

## پایش و پیش‌بینی ترسالی و خشکسالی تبریز با استفاده از مدل CLIMGEN و شاخص SPI

بهر روز ساری صراف<sup>۱</sup>

سعید محمودی<sup>۲</sup>

سعید زنگنه<sup>۳</sup>

زهرا پاشایی<sup>۴</sup>

### چکیده

امروزه پیش‌بینی داده‌های هواشناسی برای برنامه‌ریزی‌های آینده در زمینه‌های طبیعی و انسانی از اهمیت بالایی برخوردار است. از جمله می‌توان به پیش‌بینی خشکسالی و سیل و... اشاره کرد که در این صورت می‌توان با برنامه‌ریزی مدون از خسارات احتمالی کاست. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از مدل CLIMGEN و داده‌های هواشناسی (۲۰۰۹-۱۹۶۱)، ایستگاه سینوپتیک تبریز پیش‌بینی داده‌های هواشناسی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ انجام گرفت و با توجه به هدف تحقیق همبستگی بین این داده‌ها با داده‌های مشاهداتی در SPSS16 صورت گرفت. با توجه به همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، سپس به پیش‌بینی داده‌های هواشناسی منطقه تبریز طی دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۶ پرداخته شد. در نتیجه با استفاده از شاخص SPI جهت به‌دست آوردن ترسالی و خشکسالی‌ها در دوره مورد مطالعه و دوره شبیه‌سازی شده اقدام گردید. نتایج نشان می‌دهد که در دو دوره مورد مطالعه (۲۰۰۹-۱۹۶۱ و ۲۰۴۰-۲۰۱۶)، روند بارش رو به کاهش گذارده است و از طرف دیگر در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی ترسالی و خشکسالی‌ها رو به افزایش نهاده و از وضعیت نرمال فاصله گرفته است. برای سال ۲۰۴۰ در منطقه مورد مطالعه با مدل گردش عمومی جو HADCM2 طبق سناریوی A1BAIM مدل‌سازی شد و از مدل MAGICC-SCENGEN برای ریز مقیاس‌نمایی داده‌های با قدرت تفکیک خروجی ۲/۵ در ۲/۵ مدل‌های گردش عمومی استفاده شد. نتایج حاصل از این مدل نیز حاکی از کاهش بارش و افزایش دما در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** ترسالی و خشکسالی، مدل CLIMGEN، شاخص SPI، تبریز.

۱- استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه تبریز (نویسنده مسؤول)

۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۴- کارشناسی ارشد آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

## مقدمه

گرمایش جهانی و رابطه تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش نقاط مختلف کره زمین با آن، به عنوان مهم‌ترین نمودهای تغییر اقلیم، مورد توجه قرار گرفته‌اند. توجه افکار عمومی و مجامع علمی به این نکته و تمرکز گازه‌های گلخانه‌ای در چند سال گذشته باعث شده است که نوعی همکاری جهانی در بررسی این معضل جهانی به وجود آید، چون به تحقیق معلوم شده است که بسیاری از معضلات محیطی از جمله سیل، طوفان، خشکسالی و نظایر آنها ریشه در تشدید افزایش دمای کره زمین دارند (خورشید دوست و همکاران، ۱۳۸۳: ۲۳-۱). تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی، سبب گسترش خشکسالی‌ها و تداوم آنها شده و همچنین منجر به ناهمگنی توزیع بارش شده و بر منابع آب تأثیر می‌گذارد. هر گونه تغییر در مؤلفه‌های بارش و دما، بر میزان تبخیر و تعرق تأثیر خواهد گذاشت. گرمایش جهانی شرایط خشکی را در نواحی خشک جهان با افزایش پتانسیل تبخیر و تعرق و افزایش بیابان‌زایی تشدید خواهد کرد (روشن و محمدنژاد به نقل از علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۸-۶۹). خشکسالی یک ویژگی اقلیمی است که در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد، اگرچه ویژگی‌های آن از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. وقوع خشکسالی وخیم‌ترین حادثه محیطی است که دارای ویژگی‌های خاص اقلیمی و هیدرولوژیکی در هر ناحیه می‌باشد (سمیعی و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۹-۲۷).

دما و بارش از عناصر اصلی شناخت اقلیم هستند. با توجه به دریافت نامنظم انرژی خورشیدی توسط زمین، بارش و دمای هوا در سطح زمین دارای تغییرات زیادی است که این تغییرات موجب پیدایش پدیده‌هایی نظیر سیل و خشکسالی می‌گردد (یوسفی و حجام، ۱۳۹۱). پیش‌بینی داده‌های هواشناسی جهت پیش‌بینی خشکسالی و سیل و گرمایش جهانی و... برای مدیریت تولید محصول در آینده و مدیریت منابع آب و جلوگیری از ایجاد بحران در آینده مورد نیاز است و پیش‌بینی اطلاعات هواشناسی به برنامه‌ریزان و مدیران و مسئولان در مورد موارد مذکور کمک خواهد کرد. برای پیش‌بینی اطلاعات هواشناسی مدل‌های مختلفی توسط پژوهشگران معرفی شده است. مدل‌های WGEN (ریچارد سون و رایت، ۱۹۸۴)، WXGEN (شارپلی و ویلیامز، ۱۹۹۰)، USCLIMATE (جانسون و همکاران، ۱۹۹۶)، CLIGEN (آرنولد و الیوت، ۱۹۹۶)، CLIMAX (دانوسو، ۱۹۹۷) و CLIMGEN (استوکل و همکاران، ۱۹۹۸) را می‌توان نام برد. بیشتر این مدل‌ها برای پیش‌بینی داده‌های هواشناسی، از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌کنند (سیمونوف و جمیسون، ۱۹۹۹).

پیش‌بینی خشکسالی و ترسالی استان مازندران با استفاده از مدل بکس-جنکینز توسط علیجانی و رضانی (۱۳۸۱: ۱۷۰-۱۵۵)، انجام شده و نتیجه گرفته‌اند که در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ ایستگاه‌های قائم‌شهر و بابل‌سردر دوره ترسالی و رامسر و نوشهر دوره خشکسالی را تجربه می‌کنند. وی همچنین تحلیل و

پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران، بر اساس کاهش یا افزایش بارندگی نسبت به میانگین درازمدت را نیز انجام داده و نتیجه گرفته‌اند که وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، اغلب با شدت‌های متوسط و یا تقریباً نرمال بوده و بروز این پدیده‌ها در سطح استان از همزمانی و نظم خاصی برخوردار است. عزیزی و روشن (۱۳۸۴: ۶۳-۴۸)، جهت پیش‌بینی خشکسالی و ترسالی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل سری زمانی حالت وینترز به این نتیجه رسیدند که سه دوره خشکسالی و دو دوره ترسالی در منطقه رخ داده است، به طوری که خشکسالی‌ها ضعیف و متوسط، اما با تداوم زیاد بوده، در حالی که ترسالی‌ها شدید و بسیار شدید اما با تداوم کم ظاهر شده‌اند. در مطالعه‌ای ارزیابی مدل CLIMGEN و پیش‌بینی اطلاعات هواشناسی برای منطقه تبریز مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان می‌دهد که مدل CLIMGEN مقادیر دمای هوا، درصد رطوبت نسبی، و بارش را با دقت مناسبی پیش‌بینی می‌کند (رشید نیقی و همکاران، ۱۳۸۹). این مدل توسط محققان زیادی در نقاط مختلف دنیا آزمون شده و مورد اعتبار قرار گرفته است (استوکل و همکاران، ۲۰۰۱: ۲۳۰-۲۲۹). در تحقیقی دیگر طوفانی و همکاران (۱۳۹۰: ۱۲۲۶-۱۲۱۷)، به پیش‌بینی بارندگی با استفاده مستقیم از نظریه موجک پرداخته‌اند که نتایج نشان‌دهنده همبستگی میان داده‌های مشاهداتی و محاسباتی است و پیش‌بینی سیگنال بارندگی با دقت بیشتری صورت گرفته است. پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG5 توسط معافی مدنی و همکاران (۱۳۹۱: ۳۷-۲۱)، مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج نشان می‌دهد که در حالت کلی در بیش از ۹۰٪ ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی طی بیست سال آینده، وضعیت ترسالی افزایش می‌یابد. مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج نشان می‌دهد که با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی در هر دو استان، کویرزایی در آینده سرعت بیشتری خواهد یافت و همچنین احتمال افزایش بارندگی‌های سیل‌آسا و رگباری در هر دو دامنه وجود دارد (حق طلب و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۹-۳۷).

