

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۰، پاییز ۱۳۹۵

وصول مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵

تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۷/۵

صفحات: ۲۲۲ - ۲۰۳

بررسی خشکسالی سواحل جنوبی دریای خزر طی دوره پایه و آینده با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس ساز LARS-WG و SDSM

دکتر محمدحسین ناصرزاده^۱، الهام قاسمی فر^۲، معصومه معتمدی^۳

چکیده

خشکسالی، رخدادی طبیعی است که در همه نوع اقلیم مشاهده می‌شود. این پدیده قادر است خسارات شدیدی به مناطق مستعد وارد سازد. از آنجایی که خشکسالی، کشاورزی سواحل خزر را به دلیل ویژگی خاص خود دستخوش تغییر می‌کند، این پدیده در سواحل خزر مورد بررسی قرار گرفته شد. هدف این پژوهش، بررسی خشکسالی طی دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۶۱ و آینده ۲۰۳۰-۲۰۱۱ در سواحل جنوبی خزر با استفاده از نمایه SPI (نمره Z) است. داده‌های روزانه بارش ۵ ایستگاه برای محاسبه مجموع بارش ماهانه و داده‌های مدل HADCM3 تحت سناریوی B1 و A2 دریافت شد. برای ریزمقیاس کردن داده‌های HADCM3 از دو مدل ریزمقیاس ساز LARS-WG و SDSM استفاده شد. نتایج نشان داد، مدل LARS_WG قابلیت بالاتری نسبت به مدل SDSM برای ریزمقیاس کردن داده‌های بارش دارد. نتایج شبیه‌سازی مدل LARS-WG، افزایش بارش برای ماه‌های ژانویه-فوریه-نوامبر-و دسامبر و کاهش آن برای ماه‌های آگوست و سپتامبر را در هر پنج ایستگاه تخمین زد. نتایج شبیه‌سازی با مدل LARS-WG با ضریب تبیین ۹۶ تا ۹۹ درصد، خطای مطلق میانگین ۳,۶ تا ۱۲,۶ میلیمتر و نتایج آزمون‌های T و F که به ترتیب برای معنی‌داری میانگین و واریانس داده‌ها می‌باشد، معنی‌دار است. معنی‌داری ۲ میانگین مشاهداتی و شبیه‌سازی ۲ مدل و هم توزیع بودن با دو تست به ترتیب ویلکاکسون و کلموگروف اسمیرنوف ثابت شد. شدت خشکسالی با استفاده از GIS به نقشه تبدیل شد. نتایج نمره Z سه ماهه با ریزمقیاس سازی مدل LARS-WG نشان داد، بیشترین فراوانی و شدت خشکسالی طی دوره مشاهداتی مربوط به ایستگاه انزلی و رشت است. طی دوره آینده ایستگاه رشت، گرگان و رامسر بالاترین شدت خشکسالی را خواهند داشت. نمره Z ۶ ماهه مشخص کرد، از نظر فراوانی؛ ایستگاه بابلسر، گرگان و رامسر و از نظر شدت؛ ایستگاه انزلی، رشت و رامسر بالاترین خشکسالی را تجربه کرده‌اند. در آینده رامسر و سپس رشت و گرگان درجات بالاتر خشکسالی را خواهند داشت. نمره Z ۱۲ ماهه نیز بیشترین شدت را برای ایستگاه رامسر و سپس انزلی و برای آینده در رشت، رامسر، بابلسر و انزلی نشان داد. نتایج مشخص کرد، دوره‌های نرمال بر اساس نمایه نمره Z، دوره‌های با فراوانی بیشتری نسبت به بقیه دوره‌ها در هر ۵ ایستگاه بوده است.

کلید واژگان: خشکسالی، SPI، مدل ریزمقیاس ساز، SDSM، LARS-WG، GIS، سواحل جنوبی دریای خزر.

۱- استادیار و مدیر گروه آب هواشناسی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی (نویسنده مسؤل)

۲- کارشناس ارشد اقلیم در برنامه ریزی محیطی

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی دانشگاه

nasserzadeh2100@yahoo.com

elham.ghasemifar65@yahoo.com

مقدمه

خشکسالی، کاهش بارش طی یک دوره درازمدت، معمولاً یک فصل یا بیشتر را گویند که به کمبود آب منتهی شده و سبب اثرات مضر روی گیاهان، حیوانات و یا مردم می‌شود. این رخداد طبیعی یک پدیده باز رخدادگر اقلیمی است که به واقع در همه نواحی اقلیمی، از خیلی خشک تا خیلی مرطوب، رخ می‌دهد (NOAA National Weather Service; January 2008). خشکسالی یک انحراف و ناهنجاری موقتی از شرایط نرمال اقلیمی (۳۰ ساله) است - خشکسالی با پدیده خشکی همانند بیابان‌ها، که شکل دائمی اقلیم یک ناحیه است متفاوت می‌باشد - و به انواع مختلفی از جمله: خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و ... تقسیم می‌شود. این رخداد خسارات فراوانی به کشورهای مستعد - نقاطی از جهان که تقاضا و عرضه آب با هم برابری نکند - وارد می‌کند. دولت هند در گزارشی (۲۰۱۰) مطرح کرد، شرایط خشکسالی در آفریقای شمالی، خاورمیانه، کشورهای آسیای غربی، هند، چین و آمریکای جنوبی گسترده شده است. افزایش فراوانی و شدت این رخداد و سایر پدیده‌های حدی نظیر سیل، امواج گرما و سرما و ... طی دو دهه گذشته با گرمایش جهانی مرتبط بوده است. در اروپا تعداد خشکسالی‌ها از ۱۹۸۰ روند افزایشی داشته، شدیدتر شده و خسارتی بالغ بر ۱۰۰ بیلیون یورو در ۳۰ سال گذشته بر جای گذاشته است (European Commission; 2010). هم‌چنین در طول سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۰، آمریکا ۹ خشکسالی شدید را پشت سر گذاشت که در کل خسارات و هزینه‌ها متجاوز از یک بیلیون دلار در زمان حادثه بوده است (NOAA National Weather Service; 2008:1-2).

در ایران و جهان پژوهشگران زیادی این رخداد را با شاخص‌های مختلف بررسی کرده و در این زمینه مطالعات بسیار زیادی صورت گرفته است؛ از جمله: قویدل رحیمی (۱۳۸۲) با استفاده از نمایه DRI^۱ به مطالعه روند ترسالی و خشکسالی در استان آذربایجان

شرقی پرداخته و وقوع پدیده خشکسالی را در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه گزارش داده است. مجدداً قویدل رحیمی (۱۳۸۳) با استفاده از ۲ نمایه بارش استاندارد شده (SPI)^۲ و روش نیچه^۳، روند ترسالی و خشکسالی را در استان آذربایجان شرقی مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه دست یافت که از نظر طبقه‌بندی شدت سال‌های مرطوب و خشک غالباً در ایستگاه‌های مورد مطالعه استان حالت بارش نرمال، هرازگاهی خشک و نیز دوره مرطوب قابل مشاهده است. باباییان و همکاران (۱۳۸۶) اقلیم ایران را با استفاده از مدل گردش عمومی ECHO_G و با استفاده از مدل LARS-WG شبیه‌سازی کرد که نتایج کاهش ۹ درصدی بارش و افزایش دمای ۰٫۵ درجه سانتیگراد را نشان داد. فرج‌زاده (۱۳۸۶) بر اساس نمایه‌های SPI، DRI و روش نیچه، به بررسی روند ترسالی و خشکسالی در شمال غرب ایران پرداخته و به این نتیجه دست یافت که بر اساس نمایه DRI ایستگاه پارس‌آباد از نظر فراوانی سال‌های خشک (۲۲ بار) و ایستگاه مهاباد (۱۴ بار) بیشترین فراوانی را داشته‌اند و ایستگاه اهر با ۱۸ سال نرمال، بیشترین سال‌های نرمال را به خود اختصاص داده است. بر اساس روش نیچه، ایستگاه‌های ارومیه و سقز به ترتیب با ۹ و ۸ بار ترسالی و ایستگاه‌های سراب و مراغه به ترتیب با ۸ و ۹ بار خشکسالی، دارای بیشترین تعداد وقوع ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها هستند. در ضمن، ایستگاه اردبیل با ۳۲ سال نرمال، بیشترین سال‌های نرمال را به خود اختصاص داده است. طبق نمایه SPI شدیدترین ترسالی با مقدار ۳٫۳۳ در ایستگاه اردبیل و شدیدترین خشکسالی با مقدار ۲٫۷۵- در ایستگاه پارس‌آباد به وقوع پیوسته است و طبق این نمایه در سال ۲۰۰۱ کلیه ایستگاه‌های شمال غرب دچار پدیده خشکسالی شده‌اند. فرج‌زاده (۱۳۸۶) با استفاده از شاخص‌های Dc^۴، RAI^۵، PN^۴ و Z به بررسی و پایش خشکسالی در

2. Standardized Precipitation Index

3. Nitzche

4. Percent of Normal Index

5. Rain Anomaly Index

1. Dependable Rainfall Index

و رواناب را داشته باشند. ساری صراف و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از ۳ نمایه DRI، روش نیچه و PN به مطالعه روند ترسالی و خشکسالی در ایستگاه‌های حوضه ارس پرداخته و به این نتیجه رسیدند که در اکثر ایستگاه‌ها وضعیت بارش به صورت نرمال است. بنفشه و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از نمایه‌های PN، SPI و روش نیچه به مطالعه روند ترسالی و خشکسالی حوضه آبریز دریاچه پریشان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در شاخص PN و DRI تمامی ایستگاه‌ها بیشتر با شرایط نرمال روبه‌رو بوده‌اند؛ ولی با نمایه SPI در تمامی ایستگاه‌ها فراوانی وقوع خشکسالی با شدت‌های متفاوت، بیشتر مشاهده می‌شود. گل‌محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰) در حوضه قره‌سوی کرمانشاه خشکسالی با نمایه SPI برای دوره حال و آینده با مدل SDSM در بازه‌های زمانی مختلف مطالعه کردند. نتایج ایشان نشان داد، برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹، بارش حوضه افزایش و خشکسالی کاهش می‌یابد. باباییان و کوهی (۱۳۹۱) اثر گرمایش جهانی بر شاخص‌های بارش، دما و شاخص‌های اقلیم کشاورزی در سه دوره با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوها در سه ایستگاه هواشناسی مشهد، سبزوار و تربت حیدریه بررسی کردند. نتایج کار ایشان نشان داد، طول دوره رشد در تربت حیدریه کاهش و در مشهد و سبزوار افزایش یافته است و هر سه ایستگاه افزایش دما و تبخیر و تعرق را تجربه خواهند کرد. قاسمی‌فر (۱۳۹۱) در بررسی تغییرات دمایی سواحل دریای خزر با مدل‌های ریزمقیاس ساز، با خطای به‌دست آمده نشان داد، مدل SDSM در شبیه‌سازی دما قابلیت بالاتری نسبت به مدل LARSWG دارد. اردکانی و علیپور (۲۰۱۲) در کنار شاخص PN به‌عنوان یک شاخص اقلیمی به مطالعه و بررسی شاخص NDVI مبتنی بر علم سنجش از دور پرداختند و نتایج این ۲ شاخص را برای استان آذربایجان شرقی مورد مطالعه قرار دادند. مطالعات نشان داد که رابطه مستقیمی میان نتایج ۲ شاخص وجود دارد؛ به این ترتیب که سال ۲۰۰۱ دارای

حوضه قره‌آجاغ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در اکثر ایستگاه‌ها خشکسالی در سال‌های ۱۹۶۶، ۱۹۷۰، ۱۹۷۱، ۱۹۷۳، ۱۹۷۸، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ رخ داده است؛ ولی بالاترین شدت خشکسالی در سال ۱۹۶۶ در ایستگاه اکبرآباد فسا بر پایه هر چهار شاخص مشاهده شده است. سیگارودی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از نمایه‌های روش نیچه، SPI و PN به مطالعه روند ترسالی و خشکسالی در استان مازندران پرداختند و اعلام داشتند که در نمایه روش نیچه، پدیده‌های ترسالی، خشکسالی و بارش نرمال به‌ترتیب ۱۹/۲، ۱۵/۴، ۶۵/۴ درصد را به خود اختصاص داده‌اند و نمایه‌های SPI، PN در تفکیک ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها و فراوانی هر یک از پدیده‌ها، تشابه بیشتری را نسبت به نمایه روش نیچه ارائه داده‌اند. رحیمی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از شاخص نرمال بارش به مطالعه خشکسالی سطح استان سیستان و بلوچستان پرداختند و اعلام داشتند که بین ۳۶ تا ۵۲ درصد از سال‌های مورد مطالعه (۱۹۷۵-۲۰۰۵) میزان بارش بیش از میانگین، ۱۰ تا ۲۰ درصد در آستانه خشکسالی، ۳ تا ۱۳ درصد دارای شرایط خشکسالی ضعیف، ۶/۷ تا ۲۳ درصد خشکسالی متوسط و ۶ تا ۲۰ درصد شرایط خشکسالی شدید را تجربه کرده‌اند. ضرغامی، باباییان و همکاران (۱۳۸۹) تغییر اقلیم استان آذربایجان شرقی را به‌عنوان مطالعه موردی بررسی نمودند که نشان‌دهنده افزایش دمای استان تا ۵ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش میانگین سالانه تا ۶۰ میلی‌متر با مدل HADCM3 تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۸۰ الی ۲۰۹۹ میلادی است. همچنین، پهنه‌بندی تغییرات دما و بارش در گستره استان در انتهای مقاله ارائه شده است. تغییرات دما و بارش باعث تغییر اقلیم استان (به‌خصوص مناطق اطراف شهر تبریز) از حالت نیمه خشک به حالت خشک خواهد شد که نگران‌کننده است. انتقال یافته‌های این پژوهش به تصمیم‌گیران این امکان را خواهد داد که تمهیدات لازم برای سازگاری با تغییرات عمده در اقلیم

