

## پیش بینی وضعیت خشکسالی استان لرستان طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریز مقیاس نمایی خروجی ۴ مدل گردش عمومی جو\*

بهروز پروانه<sup>۱\*</sup>، هنگامه شیرواند<sup>۲</sup>، فاطمه درگاهیان<sup>۳</sup>

۱- دکتری اقلیم شناسی دانشیار گروه اقلیم شناسی دانشگاه آزاد خرم آباد

۲- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه شهید بهشتی، تهران کارشناس مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان لرستان

۳- دکتری اقلیم شناسی کارشناس مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان لرستان

### چکیده

یکی از پیامدهای تغییر اقلیم وقوع رخداد‌های حدی نظیر خشکسالی می‌باشد که شناسایی، پیش، ارزیابی و نیز اطلاع رسانی به موقع در زمینه وقوع این خشکسالی‌ها حائز اهمیت بسیار زیادی می‌باشد. به دلیل اهمیت استراتژیک استان لرستان از نظر تولید محصولات کشاورزی و باغداری مطالعه و شناخت پدیده خشکسالی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی استان لرستان طی دو دهه آینده با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) پرداخته شده است.

در ابتدا داده‌های روزانه خروجی ۴ مدل گردش عمومی جو (HADCM - INCM - IPCM - NCCCSM) تحت سناریوهای (B1, A2, A1B) توسط مدل آماری LARS-WG نسخه ۵، ریز مقیاس شده و توانایی مدل LARS-WG در شبیه سازی اقلیم گذشته (۲۰۱۲-۱۹۹۱) ۹ ایستگاه سینوپتیک استان مورد تأیید قرار گرفته سپس پارامترهای اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از مدل‌های مذکور شبیه سازی شده است. پیش بینی نهایی با توجه به وزن هر سناریو و هر مدل در پیش بینی عناصر اقلیمی برای همه ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه در این پژوهش صورت گرفته است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که به طور متوسط در همه ایستگاه‌ها در دهه اول و دوم دوره پیش بینی افزایش بارش خواهیم داشت. در مرحله بعدی با استفاده از داده‌های بارش وضعیت خشکسالی استان با استفاده از شاخص خشکسالی SPI در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد طی دو دهه آینده خشکسالی در اغلب ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد و در حالت کلی تقریباً در همه ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان طی سالهای آتی تا ۲۰۳۰ وضعیت ترسالی افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، تغییر اقلیم، مدل اقلیمی، ریز مقیاس نمایی، شاخص SPI، استان لرستان

## مقدمه

تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در بین حوادث طبیعی، خسارات ناشی از خشکسالی بیشترین مقدار را شامل است. لذا پایش گسترده آن و پیش آگاهی، پیش بینی دوره‌های خشک امری اجتناب پذیر بوده و مهم‌ترین راهکار در جلوگیری از بروز خسارات این پدیده زیان بخش در آینده است. هرچه، این پیش بینی‌ها دقیق تر و برای فواصل زمانی طولانی‌تر باشد، ابعاد بحران محدودتر می‌گردد. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف نظیر منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و... نیازمند شبیه سازی داده‌های اقلیمی طی سال‌های آتی است که یکی از معتبرترین ابزار موجود برای این منظور استفاده از خروجی مدل‌های جفت شده جو-اقیانوس گردش عمومی می‌باشد (شاه کرمی و مساح بوانی، ۱۳۸۵) به نقل از (خزانه داری و همکاران، ۱۳۸۹) با توجه به بزرگ مقیاس بودن مکانی متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده (در حدود ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع) لازم است تا خروجی این مدل‌ها به یکی از روش‌های آماری و دینامیکی در مقیاس ایستگاهی و منطقه ای ریزگردانی شود. در ریزمقیاس نمایی آماری می‌توان از روش‌های متداول آماری مانند رگرسیون و همچنین مدل‌های مولد هواشناسی استفاده کرد. در روش ریز مقیاس نمایی دینامیکی معادلات حاکم بر بسته هوا در شبکه‌های ریزتری از شبکه مدل گردش عمومی جو با استفاده از روش‌های آنالیز عددی از قبیل تفاضل محدود حل می‌شوند که در صورت به کار بردن این روش می‌توان به نقیصه دوم مدل‌های گردش عمومی جو، یعنی ساده سازی فرآیندهای جوی نیز فائق آمد (هیدالگو و دیگران، ۲۰۰۸) به نقل از معافی مدنی و همکاران، (۱۳۹۱). در هر دو مدل دینامیکی و آماری خروجی مدل‌های GCM بعنوان ورودی مدل‌های آماری و دینامیکی در نظر گرفته می‌شود و مدل‌های مذکور برای منطقه‌ای کوچک اجراء می‌شوند. مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای دارای دقت فضایی مناسبی برای ارزیابی‌های اقلیمی بوده و همچنین فرآیندهای ریز مقیاس جوی و اقلیمی تا حد ممکن در آن‌ها لحاظ می‌شوند. در مدل‌های آماری علاوه بر داده‌های یک مدل گردش عمومی جو، داده‌های دیده بانی شده نیز جهت کشف ارتباط آماری بین داده‌های مدل گردش عمومی جو در گذشته و داده‌های دیده بانی واقعی مورد نیاز است. از مهم‌ترین روش آماری موجود برای مطالعه اثرات تغییر اقلیم می‌توان به مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی یا Weather Generator (WG) اشاره کرد. این مدل‌ها قادر به تولید داده‌های روزانه از خروجی ماهانه مدل‌های گردش عمومی جو هستند. مدل‌های مولد تصادفی داده‌های هواشناسی اصولاً بر دو نوع عمده هستند: نوع ریچاردسون و نوع سریال. در نوع ریچاردسون برای مدل سازی رویداد بارش (وقوع یا عدم وقوع آن) از فرایند زنجیره مارکف استفاده می‌شود. در این روش ابتدا تر یا خشک بودن روز مورد نظر تعیین می‌شود و سپس در صورتیکه آن یک روز تر باشد، میزان بارش از توزیع گاما محاسبه می‌شود. اما در مدل‌های نوع سریال، اولین قدم مدل سازی سری روزهای تر و خشک است. این مدل‌ها برای مدلسازی طول روزهای تر و خشک، بارش روزانه و ساعات آفتابی از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌کنند (باباییان و همکاران، ۱۳۸۴). نسخه ۵ مدل LARS-WG که در این پژوهش از آن استفاده می‌شود، از نوع مدل‌های سریال می‌باشد (باباییان و همکاران، ۱۳۸۴). از مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