ناحیه‌بندی اقلیمی و بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و پیش‌بینی اقلیمی را باری (۲۰۰۱)، با استفاده از روش‌های مختلف مانند: شاخص خشکسالی پالمز، زنجیره مارکوف، میانگین متحرک، اتورگرسیون و آرما انجام داده است. در آسیا گانگولی (۲۰۰۲: ۷۹۶)، بر روی حوضه داخلی گنگ و اوتارپرادش بنگلادش مطالعه نموده و یک سیستم هشداردهنده با استفاده از سیستم‌های سنجش از دور و روش‌های آماری مانند آرما جهت پیش‌بینی و شناخت بلایای طبیعی مثل سیل و خشکسالی طراحی نموده است. در مطالعه‌ای تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی با استفاده از مدل LARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مورد ارزیابی قرار

گرفت (بابائیان و همکاران، ۲۰۰۴). در این مطالعه با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G و نرم‌افزار LARS-WG اقلیم استان خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ بررسی شده و وضعیت خشکسالی آن در دوره مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیقی (لوکاس و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۹-۲۳)، اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی در منطقه تسالی<sup>۱</sup> مورد ارزیابی قرار گرفته است، که در این تحقیق خروجی مدل گردش جهانی CGCM2 تحت دو سناریوی A2 و B2 با استفاده از یک روش آماری ریز مقیاس شدند و شاخص SPI برای محاسبه شدت خشکسالی مورد استفاده قرار گرفته و سری‌های زمانی بارش برای دو دوره ۳۰ ساله برآورد شده‌اند. نتایج نشان داده که تغییرات اقلیمی به میزان زیادی بر شدت خشکسالی و در طراحی پروژه‌های آب در آینده اثر دارد. در مطالعه‌ای اثر تغییر اقلیم بر رژیم‌های هیدرولوژیک اروپا با استفاده از چهار سناریوی اقلیمی بررسی شد. نتایج نشان داد که در جنوب اروپا، تحت تأثیر تغییر اقلیم، میزان روان آب سالانه کاهش یافته ولی در شمال افزایش روان آب سالانه انتظار می‌رود، همچنین نتیجه‌گیری شد که شدت خشکسالی در نواحی غرب اروپا افزایش و در نواحی شرقی کاهش می‌یابد (نصرتی و همکاران، ۱۳۸۳، ۵۶-۴۹). خوشحال دستجردی و رحیمی (۱۳۸۷)، در تحقیقی به بررسی رابطه تغییرات بارش سالانه تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین و شبیه‌سازی عددی آن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج حاصل از کاربرد و تحلیل همبستگی پیرسون، نشانگر همبستگی منفی و معکوس معناداری بین بارش سالانه تبریز و ناهنجاری‌های دمایی کره زمین است. یعنی غالباً با منفی شدن ناهنجاری‌های دمایی کره زمین، بارش سالانه تبریز افزایش پیدا کرده و ترسالی به وقوع می‌پیوندد و برعکس با مثبت شدن ناهنجاری‌های دمایی کره زمین، متوسط بارش سالانه تبریز کاهش پیدا کرده و خشکسالی اتفاق می‌افتد. کرمی (۱۳۸۸: ۱۳۱-۱۱۱)، به ارزیابی ارتباط خشکسالی هواشناسی با افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت تبریز پرداخت. در این تحقیق، جهت بررسی خشکسالی از شاخص SPI استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان داد که در دوره آماری ۸۳-۷۰ سطح آب‌های زیرزمینی سیر نزولی داشته و ۳/۹۴ متر افت دارند. خشکسالی آب‌های زیرزمینی نیز با دو ماه تأخیر نسبت به خشکسالی هواشناسی بروز می‌کند. با توجه به این که زمانی که خشکسالی هواشناسی در منطقه‌ای رخ می‌دهد این پدیده در کلیه بخش‌های سیستم هیدرولوژی انتشار می‌یابد و تمامی چرخه هیدرولوژی را متأثر می‌سازد، در دشت تبریز هم وقتی که خشکسالی هواشناسی اتفاق می‌افتد، منابع آب زیرزمینی از آن متأثر می‌شوند. بر اساس این مطالعه سهم دوره‌های با بارش کمتر از متوسط (خشکسالی)، در نوسانات آب‌های زیرزمینی ۲۵/۸ درصد است، بنابراین، نقش سایر عوامل انسانی از قبیل برداشت و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در ایجاد نوسانات تراز آب زیرزمینی آشکار می‌شود. همچنین بر

1- Thessaly

اساس نگرش سیستمی فوق، در دشت تبریز خشکسالی هواشناسی با دو ماه تأخیر به خشکسالی زیرزمینی منجر می‌شود.

کرمی و کاظمی (۱۳۹۱، ۹۴-۷۹)، در مطالعه‌ای به پایش مکانی شوری آب‌های زیرزمینی دشت تبریز در سال شاخص خشکسالی و ترسالی پرداختند. هدف این مطالعه، بررسی تغییرات کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی در مواقع حداکثرهای اقلیمی (خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها) بود. در این راستا از متغیرهای اقلیمی نظیر بارش ماهانه ۸۶-۱۳۵۱ استفاده شد. نتایج مطالعه نشان داد که میزان آب‌های زیرزمینی شور و خیلی شور در دشت تبریز در سال شاخص خشکسالی، ۲۸/۲ درصد و آب‌های زیرزمینی با قلیابیت زیاد، ۲۵/۳۵ درصد بوده است در حالی که در سال شاخص ترسالی آب‌های زیرزمینی شور و خیلی شور، ۱۸/۱۵ درصد و با قلیابیت زیاد، ۴/۹۲ درصد آب‌های زیرزمینی را تشکیل می‌دهند. نتایج حداکثرهای اقلیمی (خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها) می‌تواند شامل پر شدن سفره‌های آب زیرزمینی از بارش‌های زیاد باشد یا با تغییر در میزان تبخیر و تعرق موجب تغییر در پوشش گیاهی شود، همچنین می‌تواند به افت سطح ایستایی و تغییر کیفیت آب زیرزمینی منجر شود (کرمی و کاظمی، به نقل از پاندا و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۴-۷۹). آذری و همکاران (۱۳۹۲: ۵۴۷-۵۳۷)، اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگانرود را بررسی کردند. در این تحقیق از مدل SWAT برای شبیه‌سازی رژیم هیدرولوژیکی حوضه استفاده شد. نتایج مطالعه ضمن تأیید کارایی مدل، نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده، برای دوره زمانی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ مقدار بارندگی سالانه حوضه به میزان ۳/۲ تا ۶/۷ درصد کاهش خواهد یافت. نتیجه تغییرات اقلیمی در بخش آب، کاهش مقدار رواناب سطحی به میزان ۰/۴ تا ۷/۷ درصد، کاهش آب خاک به میزان ۵/۲ تا ۱۳ درصد، افزایش آبدهی حوضه به میزان ۵/۳ تا ۱۰/۲ درصد و افزایش تبخیر و تعرق بین ۳/۶ تا ۱/۶ درصد خواهد بود. نتایج تحقیق ضمن بیان اهمیت تأثیرات تغییر اقلیم کاربرد آنها را در اتخاذ تدابیر لازم در جهت سازگاری با تغییر اقلیم، در سیاست‌های آتی مدیریت حوضه گرگانرود تأکید می‌نماید. «در این تحقیق نیز منطقه تبریز انتخاب و ابتدا با استفاده از مدل CLIMGEN به پیش‌بینی داده‌های اقلیمی پرداخته و سپس با استفاده از شاخص SPI خشکسالی در این منطقه مورد بررسی قرار گرفت».

#### منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شده است. ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز دارای طول جغرافیایی، ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی و ۱۳۶۱ متر ارتفاع می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق، اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره آماری ۴۸ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۹)، است که از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی اخذ گردید. جهت پیش‌بینی داده‌های هواشناسی مدل CLIMGEN-version 4.05.05 و مدل MAGICC-SCENGEN استفاده شد. زیرا مدل CLIMGEN توسط رشید نیقی و همکاران (۱۳۸۹)، مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج نشان داده که این مدل مقادیر دمای هوا، درصد رطوبت نسبی و بارش را با دقت مناسبی پیش‌بینی می‌کند. برای سنجش کارایی مدل داده‌های هواشناسی روزانه از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ جهت پیش‌بینی داده‌های هواشناسی برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ استفاده شد. همبستگی بین داده‌های تولید شده و داده‌های مشاهداتی در SPSS16 مورد بررسی قرار گرفت، که در نتیجه همبستگی خوبی بین داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهداتی بارش بدست آمد. سپس به تولید داده‌های هواشناسی، با استفاده از این مدل و داده‌های هواشناسی ۴۸ ساله تبریز (۱۹۶۱-۲۰۰۹) پرداخته شد، و اطلاعات هواشناسی برای ایستگاه مورد مطالعه از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۰، پیش‌بینی گردید. برای سال ۲۰۴۰ نیز با مدل گردش عمومی جو HADCM2 طبق سناریوی A1BAIM مدل‌سازی شد و از مدل MAGICC-SCENGEN برای ریز مقیاس‌نمایی داده‌های با قدرت تفکیک خروجی ۲/۵ در ۲/۵ مدل‌های گردش عمومی استفاده شد. در ادامه با استفاده از شاخص SPI ترسالی و خشکسالی‌ها برای دوره مشاهداتی و دوره پیش‌بینی شده استخراج گردید. شاخص SPI، اساساً برای بازه‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه می‌شود و برای هر منطقه بر اساس آمار بارندگی بلندمدت در یک دوره آماری دلخواه تعیین می‌شود. این شاخص از اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین آن برای یک بازه زمانی مشخص و سپس تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش به دست می‌آید (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۲ و ۵۳). SPI به عللی نظیر سادگی، قابلیت توصیف مکانی و انعطاف زمانی و بالاخره امکان استفاده در مدیریت ریسک و تصمیم‌گیری (به علت دارا بودن قابلیت تحلیل احتمالاتی) برای بسیاری از محققان در سراسر دنیا جایگاهی ویژه را به خود اختصاص داده است (ادوسا و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۶۰-۱۴۴۱). SPI از زمانی که توسط Mckee در سال ۱۹۹۳ معرفی شد، تاکنون به یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای تحلیل خشکسالی در سراسر دنیا تبدیل شده است و هم‌اکنون نیز توسط مراکز مدیریت خشکسالی در کشور، در وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی برای پیش‌بینی خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد (رضیئی و شکوهی، ۱۳۹۰: ۳۹-۲۸). توانایی اصلی SPI محاسبه برای مقیاس‌های مختلف زمانی است. از آنجا که کمبود بارش در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت، روی رطوبت خاک و در مقیاس بلندمدت، روی دبی رودخانه‌ها، مخازن آب و آب‌های زیر زمینی اثر می‌گذارد، این شاخص قادر به محاسبه کمبود بارش در بازه‌های زمانی متفاوت ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه است. از جمله

توانایی‌های SPI قابلیت به تصویر کشیدن منابع آبی کوچک مثل رطوبت خاک، که برای تولیدات کشاورزی مهم است و منابع آبی بزرگ مانند منابع آبی زیرزمینی، جریان‌های سطحی و دریاچه‌ها و مخازن آب است. SPI برای مطالعه جنبه‌های مختلف خشکسالی همچون پیش‌بینی، تجزیه و تحلیل‌های مکانی- زمانی و مطالعات تأثیر اقلیمی استفاده شده است (روشن و محمدنژاد، ۱۳۹۱: ۸۸-۶۹).

در این تحقیق با توجه به ویژگی و مزایایی که شاخص SPI دارد از SPI استفاده شده که از طریق فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$SPI = \frac{xi - x}{S} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه ۱،  $X_i$  مقادیر بارش برای  $i$  امین ایستگاه،  $X$  میانگین بارندگی برای ایستگاه  $i$ ام می‌باشد و  $S$  انحراف معیار از داده‌های  $i$  امین ایستگاه می‌باشد. بر اساس این شاخص مناطق خشک و تر معرفی می‌شود. این دسته‌بندی در جدول (۱) نشان داده شده است. در این تحقیق جهت تجزیه و تحلیل یک سری از داده‌ها از نرم‌افزار EXCEL2010 و MINITAB14 نیز استفاده شده است.

جدول (۱) مقادیر SPI و طبقه بندی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها

مقادیر SPI	
+۲ و بیشتر	فوق‌العاده مرطوب
۱/۹۹ تا ۱/۵	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی خفیف
-۱/۴۹ تا ۱/۴۹	نرمال
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی خفیف
-۱ تا -۱/۴۹	نسبتاً خشک
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خیلی خشک
-۲ و کمتر	فوق‌العاده خشک

منبع: (سلامت و آل یاسین، ۱۳۸۰)

### معرفی مدل CLIMGEN و MAGICC SCENGEN

مدل MAGICC SCENGEN، یک مدل ترکیبی و مدلی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در واقع مدل MAGICC یک مدل GCM نیست اما از نتایج این مدل‌ها استفاده می‌کند تا رفتار آنها را برای تمام جهان یا منطقه مورد نظر مدل‌سازی نماید (Wigley et al., 2002, 2690-). CLIMGEN نسخه ارتقاء یافته مدل WGEN می‌باشد که در سال ۱۹۹۰، در دانشگاه ایالتی واشنگتن توسط کمپل توسعه یافت. این مدل توانایی تولید متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه، سرعت باد، ساعات

آفتابی و بارش را دارد، برای تولید عوامل هواشناسی نیاز به گرفتن حداقل ۲۵ سال داده بارش، ۱۰ سال دما، ۵ سال تابش خورشیدی، ۷۳۰ روز سرعت باد و درصد رطوبت نسبی دارد (رشید نیقی و همکاران، ۱۳۸۹)، که بارش در مقیاس روزانه و ماهانه به روش زیر تولید می‌شود:

در فرآیند تولید بارش توسط CLIMGEN هم احتمال وقوع و هم مقدار بارش محاسبه می‌شود. برای برخی کاربردها ممکن است شدت و مدت بارش نیز مورد نیاز باشد. وقوع بارش روزانه با استفاده از زنجیره مارکوف دو حالتی برای تولید تعداد و توزیع بارش انجام می‌گیرد. احتمال وقوع یک روز تر بعد از یک روز خشک با  $\alpha$  و احتمال وقوع یک روز خشک بعد از یک روز تر با  $\beta$  نشان داده می‌شود. روزی بارش آن  $0/25$  میلی‌متر یا بیشتر باشد، روز تر در نظر گرفته می‌شود. در این صورت زنجیره مارکوف دو حالتی برای ترکیب احتمالات شرطی به این صورت خواهد بود:

$$\begin{aligned} P(W/D) &= \alpha \\ P(D/D) &= 1 - \alpha \\ P(D/W) &= \beta \\ P(W/W) &= 1 - \beta \end{aligned} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن:

$P(W/D)$ : احتمال وقوع یک روز تر بعد از یک روز خشک می‌باشد.

