، نوامبر، فوریه، آوریل، اکتبر، مه، سپتامبر، ژوئن، اوت، ژوئیه ماه های رخ داده است. شبیه سازی ها بیشترین و کمترین میزان بارش را نیز به ترتیب برای ماه های مارس،

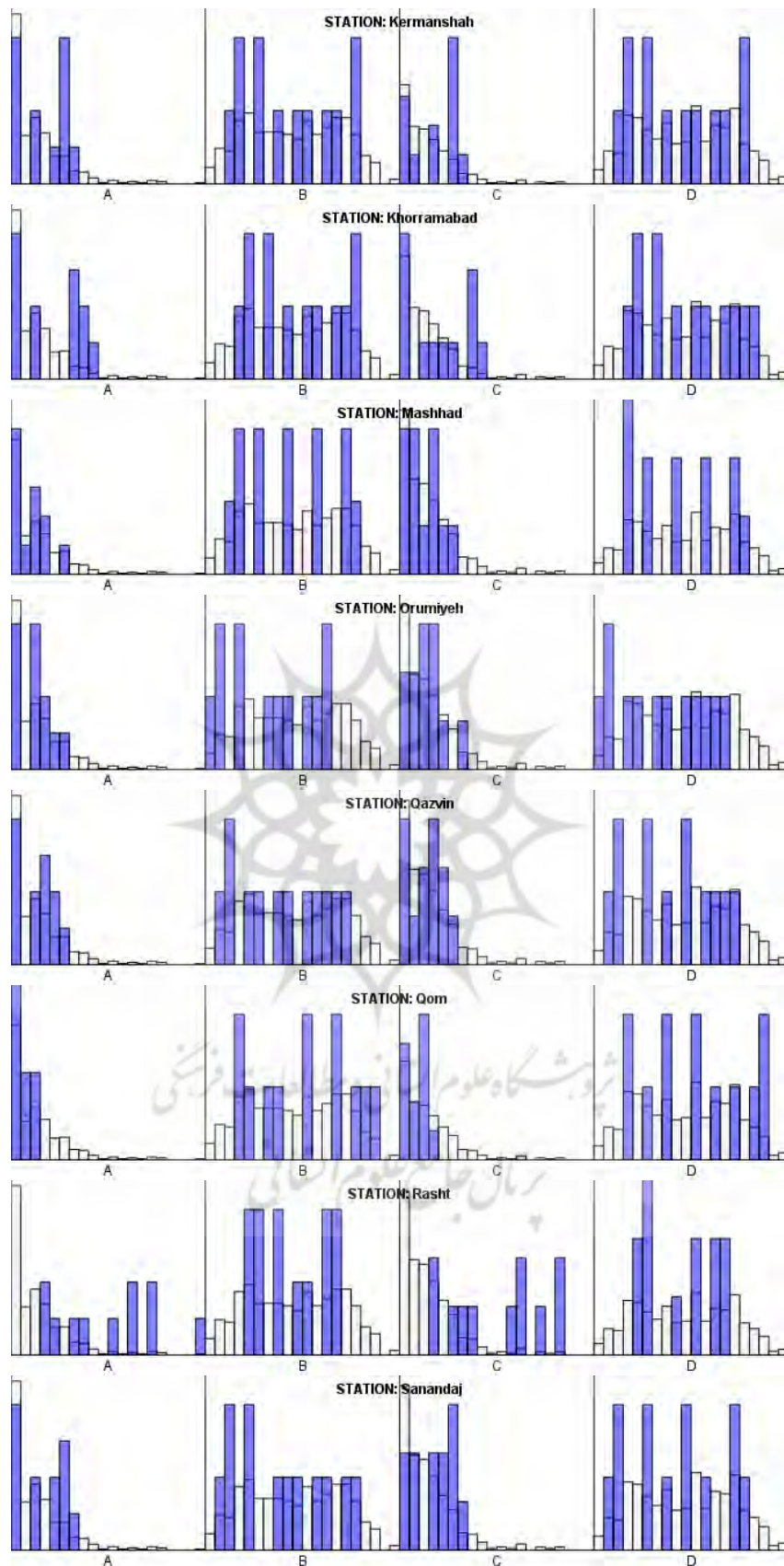
ترسیم گردیده، نتایج مقایسه ایستگاه‌های منتخب طی دوره‌های مذکور نشان داد. بیشترین و کمترین مقادیر بارش مشاهده شده به ترتیب در ایستگاه‌های رشت ۱۰۹/۹۵ و یزد ۴/۳۶ میلی‌متر ثبت شده و شبیه سازی ها نیز برای همین ایستگاه ها ۱۱۲/۴۶ و ۵/۶۳ میلی متر پیش‌بینی کرده اند. بیشترین و کمترین میانگین دمای مشاهداتی به ترتیب در ایستگاه‌های بندرعباس ۲۶/۹۹ و اردبیل ۹/۳۶ درجه سانتی‌گراد ثبت شده و شبیه سازی ها نیز برای همین ایستگاه ها ۲۷/۱۰ و ۹/۴۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی کرده‌اند.