(تامسون<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۵) به کمک مدل‌های آماری اقلیم ۳۰ سال ایستگاه‌های هواشناسی در نیوزیلند را مدل‌سازی کردند. زمنف با استفاده از آمار و اطلاعات ۲۰ ایستگاه در نقاط مختلف دنیا که دارای اقلیم‌های متفاوت می‌باشند، توانایی مدل تولید کننده جوی LARS-WG را برای شبیه سازی رویدادهای جوی حدی مورد بررسی قرار داد (سمنو، ۲۰۰۸ به نقل از معافی مدنی و همکاران، ۱۳۹۱). (زمنف و بروکس<sup>۲</sup>، ۱۹۹۹) شبیه سازی داده‌ها با استفاده از مدل LARS-WG در انگلستان را مورد مطالعه قرار دادند. (باباییان و همکاران، ۲۰۰۴) نیز تغییرات اقلیمی کره جنوبی را به کمک این مدل طی دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ بررسی کردند. در ایران نیز باباییان و همکاران این مدل را بر روی برخی از ایستگاه‌های هواشناسی خراسان مورد ارزیابی قرار دادند. رجیبی با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM تحت سناریوهای (B1, A2, A1B) تغییر اقلیم را در استان کرمانشاه مورد بررسی قرار داد. مشخص شد که تغییرات بارندگی در سه سناریوی ذکر شده از نظم مشخصی پیروی نمی‌کند. همچنین افزایش دما طی دوره‌های آینده در همه سناریوها مشاهده شد (رجیبی، ۱۳۸۹). عباسی و همکاران پیش بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی را با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ مورد بررسی قرار دادند که داده‌های سناریو A1 مدل گردش عمومی جو ECHO-G برای ارزیابی تغییرات اقلیمی، خشکسالی و یخبندان استان توسط مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شدند. نتایج کلی بررسی‌ها حاکی از کاهش خشکسالی این استان در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ می‌باشد. کاربرد داده‌های بارش شبیه سازی شده به روش‌های متفاوت در پژوهش‌های مختلفی ارائه شده است. یکی از کاربردهای مهم و بسیار سودمند این داده‌ها استفاده از آن‌ها جهت پایش و ارزیابی خشکسالی است. به عنوان مثال، صمدی نقاب، (۱۳۸۵) به نقل از (خزانه داری و همکاران، ۱۳۸۹) داده‌های بارش حاصل از سناریوی IS92a و الگوی GCM مرکز CISRO (IS92a) استرالیا را به روش رگرسیون یک متغیره و پارامترهای بدون بعد ریزگردانی کرد، سپس با استفاده از داده‌های ریزگردانی شده و نیز داده‌های دیدبانی شده برای یک دوره سی ساله شاخص استاندارد بارش را برای ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن با هر دو نوع داده محاسبه نمود. نتایج وی نیز نشان داد که با استفاده از این روش می‌توان از این شاخص که تا کنون جهت پایش خشکسالی در گذشته استفاده شده است به عنوان ابزاری جهت پیش بینی‌های آینده نیز استفاده کرد. به نقل از (خزانه داری و همکاران، ۱۳۸۹). بنجامین<sup>۳</sup> و همکاران رابطه فراوانی و تداوم خشکسالی های اروپا را در مقیاس‌های زمانی مختلف مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که در مقیاس زمانی کوتاه مدت فراوانی خشکسالی و در مقیاس زمانی درازمدت تداوم خشکسالی‌ها بیشتر است. داله زئوس<sup>۴</sup> و همکاران بر اساس تحلیل منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی نقشه‌های هم شدت خشکسالی را برای یونان ترسیم کردند و نتیجه گرفتند که نواحی شمال