$P(D/D)$ : احتمال وقوع یک روز خشک بعد از یک روز خشک می‌باشد.

$P(D/W)$ : احتمال وقوع یک روز خشک بعد از یک روز تر می‌باشد.

$P(W/W)$ : احتمال وقوع یک روز تر بعد از یک روز تر می‌باشد.

مقادیر احتمالات بالا برای هر ماه از طریق تجزیه و تحلیل بارش‌های بلندمدت ایستگاه مورد مطالعه محاسبه می‌شود. در روزی که مشخص شد بارش رخ می‌دهد، مقدار بارش بر اساس احتمال تجمعی توزیع ویبول محاسبه می‌شود. سلکر و هیث (۱۹۹۰)، نشان دادند که ویبول بهترین توزیع برای ۳۳ ایستگاه هواشناسی آمریکا در شرق کوه‌های راکی می‌باشد.

## نتایج و بحث

همانطور که بیان گردید ارزیابی مدل CLIMGEN با به‌دست آوردن همبستگی بین داده‌های بارش روزانه مشاهداتی و تولید شده صورت گرفت به این ترتیب که همبستگی بین داده‌های روزانه مشاهداتی و تولید شده دو سال انتخابی مورد بررسی قرار گرفت و همبستگی در سطح  $0/01$  با بیش از  $0/51$  بین داده‌های بارش



روزانه این دو سال وجود دارد و در موارد مشابه نیز همبستگی بالایی بین داده‌های مشاهداتی و تولید شده وجود دارد، که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد. در جدول (۳)، نیز همبستگی بین میانگین بارش سالانه دوره پایه و دوره شبیه‌سازی شده برای همان دوره پایه (۲۰۰۹-۲۰۰۰) ملاحظه می‌گردد. در این جدول نیز مشاهده می‌شود که همبستگی بین داده‌های موجود و داده‌های شبیه‌سازی شده برای همان دوره (۲۰۰۹-۲۰۰۰) در سطح ۰/۰۱ با اطمینان بیش از ۰/۹۳ وجود دارد.

جدول (۲) ضرایب همبستگی بین داده‌های بارش روزانه

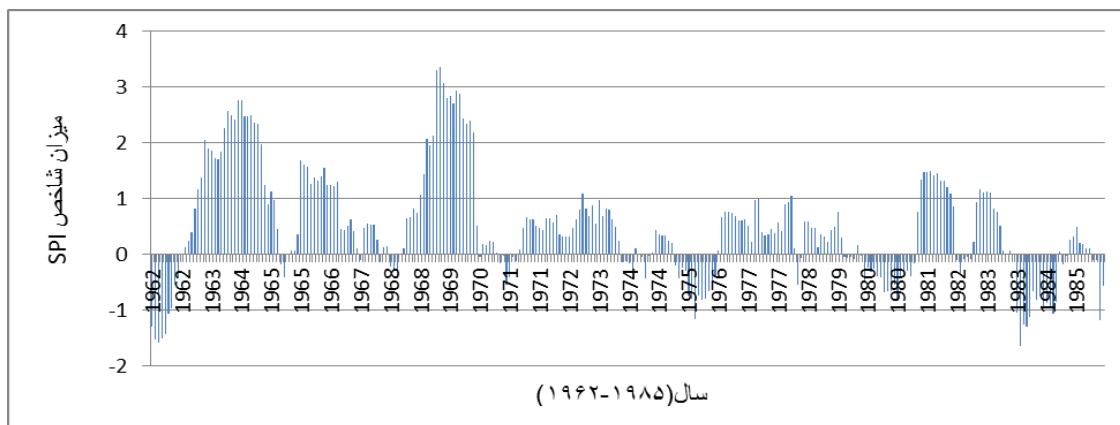
داده‌های حقیقی	داده‌های ساخته شده	
۵۱۲/	۱	همبستگی پیرسون (داده‌های ساخته شده)
۱۰۰۰/		سیگنیفیکانت
۷۳۰/	۷۳۰	تعداد
۱	۵۱۲/	همبستگی پیرسون (داده‌های حقیقی)
۱۰۰۰/		سیگنیفیکانت
۷۳۰	۷۳۰	تعداد

جدول (۳) ضرایب همبستگی بین داده‌های میانگین بارش سالانه ساخته شده و حقیقی (۲۰۰۹-۲۰۰۰)

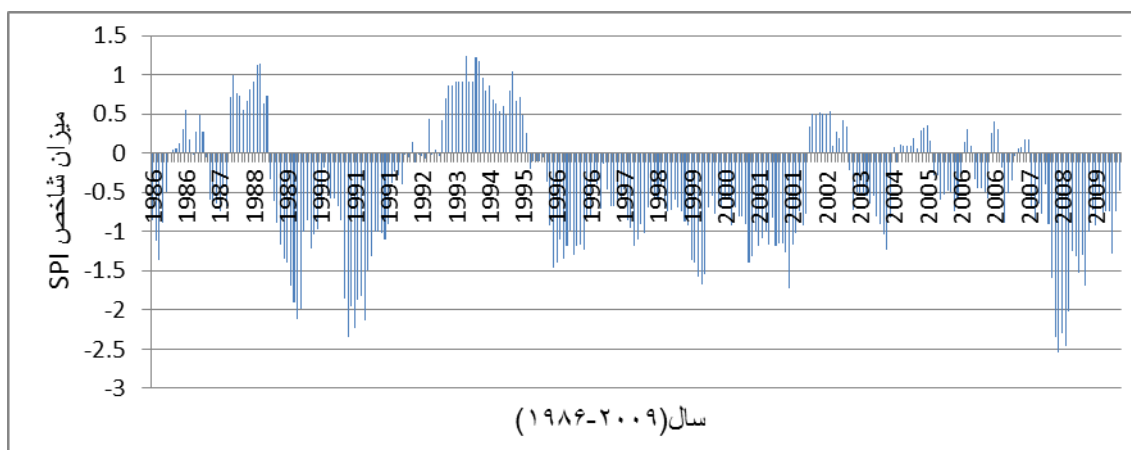
داده‌های حقیقی	داده‌های ساخته شده	
۹۳۸/	۱	همبستگی پیرسون (داده‌های ساخته شده)
۱۰۰۰/		سیگنیفیکانت
۱۲	۱۲	تعداد
۱	۹۳۸/	همبستگی پیرسون (داده‌های حقیقی)
۱۰۰۰/		سیگنیفیکانت
۱۲	۱۲	تعداد

### پایش و پیش‌بینی خشکسالی

همانطور که ذکر شد داده‌های هواشناسی ایستگاه تبریز با استفاده از شاخص SPI جهت تعیین خشکسالی، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به طولانی بودن دوره مورد مطالعه، به دو دوره مساوی تقسیم شد و خشکسالی و ترسالی این دوره به صورت دو نمودار مجزا رسم گردید (شکل ۱ و ۲). همان‌طور که ملاحظه می‌شود در دوره اول (شکل ۱)، چند سال (۱۹۶۳-۱۹۶۴-۱۹۶۹) ترسالی مشاهده می‌شود ولی در بقیه سال‌ها تقریباً وضعیت نرمال است. در دوره دوم (شکل ۲) چند سال (۱۹۸۹-۱۹۹۱-۲۰۰۸) خشکسالی شدید مشاهده می‌شود و چند سال نیز خشکسالی و ترسالی متوسط و خفیف مشاهده می‌شود و در بقیه سال‌ها وضعیت نرمال می‌باشد.