شفیلد و وود (۲۰۰۸) با استفاده از داده‌های رطوبت خاک سناریوهای A1B, A2, B1 و شبیه‌سازی‌های هشت AOGCM رخداد خشکسالی را بررسی نمودند. یافته‌هایشان نشان داد رطوبت خاک به‌طور کلی برای همه سناریوها کاهش می‌یابد، گستره فضایی کاهش رطوبت خاک دو برابر می‌شود و فراوانی کوتاه مدت خشکسالی‌ها از میانه قرن بیستم به اواخر قرن بیست و یکم انتقال می‌یابد. خشکسالی‌های درازمدت در سه زمان متداول می‌شود. مدیترانه، آفریقای غربی، آسیای مرکزی و نواحی آمریکای مرکزی، افزایش بالاتری از فراوانی خشکسالی‌های درازمدت را نشان می‌دهند. افزایش خشکسالی عموماً با کاهش بارش و افزایش تبخیر در دماهای بالا، محرک این تغییرات است. لوپز و همکاران (۲۰۰۸) در ایستگاه لیسبون پرتغال دو مدل SDSM و LARS-WG برای شبیه‌سازی داده‌های بارش و دما را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان داد، مدل SDSM در شبیه‌سازی دما و مدل LARS-WG در شبیه‌سازی بارش نتایج بهتری دارد. کانلو و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص‌های RDI, Z در مقیاس ماهانه و DC در مقیاس سالانه به مطالعه شرایط خشکسالی در طی ۴۵ سال (۱۹۸۶-۲۰۰۱) در یونان پرداختند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که هر سه شاخص‌ها قادرند رخداد‌های خشکسالی و شدت آن را به‌صورت مناسبی نشان دهند. پاشیادیس و مایکلایدس (۲۰۰۸) به مطالعه خشکسالی به روش SPI و RDI در منطقه کیپروس پرداختند و اعلام داشتند که هر دو این شاخص‌ها به‌طور مؤثر در تحلیل شرایط خشکسالی کارایی دارد. لوکاس و همکاران (۲۰۰۸) به‌منظور ارزیابی تغییر اقلیم پژوهشی بر روی خشکسالی در حوضه کارلای^۳ یونان با استفاده از داده‌های CGCMA2 تحت دو سناریو A2 و B2 طی دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۰ و طی دو دوره آینده ۲۰۵۰-۲۰۲۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ و با نمایه SPI و با یک فرایند ریزمقیاس سازی انجام دادند. نتایج کارشان نشان داد که تغییر اقلیم اثر عمده‌ای بر روی

کمترین میزان PN و NDVI است و در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که شاخص NDVI برای تهیه نقشه‌های خشکسالی در کنار سایر شاخص‌های پایش خشکسالی مبتنی بر اقلیم برای ایران قابل استفاده است. سیاری و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از نمایه‌های SPI, PN, ARI^۱ (شاخص بارش کشاورزی) به مطالعه وضعیت خشکسالی در حوضه آبریز کشف رود پرداختند و اعلام داشتند که روند خشکسالی در حال متداول شدن است که تأثیرات منفی بر اقتصاد، زندگی اجتماعی، کشاورزی و محیط خواهد داشت. گاتمن (۱۹۹۹) با استفاده از نمایه خشکسالی پالمر و روش SPI خشکسالی طی ۳۰ سال در آمریکا را مطالعه کرد. دلیل استفاده از نمایه SPI و توزیع‌های احتمال مختلف، نشان دادن بهتر خشکی و رطوبت نسبت به نمایه پالمر است. نتایج نشان داد، توزیع پیرسون نوع سوم مدل بهتری بوده است. واقعی بودن نمایه SPI به حجم نمونه ارتباط زیادی دارد و SPI با مقیاس زمانی ۲۴ ماهه ممکن است، نتایج غیرواقعی داشته باشد. هانگ و همکاران (۲۰۰۱) به مقایسه و بررسی ۳ نمایه پایش خشکسالی، CZI, SPI^۲ پرداختند. آنها این شاخص‌ها را برای دوره‌های ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه محاسبه نمودند و نتایج مطالعات آنها نشان داد که نمایه‌های Z و CZI می‌توانند نتایج مشابهی را با SPI در تمام مقیاس‌های زمانی تأمین کنند و محاسبه نمایه‌های Z و CZI در مقایسه با نمایه SPI آسانتر است. لوکاس و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از ۳ نمایه Z, RAI و SPI به مطالعه فرایند خشکسالی در یونان در طی یک دوره ۴۰ ساله پرداختند و به این نتیجه رسیدند که هر ۳ شاخص الگوی مشابهی را در تشخیص پدیده خشکسالی و ترسالی و شدت آنها ارائه می‌دهد؛ بنابراین، این شاخص‌ها ابزارهای مناسبی برای پایش شرایط رطوبتی و خشکسالی شمرده می‌شوند.

1 Agricultural Rain Index

2 China Z Index

3 Lake Karla watershed

سال‌ها یا دهه‌ها و چندین بار رخ داده است که با آنومالی‌های دمای سطحی آب دریا، النینو و لانینو در ارتباط بوده است. خشکی از دهه ۱۹۷۰ در آفریقا، اروپای جنوبی، شرق و جنوب آسیا و استرالیا شرقی افزایش داشته است و مدل‌های شبیه‌ساز نیز افزایش خشکی را در قرن ۲۱ برای بیشتر نقاط آفریقا، اروپای جنوبی، آمریکا، استرالیا و آسیای جنوب شرقی و خاورمیانه پیش‌بینی می‌کنند. لیو و همکاران (۲۰۱۱) در حوضه رودخانه آبی^۱ اوکلاهاما، خشکسالی طی ۵۰ سال گذشته (۱۹۹۹-۱۹۵۰) و در ۹۰ سال آینده (۲۰۹۹-۲۰۱۰) با استفاده از سناریوی A1B و با استفاده از سه نمایه PDSI^۲، SPI^۳ و SRI^۴ تجزیه و تحلیل کردند. نتایج حاکی از عملکرد بهتر ۲ نمایه SPI و SRI در مورد شدت و زمان خشکسالی‌ها بود. پیش‌بینی آینده این پژوهش نشان داد که بالاترین وقایع حدی خشکسالی در نیمه دوم قرن ۲۱ رخ خواهد داد که شبیه‌سازی‌ها نیز روند کاهشی و افزایشی بارش و دما را به ترتیب تایید کرد. این پژوهش عملکرد بسیار بهتر SRI را به دلیل مدنظر قرار دادن تغییرات فاکتورهای اقلیمی، فراهم کردن اطلاعات خشکسالی، بازسازی خشکسالی گذشته و ارزیابی خطر خشکسالی در آینده تحت اقلیم در حال تغییر را نشان داد. زای و همکاران (۲۰۱۳) به مطالعه و بررسی وضعیت فضایی و زمانی خشکسالی در پاکستان با استفاده از شاخص استاندارد شده بارندگی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که خشکسالی‌های گسترده و اغلب به‌طور همزمان در پاکستان به وقوع می‌پیوندد. مطالعات آنها نشان داد که هر خشکسالی در پاکستان به‌وسیله یک چرخه ۱۶ ساله تحت تأثیر قرار می‌گیرد که هر چرخه شامل دوره‌های شدید خشکسالی است که ممکن است چند سال به طول انجامد. یک مدل اقلیمی تصادفی با مقیاس ناحیه‌ای که ویژگی‌های فیزیکی و تصادفی

خشکسالی دارد؛ اما عدم قطعیت‌ها زمانی افزایش می‌یابد که مقیاس‌های زمانی SPI افزایش یابد. سانتوز (۲۰۱۰) تغییرپذیری فضایی خشکسالی در پرتغال با استفاده از نمایه SPI از ۱۹۱۰ تا ۲۰۰۴ مطالعه کرد. نتایج، فراوانی چرخه‌های خشکی را در جنوب کشور نسبت به شمال آن نشان داد که اثر قوی‌تر نائو (NAO) در جنوب مشخص شد. نتایج به‌طور کل سه ناحیه متمایز از هم را در پرتغال مشخص کرد: شمال، مرکز و جنوب. وانگ و همکاران (۲۰۱۰) به پایش خشکسالی کشاورزی در جنوب غربی چین در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ به‌وسیله شاخص NDVI پرداختند؛ نتایج این مطالعات نشان داد که پوشش گیاهی در جنوب غربی چین به شدت تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته که این امر نشان دهنده افزایش میزان تهدید است. همچنین بیش از ۸۰ درصد از کل مساحت اکوسیستم گیاهی در ۳ منطقه ینان، گوئیژو و یوانگژی از شرایط خشکسالی رنج می‌برده است، محصولات زراعی به شدت آسیب دیده بود و بخش اعظمی از این محصولات کشاورزی در حال نابودی و حوضچه‌های آبی به شدت خشک شده بودند. سیگدل و آیکدا (۲۰۱۰) در نپال، خشکسالی را با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه بارش طی ۲۰۰۳-۱۹۷۱ و با روش SPI در مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ ماهه مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. متغیرهای فضایی - زمانی با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه اصلی به چهار مؤلفه کاهش یافت. نتایجشان مؤید این موارد بود: خشکسالی با روش SPI ۳ ماهه در همه نواحی رخ داده، اما خشکسالی ۱۲ ماهه در تابستان رخ داده است. النینو نقش اصلی در خشکسالی تابستانه دارد؛ در حالی که خشکسالی زمستانه با شاخصی از اقیانوس هند در ارتباط است.

دایی (۲۰۱۱) در مقاله‌ای مروری، تغییرات خشکی و خشکسالی از میلیون‌ها سال پیش، دوره ۲۰۰۸-۱۹۵۰ و دوره آینده را مرور کرد. یافته‌های ایشان نشان داد: دوره‌های خشک در آسیای شرقی، آفریقای غربی و آمریکای شمالی در طی میلیون‌ها سال گذشته، طی

1 Blue River

2 Palmer Drought Severity Index

3 Standardized Precipitation Index

4 Standardized Runoff Index

به دلیل شناسایی دوره‌های خشکسالی آینده به منظور برنامه‌ریزی دقیق‌تر منابع آب کشاورزی در استفاده‌های گوناگون از آن است.

داده‌ها و روش کار

ناحیه خزر در محدوده‌ای بین عرض جغرافیایی ۳۶/۲۸ تا ۳۸/۳۶ و طول جغرافیایی ۴۸/۵۲ تا ۵۴/۲۶ درجه واقع شده است. تفاوت‌های دمایی در سرتاسر ناحیه بسیار کم است. مقدار بارش سالانه این ناحیه از همه نواحی دیگر در ایران بیشتر است؛ میانگین بارندگی حدود ۱۱۷۰ میلیمتر است و بارندگی این ناحیه از غرب به شرق کاهش می‌یابد (علی‌جانی، ۱۳۸۷: ۱۶۵). موقعیت ناحیه و مختصات آن نمایش داده شده است (شکل ۱، جدول ۱). خشکسالی بر طبق تعریف هواشناسی جهانی یک بلای طبیعی است که از سطوح پایین بارش نسبت به نرمال مدنظر قرار گرفته، منتج می‌شود (WMO-No. 3:1090, 2012). در این پژوهش، خشکسالی طی دوره مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ در ناحیه خزر مورد بررسی قرار می‌گیرد و همچنین خشکسالی با استفاده از داده‌های ریزمقیاس شده با مدل ریزمقیاس ساز در مدل SPI (نمره Z) طی دوره آینده ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تجزیه و تحلیل می‌شود. مدل و نمایه مورد استفاده در این پژوهش به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱- نمایه SPI (نمایه بارش استاندارد شده) نمره Z:

این نمایه بر اساس احتمال بارش برای مقیاس‌های زمانی بنا شده است. مجموع بارش ماهانه تنها پارامتر ورودی به این نمایه است. در سال ۱۹۹۳ توسط مکی^۲، دوسکن^۳ و کلیست^۴ در دانشگاه ایالتی کلرادو توسعه یافت. این نمایه برای کمیت‌یابی کاهش بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف طراحی شده است. مقیاس زمانی این نمایه ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه است. بر اساس گزارش WMO No. 1090 در سال ۲۰۱۲، نتایج این نمایه برای کمتر از یک ماه و بالاتر از ۲۴ ماه

زنجیره رواناب-بارش را ارائه می‌کند، اساس کار مطالعه‌ای جهانی است. در این پژوهش با استفاده از فرمول‌هایی و با داده‌های GCM این زنجیره برای حال و آینده بررسی شد که نتایج جالب توجهی را نشان دادند (Fraedrich et al; 2014).