<sup>1</sup>. Thompson & Mullan

<sup>2</sup>. Semenov & Brooks

<sup>3</sup>. Benjamin

<sup>4</sup>. Daleh zious

یونان نسبت به نواحی جنوب آن از خشکسالی شدید تری برخوردار است. هانگ<sup>۱</sup> و همکاران بیان داشتند یک شاخص خشکسالی زمانی مفید است که بتواند ارزیابی کمی، ساده و روشنی از سطح درگیر با خشکسالی ارائه دهد. خزانه داری و همکاران با استفاده از خروجی مدل ECHO-G و ریزمقیاس کردن داده‌ها با مدل LARS-WG، به بررسی وضعیت خشکسالی با استفاده از دو شاخص دهک (DI) و استاندارد شده بارش (SPI) در کشور طی دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق ضمن تأیید همخوانی این دو شاخص جهت بررسی وضعیت خشکسالی در کشور، نشان داده است که طی سی سال آینده شرایط خشکسالی در کشور رو به افزایش خواهد بود که این مساله وقوع تغییر اقلیم در منطقه رو تأیید می‌کند (خزانه داری و همکاران، ۱۳۸۸). صالح نیا با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی HADCM3 و روش ریزمقیاس نمایی آماری با استفاده از مدل LARS-WG به پیش بینی خشکسالی با استفاده از شاخص PDSI طی سی سال آینده در حوضه نیشابور پرداخت. پیش‌بینی‌ها نشان دادند که در دوره سی سال آتی بارش در دشت نیشابور افزایش خواهد یافت و خشکسالی کاهش می‌یابد (صالحی نیا، ۱۳۹۰). معافی مدنی و همکاران خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوی A2 را به وسیله روش آماری و مدل LARS-WG ریزمقیاس کردند و سپس به کمک داده‌های بارش شبیه سازی شده، وضعیت خشکسالی استان با استفاده از دو شاخص دهک (DI) و استاندارد شده بارش (SPI) را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد این دو شاخص همخوانی خوبی با هم دارند و طی دو دهه آینده خشکسالی در اغلب ایستگاه‌ها و در بیشتر سال‌ها کاهش می‌یابد. این پژوهش با هدف ارزیابی خشکسالی‌های استان لرستان به کمک مدل‌های اقلیمی جهت پایش و پیش‌بینی خشکسالی در استان لرستان طی سالهای ۲۰۵۰-۲۰۱۵ انجام شده است.

#### - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه:

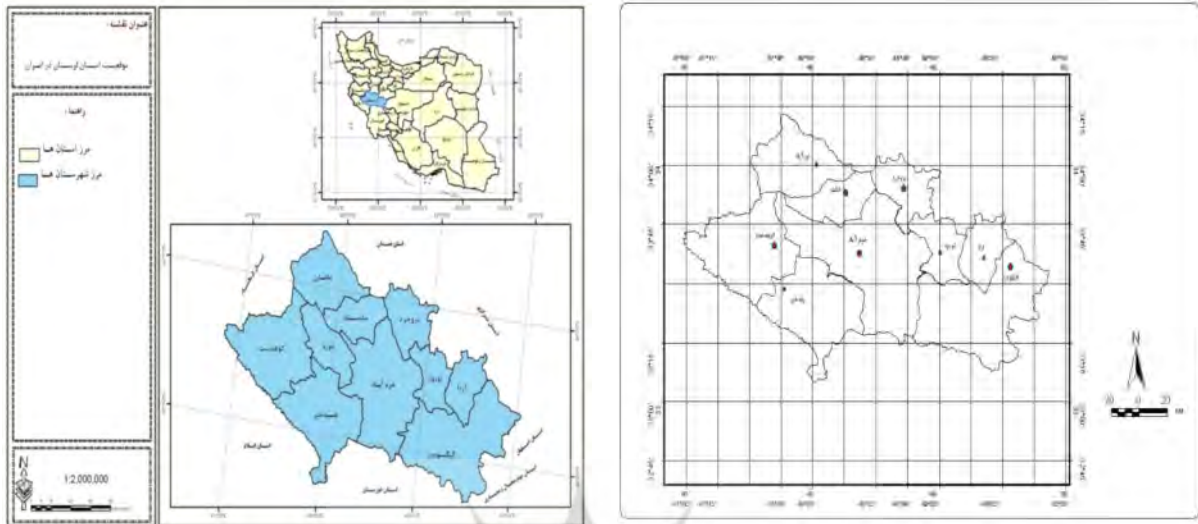
استان لرستان با مساحت ۲۸۵۵۹ کیلومتر مربع در غرب ایران، ۱/۷ درصد از کل مساحت کشور را در بر می‌گیرد. این استان بین مدارهای ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. شکل (۱) موقعیت استان لرستان به تفکیک شهرستان در ایران را نشان می‌دهد.

#### مواد و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ۹ ایستگاه سینوپتیک اصلی و سینوپتیک تکمیلی استان لرستان در دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۱) است که از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. خصوصیات جغرافیایی ۹ ایستگاه سینوپتیک اصلی و سینوپتیک تکمیلی در جدول (۱) و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است. پس از بررسی و کنترل کیفی

<sup>۱</sup>.huange

داده‌ها، نرمال بودن آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون Run Test ارزیابی و تصادفی بودن مقادیر در سطح ۹۵ درصد پذیرفته شد. پس از مرتب سازی داده‌ها و ایجاد فایل‌های مورد نیاز، داده‌ها برای مرحله بعد آماده شدند.



شکل شماره (۱ و ۲): موقعیت استان لرستان و توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک

جدول (۱): خصوصیات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش

مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش					
ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع به متر
۱	خرم آباد	سینوپتیک	۴۸° ۱۷	۳۳° ۲۶	۱۱۵۵
۲	الیگودرز	سینوپتیک	۴۹° ۴۲	۳۳° ۲۴	۲۰۲۲
۳	نور آباد	سینوپتیک	۴۸° ۰۰	۳۴° ۰۳	۱۸۵۹
۴	ازنا	سینوپتیک تکمیلی	۴۹° ۲۵	۳۳° ۲۷	۱۸۷۲
۵	الشتر	سینوپتیک	۴۸° ۱۵	۳۳° ۴۹	۱۵۶۷
۶	بروجرد	سینوپتیک	۴۸° ۴۵	۳۳° ۵۵	۱۶۲۹
۷	پلدختر	سینوپتیک	۴۷° ۴۳	۳۳° ۰۹	۷۱۴
۸	کوهداشت	سینوپتیک تکمیلی	۴۷° ۳۹	۳۳° ۳۱	۱۱۹۸
۹	دورود	سینوپتیک تکمیلی	۴۹° ۰۰	۳۳° ۳۱	۱۵۲۲