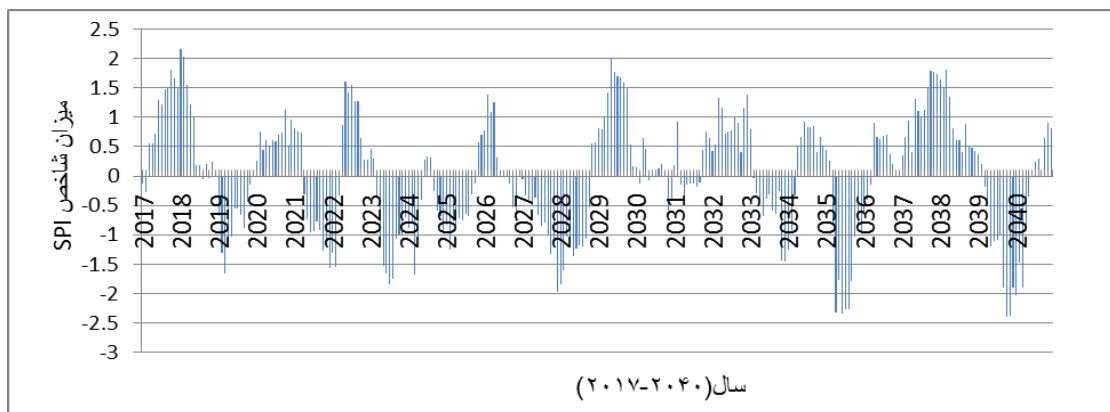


شکل (۱) نمودار شاخص SPI ۱۲ ماهه دوره آماری ۲۴ ساله (۱۹۶۲-۱۹۸۵)



شکل (۲) نمودار شاخص SPI ۱۲ ماهه دوره آماری ۲۳ ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۹)

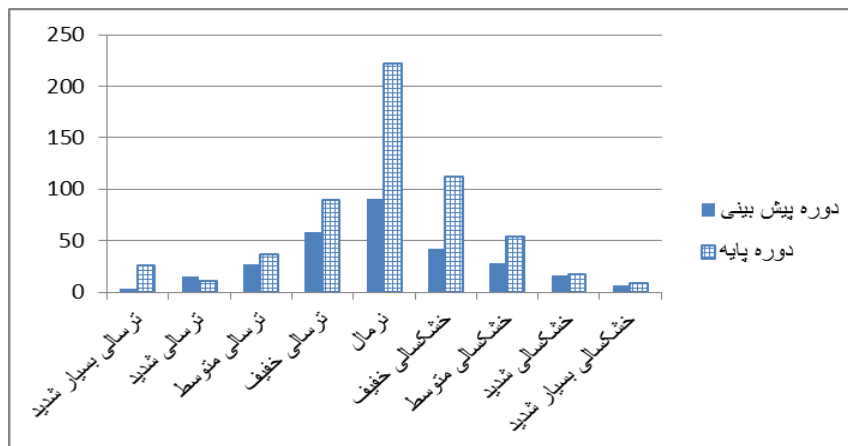
بعد از مرحله پیش‌بینی داده‌ها توسط مدل و تعیین وضعیت خشکسالی توسط شاخص SPI، نمودار شاخص رسم شد (شکل ۳). در دوره پیش‌بینی شده (۲۰۱۷-۲۰۴۰) همان‌طور که از نمودار پیداست وضعیت از حالت نرمال خارج شده و در دوره پیش‌بینی خشکسالی و ترسالی‌های متوسط تا شدید را نشان می‌دهد و می‌توان گفت که تقریباً هیچ سالی در وضعیت نرمال قرار ندارد و این نشان‌دهنده تغییرات بیشتر اقلیم در آینده‌ای نه چندان دور می‌دهد که عوامل مختلفی همانند افزایش گازهای گلخانه‌ای در این امر دخیل هستند و باعث افزایش بحران‌هایی مانند خشکسالی و سیل و... در آینده خواهیم بود. جدول (۴)، مقادیر شاخص خشکسالی SPI برای دوره شبیه‌سازی شده (۲۰۱۷-۲۰۴۰) را نشان می‌دهد. در این جدول همان‌طور که ملاحظه می‌گردد شاخص SPI مقادیر خشکسالی ۱۲ ماهه را به صورت ماهانه نشان می‌دهد. شکل (۴)، نمودار فراوانی طبقات شاخص SPI را برای دوره پایه و دوره پیش‌بینی شده برای ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این شکل هر چند دوره پایه ۴۸ ساله و دوره پیش‌بینی ۲۴ ساله می‌باشد اما همان‌طور که ملاحظه می‌شود ماه‌های ترسالی شدید در دوره پیش‌بینی بیشتر از دوره پایه است و هم‌چنین خشکسالی شدید و بسیار شدید دوره پیش‌بینی برابر با دوره پایه است.



شکل (۳) نمودار شاخص SPI ۱۲ ماهه دوره آماری ۲۴ ساله (۲۰۱۷-۲۰۴۰)

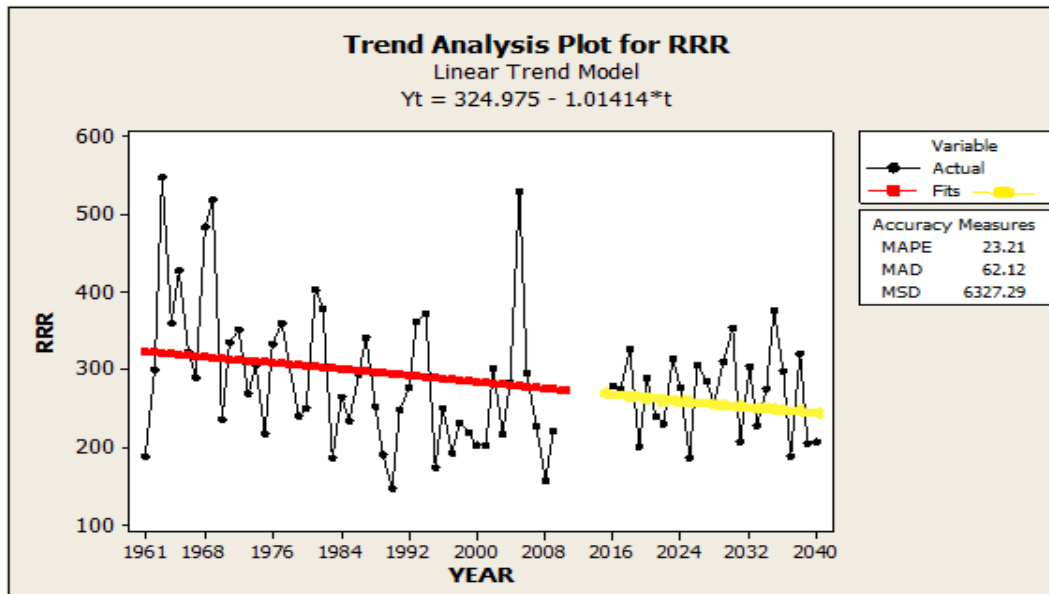
جدول (۴) میزان شاخص SPI ماهانه دوره شبیه‌سازی شده (۲۰۱۷-۲۰۴۰)