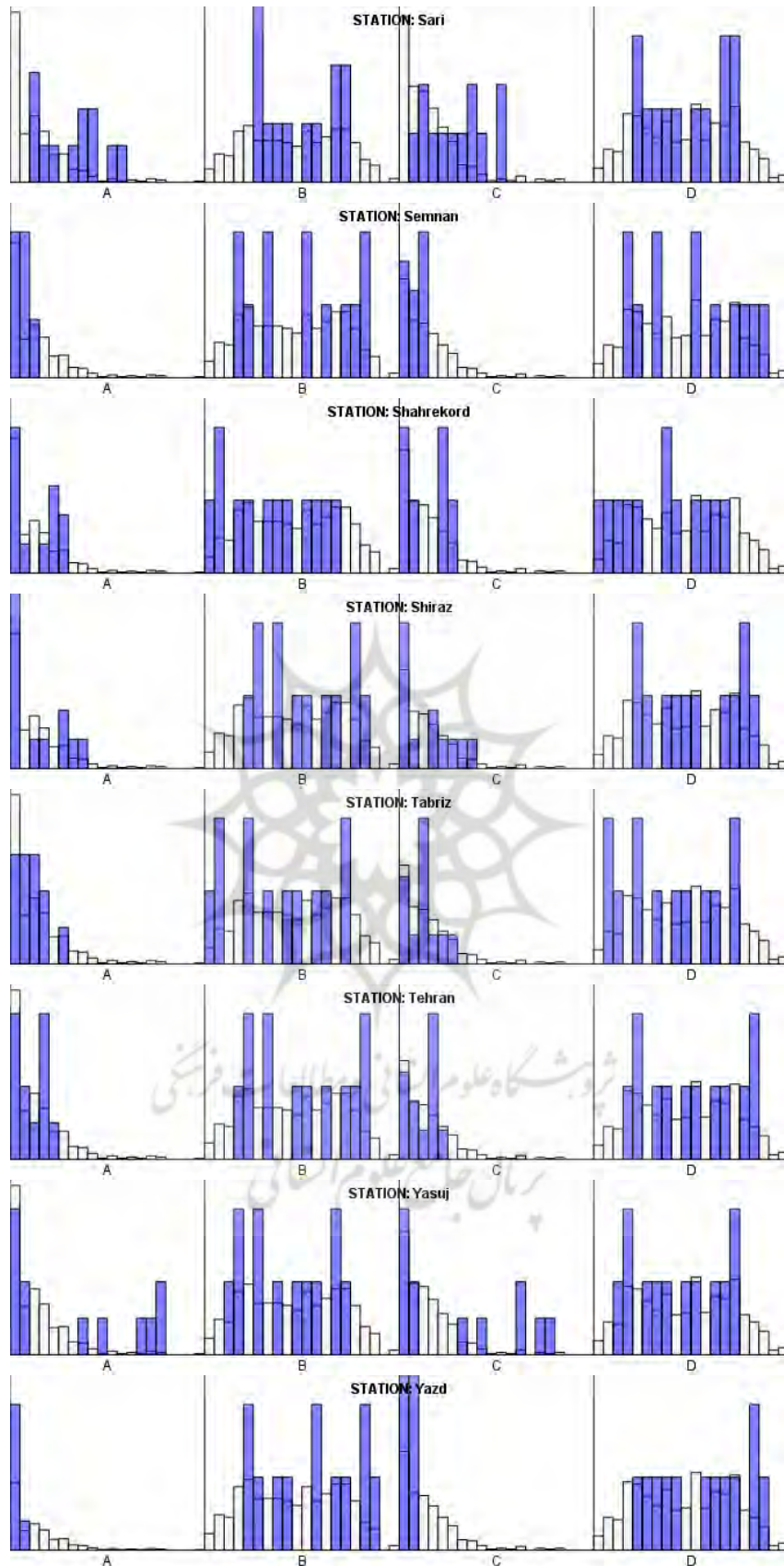
طی دوره‌های مذکور نشان داد. بیشترین و کمترین مقادیر بارش مشاهده شده به ترتیب در ایستگاه‌های رشت و یزد ثبت شده و شبیه سازی ها نیز برای همین ایستگاه ها پیش‌بینی کرده‌اند. بیشترین و کمترین میانگین دمای مشاهداتی به ترتیب در ایستگاه‌های بندرعباس و اردبیل ثبت شده و شبیه سازی‌ها نیز برای همین ایستگاه ها پیش‌بینی کرده‌اند.