در دهه ۱۹۹۰ کاهش خطر بلایا به‌عنوان یک داستان جدید برای مدیریت ریسک بلایای طبیعی مطرح شد. بانک جهانی و دیگر آژانس‌های اعطا کننده بین‌المللی کوشش‌های خود را در مسیر کاهش خطر بلایا در کشورهایی که جمعیت و اقتصادی به شدت وابسته به کشاورزی بر پایه باران دارند، شروع کردند. این رویکرد در مورد افزایش الگوی فجایع اقلیمی و سناریوهای اقلیمی شبیه‌سازی شده برای کشورهای مستعد بلایای مختلف در جهان با اهمیت‌تر شد. شبکه سیستمی هشدار قحطی^۱، امنیت غذایی را در آسیا، آفریقای زیر صحارا و هائیتی با کمک داده‌های NOAA دیده‌بانی کرده است. در مقاله‌ای استفاده از ماهواره‌ها در تخمین بارش ورودی در مدل‌های آسیب‌پذیری خشکسالی در نواحی مستعد خشکسالی در مالاوی مورد بررسی قرار گرفت. ماهواره RFE2 بر اساس نمایه SPI ماهانه، فازهای حیاتی کاکل ذرت و نخ ابریشمی آن را در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۴ در نظر می‌گیرد که به‌طور آماری، سیر قهقرایی با خشکسالی همراه با از دست دادن محصول در سطوح محدود در سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۱ داشته است. بررسی‌ها نشان داد که شرایط خشکسالی در فوریه و اواخر مارس منجر به صدمه بیشتر به محصول ذرت می‌شود. محققان این پژوهش معتقدند نتایج این مقاله به ایجاد یک دیده‌بانی برای ارزیابی اثرات خشکسالی و هویت‌یابی پتانسیلی بلایای مرتبط با محصول در مالاوی کمک خواهد کرد (Jayanthi et al; 2013). هدف اصلی این پژوهش شناسایی دوره‌های خشکسالی با استفاده از نمایه SPI (نمره Z) طی دوره مشاهداتی و همچنین ریزمقیاس سازی داده‌های آینده و به‌کار بردن داده‌های ریزمقیاس شده جهت ورود به مدل SPI

2 McKee

3 Doesken

4 Kleist

1 The Famine Early Warning System Network (FEWSNET)

جدول ۲. طبقه‌بندی بر اساس نمایه SPI

وضعیت	دامنه عددی
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱/۴۹ تا ۱
تقریباً نرمال	-۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	۲- و کمتر

مدل‌های ریزمقیاس ساز

برای پیش‌بینی آینده نیاز به داده مدل‌های گردش عمومی جو یا GCM^۱ها است. این داده‌ها با ابعاد بزرگ بوده و جهت استفاده از آنها باید، این داده‌ها را در سطح ناحیه خود کوچک نمود که به این تکنیک ریزمقیاس‌سازی^۲ می‌گویند. ریزمقیاس‌سازی به ۲ دسته دینامیکی و آماری تقسیم می‌شود. برای این مهم، از ۲ مدل ریزمقیاس‌ساز آماری استفاده شده است. داده مدل‌های متعددی امروزه بدین منظور استفاده می‌شوند؛ اما برخی از آنها تنها جو و برخی دیگر اقیانوس را مدلسازی می‌کنند. برای مطالعات تغییر اقلیم به مدل مزدوجی که هر دو را مدلسازی کند نیاز است. داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 در این پژوهش به دلیل کیفیت بالای داده‌های آن نسبت به برخی مدل‌ها نظیر MIROC3.2, ECHO-G, ECHAM5 و همچنین به دلیل اینکه برای مدل SDSM تنها داده‌های مدل HADCM3 و CGCM آماده استفاده است، انتخاب شد. مدل گردش عمومی مزدوج جو - اقیانوس^۳ HADCM3 در مرکز هدلی بریتانیا اقدام به تولید داده می‌کند، وضوح افقی جو آن برابر با ۲/۵ در ۳/۷۵ درجه عرض و طول جغرافیایی و وضوح اقیانوسی ۱/۲۵ در ۱/۲۵ درجه

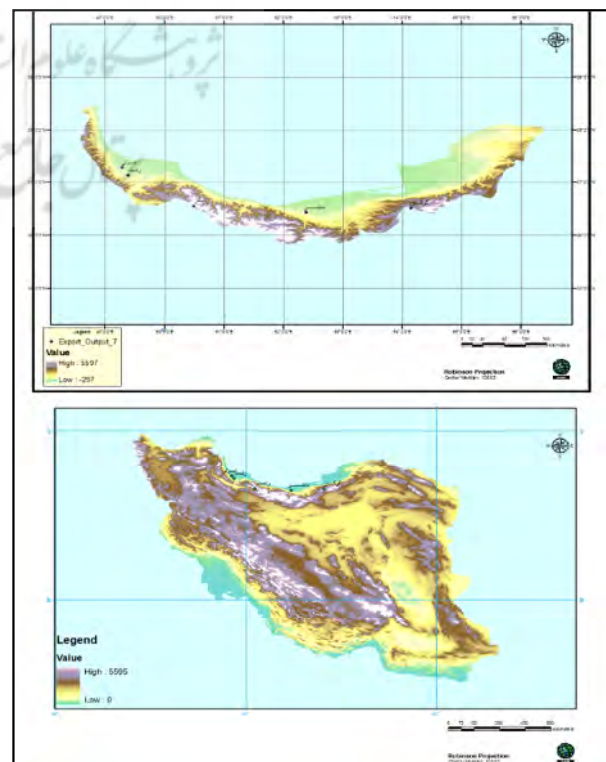
ممکن است غیر واقعی باشد. نحوه عمل آن بر اساس نمرة Z (نمره استاندارد) است که از تفریق عدد مدنظر از میانگین و تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید. طبقه‌بندی آن از ترسالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید قابل تمایز است (جدول ۲). برای این نمایه طی دوره مشاهداتی، داده‌های روزانه مرتب شده و مجموع بارش ماهانه محاسبه و ضرب در عدد صد و سپس به مدل معرفی شد. در ادامه نتایج محاسبه شده، تحلیل می‌شود، سپس دوره‌های خشکسالی استخراج می‌گردد. در این مطالعه شدت آنها برای هر ۵ ایستگاه محاسبه گردید و نقشه پهنه‌بندی آنها در محیط نرم افزار GIS ترسیم شد. در انتها نمودار سری زمانی آنها نمایش داده می‌شود.

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌ها

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	میانگین بارش سالانه (mm)
انزلی	۳۷/۲۸	۴۹/۲۸	-۲۶/۲	۱۷۱۲
رشت	۳۷/۱۲	۴۹/۳۹	۳۶/۷	۱۳۶۲
بابلسر	۳۶/۴۳	۵۲/۳۹	-۲۱	۷۸۱،۲۵
رامسر	۳۶/۵۴	۵۰/۴۰	-۲۰	۱۱۳۷
گرگان	۳۶/۵۱	۵۴/۱۶	۱۳/۳	۵۷۸،۳۳

(منبع: نگارندگان)

شکل ۱. نقشه ارتفاعی ناحیه مورد مطالعه



1 General Circulation Model

2 Downscaling

3 AOGCM

عرض و طول است که این وضوح شبکه‌ای ابعاد بسیار بزرگی است و برای رسیدن به نتیجه مطلوب، ریزمقیاس سازی صورت خواهد گرفت. گازهای گلخانه‌ای از سیستم پیچیده‌ای ایجاد می‌شوند که توسط نیروهایی نظیر رشد جمعیت، رشد اقتصادی - اجتماعی و تغییرات تکنولوژی تعیین می‌شوند و سناریوها تصویری هستند از اینکه آینده چگونه خود را به نمایش خواهد گذاشت. آنها به تحلیل‌های تغییر اقلیم همانند مدل‌سازی اقلیمی و ارزیابی اثرات آن کمک خواهند کرد (IPCC special report;2000:3).

مدل ریزمقیاس ساز SDSM: این مدل با پایه رگرسیون و مولد مصنوعی، سناریوی تغییر اقلیم ایستگاه مدنظر را می‌سازد. کار با این مدل در هفت گام اصلی خلاصه می‌شود. کنترل کیفی داده‌ها، انتخاب متغیرهای بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو (پرچالش‌ترین بخش مدل)، تنظیم مدل، مولد مصنوعی، تحلیل داده‌ها، تجزیه تحلیل گرافیکی و تولید سناریو. قبل از استفاده از مدل موارد اصلی، نظیر زمان آغاز و خاتمه، الگوریتم مناسب جهت تنظیم مدل و ... تنظیم می‌شود. برای این مدل داده‌های بزرگ مقیاس روزانه NCEP و HADCM3 برای شبیه‌سازی پایه و آینده مورد نیاز است که داده‌ها از پایگاه داده‌ای این مدل دریافت شد.^۴ مهمترین بخش این مدل، انتخاب متغیرهای بزرگ مقیاس نظیر میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئو پتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ... برای شبیه‌سازی داده‌های بارش است که از طریق همبستگی جزئی و مقادیر P آن تعیین می‌شود. مقادیر f-test و t-test در نرم افزار minitab محاسبه می‌شود.

برای هر دو مدل، دوره مشاهداتی پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و دوره آینده مدل LARS_WG ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و برای SDSM ۲۰۳۹-۲۰۱۰ است. در انتها در این بخش جهت اندازه‌گیری قدرت مدل مناسب و ارزیابی عدم قطعیت‌های موجود در ۲ مدل شبیه‌ساز، خطای مطلق میانگین و ضرایب تعیین (R^2)، T-test، F-test که به ترتیب برای معناداری ۲ میانگین مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و معناداری دو واریانس مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، تست ویلکاکسون^۵ و تست کولموگروف-اسمیرنوف^۶ که به ترتیب برای معناداری

عرض و طول است که این وضوح شبکه‌ای ابعاد بسیار بزرگی است و برای رسیدن به نتیجه مطلوب، ریزمقیاس سازی صورت خواهد گرفت. گازهای گلخانه‌ای از سیستم پیچیده‌ای ایجاد می‌شوند که توسط نیروهایی نظیر رشد جمعیت، رشد اقتصادی - اجتماعی و تغییرات تکنولوژی تعیین می‌شوند و سناریوها تصویری هستند از اینکه آینده چگونه خود را به نمایش خواهد گذاشت. آنها به تحلیل‌های تغییر اقلیم همانند مدل‌سازی اقلیمی و ارزیابی اثرات آن کمک خواهند کرد (IPCC special report;2000:3).
هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۱ از سال ۱۹۹۰ چند گزارش از سناریوهای مختلف عرضه کرده است. در سال ۲۰۰۱ سناریوهای سری SRES و در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ سناریوهای گزارش AR5^۲ برای مطالعات تغییر اقلیم آماده شدند. در این پژوهش از سناریوی A2 که در آن افزایش پیوسته جمعیت و رشد با شتاب کمتر اقتصاد مدنظر است و همچنین B1 که در آن یک دنیای همگون با جمعیت جهانی مشابه حداکثر در میانه قرن ۲۰ و کاهش پس‌از آن را در بردارد. این سناریو تغییر سریع ساختارهای اقتصادی به سمت یک سامانه اقتصادی با کاهش شدت موارد و استفاده از فناوری‌های پاک را مدنظر دارد (IPCC special report;2000:5).
ریزمقیاس ساز عبارتند از:

مدل ریزمقیاس ساز LARS-WG: این مدل بر پایه مولد مصنوعی در سه گام قابل تفکیک، ۱- تنظیم مدل - داده‌های مشاهداتی را جهت تعیین خصوصیات آماری تجزیه و تحلیل کرده و در دو فایل به نام sta و WG ذخیره می‌کند- جهت ارزیابی خصوصیات آماری داده‌های با مقیاس روزانه. ۲- ارزیابی مدل - برای تعیین تفاوت‌های معنی‌دار بین سری مشاهداتی و تولید شده- در فایل TST ذخیره می‌شود. ۳- تولید داده‌های جوی مصنوعی با استفاده از فایل‌های مورد نظر در مقیاس ماهانه می‌پردازد. مدل جدید آن قادر