Year	Month											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
۲۰۱۴	۱/۸۱	۱/۶۶	۱/۵	۱/۴۹	۱/۴۷	۱/۲۹	۱/۲۱	۰/۷۲	-۰/۵۶	۰/۵۵	-۰/۱۲	-۰/۲۷
۲۰۱۸	۲/۱۶	۲/۰۳	۱/۵۴	۱/۲۱	۱/۰۱	۰/۲۴	۰/۲	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۰۹	-۰/۰۳	-۰/۰۵
۲۰۱۹	-۰/۰۲	-۰/۱۴	-۰/۴۴	-۰/۵۵	-۰/۵۵	-۰/۶۷	-۰/۶۹	-۰/۸۹	-۱/۰۳	-۱/۲۱	-۱/۳۱	-۱/۶۵
۲۰۲۰	۱/۱۳	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۷	۰/۶۱	۰/۶	۰/۵۹	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۲۶
۲۰۲۱	۰/۸۲	۰/۷۶	۰/۷۳	-۰/۳۱	-۰/۷۳	-۰/۷۸	-۰/۹۲	-۰/۹۴	-۰/۹۵	-۱/۱۶	-۱/۲۷	-۱/۵۷
۲۰۲۲	۱/۶۱	۱/۵۴	۱/۴۲	۱/۲۸	۱/۲۷	۰/۸۷	۰/۶۵	۰/۲۷	۰/۲۷	-۰/۳۴	-۱/۳	-۱/۵۴
۲۰۲۳	۰/۴۶	۰/۲۹	-۰/۳۵	-۰/۷	-۰/۹۹	-۱	-۱/۰۶	-۱/۰۸	-۱/۵۲	-۱/۶۵	-۱/۷۵	-۱/۸۵
۲۰۲۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۲۸	-۰/۲۵	-۰/۴	-۰/۵۹	-۰/۶۸	-۰/۷۹	-۰/۸۸	-۰/۹۳	-۱/۰۹	-۱/۶۷
۲۰۲۵	۰/۷	۰/۵۸	-۰/۱۳	-۰/۳۱	-۰/۶۵	-۰/۶۹	-۰/۷۲	-۰/۷۵	-۰/۷۸	-۰/۸۳	-۰/۸۶	-۱/۲۵
۲۰۲۶	۱/۳۸	۱/۲۵	۱/۰۸	۰/۷۷	۰/۳۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	-۰/۱۲	-۰/۵۳	-۰/۷۷
۲۰۲۷	-۰/۰۶	-۰/۳۴	-۰/۳۶	-۰/۴۱	-۰/۵	-۰/۶۷	-۰/۷۹	-۰/۸۴	-۱/۰۲	-۱/۰۹	-۱/۳۲	-۱/۹۷
۲۰۲۸	-۰/۵۸	۰/۵۵	-۰/۵۳	-۱/۰۳	-۱/۰۷	-۱/۰۷	-۱/۱۷	-۱/۱۹	-۱/۲۴	-۱/۳۶	-۱/۶	-۱/۸۴
۲۰۲۹	۲/۰۱	۱/۷۷	۱/۷	۱/۶۷	۱/۵۹	۱/۵	۱/۴۲	۱/۰۲	۱/۸۱	۰/۸	۰/۵۳	۰/۱۷
۲۰۳۰	۰/۶۴	۰/۴۷	-۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۵	-۰/۰۸	-۰/۱۳	-۰/۳۹	-۰/۵۹
۲۰۳۱	۰/۹۳	۰/۷۵	۰/۶۴	۰/۴۴	۰/۱۹	-۰/۱۱	-۰/۱۳	-۰/۱۳	-۰/۱۴	-۰/۱۵	-۰/۱۹	-۰/۵
۲۰۳۲	۱/۳۹	۱/۳۳	۱/۱۷	۱/۱۶	۰/۹۹	۰/۹	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۵۴	۰/۴۲	۰/۴۱
۲۰۳۳	۰/۸	-۰/۰۴	-۰/۲۵	-۰/۳	-۰/۳۲	-۰/۳۸	-۰/۴۱	-۰/۵۹	-۰/۶۴	-۰/۶۹	-۱/۴۴	-۱/۴۶
۲۰۳۴	۰/۹۳	۰/۸۴	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۴۱	-۰/۳۴	-۰/۹۲	-۱/۲۶
۲۰۳۵	۰/۴۵	۰/۲۵	-۰/۸۵	-۰/۸۷	-۰/۹۷	-۱/۰۳	-۱/۷۶	-۱/۷۸	-۲/۲۶	-۲/۲۶	-۲/۳۲	-۲/۳۳
۲۰۳۶	۰/۹	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۳۷	۰/۲	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۱۵	-۰/۴	-۰/۶۳
۲۰۳۷	۱/۷۹	۱/۷۷	۱/۷۳	۱/۵۲	۱/۳	۱/۱۲	۱/۱۱	۱/۰۲	۰/۹۴	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۳۵
۲۰۳۸	۱/۸	۱/۶۴	۱/۴۹	۱/۳۴	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۶	۰/۶	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۴
۲۰۳۹	-۰/۳۷	۰/۲۱	-۰/۱۸	-۰/۴۷	-۰/۹۹	-۱/۰۹	-۱/۱۱	-۱/۱۹	-۱/۸۹	-۱/۹	-۲/۳۷	-۲/۴
۲۰۴۰	۰/۹۱	۰/۸۲	۰/۶۴	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۰۷	-۰/۳۵	-۰/۸۸	-۱/۴۸	-۱/۸۹	-۲/۰۲

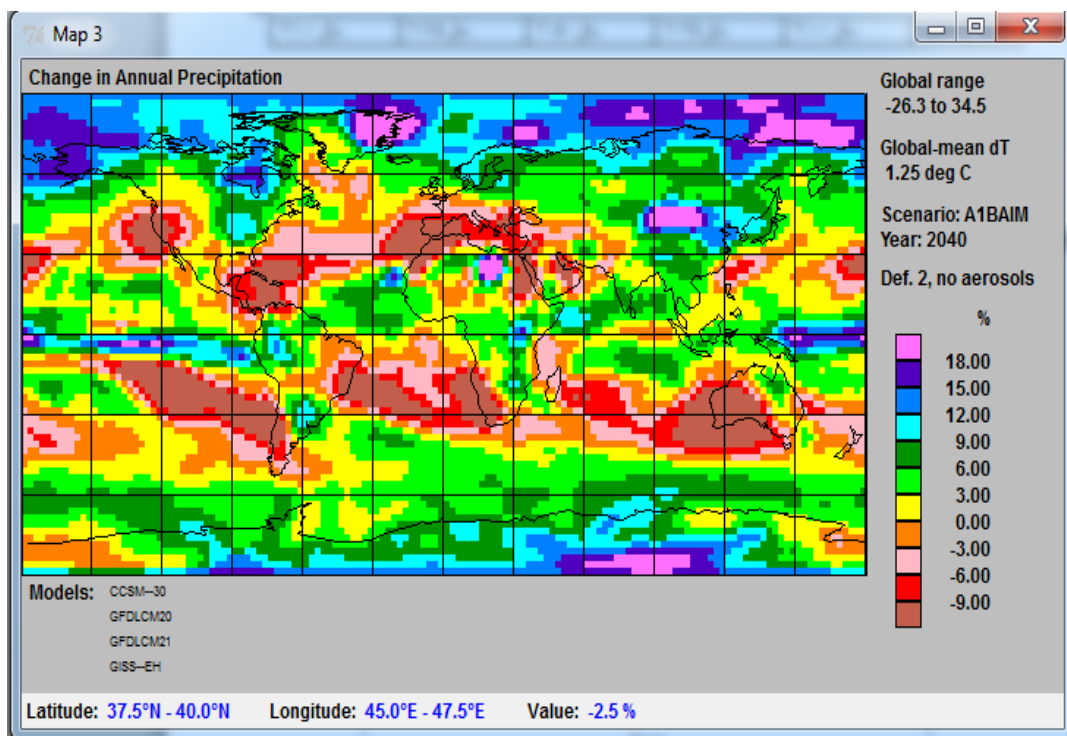


شکل (۴) نمودار فراوانی طبقات شاخص SPI دوره پایه و دوره شبیه‌سازی شده ایستگاه سینوپتیک تبریز