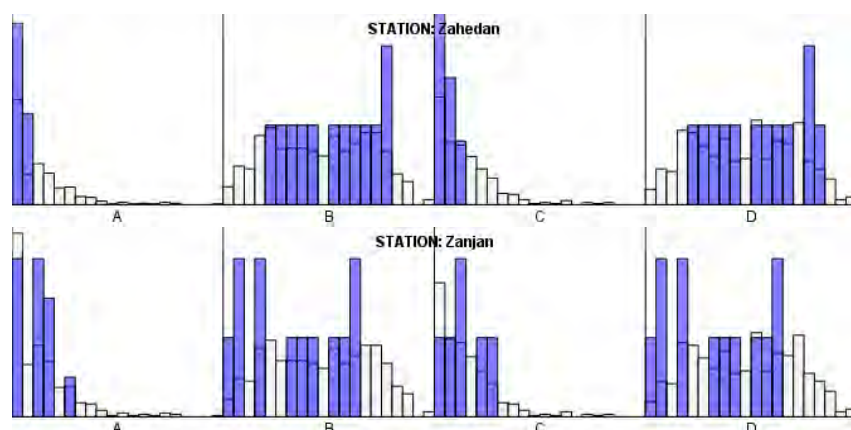
**تحلیل درصد فراوانی تغییرات دما و بارش ایستگاه‌ها شکل ب،** منحنی تغییرات دما و بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده برحسب گام زمانی سالانه را نشان داده که برای ایستگاه‌های هواشناسی











شکل ۳. نمودارهای رسم شده برای تعیین درصد فراوانی تغییرات دما و بارش مشاهده شده ۲۰۲۰-۱۹۹۰ و شبیه سازی شده ۲۰۵۰-۲۰۲۰ ایستگاه‌ها برحسب گام زمانی سالانه، برچسب اشکال: A بارش مشاهده شده، B دما مشاهده شده، C بارش شبیه سازی، D دما شبیه سازی.

جدول ۶- مقادیر مشاهده شده ۲۰۲۰-۱۹۹۰ و شبیه سازی شده ۲۰۵۰-۲۰۲۰ دما و بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های هواشناسی برحسب گام زمانی سالانه