3 www.cccsn.ca

4 <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.1cgi?Scenarios>

5 Wilcoxon

6 Kolmogorov smirnov

1 Intergovernmental Panel on Climate Change

2 IPCC fifth Assessment Report

آماري تحت سناریوی A2 و B1 گزارش SRES استفاده شد. نتایج به صورت مجزا طی دوره پایه و آینده در زیر بررسی شده است:

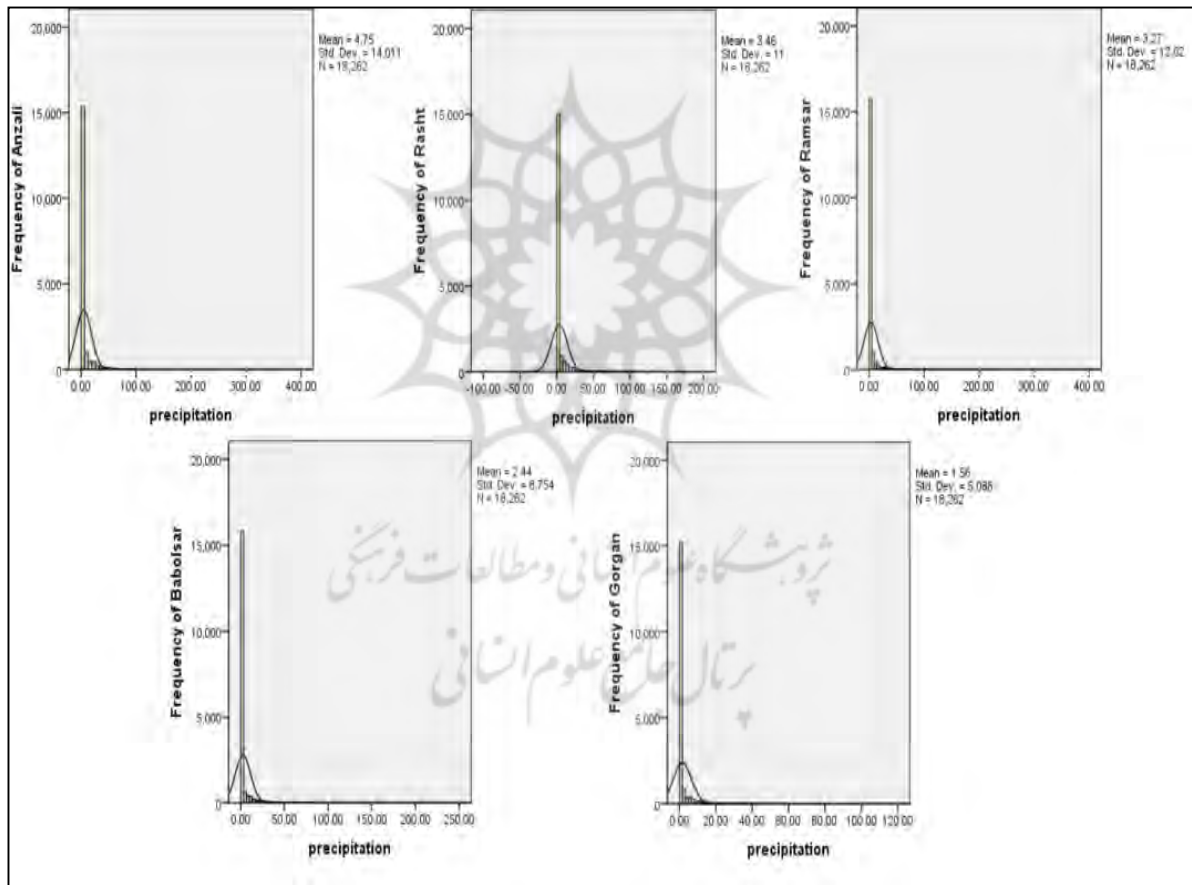
۱- دوره پایه و مشاهداتی

داده‌های بارش توزیع همراه با چولگی مشخصی را نشان می‌دهند که به سمت چپ است و نشان‌دهنده فراوانی داده‌های کمتر از میانگین است (شکل ۲). خطاها در جدول ۳ و ۴ عملکرد دو مدل را نمایش می‌دهد.

تفاوت ۲ میانگین و هم توزیع بودن داده‌هاست، در مقیاس ماهانه محاسبه می‌شود و پس از انتخاب بهترین شبیه‌ساز، سپس داده‌های به دست آمده برای آینده به مدل SPI (جهت محاسبه نمره Z) معرفی می‌شود تا مقادیر این شاخص برای آینده نیز تحلیل شود.

نتایج و یافته‌ها

در این پژوهش که خشکسالی با نمره Z طی دوره پایه و آینده در سواحل خزر مورد بررسی قرار گرفت، برای ریزمقیاس نمودن داده‌ها از ۲ مدل ریزمقیاس ساز



شکل ۲. هیستوگرام و نمودار نرمال داده‌های بارش ۵ ایستگاه سواحل جنوبی دریای خزر (منبع: نگارندگان)

جدول ۳. آماره ویلکاکسون و کلموگروف اسمیرنوف میانگین بارش سری مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دو مدل (سطح اطمینان ۰,۰۵)

ایستگاه	مدل LARSWG		مقدار بحرانی	مدل SDSM		مقدار بحرانی
	Z ویلکاکسون	(pvalue)		Z ویلکاکسون	(pvalue)	
انزلی	۰,۱۵۷	۰,۸۷۵	۱,۶۴۵	۳,۰۵۹	۰,۰۰۲	۱,۶۴۵
رشت	۱,۱۷۷	۰,۲۳۹	۱,۶۴۵	۲,۱۱	۰,۰۳۴	۱,۶۴۵
رامسر	۰,۸۶۳	۰,۳۸۸	۱,۶۴۵	۳,۰۵۹	۰,۰۰۲	۱,۶۴۵
بابلسر	۱,۰۲۰	۰,۳۰۸	۱,۶۴۵	۳,۰۵۹	۰,۰۰۲	۱,۶۴۵
گرگان	۱,۰۲۰	۰,۳۰۸	۱,۶۴۵	۳,۰۵۹	۰,۰۰۲	۱,۶۴۵
سطح اطمینان	کلموگروف اسمیرنوف (pvalue)		سطح اطمینان	کلموگروف اسمیرنوف (pvalue)		سطح اطمینان
انزلی	۰,۹۹۶		۰,۰۵	۰,۵۱۸		۰,۰۵
رشت	۰,۹۹۶		۰,۰۵	۰,۵۱۸		۰,۰۵
رامسر	۱		۰,۰۵	۰,۵۱۸		۰,۰۵
بابلسر	۰,۹۹۶		۰,۰۵	۰,۵۱۸		۰,۰۵
گرگان	۰,۹۹۶		۰,۰۵	۰,۲۴۹		۰,۰۵

(منبع: نگارندگان)

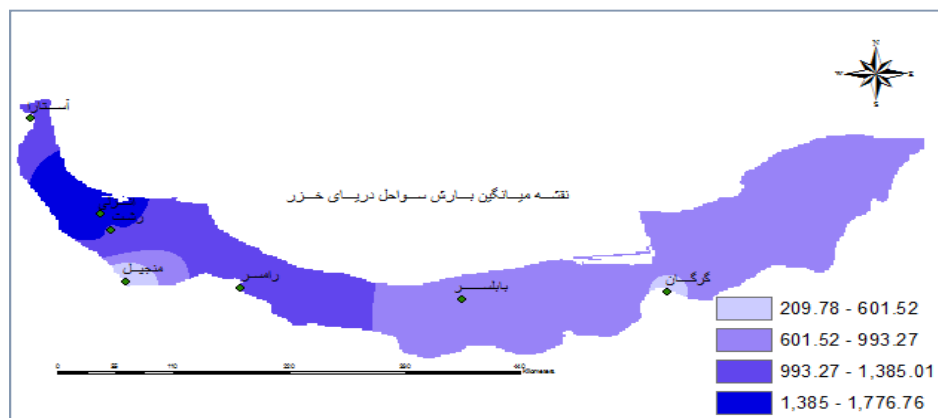
شبیه‌سازی این مدل دو سری مشاهداتی و شبیه‌سازی شده هم توزیع است (جدول ۳).

جدول ۴. خطای مدل‌های ریزمقیاس ساز دوره کنترل ۱۹۶۱-۱۹۹۰ (MAE به میلی‌متر)

مدل SDSM		مدل LARSWG		ایستگاه
R ²	MAE	R ²	MAE	
٪۹۹	۳۹	٪۹۸	۱۲/۶۲	انزلی
٪۸۹	۳۰/۷۶	٪۹۶	۱۳/۸۲	رشت
٪۹۹	۳۱/۲۶	٪۹۹	۳/۶۳	رامسر
٪۹۹	۱۷/۴۱	٪۹۷	۸/۷۷	بابلسر
٪۹۹	۱۲/۴۲	٪۹۷	۴/۷۴	گرگان

میانگین بارش سالانه خزر از غرب به شرق کاهش می‌یابد (شکل ۳).

تست ویلکاکسون، روشی ناپارامتریک جهت محاسبه تست فرض p-value برای تفاوت ۲ میانگین است که به تست مجموع رتبه‌ها معروف است. تست کلموگروف اسمیرنوف تست برآزش داده‌ها و روشی ناپارامتریک برای محاسبه هم توزیع بودن داده‌های دوسری است. تست ویلکاکسون برای مدل LARSWG مشخص می‌کند، آماره آزمون محاسبه شده توسط تست، زیر مقدار بحرانی و برای مدل SDSM بالای مقدار بحرانی است؛ بنابراین، مدل LARSWG شبیه‌سازی با اطمینان بالایی انجام داده است و همچنین Pvalue به‌دست آمده از این تست در هر ۵ ایستگاه بالاتر از سطح اطمینان ۰,۰۵ قرار داشته است. آماره کلموگروف اسمیرنوف نیز pvalue بالاتر از سطح ۰,۰۵ برای مدل LARSWG نشان می‌دهد؛ در نتیجه در

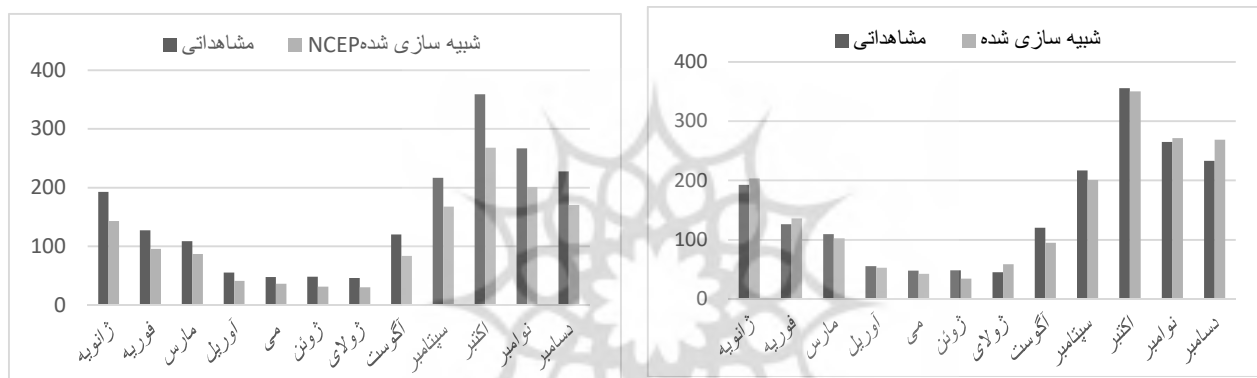


شکل ۳. بارش میانگین سالانه سواحل خزر

(منبع: نگارندگان)

باشد؛ یعنی اینکه اقلیم شبیه‌سازی شده غیر محتمل است که مشابه اقلیم مشاهداتی باشد و p-value بزرگتر فرض محقق را به اثبات می‌رساند و یعنی اقلیم مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، مشابه هم هستند) نشان داد در بیشتر ماه‌های سال، این عدد برای معنی‌داری میانگین (T_test) در مدل LARS-WG بالا بوده، اما برای واریانس‌ها (F-test) این عدد در بیشتر موارد پایین بوده است؛ در نتیجه داده‌های شبیه‌سازی شده این مدل انتخاب شده است.