### معرفی مدل و شبیه سازی پارامترهای اقلیمی:

مدل LARS-WG یکی از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی هواشناسی است که برای تولید داده‌های روزانه بارش، تابش، بیشینه و کمینه دمای یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حال و آینده به کار می‌رود. در این مدل خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به روش‌های آماری به گونه ای ریز می‌قیاس می‌شوند که به مقدار واقعی بسیار نزدیک باشد. این مدل شامل سه بخش اصلی کالیبراسیون مدل، ارزیابی مدل و ایجاد داده‌های هواشناسی برای دوره آتی است (باباییان و همکاران، ۱۳۸۴). در

بخش کالیبراسیون مدل، بعد از جمع آوری داده‌های روزانه بارش، تابش، بیشینه و کمینه دمای ۹ ایستگاه ذکر شده برای دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) و آماده کردن فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا می‌شود. پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی مدل و قابلیت آن در شبیه سازی داده‌های هواشناسی، این مدل برای ریز مقیاس کردن داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو (HADCM - INCM - IPCM - NCCCSM) و تولید یا شبیه سازی داده‌های اقلیمی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از سناریوهای (B1, A2, A1B) مورد تأیید IPCC اجرا گردید و مقادیر روزانه پارامترهای اقلیمی تولید شد. در مرحله بعد وزن این مدل‌ها برای تک تک ایستگاه‌های استان لرستان تعیین گردید و برای تعیین وزن این مدل‌ها ابتدا با مراجعه به وب سایت کانادایی مرکز اطلاعات آب و هوایی و سناریوها ([www.cccsn.ec.gc.ca](http://www.cccsn.ec.gc.ca)) و دریافت پیش بینی این مدل‌ها برای دوره مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش در مرحله بعد طبق روش وزن دهی میانگین، با استفاده از فرمول زیر وزن هر مدل و سناریو محاسبه شد.

$$w_i = \frac{1/\Delta T_i}{\sum_{i=1}^N 1/\Delta T_i}$$

که در آن

$w_i$ : وزن به دست آمده در ماه مورد نظر

$\Delta T_i$ : انحراف میانگین طولانی مدت پارامتر اقلیمی شبیه سازی شده توسط مدل GCM در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی. به عنوان نمونه نتایج تعیین وزن مدل‌های مختلف در پیش بینی عناصر اقلیمی ایستگاه سینوپتیک الیگودرز در (جدول ۴) آمده است. پس از تولید داده‌ها برای دو دهه آبی و وزن دهی مقادیر تولیدی، مقادیر بارش ماهانه برای به دست آوردن شاخص خشکسالی SPI محاسبه گردید.

### شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI)

ادوارد و مکی در سال ۱۹۹۳ از مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشکسالی آمریکا به منظور تعریف و پایش وضعیت خشکسالی از شاخص بارش استاندارد استفاده کردند. تغییر پذیری SPI باعث می‌شود که در مقیاس‌های کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس‌های بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی مثل منابع آب زیرزمینی، جریان‌های رودخانه‌ای، سطح دریاچه‌ها و منابع سطحی استفاده شود (ادوارد و مکی، ۱۹۹۷). برای تعیین شاخص استاندارد شده بارش از مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه برای هر یک از مقیاس‌های زمانی مورد نظر محاسبه و سپس مقادیر بارندگی تجمعی در هر ماه به توزیع گاما برازش داده شده است. در نهایت این توزیع به یک توزیع نرمال تبدیل می‌شود. تابع توزیع گاما با استفاده از تابع چگالی احتمالاتی زیر محاسبه می‌شود (سنمنز<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵).

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

در این رابطه:

$g(x)$ : تابع چگالی احتمالاتی

: مقادیر بارندگی تجمعی در هر مقیاس زمانی و هر ماه از سال و برای هر ایستگاه هواشناسی مورد نظر (بر حسب صدم اینچ) می‌باشد. X

$\Gamma(\alpha)$ : تابع گاما

<sup>1</sup> Sonmez

$\alpha$  و  $\beta$  نیز پارامتر شکل و پارامتر مقیاس هستند که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha}$$

که در آن:

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

در روابط بالا:

$\bar{X}$ : میانگین بارندگی‌های تجمعی محاسبه شده در تمام ماه‌های مشابه در هر ایستگاه و در هر مقیاس زمانی

$X$ : بارندگی تجمعی در هر مقیاس زمانی و در هر ماه

$n$ : تعداد بارندگی‌های مخالف صفرماه‌های مشابه در سری زمانی بارندگی‌های تجمعی در هر مقیاس زمانی

توزیع احتمال تجمعی داده‌ها با انتگرال گیری روی توزیع گاما به دست می‌آید.

$$G(X) = \int_0^X g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^X x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$$

: احتمال تجمعی توزیع گامای ناقص  $G(X)$

با توجه به این که توزیع احتمال تجمعی گاما برای  $X=0$  تعریف نشده است و مسلماً در سری داده‌های بارندگی هر ایستگاه، مقادیر بارندگی صفر نیز وجود دارد، لذا احتمال تجمعی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$H(X) = q + (1-q)G(X)$$

$q$ : احتمال وقوع بارندگی صفر در هر مقیاس زمانی برای هر ماه و هر ایستگاه

$H(X)$ : توزیع احتمال تجمعی گاما

پس از محاسبه احتمال تجمعی گاما در هر مقیاس زمانی و برای هر ماه از سال، این احتمال به یک متغیر تصادفی نرمال استاندارد  $Z$  با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل می‌شود که این متغیر تصادفی در حقیقت همان مقدار  $SPI$  مورد نظر است.