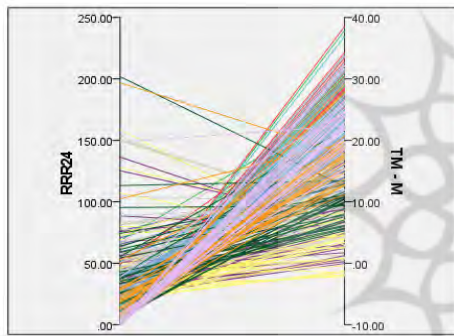
کد ایستگاه	استان	ایستگاه	بارش مشاهده شده	بارش شبیه سازی شده	دما مشاهده شده	دما شبیه سازی شده
۴۰۷۵۲	البرز	کرج	۲۱,۶۱	۲۳,۳۶	۱۶	۱۵,۸۷
۴۰۷۶۹	مرکزی	اراک	۲۵,۹۷	۲۷,۲۸	۱۴,۱۸	۱۴,۵۴
۴۰۸۱۱	خوزستان	اهواز	۱۸,۰۴	۱۹,۳۴	۲۶,۲۲	۲۶,۱۹
۴۰۸۵۸	بوشهر	فرودگاه بوشهر	۲۰,۵۹	۲۱,۵۱	۲۵,۳۲	۲۵,۴۶
۴۰۷۶۶	کرمانشاه	کرمانشاه	۳۴,۱۲	۳۳,۵۶	۱۵,۶۸	۱۵,۴۸
۴۰۷۸۰	ایلام	ایلام	۴۵,۵۹	۴۴,۴۹	۱۶,۹۸	۱۶,۸۸
۴۰۷۵۹	مازندران	ساری	۶۲,۹۱	۶۰,۱۷	۱۷,۶۸	۱۷,۱
۴۰۷۸۲	لرستان	خرم آباد	۴۰,۵	۴۰,۵۵	۱۷,۰۱	۱۷,۲
۴۰۷۴۷	کردستان	سنندج	۳۱,۶۶	۳۱,۹۷	۱۴,۱۸	۱۴,۵۵
۴۰۸۰۰	اصفهان	اصفهان	۱۱,۱	۱۰,۷۸	۱۷,۰۷	۱۷,۰۶
۴۰۷۹۸	چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	۲۶,۳۴	۲۶,۶۳	۱۱,۷۲	۱۱,۸۳
۴۰۷۱۹	گیلان	رشت	۱۰۹,۹۴	۱۱۲,۴۶	۱۶,۱۶	۱۵,۹۲
۴۰۷۶۸	همدان	فرودگاه همدان	۲۵,۹۴	۲۵,۱۷	۱۲,۰۱	۱۱,۸۵
۴۰۷۵۴	تهران	تهران - مهرآباد	۱۹,۷۷	۱۹,۵۸	۱۸,۲۵	۱۸,۰۳
۴۰۷۳۱	قزوین	قزوین	۲۶,۴۹	۲۴,۵۹	۱۴,۰۱	۱۳,۸۹
۴۰۷۵۷	سمنان	سمنان	۱۱,۲۵	۱۲,۸۵	۱۸,۴۲	۱۸,۱۸
۴۰۸۷۵	هرمزگان	بندرعباس	۱۴,۰۷	۱۴,۴۷	۲۶,۹۹	۲۷,۱
۴۰۸۴۱	کرمان	کرمان	۱۰,۷۲	۱۰,۱۲	۱۷,۰۷	۱۷,۲۱
۴۰۸۰۹	خراسان جنوبی	بیرجند	۱۲,۵۲	۱۲,۵۵	۱۶,۶۵	۱۶,۸۹
۴۰۷۴۵	خراسان رضوی	مشهد	۲۰,۳۷	۲۱,۴۲	۱۵,۴۶	۱۵,۷۳
۴۰۷۲۳	خراسان شمالی	بجنورد	۲۰,۹۷	۲۱,۵۶	۱۳,۰۱	۱۳,۱۳
۴۰۷۳۸	گلستان	گرگان	۴۲,۶	۴۰	۱۷,۴۳	۱۷,۰۱
۴۰۸۴۸	فارس	شیراز	۲۶,۹۲	۲۶,۰۵	۱۸,۸۷	۱۸,۸۹
۴۰۸۳۶	کهگیلویه و بویراحمد	یاسوج	۶۷,۲۶	۶۵,۳۹	۱۴,۴۹	۱۵,۰۸
۴۰۸۰۷	اردبیل	اردبیل	۲۳,۴۲	۲۲,۵۵	۹,۳۶	۹,۴۵



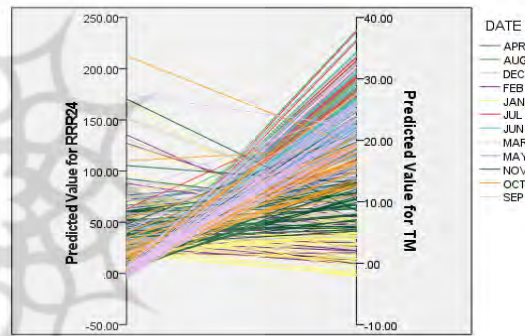
۴۰۷۱۲	آذربایجان غربی	ارومیه	۲۵,۸۶	۲۳,۸۹	۱۱,۵۶	۱۱,۵۱
۴۰۷۰۶	آذربایجان شرقی	تبریز	۲۱,۳	۲۱,۷	۱۳,۰۵	۱۳,۲۱
۴۰۷۲۹	زنجان	زنجان	۲۴,۴۸	۲۵,۶۱	۱۱,۳۲	۱۱,۳۸
۴۰۸۲۱	یزد	یزد	۴,۳۶	۵,۶۳	۲۰,۲۴	۲۰,۴۱
۴۰۸۵۶	سیستان و بلوچستان	زاهدان	۶,۵۱	۸,۶۶	۱۹,۳۶	۱۹,۳۷
۴۰۷۷۰	قم	قم	۱۲,۱۵	۱۳,۴۸	۱۸,۵۲	۱۸,۸۶

ایستگاه‌های هواشناسی منتخب طی دوره‌های مذکور برحسب گام زمانی سالانه را نشان داده. شکل ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ نقشه‌های پهنه‌بندی میزان تغییرات دما رنگ ترکیبی قرمز و بارش رنگ ترکیبی آبی، طی دوره‌های مذکورها برحسب گام زمانی سالانه را نشان داده که برای ایستگاه‌ها ترسیم شده است.