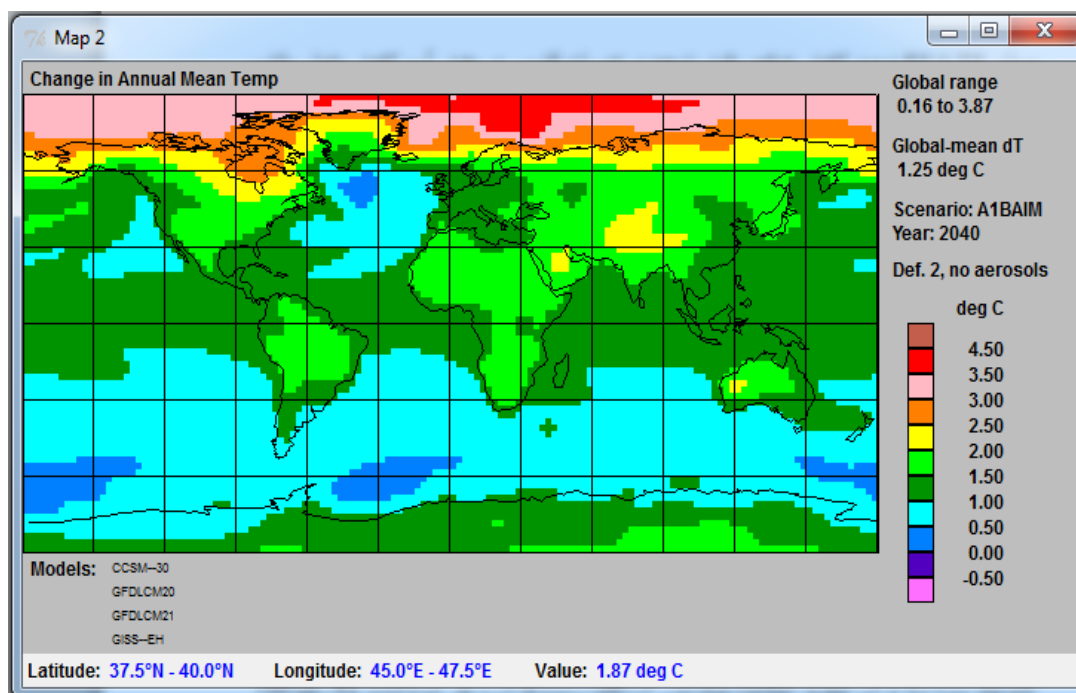
شکل (۵)، نمودار روند تغییرات بارش سالانه در دوره مشاهداتی و دوره پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، روند تغییرات بارش هم در دوره مورد مطالعه و هم در دوره پیش‌بینی شده رو به کاهش گذارده است. علاوه بر این با بررسی بارش‌های روزانه مشاهده شد که بارش‌ها بیشتر به سمت سیلابی شدن پیش می‌روند که این خود می‌تواند باعث ایجاد خسارت و از دسترس خارج شدن بارش‌ها به صورت یک‌جا و نیز در ادامه باعث خشکسالی شود. شکل (۶)، توزیع مکانی مقدار افزایش و کاهش بارش در مدل MAGICC SCENGEN با HADCM2، برای دوره ۲۰۴۰ را نشان می‌دهد (در پایین تصویر طول و عرض جغرافیایی منطقه مطالعاتی و مقدار کاهش بارش به درصد مشخص شده است) همانطور که ملاحظه می‌شود در سال ۲۰۴۰ حدود ۲/۵ درصد از میانگین بارش سالانه منطقه مورد مطالعه کاسته می‌شود. شکل (۷)، توزیع مکانی مقدار افزایش دما در مدل MAGICC SCENGEN با HADCM2، برای دوره ۲۰۴۰ را نشان می‌دهد (در پایین تصویر طول و عرض جغرافیایی منطقه مطالعاتی و مقدار افزایش دما مشخص شده است)، همانطور که ملاحظه می‌شود در سال ۲۰۴۰ حدود ۱/۸۷ درجه سانتی‌گراد به میانگین دمای سالانه در منطقه مورد مطالعه افزوده می‌شود.



شکل (۵) نمودار روند تغییرات سالانه بارش در دوره مورد مطالعه (۱۹۶۱-۲۰۰۹) و دوره شبیه‌سازی شده (۲۰۱۶-۲۰۴۰)



شکل (۶) توزیع مکانی مقدار افزایش و کاهش بارش در مدل MAGICC SCENGEN با HADCM2، برای دوره ۲۰۴۰ (در پایین تصویر طول و عرض جغرافیایی منطقه مطالعاتی و مقدار کاهش بارش به درصد مشخص شده است)



شکل (۷) توزیع مکانی مقدار افزایش دما در مدل MAGICC SCENGEN با HADCM2، برای دوره ۲۰۴۰ (در پایین تصویر طول و عرض جغرافیایی منطقه مطالعاتی و مقدار افزایش دما مشخص شده است)

### نتیجه‌گیری

دما و بارش از عناصر اصلی شناخت اقلیم می‌باشند. پیش‌بینی داده‌های هواشناسی جهت پیش‌بینی خشکسالی و سیل و گرمایش جهانی و... برای مدیریت تولید محصول در آینده و مدیریت منابع آب و جلوگیری از ایجاد بحران در آینده مورد نیاز است. در این تحقیق با استفاده از مدل آماری CLIMGEN و داده‌های هواشناسی (۱۹۶۱-۲۰۰۹) ایستگاه سینوپتیک تبریز، پیش‌بینی داده‌های هواشناسی صورت گرفت. سپس با استفاده از شاخص SPI و داده‌های هواشناسی دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۹) و دوره شبیه‌سازی شده (۲۰۱۶-۲۰۴۰) به تعیین ترسالی و خشکسالی‌ها در این دو دوره پرداخته شد. با توجه به شکل (۵)، بارش در این دو دوره روند رو به کاهشی را نشان می‌دهد و در دوره پیش‌بینی شده با توجه به نتایج به‌دست آمده بیشتر بارش‌ها به‌صورت تجمعی و یکجا باریده از طرف دیگر خشکسالی و ترسالی‌ها نیز در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه رو به افزایش نهاده و این نشان می‌دهد که بارش از وضعیت نرمال خارج شده و می‌توان گفت که در آینده خشکسالی و سیل در این منطقه افزایش می‌یابد. برای سال ۲۰۴۰ در منطقه مورد مطالعه با مدل گردش عمومی جو HADCM2 طبق سناریوی A1BAM مدل‌سازی شد و از مدل MAGICC-SCENGEN برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های با قدرت تفکیک خروجی ۲/۵ در ۲/۵ مدل‌های گردش عمومی استفاده شد که نتایج حاصل از این مدل نیز حاکی از کاهش بارش و افزایش دما در منطقه

مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین، در این زمینه برای جلوگیری از وضعیت بحران با توجه به افزایش خشکسالی‌ها و حتی سیل، توجه مسئولان و برنامه‌ریزان امر را در این زمینه‌ها جهت کاهش خسارات احتمالی می‌طلبد. این نکته که روند تغییر اقلیم و گرمایش جهانی و به تبعیت از آن، خشکسالی، تا چه حد و با چه شدتی نواحی مختلف کشور از جمله دشت تبریز را تحت تأثیر قرار داده، نیاز به تحقیقات گسترده و عمیق‌تری دارد، که پیشنهاد می‌شود از نتایج دیگر مدل‌های دینامیکی و آماری در تحقیقات آتی استفاده شود.