متغیرهای بزرگ مقیاس میانگین فشار سطح دریا و رطوبت نسبی تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ و همچنین ارتفاع ژئو پتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در هر پنج ایستگاه با اندکی تفاوت بین ایستگاه‌ها به صورت مشترک برای شبیه‌سازی مدل SDSM انتخاب شدند. نمونه شبیه‌سازی ایستگاه انزلی در شکل ۴ نشان داده شده است. مقادیر به دست آمده از خطاها و ضریب کنترل (مربع ضریب همبستگی) نشان می‌دهد، مدل LRAS_WG برای شبیه‌سازی بارش بهتر عمل می‌کند. همچنین، مقادیر P (هر چه P-value کوچکتر



شکل ۴. مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (راست-مدل LARSWG) (چپ-مدل SDSM) (منبع: نگارندگان)

جدول ۵. مقادیر شبیه‌سازی شده بارش (افزایش یا کاهش به درصد) توسط مدل LARS-WG

ایستگاه	ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
انزلی	A2	۰/۴۵	۲۰/۰۸	۵/۱۱	-۳/۵	-۱۸/۷	۲۵/۲۶	۱۳/۵	-۴۰/۴	-۲۲/۷	۲/۸۱	۱۸/۰۶	۷/۰۹
	B1	۳۴/۴۸	۲۱/۵۹	-۴/۴۶	۲۷/۰۸	۱۱/۵۶	۶/۶۱	-۴۶/۰۶	-۶۶/۳۲	-۲۹/۱۰	۰/۰۷	-۱۴/۰۶	۴۸/۸۳
رشت	A2	۹/۳۴	۱۵/۱۸	۲۰	۱۴	۶/۱	-۱۹/۷	۲/۲۵	-۶/۴	-۴۰/۸	-۱۰/۳	۴۳/۸	-۳/۷
	B1	۱۸/۳۱	۱۱/۱۸	-۲۷/۲	-۹/۱۴	-۹/۴۵	۸/۶۱	-۲/۳۳	-۴۷/۳۷	-۲۶/۷	-۸/۲۹	۷۱/۷۶	۶۲/۹۷
رامسر	A2	۱/۹	۹/۸	-۳/۴	-۱/۵	-۱۷/۴	-۲۸/۹	۲/۸	-۲۶/۶	-۱۶/۸	-۱۳/۹	۲۰/۷	۳۵/۶
	B1	۴۰/۶۸	-۸/۲۳	-۱۵/۶۱	۲۱/۸۱	-۱۹	-۳/۷۶	-۳۱/۷۳	-۴۶/۴۸	-۹/۷۸	-۱۴/۱۵	-۵۷/۹۸	۷۴/۸۴
بابلسر	A2	۳/۹	۱۴/۱	-۷/۱	۲۱/۸	-۳/۱۳	۲۰/۴	-۲۷/۶	-۴۲/۵	-۲۰/۸	-۲۰/۲	۴۰/۱۱	۱۲/۸
	B1	۲۹/۲۹	-۱۰/۰۷	-۱/۵۳	۰/۸۷	-۲۰/۶۳	-۱۴/۵۲	۲۵/۸۳	-۳۳/۴۰	-۲۴/۸۱	-۵/۶۹	۱۰/۵۹	۴۱/۸۸
گرگان	A2	-۴/۶	۸/۳	-۰/۰۱	۱۰/۹	۱۱/۵	۴/۵	۶۰/۳	-۶/۸	-۳۸	۱۳	۳۰/۳	۸/۷۱
	B1	۱۳/۶۲	۱۱/۲۱	-۱۸/۱۶	-۴/۶۱	۳۵/۲۱	۳۰/۰۳	۲۴/۷۴	-۴۶/۱۳	-۱۳/۵	۲۲/۷۵	۱۰/۴۵	۷/۴۹

(منبع: نگارندگان)

خواهند داشت. آنچه که به نظر می‌آید این است که افزایش یا کاهش مقدار بارش در سناریوی B1

شبیه‌سازی از بارش آینده مشخص می‌کند، همه ایستگاه‌ها در ماه‌های آگوست و سپتامبر کاهش بارش

بقیه دوره‌ها در اختیار دارد. این در حالیست که بقیه طبقات، دوره خاصی را به خود اختصاص نداده یا بسیار اندک بوده است. فراوانی (جدول ۶) و شدت خشکسالی (شکل ۵) نشان می‌دهد با نتایج نمایه سه ماهه، ایستگاه انزلی و سپس رشت بالاترین شدت و فراوانی خشکسالی را داشته‌اند. نمره Z ۶ ماهه مشخص کرد، ایستگاه انزلی سپس رشت و رامسر بالاترین شدت و بابلسر، گرگان و رامسر بالاترین فراوانی را داشته است. رامسر و انزلی طی دوره مشاهداتی ۵۰ ساله شدت خشکسالی بیشتری نسبت به بقیه ایستگاه‌ها با نمره Z ۱۲ ماهه داشته‌اند.

شدت دارتر از سناریوی A2 است. سناریوی B1 افزایش بارش بیشتری را در ماه‌های ژانویه و دسامبر نشان می‌دهد. با توجه به تمامی موارد بارش جز در برخی موارد و در هر دو سناریو در ماه‌های ژانویه - فوریه - نوامبر و دسامبر افزایش خواهد داشت.

در این مطالعه، دوره‌های خشکسالی به دوره‌ای گفته می‌شود که عدد شاخص استاندارد در سه ماه متوالی معرف طبقه یا وضعیت مورد نظر باشد. نتایج به دست آمده از مدل SPI طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱ برای ۵ ایستگاه نشان داد، طبقه تقریباً نرمال طبقه‌ای کاملاً متمایز را نشان می‌دهد و درصد بالاتری را نسبت به

جدول ۶. فراوانی دوره‌های SPI (نمره Z) طی دوره مشاهداتی

ایستگاه	خشکسالی متوسط			شدید			خیلی شدید		
	۳ماهه	۶ماهه	۱۲ماهه	۳ماهه	۶ماهه	۱۲ماهه	۳ماهه	۶ماهه	۱۲ماهه
نمره Z									
انزلی	۸	۰	۴	۱	۰	۳	۱	۳	۲
رشت	۵	۱	۵	۱	۰	۳	۲	۴	۲
رامسر	۲	۲	۶	۰	۰	۲	۲	۴	۲
بابلسر	۲	۴	۶	۲	۲	۲	۲	۲	۱
گرگان	۲	۴	۴	۲	۱	۴	۲	۲	۳

(منبع: نگارندگان)

شدید و خیلی شدید داشته‌اند. در گرگان دسامبر ۱۹۶۲ تا فوریه ۱۹۶۳، می تا آگوست ۱۹۸۶ و مارس تا ژوئن ۲۰۰۸، خشکسالی شدید و خیلی شدید را ثبت نموده است. نمایه بارش استاندارد شده ۶ ماهه مشخص کرد، در ایستگاه انزلی در سال ۱۹۶۱ هر ۱۲ ماه سال خشکسالی شدید و خیلی شدید داشته که شدت آن به ۲۵/۲۷ - می‌رسد. سال ۱۹۶۲ (مارس تا آوریل)، نوامبر ۱۹۶۴ تا فوریه ۱۹۶۵ و سپتامبر تا نوامبر ۱۹۷۱ در ایستگاه رشت، ژولای ۱۹۹۹ تا ژوئن ۲۰۰۰ در رامسر، دسامبر ۲۰۰۲ تا مارس ۲۰۰۳، اکتبر تا دسامبر ۲۰۰۰، آوریل تا نوامبر ۱۹۹۱ و ژانویه تا مارس ۱۹۸۹ در بابلسر، ژانویه تا مارس ۲۰۰۹، ژولای ۱۹۶۳ تا فوریه ۱۹۶۴ و مارس تا دسامبر ۱۹۶۱ در گرگان خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید به ثبت رسیده است. نمره Z ۱۲ ماهه، دوره‌های نرمال

نتایج نمایه استاندارد سه ماهه نشان داد، هر ۵ ایستگاه در سال ۲۰۱۰ خشکسالی خیلی شدید و شدید داشته‌اند که شدت این به عدد ۲۵/۱۲ - در ایستگاه انزلی تا ۳۲/۴۳ - در گرگان رسیده است. سال‌های ۱۹۹۶ (ژولای تا سپتامبر)، ۱۹۶۶ (ژانویه و فوریه) و ۱۹۶۲ (آوریل و می) در انزلی و سال‌های ۱۹۸۹ (ژوئن تا آگوست)، ۱۹۷۴ (اکتبر تا دسامبر)، ۱۹۷۱ (ژولای تا اکتبر)، در انزلی و رشت خشکسالی شدید و خیلی شدید به وقوع پیوسته است. در ایستگاه رامسر سال‌های ۱۹۹۵ (فوریه تا می)، ۱۹۸۹ (می تا آگوست)، ۱۹۸۳ (فوریه تا مارس)، ۱۹۷۴ (اکتبر ۱۹۷۴ تا فوریه ۱۹۷۵) و ۱۹۷۱ (سپتامبر تا دسامبر) خشکسالی شدید و خیلی شدید را تجربه کرده است. در بابلسر سال‌های ۱۹۷۱ (ژولای تا سپتامبر)، ۱۹۷۳ (مارس تا آوریل) و ۲۰۰۱ (ژانویه تا مارس) خشکسالی

نیز رشت و رامسر خشکسالی بیشتری را خواهند داشت (شکل ۷ و ۸). در هر دو سناریو انزلی در نمایه خشکسالی ۳ و ۱۲ ماهه نتایج مشابهی را نشان داد. نمایه خشکسالی سه ماهه و دوازده ماهه رشت با سناریوی B1 و سناریوی A2 به ترتیب شدت کمتری از خشکسالی را نشان می‌دهد. در رامسر در نمایه‌های ۳ و ۱۲ ماهه شدت کمتر از خشکسالی در سناریوی B1 مشاهده می‌شود. در بابلسر و گرگان تحت نمایه ۳ ماهه سناریوی A2 و در نمایه ۱۲ ماهه سناریوی B1 شدت بالاتری را نشان می‌دهد.

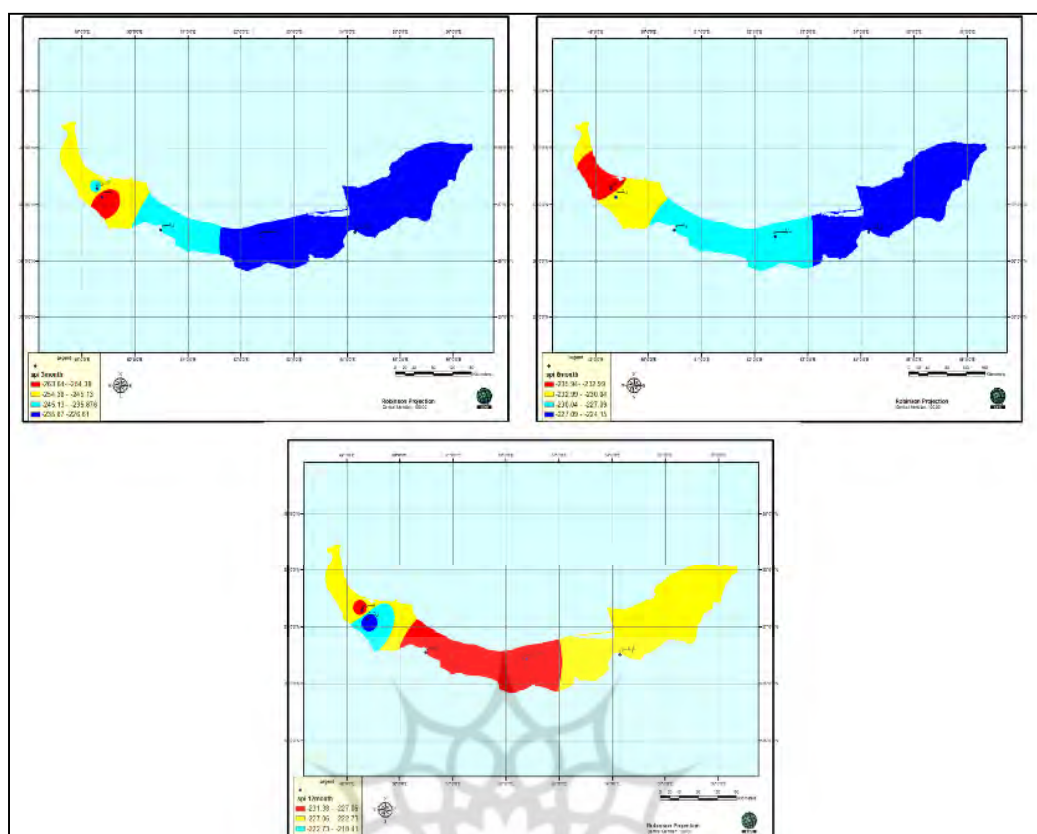
طولانی‌تری را نسبت به نمایه سه ماهه و شش ماهه نشان داد. سال ۱۹۶۱ تمامی ماه‌ها در ایستگاه انزلی، ژولای ۱۹۹۹ تا ژوئن ۲۰۰۰ در رامسر، ژوئن ۲۰۰۲ تا مارس ۲۰۰۳، آگوست تا نوامبر ۱۹۹۵ و آوریل تا آگوست ۱۹۹۱ در بابلسر، مارس تا آگوست ۱۹۶۱، ژوئن تا دسامبر ۱۹۶۳، آگوست ۱۹۶۲ تا فوریه ۱۹۶۳ و نوامبر ۱۹۸۴ تا فوریه ۱۹۸۶ در گرگان خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید را داشته‌اند.