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(X))^2}\right)}$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(X))^2}\right)}$$

$$C_0 = 2.515517, C_1 = 0.802853, C_2 = 0.010328, d_1 = 1.432788, d_2 = 0.189269, d_3 = 0.001308$$

مقدار SPI مثبت نمایانگر بارش بیش از متوسط و مقدار SPI منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط است. زمانی که مقدار SPI محاسبه شده منفی باشد، نشانه شروع خشکسالی است و هنگامی که این شاخص مثبت باشد پایان خشکسالی را نوید می‌دهد. جهت تعیین درجه خشکسالی با استفاده از این شاخص از جدول ۲ استفاده می‌شود.

### یافته‌های تحقیق:

#### صحت سنجی مدل LARSE- WG بر روی ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان

توانمندی مدل مولد داده‌های آب و هوایی اثرات مستقیمی بر برآورد و ارزیابی تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه دارد. در این پژوهش توانمندی مدل LARSE- WG از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و داده‌های تولید شده همین دوره توسط مدل برای همه ایستگاه‌های سینوپتیک استان انجام شد، به دلیل حجیم بودن فقط به صورت نمونه نتایج صحت سنجی چهار ایستگاه خرم آباد، الیگودرز، الشتر و بروجرد در این پژوهش آورده شده است. همچنین این نتایج در مورد سایر پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی به دست آمده است. بدین ترتیب این اطمینان حاصل شد که مدل LARSE- WG توانایی شبیه سازی بارش پارامترهای اقلیمی برای دو دهه آتی ایستگاه‌های استان لرستان را دارا می‌باشد.

#### پیش بینی بارش و خشکسالی ایستگاه‌های استان لرستان طی دو دهه آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱):

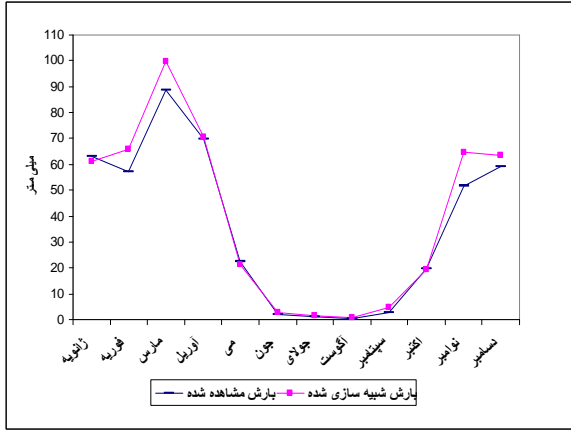
بر اساس نتایج ریزمقیاس نمایی ۴ مدل گردش عمومی (HADCM - INCM - IPCM - NCCCSM) با استفاده از مدل آماری LARSE- WG همانطوری که نمودارهای ۷ و ۸ نشان می‌دهند متوسط بارش در اکثر ایستگاه‌های استان در دهه اول پیش بینی نسبت به دوره آماری افزایش نشان می‌دهد. در این دهه فقط در ایستگاه‌های الیگودرز، دورود و ازنا نسبت به دوره آماری کاهش بارندگی داریم. همچنین در دهه دوم پیش بینی در ۴ ایستگاه ازنا، پلدختر، نورآباد و الیگودرز نسبت به دوره آماری کاهش بارندگی و در بقیه ایستگاه‌ها افزایش بارندگی نشان می‌دهد.

جدول ۲: مقادیر SPI و رطوبت و خشکی متناظر آن (هایز<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰)

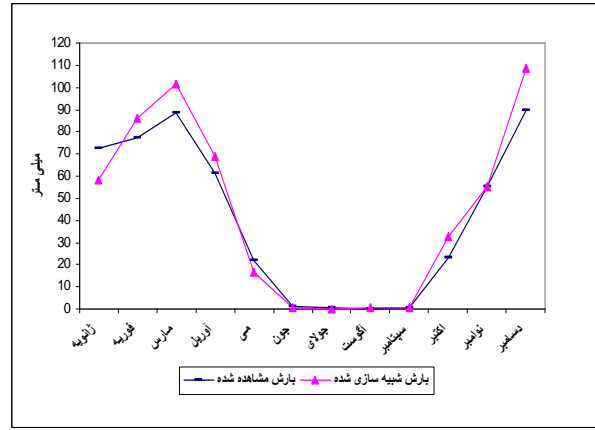
$\geq +2$	ترسالی خیلی شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰ تا ۰/۹۹	ترسالی کم
۰ تا -۰/۹۹	خشکسالی کم
-۱ تا ۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی زیاد
$\leq -2$	خشکسالی خیلی زیاد