## منابع

- آذری، محمود؛ مرادی، حمیدرضا؛ ثقفیان، بهرام و منیژه فرامرزی (۱۳۹۲)، ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگانرود، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۳، صص ۵۳۷-۵۴۷.
- حق‌طلب، نفیسه؛ گودرزی، محسن؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ یآوری، احمدرضا و حمیدرضا جعفری (۱۳۹۲)، مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی، علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱، صص ۳۷-۴۹.
- خورشیددوست، علی محمد و یوسف قویدل رحیمی (۱۳۸۳)، مقدمه‌ای بر اصول فلسفی، نظریه‌ها و مفاهیم نوین آب و هواشناسی، فضای جغرافیایی، شماره ۱۲، صص ۱-۲۳.
- خوشحال‌دستجردی، جواد و یوسف قویدل رحیمی (۱۳۸۷)، بررسی رابطه تغییرات بارش سالیانه تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین و شبیه‌سازی عددی آن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۲، شماره ۲.
- دانشوروثوقی، فرناز؛ دین‌پژوه، یعقوب و اعلمی، محمدتقی (۱۳۹۰)، تأثیر خشکسالی بر تراز آب زیرزمینی در دو دهه اخیر (مطالعه موردی: دشت اردبیل)، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۴.
- رشیدنیقی، علی؛ مجنونی هریس، ابولفضل؛ ناظمی، امیرحسین و دلیر حسن‌نیا، رضا (۱۳۸۹)، ارزیابی مدل CLIMGEN و پیش‌بینی اطلاعات هواشناسی برای منطقه تبریز، اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه؛ آب؛ خاک و هوا، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- رضیئی، طیب؛ شکوهی، علیرضا و عبادی فرشته (۱۳۹۰)، شناسایی برازنده تابع توزیع احتمال بر داده‌های بارش مناطق مختلف آب و هوایی در مقیاس‌های زمانی مختلف (SPI) ایران به منظور محاسبه نمایه بارش استاندارد، اولین کنفرانس ملی خشکسالی و تغییر اقلیم ایران، کرج، ایران، صص ۲۸-۳۹.
- روشن، غلامرضا و آروق محمدنژاد (۱۳۹۱)، پیش‌بینی تغییرات هیدرولوژیکی تراز آب دریاچه ارومیه با رویکرد به طرح‌های فرضی متفاوت گرمایش جهانی در دهه‌های آینده، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۶۹-۸۸.
- سلامت، علیرضا و آل‌یاسین، محمدرضا (۱۳۸۰)، راه‌های مقابله با خشکسالی، نشریه علمی ترویجی حفاظت آب و خاک، شماره ۴۵، صص ۳۸-۴۴.
- طوفانی، پریوش؛ مساعدی، ابولفضل و فاخری‌فرد، احمد (۱۳۹۰)، پیش‌بینی بارندگی با استفاده مستقیم از نظریه موجک، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۵، صص ۱۲۲۶-۱۲۱۷.



- علیجانی، بهلول و رضانی، نبی‌الله (۱۳۸۱)، تحلیل و پیش بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران با استفاده از مدل باکس جنکینز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم، گروه جغرافیا، صص ۱۷۰-۱۵۵.
- عزیزی، قاسم و علی‌اصغر روشن (۱۳۸۴)، بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و امکان پیش‌بینی آنها با استفاده از مدل سری زمانی حالت وینترز در استان هرمزگان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۹، صص ۶۳-۴۸.
- کرمی، فریبا و هانیه کاظمی (۱۳۹۱)، پایش مکانی شوری آب‌های زیرزمینی در سال شاخص خشکسالی و ترسالی، مورد: دشت تبریز، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۸، پاییز، صص ۹۴-۷۹.
- کرمی، فریبا (۱۳۹۰)، ارزیابی ارتباط خشکسالی هواشناسی با افت سطح آبهای زیرزمینی دشت تبریز، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۶، شماره ۳۷، پاییز، ۱۳۱-۱۱۱.
- معافی مدنی، سیده‌فاطمه؛ موسوی بایگی، محمد و حسین انصاری (۱۳۹۱)، پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG5، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳، صص ۳۷-۲۱.
- نصرتی، کاظم؛ اسلامیان، سیدسعید و افسانه شهبازی (۱۳۸۳)، بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی هیدرولوژیک، مجله کشاورزی، جلد ۶، شماره ۱، صص ۵۶-۴۹.
- یوسفی، نصرت‌الله و حجام، سهراب (۱۳۹۱)، بررسی تأثیر پدیده انسو بر پارامترهای اقلیمی دما و بارش، فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۳۹، صص ۲۰۱-۱۹۵.
- Arnold, C.D. and W.J. Elliot, (1996), **CLIMGEN Weather Generator Predictions of Seasonal Wet and Dry Spells in Uganda**. Trans of ASAE 39(3): 969-972 .
- Barry, R.G. et al. (2001), **Synoptic and Dynamic Climatology**. Routledge .P.620.
- Danuso, F. et al., (1997), **CLIMAK reference manual**. DPVTA, University of Udine, Italy, 36 p.
- Gangully, A.R. (2002), **Farecasting Rainfall and Floods Advances and way or ward**.P.32. Web.mit.edu/auroop/www/interests.html.
- Johnson, G.L., C.L. Hanson, S.P. Hardegree and E.B. Ballard, (1996), **Stochastic Weather Simulation: Overview and analysis of two commonly used models**. Journal of Applied Meteorology 35: 1878- 1896.
- Loukas, A., L. Vasiliades., J.Tzabiras., (2008), **Climate change effects on drought severity**. Department of C engineering, University of Thessaly, 38334 Volos, Greece, Adv. Geosci. 17,PP. 23-29,2008.www. advgeosci. net/17/23/2008.

- Richardson, C.W., Wright, D.A., (1994), **WGEN: A model for generating daily weather variables**. USDA, Agricultural Reserch Service ARS-8
- Selker, J.S. and D.A. Haith (1990), **Development and testing of single-parameter precipitation distributions**. Water Resources Research. 26(11): 2733-2740.
- Sharpley, A.N., and J.R. Williams, (1990), **EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator: Model Documentation**. US Department of Agriculture Technical Bulletin No.1768,235 p.
- Stockle, C.O, P. Steduto, and R.G. Allen. (1998), **Estimating daily and daytime mean VPD from daily maximum**, VPD. 5thCongress of the European Society of Agronomy, Nitra, The Slovak Republic.
- Stockle, C.O., Nelson, R., Donatelli, M., Castellvi, F., (2001), **ClimGen: a flexible weather generation program**. In: Proceedings of the Second International Symposium on Modelling Cropping Systems, July 16-18, Florence, Italy, pp. 229-230 .
- Edossa, D; M. Babel; A. Gupta. (2010), **Drought analysis in the Avash river basin, Ethiopia**. Water resources management, 24: 1441-1460.
- Samiee, M,B. Saghafian, and M. Mahdavi. (2006), **Regional Analysis of Drought Intensity (case stady: Tehran Provincel, Iranian j)**. Natural Res; 59(1) 27-39.
- Wigley, T.M.L., Smith, S.J. and Prather, M.J., (2002), **Radiative Forcing Due to Reactive Gas Emissions**, Journal of Climate, No. 15, 2690–2696.