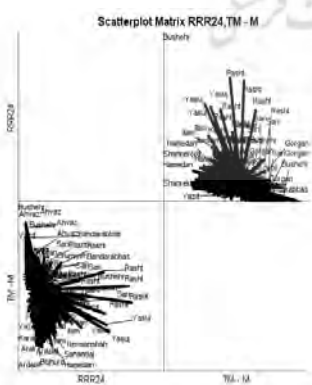
تحلیل موازی، ماتریس پراکنش و نقشه پهنه بندی تغییرات دما و بارش، شکل ۱۱، ۱۲ الگوی پردازش موازی از تغییرات کلی دما و بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده ایستگاه‌های هواشناسی برحسب گام زمانی ماهانه را نشان داده، که به صورت موازی درمقابل هم قرار گرفته اند. شکل ۱۳، ۱۴ ماتریس پراکنش و پراکنندگی تغییرات دما و بارش



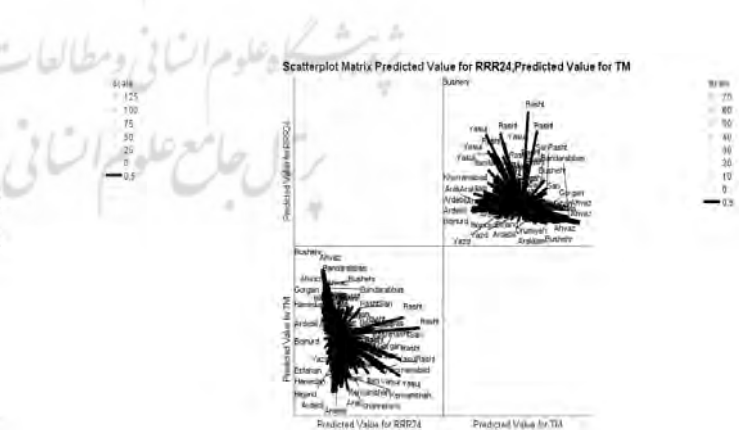
شکل ۱۲



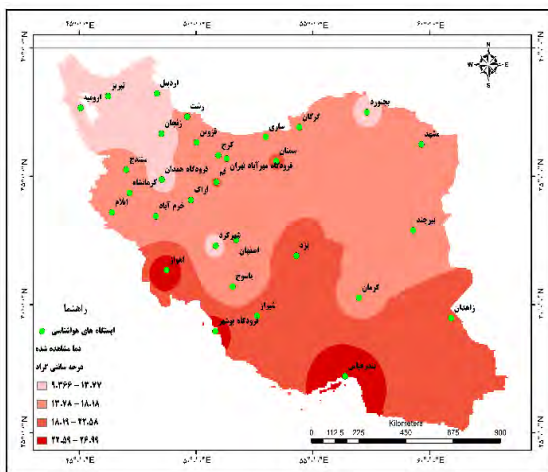
شکل ۱۱



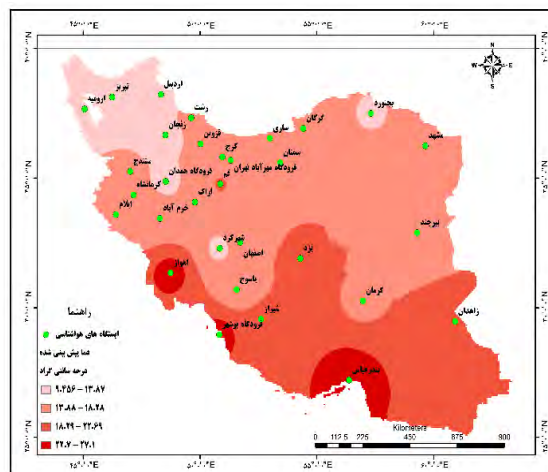
شکل ۱۴



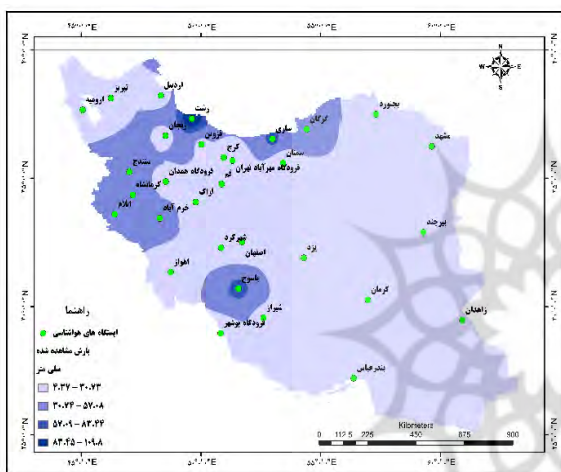
شکل ۱۳



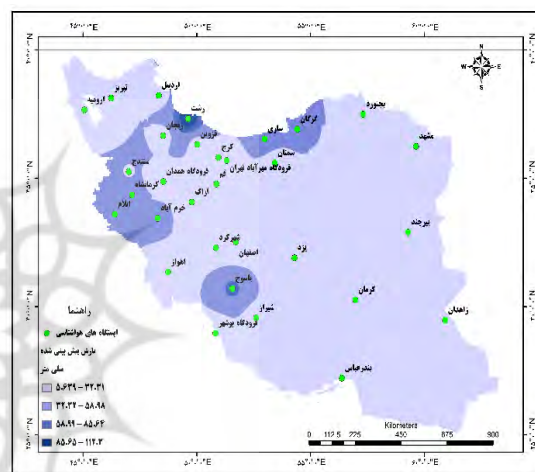
شکل ۱۶



شکل ۱۵



شکل ۱۸



شکل ۱۷

شکل ت، نمودارها و نقشه‌های پهنه بندی رسم شده ماتریس پراکنش و پراکندگی تغییرات دما و بارش مشاهده شده ۲۰۲۰-۱۹۹۰ و شبیه سازی شده ۲۰۵۰-۲۰۲۰ ایستگاه‌ها برحسب گام زمانی ماهانه و سالانه

### نتیجه گیری

هواشناسی منتخب طی دوره‌های مذکور نشان داد. بیشترین و کمترین مقادیر بارش مشاهده شده در ایستگاه‌های رشت و یزد ثبت شده است. شبیه‌سازی‌ها بیشترین و کمترین میزان بارش را برای ایستگاه‌های رشت و یزد پیش‌بینی کرده‌اند. بیشترین و کمترین میزان دمای مشاهده شده به ترتیب در ایستگاه‌های بندرعباس و اردبیل ثبت شده است که شبیه‌سازی‌ها این مقادیر را به ترتیب برای ایستگاه‌های بندرعباس و اردبیل پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج مقایسه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی منتخب طی دوره‌های مذکور نشان داد: بیشترین میانگین بارش مشاهده شده و پیش‌بینی شده مربوط به ایستگاه رشت و کم‌ترین