<sup>۱</sup>Hayes

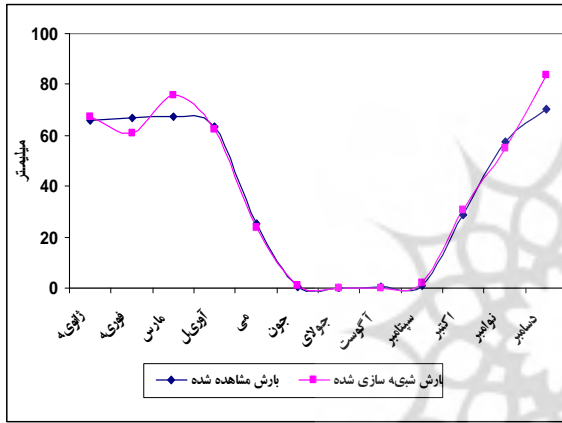




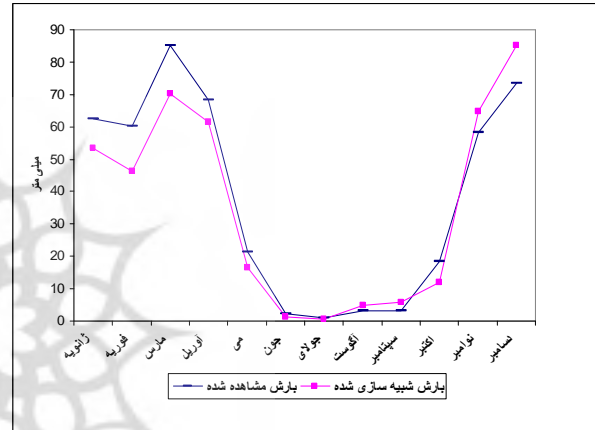
شکل (۴): مقایسه بارش دوره آماری با بارش مدل شده برای دوره مشابه ایستگاه الیگودرز



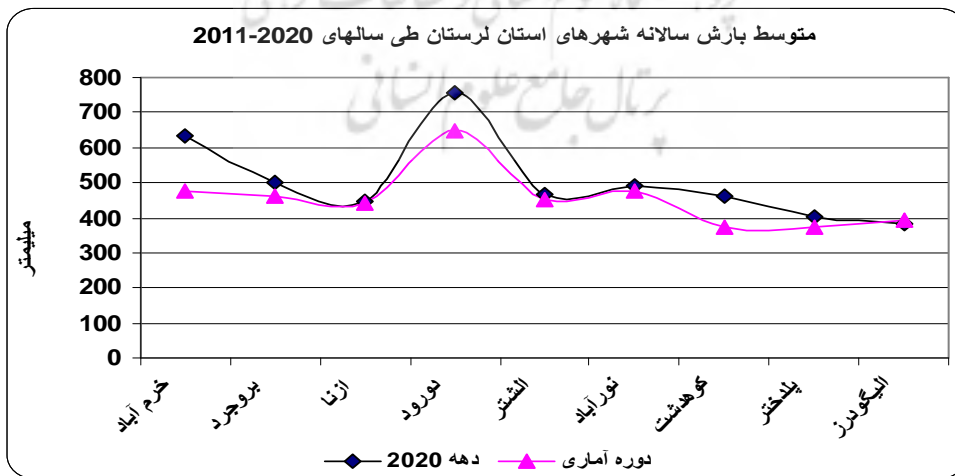
شکل (۳): مقایسه بارش دوره آماری با بارش مدل شده برای دوره مشابه ایستگاه خرم آباد



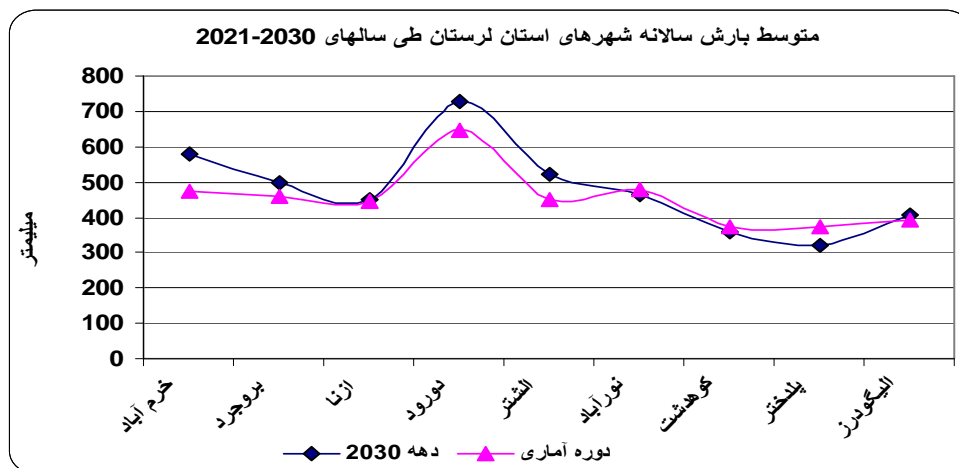
شکل (۶): مقایسه بارش دوره آماری با بارش مدل شده برای دوره مشابه ایستگاه الشتر



شکل (۵): مقایسه بارش دوره آماری با بارش مدل شده برای دوره مشابه ایستگاه بروجرد



شکل (۷): متوسط بارش سالانه طی سالهای ۲۰۱۱-۲۰۲۰



شکل (۸): متوسط بارش سالانه طی سالهای ۲۰۲۱-۲۰۳۰

جدول فراوانی طبقات مختلف شاخص خشکسالی SPI ماهانه را در دو دهه آتی برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان مورد بررسی قرار می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود در همه ایستگاه‌ها تعداد ماه‌های با خشکسالی ضعیف نسبت به طبقات دیگر خشکسالی افزایش نشان می‌دهد به طوری که در دهه اول الیگودرز با ۷۰ ماه دارای خشکسالی ضعیف بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. همچنین الشتر با ۱۶ ماه دارای خشکسالی متوسط و ۱۰ ماه با خشکسالی خیلی شدید شرایط ویژه ای را نشان می‌دهد. در دهه دوم پیش بینی پلدختر با ۷۲ ماه بیشترین ماه‌های همراه با خشکسالی ضعیف را به خود اختصاص داده است. در این دهه پلدختر با ۳ ماه دارای خشکسالی شدید و الشتر با ۱۴ ماه همراه با خشکسالی متوسط و ۱۰ ماه با خشکسالی خیلی شدید بالاترین مقادیر طبقات شاخص خشکسالی SPI را دارند. در بررسی دهه ای همانطور که جدول نشان می‌دهد مشخص گردید که در دهه اول الیگودرز و الشتر هر کدام با ۷۴ ماه خشک و در دهه دوم پلدختر با ۸۱ ماه بیشترین تعداد ماه‌های خشک را دارند