۲- دوره آینده

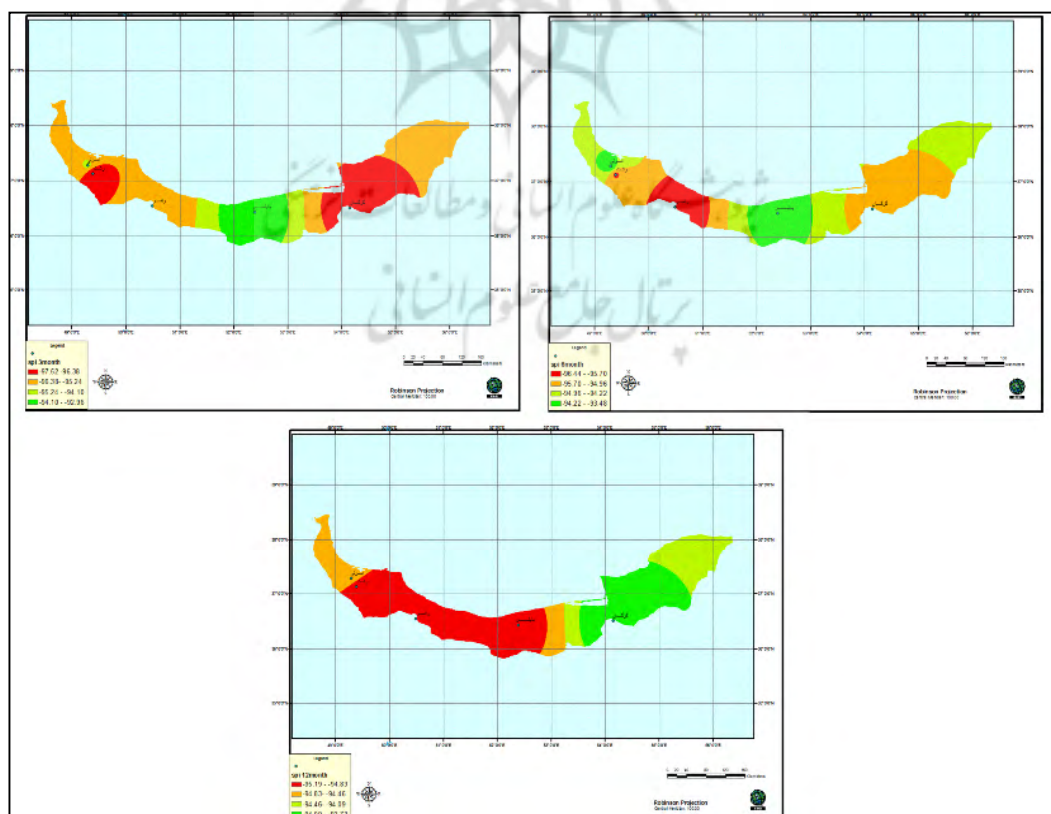
شبیه‌سازی بارش دوره آینده (جدول ۵) از کاهش بارش در ماه‌های آگوست و سپتامبر و افزایش آن در ماه‌های فوریه و نوامبر در هرپنج ایستگاه نشان می‌دهد و در بقیه ماه‌ها افزایش یا کاهش به‌طور مشترک وجود ندارد.

در آینده شدت بالاتر خشکسالی نمایه ۳ ماهه (شکل ۶) با شبیه‌سازی مدل LARSWG و تحت سناریوی A2، B1 در رشت و گرگان و رامسر اتفاق خواهد افتاد. نمایه ۶ ماهه نشان داد، رامسر و سپس رشت و گرگان بیشترین شدت خشکسالی را تجربه خواهند نمود. نتایج نمایه ۱۲ ماهه، شدت بالاتری را برای رشت، رامسر، بابلسر و انزلی نشان داد. بعد از به‌دست آمدن مقادیر بارش استاندارد شده از سری جوی مصنوعی تولید شده توسط مدل ریزمقیاس ساز LARS_WG تحت سناریوی A2 نتایج برای نمایه سه ماهه نشان داد، ایستگاه انزلی و رشت، با توجه به نمایه‌های گذشته در برخی سال‌ها خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید را خواهند داشت. نمایه ۶ ماهه، عدم وقوع خشکسالی‌های شدید را نشان داد و نمایه ۱۲ ماهه مشخص نمود، سه ایستگاه انزلی رشت و بابلسر خشکسالی‌های متوسطی را تجربه خواهند نمود و احتمال وقوع خشکسالی ۱۲ ماهه در گرگان و رامسر وجود نخواهد داشت.

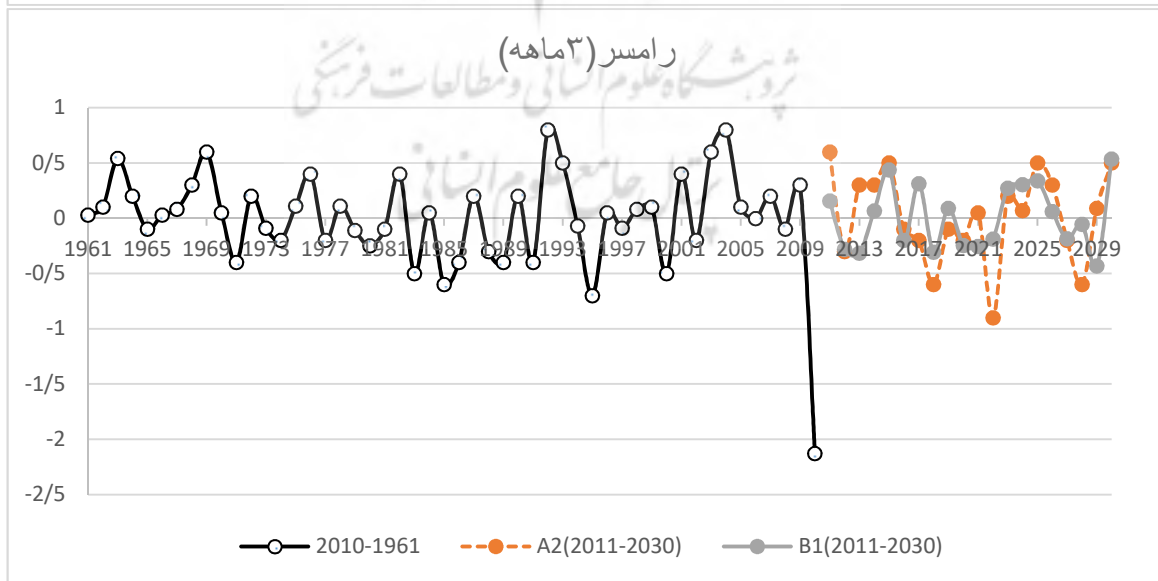
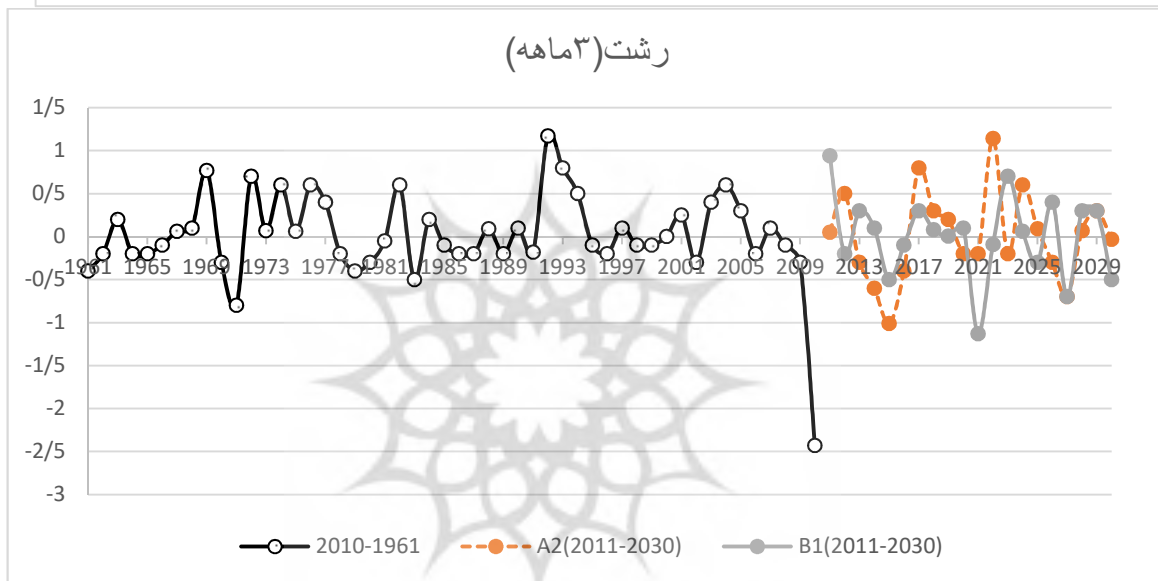
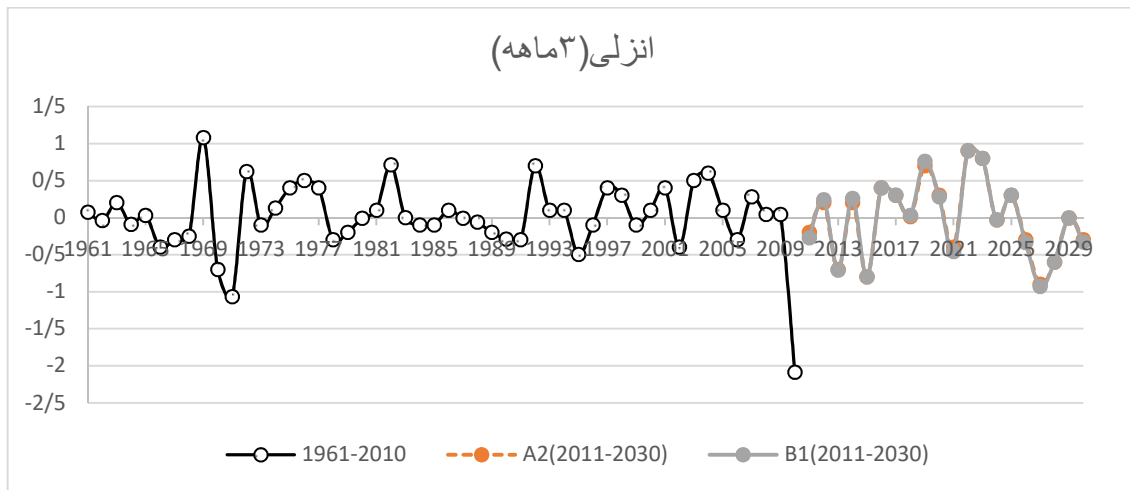
نمودارهای سری زمانی از این حقیقت حکایت دارد که ایستگاه انزلی، رشت و رامسر سال‌های همراه با خشکسالی بیشتری را پشت سر گذاشته‌اند. در آینده