نتایج مقایسه دوره‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد، تفاوت معنی‌داری بین تغییرات دما و بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در ایران وجود دارد. بیشترین و کمترین بارش مشاهده شده در ماه‌های مارس و ژوئیه رخ داده است. شبیه‌سازی‌ها بیشترین و کمترین میزان بارش را برای ماه‌های مارس و اوت پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین بیشترین و کمترین میانگین دمای مشاهده شده به ترتیب در ماه‌های ژوئیه و ژانویه رخ داده و شبیه‌سازی‌ها نیز این مقادیر را برای همین ماه‌ها پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج مقایسه ایستگاه‌های

که به‌طور کلی یا بازه زمانی - فضایی الگوهای آب‌وهوایی تغییر کرده است یا رخداد آن‌ها بیشتر یا کمتر از میانگین بوده است. ساری صراف و همکاران (۱۳۹۴)، اثرات گرمایش جهانی بر اقلیم شهرهای واقع در حوضه دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بر اساس هر دو آزمون مذکور، در منطقه، دمای حداقل، حداکثر و متوسط هم در مقیاس سالانه و هم در مقیاس فصلی روند افزایشی را تجربه کرده است.

گلیان و بذرافشان مقدم (۱۳۹۵) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای مناطق مختلف کشور ایران نشان دادند که سیر صعودی دما در تمامی مناطق مورد مطالعه وجود دارد. و مشخص شد نتایج تحقیقات ذکرشده با این مطالعه هم سو و منطبق می‌باشد.