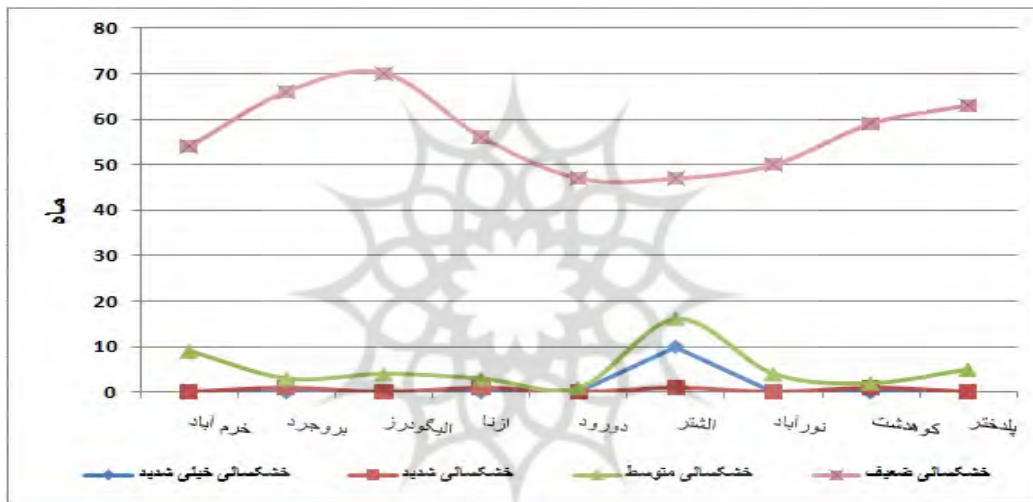
جدول ۳: مقایسه فراوانی طبقات مختلف شاخص خشکسالی SPI ماهانه طی

دو دهه آتی در ایستگاه‌های استان لرستان

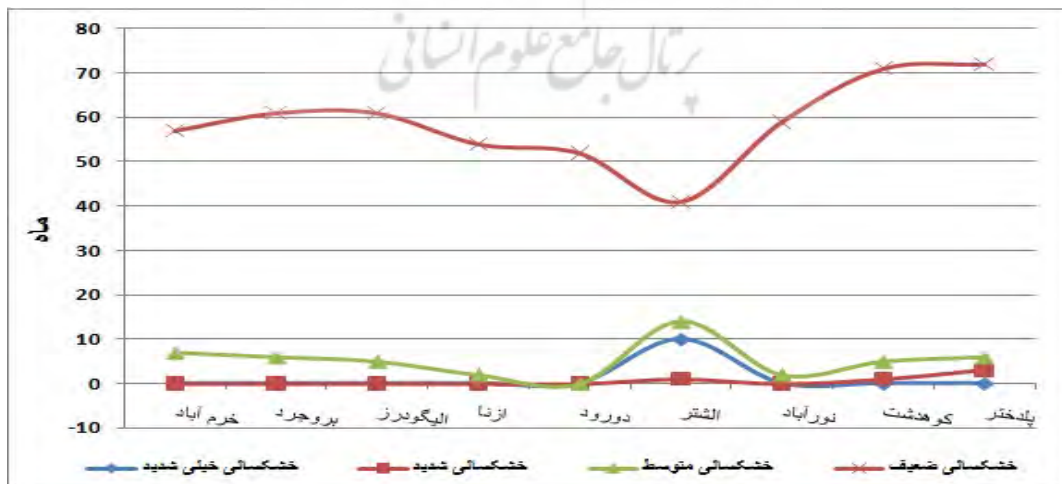
شهر	دهه اول				دهه دوم			
	ضعیف	متوسط	شدید	خیلی شدید	ضعیف	متوسط	شدید	خیلی شدید
خرم آباد	۵۴	۹	۰	۰	۵۷	۷	۰	۰
بروجرد	۶۶	۳	۱	۰	۶۱	۶	۰	۰
الیگودرز	۷۰	۴	۰	۰	۶۱	۵	۰	۰
ازنا	۵۶	۳	۱	۰	۵۴	۲	۰	۰
دورود	۴۷	۱	۰	۰	۵۲	۰	۰	۰
الشتر	۴۷	۱۶	۱	۱۰	۴۱	۱۴	۱	۱۰
نورآباد	۵۰	۴	۰	۰	۵۹	۲	۰	۰
کوهدشت	۵۹	۲	۱	۰	۷۱	۵	۱	۰
پلدختر	۶۳	۵	۰	۰	۷۲	۶	۳	۰