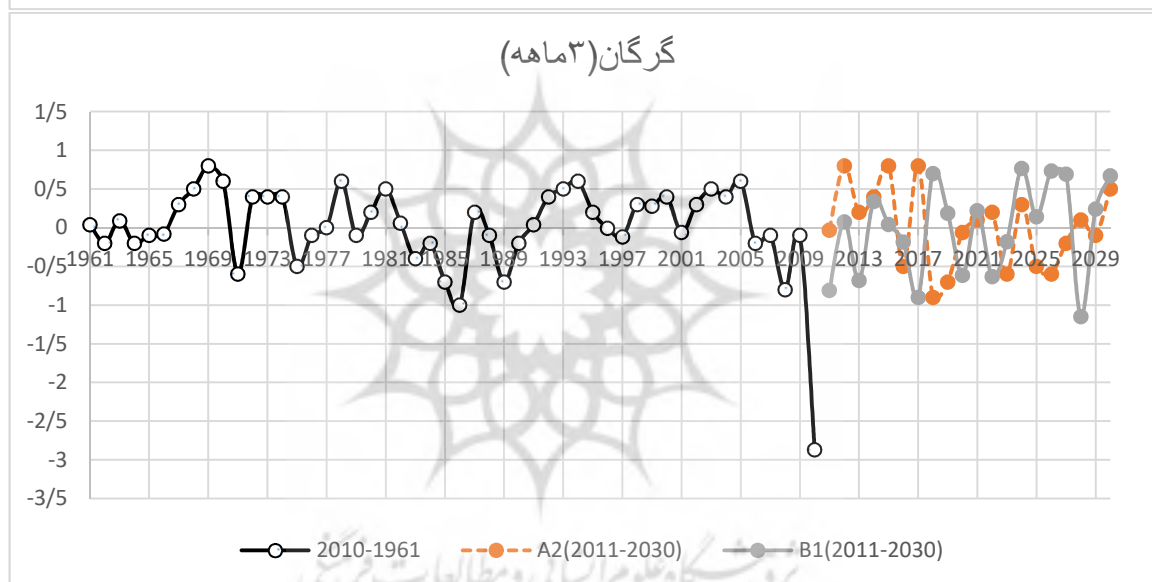
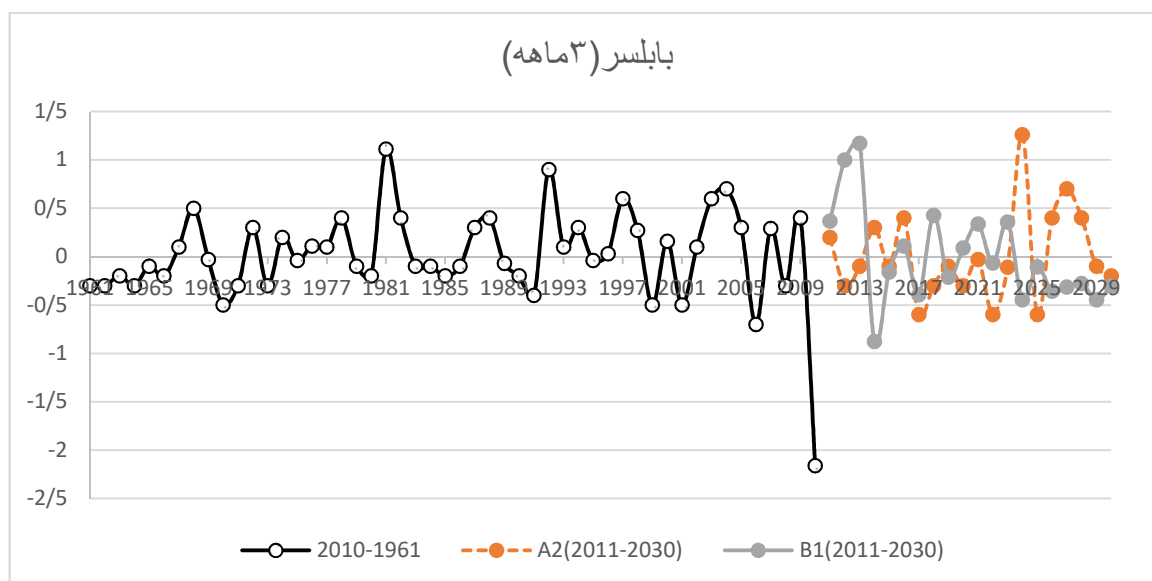


شکل ۵. جمع توالی منفی‌ها با نمره Z سه ماهه (چپ)، نمره Z شش ماهه (راست) و نمره Z دوازده ماهه (پایین) دوره مشاهداتی (منبع: نگارندگان)



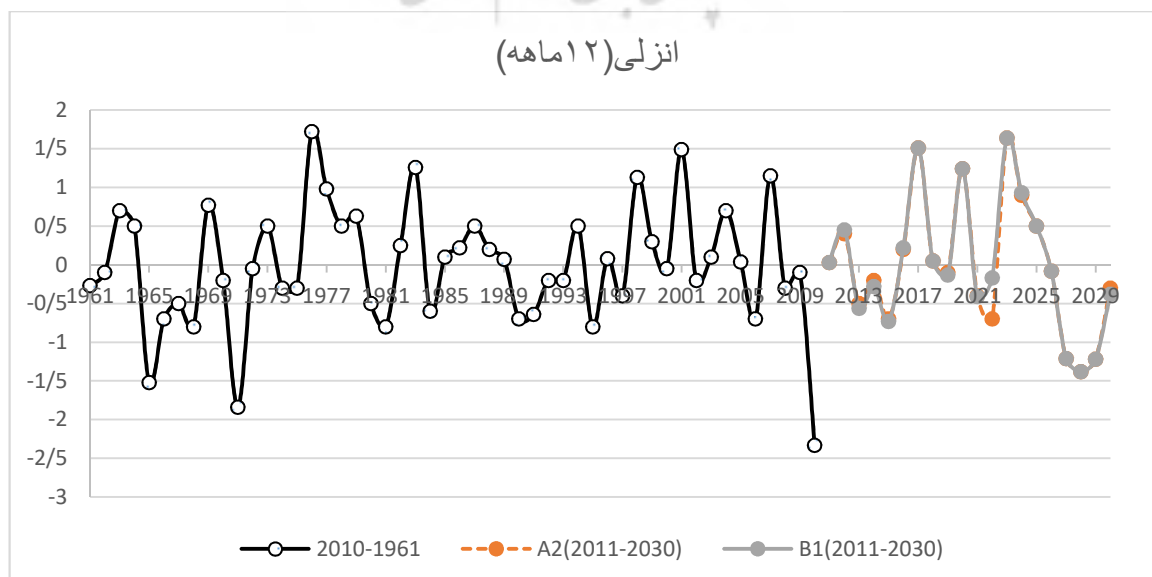
شکل ۶. جمع توالی منفی‌ها با نمره Z سه ماهه (چپ)، نمره Z شش ماهه (راست) و نمره Z دوازده ماهه (پایین) دوره آینده ریزمقیاس شده با مدل LARS_WG تحت سناریوی A2 (منبع: نگارندگان)

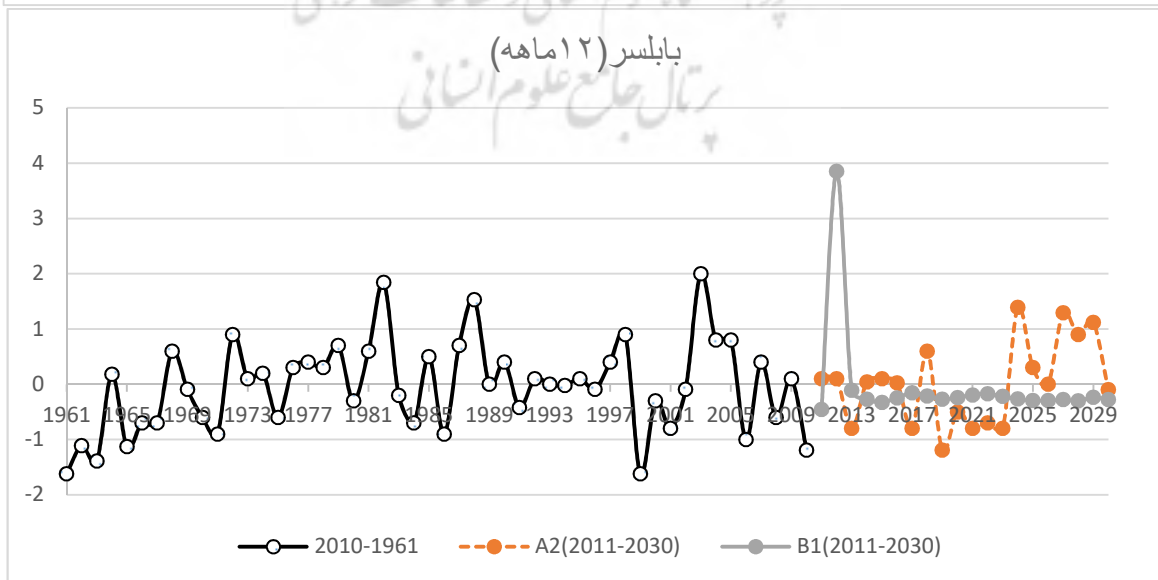
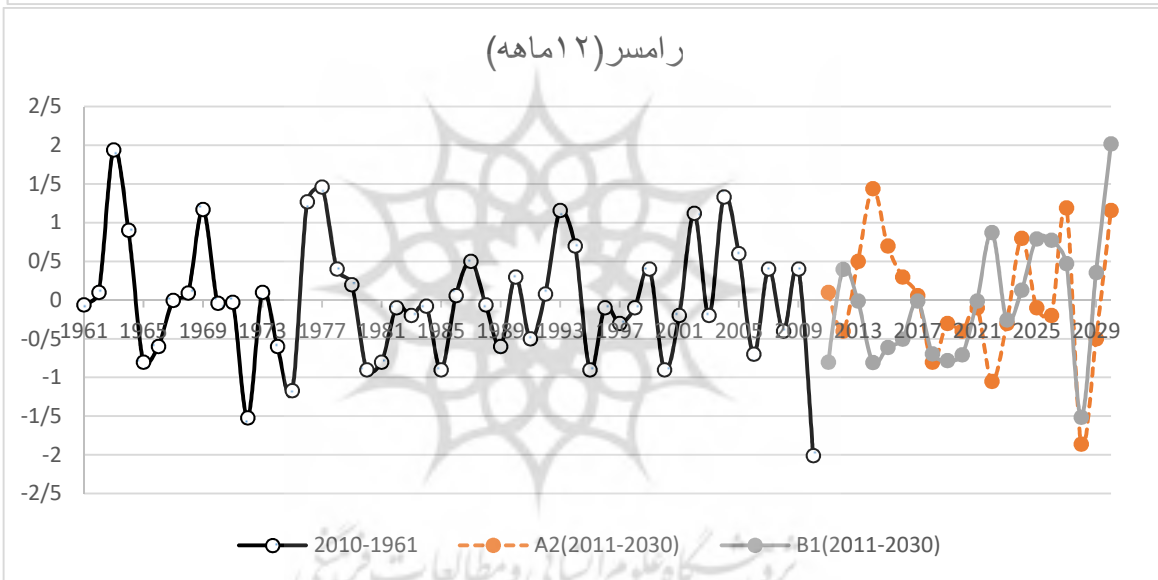
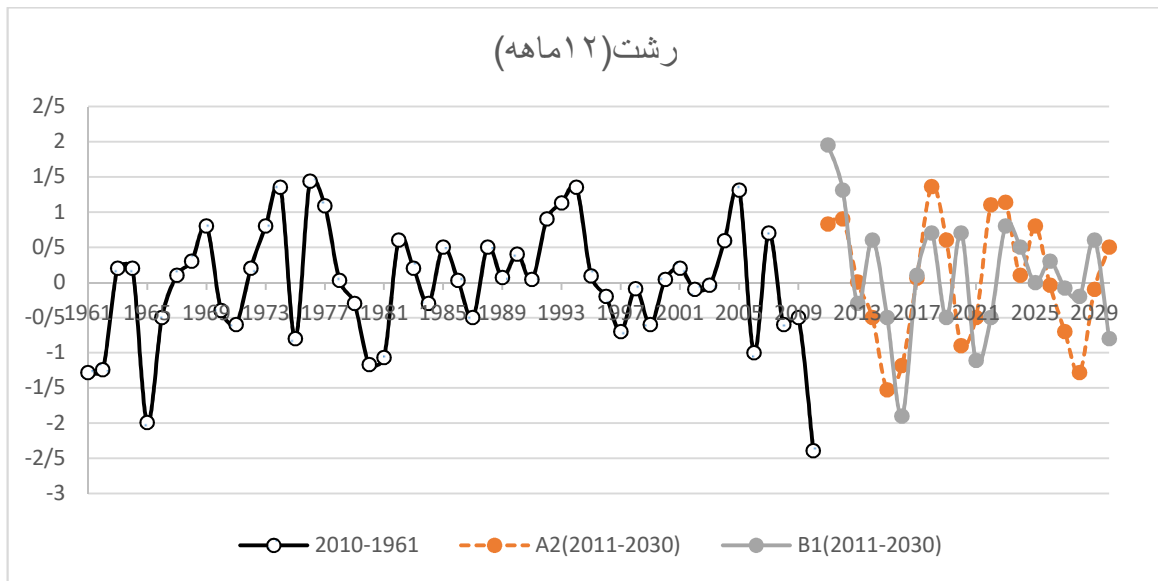