بارش مربوط به ایستگاه یزد می‌باشد. بیشترین میانگین دمای مشاهده شده و پیش بینی شده مربوط به ایستگاه بندرعباس و کم‌ترین دما مربوط به ایستگاه اردبیل می‌باشد. در تحقیقات هم سو و منطبق جهانبخش اصل و همکاران (۱۴۰۰)، در بررسی تغییرات دما و بارش حوضه‌ی سیمره با استفاده از مدل‌های اقلیمی سری CMIP5 نشان دادند که بارش دوره آتی به طور متوسط در سطح حوضه حدود ۴/۵٪ کاهش خواهد یافت در حالی که دمای حداقل ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر ۲/۱۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت، اکبری و همکاران (۱۴۰۰) به تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران پرداخته‌اند، مهم‌ترین پیامد پدیده تغییر اقلیم در ایران را افزایش فرین‌های جوی دانسته اند.

## منابع

۱. اکبری، مهری و وحیده صیاد (۱۴۰۰). تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۳، شماره ۱، صص ۳۷-۷۴.
۲. احمدی، محمود (۱۳۹۹). تغییر آب و هوا و اهمیت آن در امنیت منطقه غرب آسیا، ششمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، تهران.
۳. جهانبخش اصل، سعید؛ ساری صراف، بهروز، عساکره حسین و سهیلا شیرمحمدی (۱۳۹۹). واکاوی تغییرات زمانی - مکانی بارش‌های بحرانی (فرین بال) در غرب ایران طی سال‌های ۲۰۱۶ - ۱۹۶۵، نشریه تحلیل مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۱، صص ۱۰۶-۸۹.
۴. جهانبخش اصل، سعید، خورشید دوست، علی، عالی نژاد، محمدحسین، پور اصغر، فرناز. (۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی شهر چای ارومیه). هیدرو ژئومورفولوژی، ۳(۷)، ۱۰۷-۱۲۲.
۵. جهانبخش اصل، سعید؛ خورشید دوست، علی و محمد حسین عالی نژاد (۱۴۰۰)، بررسی تغییرات دما و بارش حوضه‌ی سیمره با استفاده از مدل‌های اقلیمی سری CMIP5، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی سال هشتم، شماره ۳، صص ۱۷-۳۲.
۶. خورشید دوست، علی محمد، صراف، بهروز، قرمز چشمه، باقر و فاطمه جعفر زاده، ۱۳۹۶، برآورد و تحلیل مقادیر آبی بارش‌های نواحی خزری با به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هفدهم، زمستان، شماره ۴۷، صص ۲۱-۴۷.
۷. خورشید دوست، علی و سعید فتحی، ۱۴۰۰، پهنه بندی و تحلیل فضایی مخاطرات بالقوه محیطی (مطالعه موردی: بخش سیلوانا)، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، بهار، شماره ۱، صص ۱-۲۰.
۸. داودی، علی، مرادجانی، شیرین. (۱۳۹۷). تحلیل فضایی تغییرات آب‌وهوایی ایران طی دهه‌های اخیر. علوم جغرافیایی (جغرافیای کاربردی)، ۱۴(۲۹)، ۸۲-۹۰.
۹. حجازی، سید اسدالله؛ رضایی مقدم، محمد حسین؛ کرمی، فریبا، یار احمدی، جمشید و علی بی‌غم (۱۴۰۱)، شبیه سازی و پیش بینی برخی متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و سناریوهای RCP در حوضه آبخیز حاجیلر، نشریه علمی جغرافیا و مخاطرات محیطی.
۱۰. رضایی بنفشه، مجید؛ سرافروزه، فاطمه و طاهره جلالی (۱۳۹۰)، بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در