جدول ۴: تعداد ماه‌های خشک و تر طی دو دهه آبی در ایستگاه‌های استان لرستان

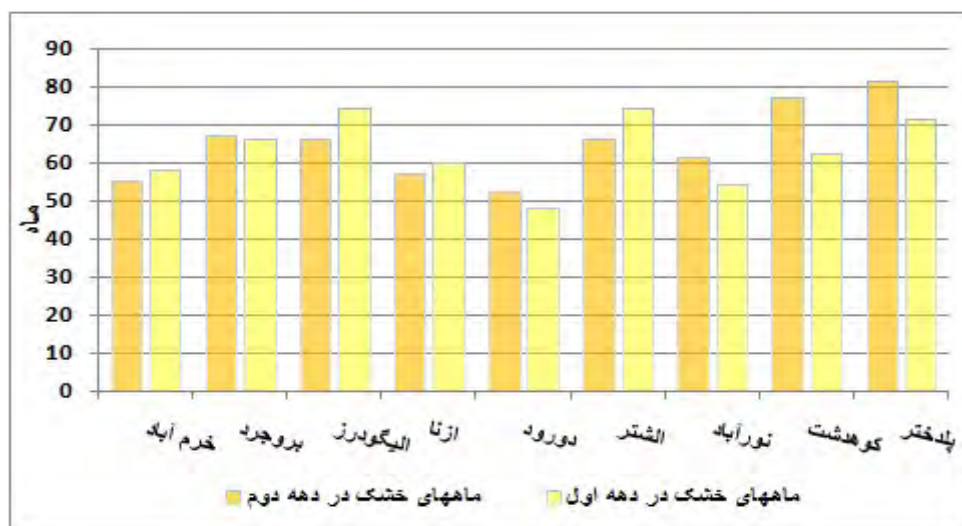
ایستگاه	ماه‌های خشک		ماه‌های تر	
	دهه اول	دهه دوم	دهه اول	دهه دوم
خرم آباد	۵۸	۵۵	۵۴	۵۴
بروجرد	۶۶	۶۷	۴۹	۵۳
الیگودرز	۷۴	۶۶	۴۷	۵۳
ازنا	۶۰	۵۷	۶۲	۶۴
دورود	۴۸	۵۲	۷۲	۶۴
الشتر	۷۴	۶۶	۴۶	۵۴
نورآباد	۵۴	۶۱	۶۶	۵۹
کوه‌دشت	۶۲	۷۷	۵۸	۴۳
پلدختر	۷۱	۸۱	۴۷	۳۹



شکل (۹): فراوانی ماهانه طبقات مختلف شاخص خشکسالی SPI طی دهه اول پیش بینی (۲۰۱۱-۲۰۲۰)



شکل (۱۰): فراوانی ماهانه طبقات مختلف شاخص خشکسالی SPI طی دهه دوم پیش بینی (۲۰۲۱-۲۰۳۰)



شکل (۱۱): فراوانی ماه‌های خشک طی دو دهه آینده



شکل (۱۲): فراوانی ماه‌های تر طی دو دهه آینده

### نتیجه‌گیری:

این تحقیق به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی استان لرستان طی دو دهه آتی با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) صورت گرفت. نتایج نشان داد مدل LARSE-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های استان لرستان دارای توانایی خوبی می‌باشد. بررسی نتایج تغییرات پارامتر اقلیمی بارش طی دو دهه آتی نشان می‌دهد که در بعضی ماه‌ها افزایش و در برخی کاهش میانگین بارش نسبت به میانگین وجود دارد. بررسی میانگین بارش دهه ای استان حاکی از افزایش میانگین بارش نسبت به دوره آماری در دو دهه آتی در اکثر ایستگاه‌های استان دارد. همچنین بررسی وضعیت خشکسالی استان لرستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) نشان می‌دهد که در اغلب ایستگاه‌ها با توجه به افزایش بارش، خشکسالی کاهش و تعداد ماه‌های تر افزایش خواهد یافت. در بررسی دهه ای مشخص گردید که در دهه اول الیگودرز و الشتر هر کدام با ۷۴

ماه خشک و در دهه دوم پلدختر با ۸۱ ماه بیشترین تعداد ماه‌های خشک را دارند. همچنین تعداد ماه‌های تر در دهه دوم در ایستگاه‌های بروجرد، الیگودرز، ازنا و الشتر بیشتر از دهه اول می‌باشد. تعداد ماه‌های تر ایستگاه‌های دورود، نورآباد، کوهدشت و پلدختر در دهه اول بیشتر از دهه دوم می‌باشد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی بوده، که با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد صورت پذیرفته است. لذا از مسئولین و دست اندر کار این دانشگاه تشکر و قدر دانی بعمل می‌آید.

### منابع:

- ۱- باباییان، آ، نجفی نیک، ز، زکی زاده، ع، ۱۳۸۴، مطالعه مقدماتی و ارزیابی مدل‌های weather generator مطالعه موردی: ارزیابی مدل LARS-WG بر روی ایستگاه‌های منتخب خراسان، پژوهشکده اقلیم شناسی، گزارش پروژه.
- ۲- بذرافشان، جواد، ۱۳۸۱، مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران.
- ۳- حجازی زاده و همکاران، ۱۳۸۲، پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده، نشریه علوم جغرافیایی، شماره ۱، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- ۴- خزانه داری، ل، م، کوهی، ف، زابل عباسی، ش، قندهاری، ش، ملبوسی، بررسی روند خشکسالی در ایران طی ۳۰ سال آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، ۱۳۸۹، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم.
- ۵- معافی مدنی، ف، موسوی بایگی، م، انصاری، حسین، ۱۳۹۱، پایش بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG.
- 6- Babaeian, I., Kwon, W.T., and Im, E.S., 2004: Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, climate research lab, 98pp.
- 7- Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 2002: LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
- 8- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W., 1998: Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in divers climates. Climate Research 10, 95-107.
- 9- Thompson, C.S, and Mullan, A.B, 1995: Weather Generators. NIWA Internal report, 115- 120.
- 10- Wilks, D.S. 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. Climate Change. 22, 67-84.
- 11- Wilks, D.S. and Wilby, R.L. 1999: The weather generation game: a review of stochastic weather models. Progress in Physical Geography 23, 329-357.
- 12- <http://climate.mihanblog.com>



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی  
پرتال جامع علوم انسانی



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی  
پرتال جامع علوم انسانی