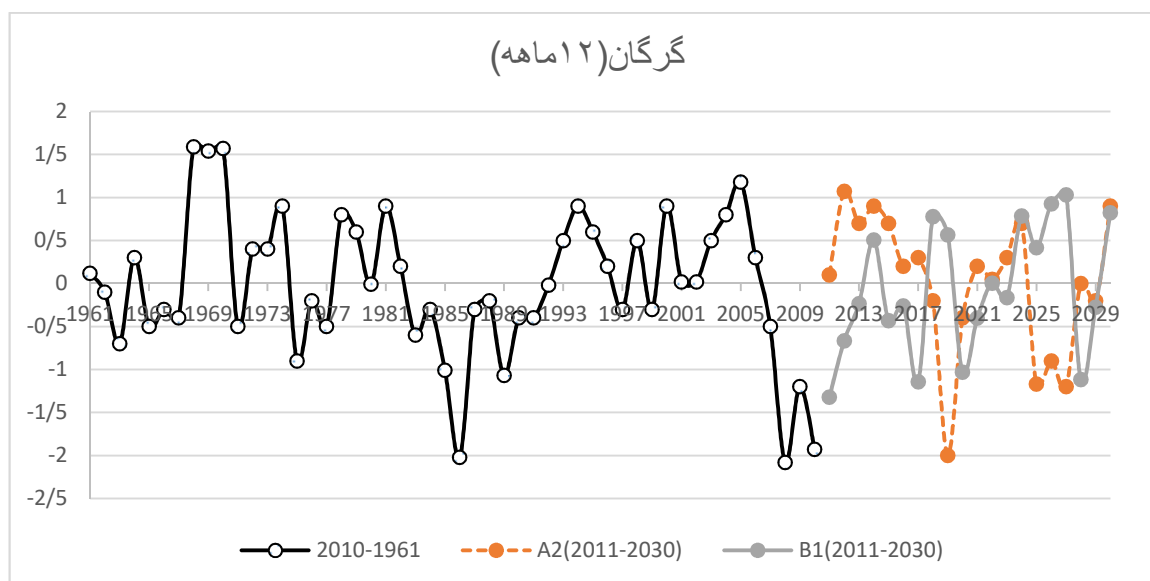


شکل ۷. مجموعه نمودار سری زمانی نمره Z سه ماهه دوره پایه و آینده، به ترتیب «انزلی - رشت - رامسر - بابلسر و گرگان»

(منبع: نگارندگان)







شکل ۸. مجموعه نمودار سری زمانی نمره Z دوازده ماهه دوره پایه و آینده، به ترتیب «انزلی-رشت-رامسر-بابلسر و گرگان» (منبع: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

بوده است. نتایج بررسی شاخص نشان داد، طی دوره پایه انزلی، رشت و رامسر بیشترین شدت خشکسالی را داشته‌اند و برای آینده هر ۵ ایستگاه با شدت‌های متفاوت درگیر این رخداد طبیعی بر اساس نمایه نمره Z سه، شش و دوازده ماهه خواهند بود. بیشترین فراوانی دوره‌ها هم به ترتیب مربوط به رشت، بابلسر، گرگان، انزلی و رامسر است. بیشتر دوره‌های خشک در دوره‌های گرم سال به‌وقوع پیوسته و گاهی چنان ادامه داشته که یک دوره ۱۰ ماهه را شامل شده است. نکته حائز اهمیت، ماه اکتبر که مصادف با حداکثر بارش انزلی است نیز، در برخی سال‌ها جزء دوره‌های خشک بوده است و در آینده نیز این ماه خشکسالی را خواهد داشت. در شرق سواحل خزر نیز که هسته بیشینه بارش در ماه مارس و سپس اکتبر قرار دارد، این دو ماه دوره‌های خشک در برخی سال‌ها هستند که نشان می‌دهد ماه‌های پربارش سواحل خزر دستخوش تغییرات خشکسالی‌های شدید و گاهی خیلی شدید نیز شده‌اند که می‌تواند هشدار جدی برای منابع آبی و محیط زیست گیاهی و جانوری منطقه مطالعه باشد.

منابع

باباییان، ایمان؛ کوهی، منصوره (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های

پژوهش حاضر خشکسالی سواحل خزر را با استفاده از نمایه بارش استاندارد شده، مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوی A2 و B1 با استفاده از مدل ریزمقیاس ساز LARS_WG و SDSM طی دوره مشاهداتی و آینده مورد بررسی قرار داده است. ابتدا نتایج ریزمقیاس شده و سپس به نمایه SPI (جهت محاسبات نمره Z) وارد شدند. مقایسه نتایج دو مدل نشان داد، خطای محاسبات با استفاده از چند آماره MAE، ضریب کنترل، F-test, T-test، تست‌های ناپارامتریک ویلکاکسون و کلموگروف اسمیرنوف برای مدل LARS_WG جهت شبیه‌سازی بارش کمتر از مدل SDSM است؛ در نتیجه، برای شبیه‌سازی آینده از مدل LARS_WG استفاده شد. شاخص بارش استاندارد شده در ۵ ایستگاه سواحل جنوبی دریای خزر نشان داد، فراوانی دوره‌ها و شدت خشکسالی در ایستگاه‌ها متفاوت است. نتایج مشخص نمود، سال ۲۰۱۰ هر ۵ ایستگاه خشکسالی داشته‌اند و سال‌های ۱۹۷۱-۱۹۷۴-۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ خشکسالی ناحیه مورد مطالعه را در بر گرفته است. تعداد دوره‌های نرمال هم طی دوره مشاهداتی و هم آینده درصد بالاتری را در همه ایستگاه‌ها نشان داده و بقیه دوره‌ها بسیار اندک

- از نمایه‌های بارش قابل اعتماد، نشریه علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، شماره ۱۳، صص ۱۵۰-۱۳۳.
- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۳). کاربرد نمایه‌های مبتنی بر بارش در مطالعه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها؛ مطالعه موردی استان آذربایجان شرقی. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۶۵، صص ۴۷-۵۶.
- گل محمدی، مریم؛ مساح بوانی، علیرضا (۱۳۹۰). بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۲، صص ۳۲۶-۳۱۵.
- Ardakani, M., Nikeghbal, M, Rafati, S, Adab, H. (2012). Meteorological Drought Monitoring Based on an Efficient Index, Using Geostatistical Analyst in Ghare Ajag Watershed – iran. INTERNATIONAL CONFERENCE OF WATER CRISIS, ZABOL UNIVERSITY, PP.1-8.
- Dai, A., (2011). Characteristics and trends in various form of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008, Journal of Geophysical research, VOL. 116, D12115.
- European Commission, (2010). Water scarcity and drought in the European Union, august 2010.
- Fraedrich, K., Sielmann, F., Cai, D., Zhang, L., Zhu, X., (2014). Validation of an Ideal Rainfall-Runoff Chain in a GCM Environment, Water Resour Manage, VOL.28, DOI 10.1007/s11269-014-0703-2.
- Guttman, N., (1999). Accepting The Standardized Precipitation index a Calculation Algorithm, journal of the American water resources association, vol.35,2, pp.311-322.
- Hong, Wu. Hayes, M., Weiss A., Hu, Q., (2001). An Evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China Z Index and the Statistical Z-Score, INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY, VOL: 21, PP.745-758.
- IPCC special report, (2000). Emissions scenarios, Summary for Policymakers, A Special Report of IPCC Working Group III, ISBN: 92-9169-113-5, pp.1-21.
- Jayanthi, H., Huska, G., Funk, Ch., Magadzire, T., Chavula, A., Verdin, J., (2013). Modeling rain-fed maize vulnerability to droughts using the standardized precipitation index from satellite estimated Rainfall—Southern Malawicasestudy, International Journal of Disaster Risk Reduction, 4, pp.71-81.
- Kanellou, E., Domenikiotis, C., Blanta, A., Hondronikou, E., Dalezios, R., (2008). Index Base Drought Assessment in Semiarid Areas of Greece
- منتخب خراسان رضوی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۶، شماره ۴، صص ۹۶۷-۹۵۳.
- باباییان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ حبیبی‌نوخندان، مجید؛ زابل عباسی، فاطمه؛ ادب، حامد؛ ملبوسی، شراره (۱۳۸۶). مدلسازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G گارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، صص ۷۲-۶۱.
- بنفشه رضایی، مجید؛ بلیانی، یداله؛ زینالی، بتول (۱۳۹۰). برآورد خشکسالی‌ها و ترسالی‌های (۱۳۶۱-۱۳۸۵) براساس نمایه‌های مبتنی بر بارش برای ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه پرباشان. فصلنامه علمی پژوهشی تالاب. شماره هفتم. صص ۲۲-۱۹.
- خلیقی‌سیگارودی، شهرام؛ سنگ‌دهی صادقی، علی؛ اوسطی، خالد؛ قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۸). بررسی نمایه‌های ارزیابی پدیده‌های ترسالی و خشکسالی (SPI, PNPI, Nitzche) مطالعه موردی استان مازندران. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. شماره اول. صص ۵۴-۴۴.
- رحیمی، داریوش؛ موحدی، سعید؛ برقی، حمید (۱۳۸۸). بررسی شدت خشکسالی با شاخص نرمال بارش؛ مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره ۳۶، صص ۵۶-۴۳.
- ساری‌صراف، بهروز؛ قلی‌نژاد، ناهید؛ کمانی، اکرم (۱۳۹۰). بررسی خشکسالی و ترسالی حوضه آرس با استفاده از نمایه‌های مبتنی بر بارش. فصلنامه جغرافیای طبیعی لار. شماره ۱۲، صص ۱۵-۱.
- ضرغامی، مهدی؛ حسن‌زاده، یوسف؛ باباییان، ایمان؛ کنعانی، رضا (۱۳۸۹). مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکسالی استان آذربایجان شرقی. نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۷). آب و هوای ایران، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- فرج‌زاده، حسن (۱۳۸۶). تحلیل و تعیین خشکسالی و ترسالی براساس نمایه‌های DRI, SPI, Nitzche در شمال غرب ایران (۲)، رشد آموزش جغرافیا، شماره ۸۱، صص ۳۷-۳۴.
- قاسمی‌فر، الهام (۱۳۹۱). ناحیه‌بندی تغییرات اقلیم در سواحل دریای خزر با تأکید بر مقادیر دما. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه خوارزمی تهران.
- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۲). بازساخت زمانی - فضایی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان آذربایجان شرقی با استفاده

- Portugal, water resources research, VOL. 46, pp. W03503.1-13.
- Semenov, M. A., and Barrow, E. A., (2002). LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies Developed by Mikhail A. Semenov. Version 3.1 User Manual. pp.1-27.
- Sheffield, J., Wood, E. F., (2008). Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations, *Clim Dyn*, 31, pp.79-105.
- Sigdal, M., Ikeda, M., (2010). Spatial and Temporal Analysis of Drought in Nepal
- Syari, N., Bnnayan, M., Alizadeh, A., Farid, A., (2013). Using Drought Indices to Assess Climate Change Impact on Drought Condition in the North East of Iran (Kashfrod Basin).
- Using Standardized Precipitation Index and its Relationship with Climate Indices, *Journal of Hydrology and Meteorology*, Vol. 7, No. 1, pp.59-74.
- Wang, Wei., Wang, W. j., Shengli, J., Wu, H., Xu, Ch., Lu, T., (2010). The Impact of Sustained Drought on Vegetation Ecosystem in South West China Based on Remote Sensing, *Procedia Environmental Science*, VOL:2, PP. 1679-1691.
- Wilby Robert L., and Christian W. Dawson., (2007). SDSM 4.1 - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, User Manual, pp.1-94.
- WMO N0. 1090., (2012). Standardized Precipitation Index user Guide. pp.1-14.
- Xie, H., Ringler, C., Zhu, T., Wagas, A., (2013). Drought in Pakistan: A Spatiotemporal Variability Analysis Using The Standardized Precipitation Index, *WATER INTERNATIONAL*, And VOL: 38, PP.620-631.
- Base on Conventional Data, *EUROPEAN WATER*, VOL:23/24, PP.87-98.
- Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, Ch. N., Yong, B., Hocker, J. E., Shafer, M. A., (2011). Hydro climatological Drought Analyses and Projection Using Meteorological and Hydrological Drought Indices: A Case Study in Blue River Basin, Oklahoma, *Science and Technology Infusion Climate Bulletin*, NOAA's National Weather Service, 36th NOAA Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop, Fort Worth, TX, 3-6 October 2011, pp.25-29.
- Lopes, P. G., Aguiar, R., and Casimiro, E., (2008). Assessment of climate change statistical downscaling methods, Application and comparison of two statistical methods to a single site in Lisbon, unknown.
- Loukas, A., Vasiliades, L., and Tzabiras, J., (2008). Climate change effects on drought severity, *Advances in Geosciences, Adv. Geosci.*, 17, pp.23-29.
- Loukas, A., Vasiliades, L., Dalezios, R., (2003). Intercomparison of Meteorological Drought Indices for Drought Assessment and Monitoring in Greece, 8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL SCIENCE and TECHNOLOGY, GREECE, 8-10 September, PP.484-491.
- NOAA National Weather Service. (2008). Drought public fact sheet, JANUARY 2008, pp.1-2.
- Pashiardis S, Michaelides, S., (2008). Implementation of The standardized Precipitation Index (SPI) and the Reconnaissance Drought Index (RDI) for Regional Drought Assessment: A Case Study for Cyprus, *European Water*, VOL: 23, PP.57-65.
- Santos, J. F., Pulido-Calvo, I., Portela, M., (2010). Spatial and temporal variability of droughts in