20. FAO. (2007). Adaptation to climate change in agriculture, forestry, and fisheries: Perspective, framework and priorities. FAO, Rome
21. Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Guzel, C., Gönenç, E. (2014). Evaluating the impact of climate change on groundwater resources in a small Mediterranean watershed, *Sci Total Environ* 499: 437-47; doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.07.001.
22. Filhoab, Walter Leal, Tony Wallc Serafino, Afonso Rui Mucova (2022). Technological Forecasting and Social Change, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 180, July 2022, 121662.
23. House, A., Acreman, M., Sorensen, J., Thompson, J. 2015. Hydroecological impacts of climate change modelled for a lowland UK wetland. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU2015-4671.
24. Kolawole. O.D., Motsholapheko. M.R., Ngwenya. B.N. and Olekae Thakadu. (2016), *Climate Variability and Rural Livelihoods: How Households Perceive and Adapt to Climatic Shocks in the Okavango Delta, Botswana*, American Meteorological Society, Volume 8, pp 131-145.
25. Önöz, B., & Bayazit, M. (2003). The power of statistical tests for trend detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27(4): 247-251
26. Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C., & Pounds, J.A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421(6918), 57-61
27. Sillmann, Jana, Thoradis, Thorarinsdottir. Noel, Keenlyside, Nathalie, Schaller, Lisa V. Alexander, Gabriele Hegerl, Sonia I. Seneviratne, Robert Vautard, Xuebin Zhang, Francis W. Zwiersi, (2017). Understanding, modeling and predicting weather and climate extremes: Challenges and opportunities, *Weather and Climate Extremes*, Volume 18, December, Pages 65-74.
28. Shahab Doulabian; Saeed Golian; Amirhossein Shadmehri Toosi; Conor حوضه دریاچه ارومیه، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۶ شماره ۳۸، صص ۷۴-۴۳.
۱۱. رضایی بنفشه، مجید و طاهره جلالی عنصرودی (۱۳۹۷)، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۲ شماره ۶۴، صص ۷۹-۵۹.
۱۲. ساری صراف، بهروز، جلالی عنصرودی، طاهره و فاطمه سرافروزه (۱۳۹۴)، اثرات گرمایش جهانی بر اقلیم شهرهای واقع در حوضه دریاچه ارومیه، پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، سال ششم، شماره ۲، ۴۸-۳۳.
۱۳. صادق حسینی، علیرضا؛ حجام، سهراب؛ تفنگ ساز، پوریا؛ (۱۳۸۴)، ارتباط آب قابل بارش ابر و بارندگی دیده بانی شده در منطقه تهران، مجله فیزیک زمین و فضا، ۱۳-۲۱.
۱۴. عزیزی، قاسم، ۱۳۸۳، تغییر اقلیم، تهران، نشر قومس.
۱۵. عساکره، حسین و نسرین ورناصری قندعلی (۱۳۹۸)، واکاوی تغییرات مقدار، فراوانی، و شدت بارش سالانه ناحیه خزری طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۱۶، مجله پژوهش جغرافیای طبیعی، دوره ۵۱، شماره ۲، صص ۳۵۲-۳۳۵.
۱۶. عساکره، حسین؛ مسعودیان، سید ابوالفضل و فاطمه ترکارانی (۱۴۰۰)، تفکیک نقش عوامل درونی و بیرونی در وردایی دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین طی چهار دهه اخیر (۱۳۹۴-۱۳۵۵)، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی دوره ۵۳، شماره ۱، صص ۱۰۷-۹۱.
۱۷. کامیابی، سعید، عبدی، کمیل. (۱۳۹۹). آشکارسازی و تحلیل روند تغییرات اقلیم (بارش و دما) در محدوده ساری. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۷)، ۱۶۵-۱۷۹.
۱۸. گلپان، سعید و محمد رضا بذر افشان مقدم (۱۳۹۵)، بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای مناطق مختلف کشور ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده مهندسی عمران - ۱۳۹۵ - پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
19. Alotaibi, Khalid, Abdul Razzaq Ghumman, Husnain Haider, Yousry Mahmoud Ghazaw, and Md. Shafiquzzaman, (2018). Future Predictions of Rainfall and Temperature Using GCM and ANN for Arid Regions: A Case Study for the Qassim Region, Saudi Arabia, *Water* 2018, 10, 1260; doi:10.3390/w10091260.

31. Yanlong Guan, Hongwei Lu, Yelin Jiang, Peipei Tian, Lihua Qiu, Petri Pellikka & Janne Heiskanen Gaston (2021). Changes in global climate heterogeneity under the 21st century global warming, *Ecological Indicators* journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind).
32. Lebbihiata. Nacer, Abdelmalek Atiaa Müslüm Arıcıb Nouredine Meneceura Abdessamia Hadjadja Youcef Chetioui (2022). Thermal performance analysis of helical ground-air heat exchanger under hot climate: In situ measurement and numerical simulation, *Energy*, Volume 254, Part C, 1 September 2022, 124429.
- Murphy, 2021, Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios, *Journal of Water and Climate Change* (2021) 12(1): 166–184.
29. Vose, R.S., Wuertz, D., Peterson, T. C., & Jones, P.D. (2005). An inter comparison of trends in surface air temperature analyses at the global, hemispheric, and grid-box scale. *Geophysical research letters*, Vol. 32, NO. 18.
30. Wagner T. 2020. Global trends of total column precipitable water observed by Global ozone monitoring, *Journal of Geophysical research*, vol. III, D12102.





پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی