

احتمال تاثیر تغییر اقلیم بر نوسانات منحنی شدت و فراوانی بارش موثر در ایستگاه‌های شمال غرب ایران

غلامرضا روشن: استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران *

عبدالعظیم قانقرمه: استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

وصول: ۱۳۹۱/۴/۲۶ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۱، صص ۸۴-۶۱

چکیده

بررسی ویژگی‌های آب و هوا و شناخت عناصر و پارامترهای اقلیمی یک منطقه، می‌تواند در امر برنامه‌ریزی و آمایش آن سرزمین نقش عمده ای ایفا نماید. بارش موثر به عنوان یکی از مهمترین عناصر اقلیمی در نواحی شمالغرب ایران با نوسانات زمانی- مکانی قابل ملاحظه، نقش عمده ای در چگونگی بهره برداری از توان‌های محیطی، اقتصادی، کشاورزی و غیره.. آن عهده دار می باشد. در این پژوهش جهت مقایسه دوره پایه(گذشته) با داده‌های شبیه سازی شده، ابتدا آمار بارش موثر روزانه ی ۶ ایستگاه اردبیل، قزوین، همدان، کرمانشاه، سنندج و تبریز طی یک دوره ی ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۱۹۶۱) تهیه و از طرف دیگر با داده‌های شبیه سازی شده ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ که بوسیله مدل گردش عمومی جو HADCM3 و سناریوی A1 تولید گردیده و با استفاده از مدل LARS-WG ریز مقیاس شدند مورد مقایسه قرار گرفتند. روش مقایسه بارش موثر در چارچوب خوشه‌های مختلف، بر اساس روش تحلیل خوشه ای در قالب ۵ خوشه توافقی برای تمام ایستگاهها و دوره‌های مورد مطالعه انجام پذیرفت. از جمله یافته‌های این پژوهش وجود تمرکز بیشتر بارش برای دوره‌های سرد سال(زمستان و پاییز) و افزایش 20.62 میلیمتری بارش سالانه برای میانگین دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه می باشد. همچنین نتایج نشان دهنده افزایش شدت آستانه‌های بارش موثر برای ایستگاههای اردبیل، کرمانشاه و تبریز در دهه‌های آینده نسبت به دوره پایه ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و کاهش تعداد روزهای همراه با رخداد بارش برای کرمانشاه، سنندج و تبریز در دهه‌های آینده است. در ادامه خروجی‌ها نشان می دهند که بارشهای خوشه سوم بدلیل توزیع یکنواخت، نیازمند مدیریت بهره برداری بهینه و بارشهای خوشه ۱ بدلیل شدت بالا و رگباری بودن، نیازمند مدیریت ریسک و در بعضی مواقع مدیریت بحران در عرصه‌های کشاورزی، آبخیزداری و غیره... می باشند.

واژه‌های کلیدی: خوشه بندی، مدل گردش عمومی جو، ریزمقیاس نمایی، فراوانی بارش موثر، شمالغرب ایران

مقدمه

آن می تواند افزایش دمای کره زمین باشد که به آن

گرم شدن جهانی اطلاق می شود. ارزیابی آسیب پذیری و سازگاری با این پدیده فقط با اطلاعات در مورد تغییرات اخیر امکان پذیر نیست و به آگاهی از

اقلیم سامانه پیچیده ای است که طبق گزارشات IPCC به دلیل افزایش غلظت جوی گازهای گلخانه ای در اثر فعالیت‌های بشری در حال تغییر است. یکی از آثار

بارو، ۲۰۰۲). در ایران نیز این مدل ارزیابی گردید بطوریکه در مطالعه ای توسط بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵)، توانایی مدل لارس را برای شبیه سازی متغیرهای هواشناسی استان خراسان در ایران، برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳ مورد واکاوی قرار داده که نتایج نشان می دهند که مدل لارس متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر را در سه ایستگاه مشهد، سبزوار و بیرجند کمتر از مقادیر واقعی شبیه سازی نموده است. بطوریکه بیشترین پایش بارش در ایستگاههای مشهد و تربت حیدریه به میزان ۰.۴- میلیمتر بوده است. بیشترین پایش دمای حداقل در ایستگاههای سبزوار به میزان ۰.۷- درجه سانتیگراد و دمای حداکثر در ایستگاههای سبزوار و بیرجند به میزان ۱.۹- درجه سانتیگراد محاسبه شده است و به طور کلی نتایج مدل سازی قابل قبول می باشد. بذرافشان و همکاران (۱۳۸۸) عملکرد دو مدل لارس و ClimGen در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در ایران را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که عملکرد مدل Lars-WG در شبیه سازی بارش و تابش بهتر از GlimGen می باشد. اما در مورد دما عملکرد ClimGen بهتر از Lars-WG می باشد.

اما هدف از انجام این تحقیق، واسنجی تغییرات مولفه بارش موثر در بستر گرمایش جهانی، بعنوان یکی از پراسنجهای مهم و تاثیرگذار در عرصه کشاورزی می باشد. نکاتی که در این زمینه بنظر می رسد این است که آیا بارش قابل دسترس برای رشد محصول کافی است و خوب توزیع می گردد؟ اگر مقدار آن کافی

شرایط اقلیم هر منطقه در آینده نیازمند است. یکی از متداول ترین روشها برای ارزیابی اقلیم آینده استفاده از مدل های گردش عمومی جو می باشد. گروهی از این مدلها اطلاعات مفیدی درباره پاسخ جو به افزایش غلظت گازهای گلخانه ای فراهم می کنند. با توجه به وضوح مکانی پایین یا کم مدل های گردش عمومی جو و نیاز به سخت افزارهای قوی و زمان بر بودن ریزمقیاس نمایی دینامیکی، مدل های آماری تولید کننده آب و هوا ابداع شدند. این مدلها با استفاده از خروجی مدل های GCM و بکارگیری سناریوی خاص مدل تولید کننده داده های آب و هوایی، داده های گردش عمومی در مقیاس درشت را به مقیاس های ریزتر تبدیل می کنند (سمینوف^۱ و بارو^۲، ۲۰۰۲). مهمترین نقطه قوت این مدلها ارزان بودن، سرعت بالا و امکان استفاده از آنها بدون نیاز به ابر رایانه ها و یا رایانه های بسیار سریع می باشد. از جمله این مدل های آماری می توان به Lars-WG اشاره کرد. نسخه اولیه این مدل توسط راسکو و همکاران در سال ۱۹۹۱ در بوداپست مجارستان به عنوان بخشی از پروژه ریسکهای کشاورزی ابداع شد و سپس در سالهای بعد توسط سمینوف و بارو ارتقاء یافت. همچنین این دو نفر کارایی دو مدل Lars-WG و WGEN را در ۱۸ ایستگاه آمریکا، اروپا و آسیا بررسی کردند و نتیجه گرفتند مدل لارس در مقایسه با WGEN نتایج بهتری را تولید می کند (سمینوف و

^۱ - Semenov

^۲ - Barrow

مختلفی را در منطقه مورد سنجش قرار داده و نتیجه گرفتند که تشتک تبخیر علی رغم این که تابع داده‌های متعدد آب و هواشناسیست، در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل، خروجیهای مناسبی را ارائه نمی دهد. در پژوهشی که در سال ۱۳۷۴ توسط فرشی و همکارانش انجام شد، آنها نیاز آبی گیاهان را در محدوده جغرافیایی ایران، بر اساس مولفه‌های هواشناسی تاثیرگذار در تبخیر و تعرق پتانسیل و فرمولهای تجربی، در قالب یک جدول تهیه و ارائه دادند.

عزیزی برای برآورد بارش موثر کشت گندم دیم در نواحی مطالعاتی دشت خرم آباد از روش، از روش SCS^۱ (سازمان حفاظت خاک آمریکا)، استفاده کرد. بر مبنای این روش، مقادیر بارش موثر بر اساس بارش، تبخیر و تعرق ماهانه و همچنین عمق ذخیره آب یل عمق آبیاری محاسبه و برآورد شده است. همچنین روشن و گرب^۲ (2012)، در شبیه سازی اثر گرمایش جهانی بر نیاز آبی گندم در ایران، برای محاسبه بارش موثر از روش SCS استفاده نمودند. بعد از محاسبه بارش موثر و برآورد مقدار تبخیر و تعرق، متوسط سالانه کمبود آب در ایران برای سال ۲۱۰۰، مقدار ۲۰۰۸ میلیمتر محاسبه شد که نسبت به ۱۹۸۰، با ۱۸۵۶ میلیمتر ۱۵۲ میلیمتر، افزایش را نشان می دهد. همچنین چیو^۳ و همکارانش (۲۰۰۹)، در مطالعه ای برای استرالیا، با استفاده از خروجیهای ۲۳ مدل گردش عمومی جو، میزان بارش موثر را محاسبه و از آن

نیست آیا می توان آن را به موقع از طریق آبیاری تکمیل کرد؟ اگر نه چه نوع کشاورزی باید انجام گیرد؟ نیازهای آبی گیاهان طی فصل رشد و نیز طی دوره‌های مختلف رشد و نمو چقدر است و همچنین این نیازها تا چه حد به وسیله بارش برآورده می شود؟ بهرحال خروجی این کار می تواند، الگویی برای گزینش و انتخاب محصولات خاص با توجه به نیاز آبی، زمان کاشت و انتخاب نوع کشت آبی یا دیم بر مبنای آب قابل دسترس در منطقه مطالعاتی مورد نظر باشد. بنابراین در این رابطه مطالعات مختلفی در داخل و خارج کشور انجام شده است که به تعدادی از آنها اشاره می شود:

در مطالعه ای جمالی و همکاران (1381) نیاز خالص آبیاری با توجه به محصول پنبه در استان خراسان را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها در کار خود از روش هارگریوز استفاده کرده و پس از برآورد نیاز آبیاری، منطقه را پهنه بندی نمودند. در پژوهشی روشن و همکاران (1390)، به ارزیابی و اصلاح مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه برای ایران پرداختند. نتایج کار آنها از واسنجی چهار روش تورنر و ایرت، بلانی شریدل، جنسن هیز و هارگریوز سامانی نشان داد که روش بلانی کریدل همخوانی بهتری با شرایط محیطی ایران دارد. علیزاده و همکاران (۱۳۷۶) در تحقیقی مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل را بوسیله لایسیمتر برآورد نمودند. آنها در کار خود بدلیل نقش اقتصادی محصول زعفران، محدوده مطالعاتی خود را استان خراسان انتخاب کردند. این پژوهشگران روشهای

1 - American Soil Conservation System

2 - Grab

3 - Chiew

فضای محدود امکان پذیر نیست. در ادامه در قسمت مواد و روشها به تعدادی از این روابط محاسباتی اشاره شده است (جدول ۱).

۲. مواد و روشها

روش این پژوهش از دو مرحله اساسی تشکیل شده است: ابتدا ریزگردانی داده‌های GCM تحت سناریوهای انتشار و گام دوم شامل کلاستر بندی مولفه بارش موثر روزانه بر مبنای دو دوره زمانی گذشته (1961-1990) و آینده (2021-2050) و مقایسه این دو دوره با یکدیگر می باشد.

۲.۱. معرفی و اعتبار سنجی مدل لارس

در این پژوهش خروجی مربوط به مدل گردش عمومی جو HADCM3 بر مبنای سناریوی بدبینانه A1 با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی Lars-WG نسخه ۵.۱۱ مورد استفاده قرار گرفته شد.

علی رغم اینکه مدل لارس توانایی شبیه سازی داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی روزانه را دارد، اما در این پژوهش فقط از داده‌های روزانه بارش استفاده گردیده است. مدل‌های تولید کننده وضع آب و هوا در دو مرحله متغییرهای هواشناسی را شبیه سازی می کنند. در مرحله اول رخداد بارندگی و شدت آن و در مرحله بعد سایر پارامترهای باقیمانده مانند دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش را شبیه سازی می کنند (جانسون^۶ و همکاران، ۱۹۹۶). در مدل لارس مدلسازی بارش و احتمال وقوع آن از روش توزیع نیمه تجربی و زنجیره

طریق، مقدار رواناب سطحی را برآورد نمودند. در همین راستا چارلس^۱ و همکارانش (۲۰۰۷) در کاری دیگر، با استفاده از مدل‌های GCM و سناریوی A2، مقادیر بارش آینده برای برخی حوضه‌های رودخانه ای در کشور استرالیا محاسبه نموده و در نهایت بیلان آبی را پیش بینی نمودند. اما در تحقیقی که توسط چاهون^۲ و دیگر محققین در اندازه گیری و برآورد بارش موثر انجام پذیرفت، آنها بارندگی موثر را درصدی از بارش دانسته که در منطقه ریشه گیاه ذخیره می شود. آنها در مطالعه خود برای محاسبه بارش موثر از روش USDA^۳ سازمان کشاورزی ایالات متحده استفاده نمودند و جهت تخمین نیاز آبی از مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و ضرایب رشد گیاهی استفاده کردند. در کاری دیگر که برای محدوده جغرافیایی حوضه کنیا انجام شد، لیتلوود^۴ مقادیر بارش موثر را با استفاده از روش SVAT محاسبه کرد. در این روش علاوه بر در نظر گرفتن مولفه‌های آب و هوایی به بافت خاک و پوشش گیاهی منطقه نیز باید توجه نمود (۲۰۰۳). در تعریفی که توسط هرشفیلد^۵ در سال ۱۹۶۴ ارائه شد، او مولفه بارش موثر را چنین تعریف می نماید که آب قابل دسترس، جوابگوی نیاز آبی محصول در دوره رشد باشد. بهرحال تحقیقات و مطالعات مختلفی در زمینه برآورد بارش موثر در مجامع علمی دنیا انجام پذیرفته که بیان آنها در این

1 - Charles

2 - Chahoon

3 - United States Department of Agriculture

4 - Littlewood

5 - Hershfield

6 - Johnson

همدان، سنندج و قزوین در محدوده شمالغرب ایران در یک دوره ۲۰ ساله ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸ استفاده شده است (شکل ۱). لازم به توضیح می باشد که با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهداتی) موجود در دوره ۱۹۸۰-۲۰۰۸ گردید (جدول ۱). در نهایت پس از اعتبار سنجی مدل لارس، با استفاده از این داده‌های پایه (۱۹۸۹-۲۰۰۸)، دوره آماری ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ شبیه سازی گردید. بهرحال جهت کسب اطلاعات و توضیحات بیشتر در مورد مدل لارس می توان به منابع زیر مراجعه نمود:

(سیمینوف و بارو، ۱۹۹۷؛ سیمینوف و همکاران، ۱۹۹۸؛ جانسون و همکاران، ۱۹۹۶؛ بابائیان و کوآن^۱، ۲۰۰۵؛ لاولس^۲ و سیمینوف، ۲۰۰۵؛ سجادخان و همکاران، ۲۰۰۲؛ کاین و همکاران، ۲۰۰۴؛ سیمینوف، ۲۰۰۷؛ ضرقامی و همکاران، ۲۰۱۱؛ یویی پینگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۲).

بعد از اعتبار سنجی داده‌های لارس که در بالا فرایند آن توضیح داده شده، بخشی از تحقیق مورد نظر به ارزیابی و مقایسه تغییرات مولفه بارش برای دو دوره گذشته (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) توجه نموده است (شکل ۳ و ۴).

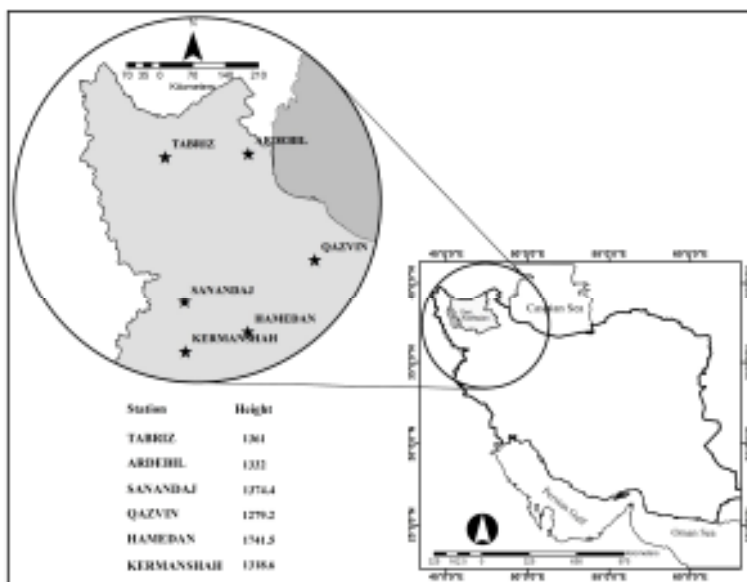
مارکف و مدلسازی تابش بر اساس توزیع نیمه تجربی و مدلسازی دما با استفاده از سری فوریه انجام می شود (سیمینوف و بارو، ۲۰۰۲؛ سیمینوف، ۲۰۰۷). برای تولید داده توسط مدل لارس ابتدا باید مشخصات هر ایستگاه شامل نام، موقعیت مکانی و ارتفاع از سطح دریا و همچنین فایل داده‌های هواشناسی روزانه در دوره مشاهداتی به عنوان ورودی به مدل داده شود، سپس توسط مدل لارس این داده‌ها آنالیز گردد که حاصل آن یک فایل متنی خلاصه شده شامل خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی بصورت میانگین‌های ماهانه و فصلی برای کل دوره تحت بررسی می باشد. سپس مدل با توجه به روند موجود در سری زمانی داده‌های مشاهداتی اقدام به باز تولید داده‌های ایستگاه‌ها در همین دوره کرده و در نهایت با استفاده از آزمون‌های آماری و رسم نمودار، میانگین‌های ماهانه داده‌های شبیه سازی شده با داده‌های مشاهداتی مقایسه شده است تا توانایی مدل در شبیه سازی داده‌های هواشناسی در این ایستگاه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. پس از ارزیابی توانمندی مدل در هر ایستگاه، جهت تولید داده برای دوره‌های آینده لازم است فایل سناریوی تغییر اقلیم، با توجه به خروجی مدل‌های گردش عمومی جو برای محل مورد مطالعه تدوین و برای مدل تعریف گردید (سیمینوف و بارو، ۲۰۰۲).

در این مقاله جهت ارزیابی مدل لارس در بازتولید داده‌های هواشناسی، از داده‌های شش ایستگاه هواشناسی و اقلیم شناسی تبریز، اردبیل، کرمانشاه،

1 - Kwon

2 - Lawless

3 - Yue-Ping Xu



نقشه ۱- پراکندگی ایستگاههای مطالعاتی در نواحی شمالغرب ایران

بوده و شاخص‌ها و روش‌های متفاوتی جهت اندازه‌گیری و برآورد آن پیشنهاد شده است. بنابراین در این راستا معادلات مختلفی ارائه شده است که بطور مختصر چند مورد آنها معرفی گردیده اند (جدول ۱).

۲.۲. روشهای مختلف محاسباتی پراسنج بارش موثر رطوبت خاک و آب قابل دسترس به عنوان یکی از مهمترین متغیرها به دلیل نقش عمده‌ی آن در رشد و میزان تولید محصولات کشاورزی همواره مورد توجه

جدول ۱- برخی روشهای مورد استفاده برای محاسبه بارش موثر (مجرد و همکاران، ۱۳۸۴).

رابطه	روش	ردیف
$ER = ERG + A$ <p>ER= بارش موثر E= تابعی از نسبت آب مصرفی گیاه (CU) به باران در طی فصل رشد RG= باران فصل رشد یا دوره رشد A= متوسط عمق آبیاری</p>	معادله رنفرو	۱
$ER = [1.25(P)^{0.826} - 2.935] \times 10^{[0.000555(ETC)]}$ <p>ETC= نیاز آب مصرفی گیاه بر حسب میلیمتر P= بارش هر ماه بر حسب میلیمتر</p>	روش SCS	۲
$(P < 70mm) \quad PEFF = PTOT(125 - 0.2) \times PTOT$ $(P > 70mm) \quad PEFF = 125 + 0.1PTOT$ <p>PEFF=بارش هر ماه بر حسب میلیمتر PTOT= بارش موثر هر ماه بر حسب میلیمتر</p>	روش USDA	۳
<p>۸۰٪ از بارش را به عنوان موثر در نظر می‌گیرند.</p>	روش درصدی	۴
$(P < 50mm) \quad - (5) - \text{مجموع بارندگی} \times 0.5 - \text{جمع بارندگی}$ $(P > 50mm) \quad - (15) - \text{مجموع بارندگی} \times 0.7 - \text{جمع بارندگی}$	فرمول تجربی	۵
$(PT < 70mm) \quad PE = 0.6(PT) - 10$ $(P > 70mm) \quad PE = 0.8(PT) - 2.4$ <p>PE= بارش موثر هر ماه به میلیمتر PT= بارش کل هر ماه به میلیمتر</p>	روش بارش قابل اطمینان	۶

گردید. اما نحوه آماده سازی این داده‌ها بدین صورت می باشد که، پایگاهی از داده‌های بارش موثر روزانه ی ۶ ایستگاه مورد نظر، از 1961/01/01 تا ۱۹۹۰/۱۲/۳۱ گردآوری شد. این کار برای داده‌های روزانه و شبیه سازی شده ۲۰۲۱/01/01 تا ۲۰۵۰/۱۲/۳۱ نیز انجام پذیرفت. لازم به یادآوریست که قبل از استفاده از داده‌های شبیه سازی شده بوسیله مدل لارس، اعتبار سنجی این داده‌ها با داده‌های واقعی برای دوره زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸ انجام پذیرفته است (جدول ۲).

• سپس این داده‌ها به کمک نرم افزار Matlab و در ماتریسی با آرایش P (تعداد روزها بر روی سطرها و متغیر بارش روی ستون‌ها)، مورد پردازش، تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. لازم به ذکر می باشد که این فرایند برای هر ایستگاه جداگانه انجام پذیرفت.

• در مرحله بعد، بر اساس فواصل اقلیدسی میان الگوهای بارش، به کمک روش ادغام « Ward »، فرایند تحلیل خوشه ای انجام گرفت. اما بدلیل فضای کم مقاله از آوردن دارنمای خوشه بندی بارش ایستگاهها اجتناب گردید. از آنجایی که هدف این پژوهش مقایسه بارش در دو دوره گذشته و آینده می باشد بنابراین با استفاده از این تحلیل برای هر دوره در ۵ خوشه با بیشترین تجانس درونی بارشهای موثر انتخاب گردیدند. بطوریکه بارشهای موثر خیلی خفیف و کم شدت در (خوشه ۵)، بارشهای موثر خفیف و تقریبا کم شدت در (خوشه ۴)، بارشهای موثر سبک با شدت متوسط در (خوشه ۳)، بارشهای موثر سنگین و شدید در

اما از آنجا که مقصود این مقاله ارزیابی روش مناسب محاسبه بارش موثر نمی باشد، همچنین با رویکردی که تنها مولفه آب و هوایی در دسترس برای محاسبه بارش موثر در این پژوهش، پارامتر بارش است، بنابراین از روش سازمان احیای اراضی آمریکا (USBR^۱) استفاده شده است. اما تصمیم بر آن است که در کارهای بعدی، با دسترسی به داده‌ها و مولفه‌های آب و هوای بیشتر، فقط بروی ارزیابی روش مناسب بارش موثر در نواحی شمالغرب تمرکز شود. پس با توجه به روش USBR، مقادیر بارش موثر برای ۶ ایستگاه مورد نظر از روابط ۱ و ۲ استفاده گردید:

$$P_{tot} \leq 250 \quad P_{eff} = P_{tot} (125 - 0.2 P_{tot}) / 125$$

رابطه (۱) mm

$$P_{tot} > 250 \text{ mm} \quad P_{eff} = 0.1 P_{tot} + 125$$

(۲)

، مجموع بارش می باشد (اسمیت^۲، ۱۹۸۸). P_{tot} برابر است با بارش موثر و منظور از مولفه P_{eff} بگونه ایکه ۲.۳ خوشه بندی مولفه بارش موثر بر اساس تجانس درونی داده‌ها

برای شناسایی خوشه‌های مختلف بارش موثر در ایستگاههای مورد مطالعه، فرایندهای زیر دنبال گردید:

• در مرحله اول بعد از شبیه سازی مولفه بارش روزانه با استفاده از مدل گردش عمومی جو و ریزگردانی آن بوسیله مدل لارس، در ادامه با استفاده از روش USBR، بارش موثر روزانه برای دو دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و آینده (۲۰۱۱-۲۰۴۰) محاسبه

بوسیله مدل شبیه سازی و با داده‌های تجربی مورد مقایسه قرار گرفت. زیرا گمانه زنیهای توانمندی مدل مولد پراسنج‌های اقلیمی، در ارزیابی اثر گرمایش جهانی تاثیر مستقیم خواهد داشت. خروجی مربوط به این اعتبار سنجی در جدول ۱ ارائه گردیده است.

علی‌رغم اینکه مقادیر بارش نسبت به دیگر مولفه‌های آب و هوایی از ضریب تغییرات بالا برخوردار است، ولی استفاده از این مدل برای محاسبه و شبیه سازی مقادیر بارش در اقلیم آینده، از سطح اعتبار قابل قبولی برخوردار می‌باشد. بگونه‌ای که بترتیب ضریب (R^2) برای تمام ایستگاهها از آستانه 0.95 درصد بالاتر می‌باشد، اما این ضریب برای ایستگاه سنندج با حداقل $R^2=0.96$ تا بیشترین مقادیر معناداری برای ایستگاه همدان با $R^2=0.99$ درصد متغییر بوده، از طرف دیگر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) از حداقل خطا به میزان 1.88 برای اردبیل تا بیشترین آن با 4.32 برای سنندج و همچنین نوسان میانگین خطای مطلق (MAE) برای ایستگاههای مورد نظر از حداقل 1.45 مجدداً برای ایستگاه اردبیل تا حداکثر میزان خطا به میزان 3.40 برای سنندج محاسبه گردیده است (جدول ۲). اما با توجه به فضای کم مقاله، فقط اعتبار سنجی داده‌های بارش تبریز در قالب شکل (۲) آورده شده و از ارائه اشکال دیگر ایستگاهها پرهیز شده است.

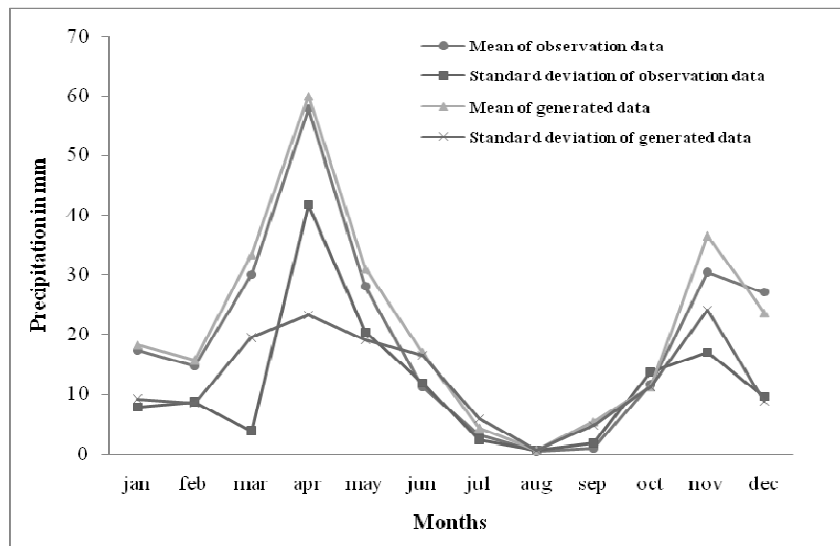
(خوشه ۲) و بارش‌های موثر بسیار سنگین و بسیار شدید در (خوشه ۱) قرار گرفتند.

• در ادامه برای هر خوشه ویژگی‌های آماری شامل شدت (میانگین، حداکثر، حداقل)، فراوانی و ضریب تغییرپذیری آنها در جدول شماره (۳) برای هر دو دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۵۰-۲۰۲۱ ارائه گردید. بطوریکه براین اساس امکان مقایسه ویژگیهای هر خوشه بارش برای این دو دوره فراهم می‌گردد. همچنین درصد فراوانی بارش در دو دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده برای هر ۵ خوشه به صورت ماهانه ارائه گردید.

• در قسمتی دیگر از این پژوهش، جهت مقایسه فراوانی روزهای بارش با شدت‌های مختلف در دو دوره زمانی گذشته و آینده این مولفه‌ها در قالب ۲ محور x , y که به صورت لوگ در لوگ نشان داده شده اند مورد ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۵). همچنین در ادامه، قسمتی از پژوهش به ارزیابی فراوانی ماهانه خوشه‌های مختلف بارش موثر، توجه نموده که این خروجی‌ها در شکل ۶ ارائه گردیده است (شکل ۶).

۳. یافته‌ها

۳.۱. مقایسه و اعتبار سنجی داده‌های شبیه سازی شده با داده‌های مشاهداتی
در ابتدا بمنظور ارزیابی توانمندی مدل، داده‌های تجربی (1989-2008) ایستگاههای مورد مطالعه به صورت روزانه همراه با سناریوی A1 به عنوان ورودی به مدل LARS-WG معرفی گردید. سپس همین دوره



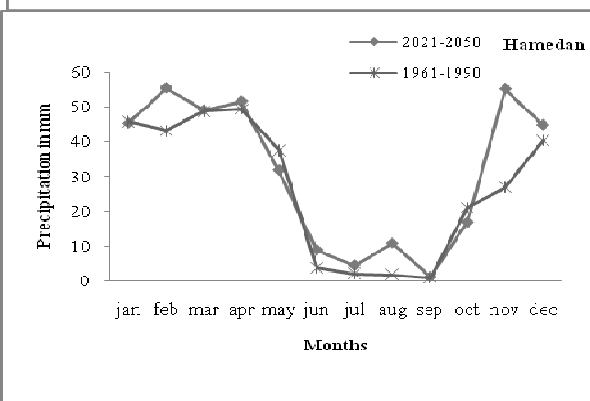
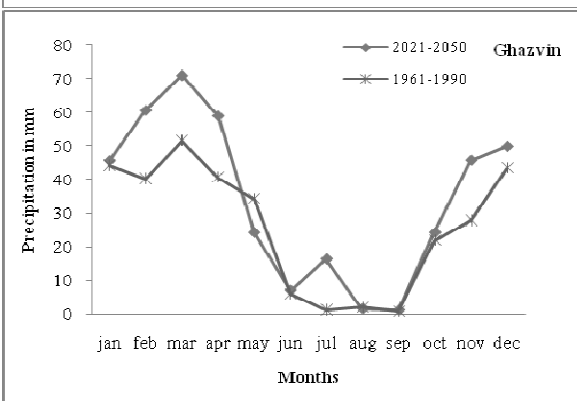
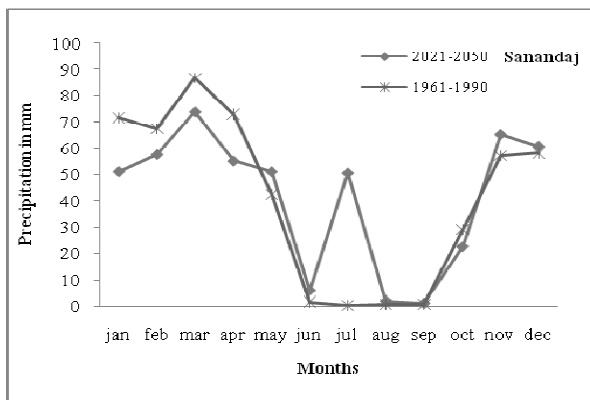
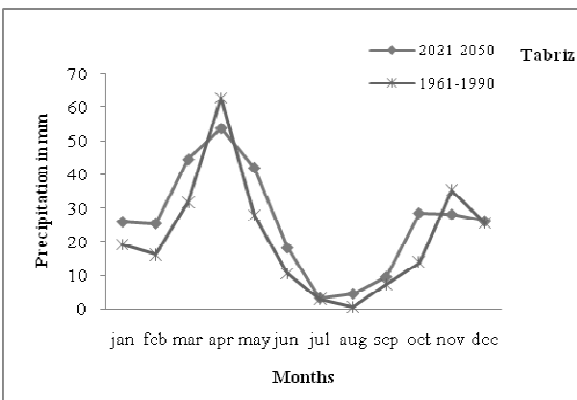
شکل ۲- اعتبار سنجی متوسط دمای ماهانه ایستگاه تبریز با استفاده از مدل لارس برای دوره زمانی 1989-2008

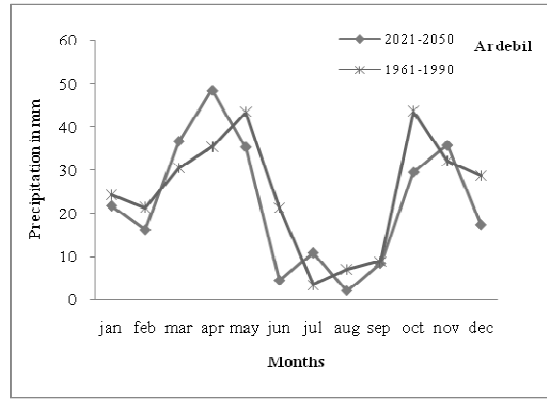
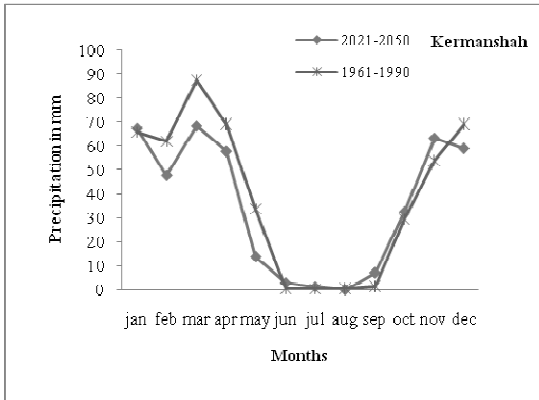
جدول ۲- اعتبار سنجی آماری داده‌های تولید شده بارش با استفاده از مدل Lars-WG برای دوره مطالعاتی 1980-2008

ایستگاهها	ارزشهای آماری	مقادیر بارش
	R^2	۹۷۴۲۰.
تبریز	RSME	۴.۲۷۵۹
	MAE	۸۴۴۲.۲
	R^2	۹۸۲۸۰.
کرمانشاه	RSME	۰.۶۳۹.۳
	MAE	۴۲۵۸.۲
	R^2	۹۷۱۹۰.
قزوین	RSME	۶۸۷۹.۲
	MAE	۱۸۱۷.۲
	R^2	۹۸۶۷۰.
اردبیل	RSME	۸۸۴۹.۱
	MAE	۴۵۶۷.۱
	R^2	۹۶۸۲۰.
سنندج	RSME	۳۲۹۹.۴
	MAE	۴۰۴۲.۳
	R^2	۹۹۴۴۰.
همدان	RSME	۳۹۷۶.۳
	MAE	۷۷۸۳.۲

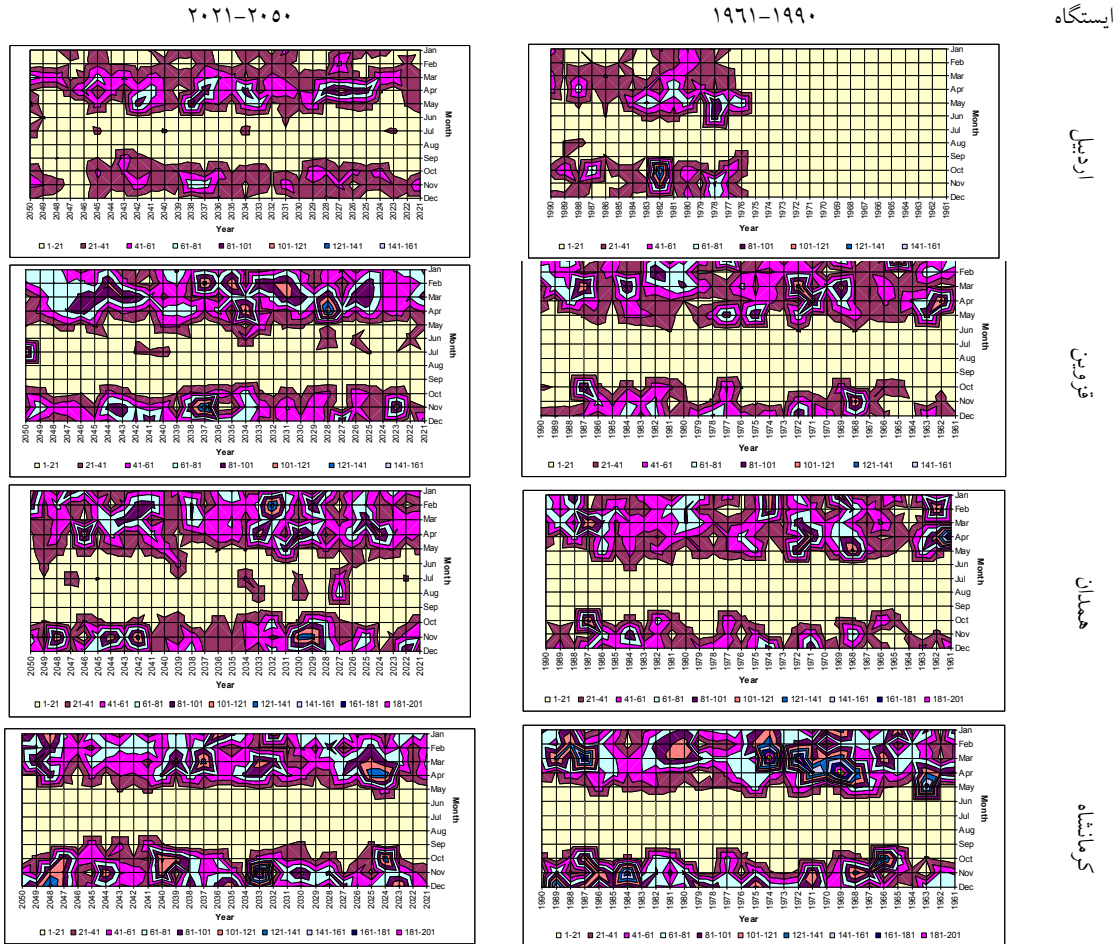
دارد، وجود افزایش بارش برای دوره‌های سرد بالاخص زمستان و پاییز می باشد. از طرف دیگر ایستگاههای کرمانشاه با -51.39 میلیمتر (-1961 میلیمتر $=473.42$ mm) و اردبیل با -33.77 میلیمتر نسبت به سال پایه ($1961-1990=299.73$ mm) کاهش مقادیر بارش برای دهه‌های آینده نشان می دهند(شکل ۳). پس آنچه بعنوان نتیجه کلی این تغییرات می توان بیان کرد، افزایش 20.62 میلیمتری بارش سالانه برای میانگین دراز مدت دوره شبیه سازی شده 2021-2050 نسبت به دوره پایه -1961 میلیمتر در ناحیه شمالغرب ایران می باشد. اما با افزایش یا کاهش تعداد ایستگاههای مورد مطالعاتی، می تواند این مقدار تغییر نماید.

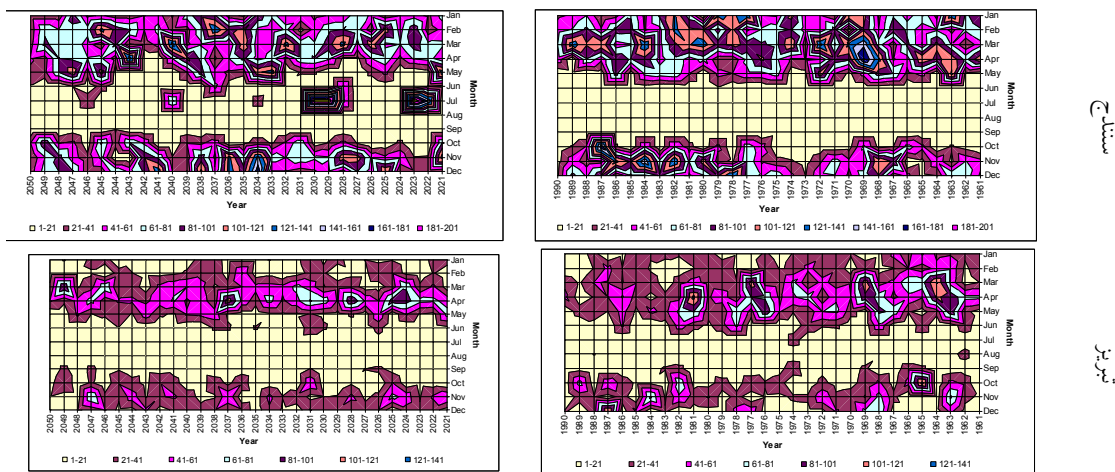
۳.۲. شبیه سازی تاثیر تغییر اقلیم بر مقادیر بارش دهه‌های آینده
با مقایسه میانگین درازمدت سالهای پایه ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ با میانگین شبیه سازی شده ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰، مشخص می شود که ایستگاههای تبریز با 55.65 میلیمتر افزایش بارش نسبت به سال پایه (-1961 میلیمتر $=259.79$ mm)، قزوین با 92.65 میلیمتر افزایش ($1961-1990=313.57$ mm)، همدان با 53.65 میلیمتر افزایش (-1961 میلیمتر $=321.45$ mm) و سنندج با 6.95 میلیمتر نسبت به سال پایه که عدد 490.55 میلیمتر می باشد، مقادیر افزایشی بارش برای دهه‌های آینده را نشان می دهند. اگرچه تفاوت‌های زمانی برای رخداد افزایش بارش در این ایستگاهها دیده می شود، اما آنچه نمود بیشتری





شکل ۳- مقایسه مقادیر بارش شبیه سازی شده با داده‌های مشاهداتی برای ایستگاههای شمالغرب ایران





شکل ۴- مقایسه مقادیر بارش شبیه سازی شده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) با داده‌های مشاهداتی (۱۹۶۱-۱۹۹۰) بر اساس تغییرات

زمانی ماهانه و سالانه

دهنده کاهش این طیف در آینده هستند. زیرا تنها دو ماه جولای و آگوست تماماً در این محدوده ۱ تا ۲۱ میلیمتر قرار دارند و ماههای دیگر به ندرت در این طیف قرار می‌گیرند (شکل ۴). در ایستگاه همدان نیز همانند قزوین، طیف گسترش محدوده ۱ تا ۲۱ میلیمتر برای بیشتر ماههای گرم سال مشاهده می‌شود ولی نتایج شبیه سازی شده کاهش این محدوده را نشان می‌دهند. بگونه‌ای که در بعضی از سالها دیده می‌شود ماههای تابستان وارد آستانه‌های ۲۱ تا ۸۱ میلیمتر شده‌اند. البته این تغییرات برای دوره‌های ابتدایی شبیه سازی شده مشهودتر است. در کرمانشاه تفاوت ناچیزی در مقایسه محدوده ۱ تا ۲۱ میلیمتر برای دو دوره ملاحظه نمی‌شود. در این ایستگاه بیشترین ضریب تغییرات بارش دوره مشاهداتی برای دسامبر و ژانویه دیده می‌شود اما داده‌های شبیه سازی شده بیشترین ضریب تغییرات بارش را برای فوریه و سپس ژانویه نشان می‌دهند. اما علی‌رغم آنکه آستانه‌های بارش ۱ تا ۲۱ میلیمتر برای سندج در

بهرحال آنچه از شکل ۴ مشاهده می‌گردد، بیانگر تغییرات سالانه و ماهانه بارش ایستگاهها در مقایسه بین دو دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ با دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ می‌باشد. ابتدا برای این مقایسه، ایستگاه اردبیل مورد واکاوی قرار گرفته است اما بدلیل کوتاهی دوره مشاهداتی (۱۹۷۶-۱۹۹۰) این ایستگاه، نمودار آن کمی متفاوت از دیگر ایستگاهها ترسیم شده است. در ایستگاه اردبیل برای هر دو دوره مطالعاتی، محدوده بارشهای دوره گرم سال را مقدار ۱ تا ۲۱ میلیمتر تشکیل می‌دهند. اما بنظر می‌رسد که فراوانی محدوده این باند از سال ۲۰۴۶ تا آخر دوره شبیه سازی شده گسترش یافته و ماههای بیشتری را شامل گردد. اما این محدوده برای دیگر ایستگاههای مورد مطالعه نیز مربوط به دوره گرم سال است. علی‌رغم این، مشاهده می‌شود که در ایستگاه قزوین برای دوره مشاهداتی، کل دوره ماههای ژوئن، جولای، آگوست و در پاره‌ای موارد سپتامبر، می و اکتبر در این طیف بارش قرار دارند ولی داده‌های شبیه سازی شده نشان

ماهانه بارش‌های بیش از ۶۰ میلیمتر در ماه‌های فوریه تا ژوئن دیده می‌شود بطوریکه در دوره مشاهداتی بین سالهای ۱۹۶۲ تا ۱۹۷۲، ۱۹۷۵ تا ۱۹۷۹ و همچنین بین سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۲ اتفاق افتاده است و در آینده نیز تقریباً به صورت ضعیف‌تر تنها بین ماه‌های مارس تا می و در بعضی سالها در نوامبر اتفاق خواهد افتاد. در ایستگاه سنندج در طی ماه‌های ژانویه تا ژوئن و همچنین سپتامبر تا دسامبر و در تمامی سالها اتفاق افتاده و خواهد افتاد اما در آینده نسبتاً فراوانی آن کمتر خواهد شد. در ایستگاه کرمانشاه تقریباً در تمامی سالها بارش‌های بیش از ۶۰ میلیمتر مشاهده شده و خواهد شد ولی از نظر ماه‌ها در دوره گذشته در ژانویه تا ژوئن و همچنین سپتامبر تا دسامبر بوده است در حالیکه در آینده دوره ماهانه به ژانویه تا می و همچنین اگوست تا دسامبر تغییر خواهد نمود(شکل ۴).

همچنین از میان ایستگاههای مورد مطالعه برای دوره‌های سرد سال، این ایستگاههای قزوین و همدان می‌باشند که بیشترین تنوع آستانه‌های بارش را برای دهه‌های آینده نشان می‌دهند. حال آنکه تغییرات آستانه‌های بارش در دوره سرد سال، برای ایستگاه سنندج کمترین تنوع و تغییرات را نمایش می‌دهد(شکل ۴).

۳.۳. خوشه بندی بارش برای دوره پایه 1961-1990 و شبیه سازی شده 2021-2050

برای تفسیر این بخش، ابتدا تغییر محدوده حداکثر و حداقل مقدار بارش موثر رخ داده برای هر خوشه مشخص گردیده است. اما از آنجا که این حداکثر و حداقل نمی‌توانند نماینده میانگین داده‌ها برای هر خوشه باشند، لذا میانگین شدت هر خوشه برای

دهه‌های آینده نسبت به دوره گذشته کمی محدودتر شده است، ولی در تبریز این محدوده طیف بارش بدون ماههای بیشتری از سال نفوذ یافته است که گویای تمرکز و گسترش رژیم بارشهای خفیف و سبک در آینده تبریز می‌باشد (شکل ۴).

به منظور درک بهتر تغییرات بارش برای مقادیر بالاتر، در تمامی ایستگاه‌ها بارش‌های بیش از ۶۰ میلیمتر در دو دوره مطالعاتی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که در ایستگاه اردبیل در دوره مشاهداتی معمولاً بین ماه‌های آوریل تا جولای و همچنین سپتامبر تا دسامبر بین سالهای ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۳ اتفاق افتاده است و انتظار می‌رود که در آینده بین ماه‌های مارس تا ژوئن و در سالهای ۲۰۲۴ تا ۲۰۲۵، ۲۰۳۲ تا ۲۰۳۵، ۲۰۳۶ تا ۲۰۳۹ و ۲۰۴۰ تا ۲۰۴۲ اتفاق بیافتد. در ایستگاه همدان نیز در تمامی ماه‌های ژانویه تا ژوئن و همچنین سپتامبر تا دسامبر در هر دو دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده این بارش‌ها دیده می‌شود، اما در دوره مشاهداتی بیشترین آنها مربوط به سالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۴، ۱۹۶۷ تا ۱۹۷۳، ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۲ و ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۰ بوده است در حالیکه انتظار می‌رود در آینده در سالهای بین ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۶، ۲۰۲۸ تا ۲۰۳۴ و همچنین ۲۰۴۰ تا ۲۰۴۷ اتفاق خواهد افتاد. در ایستگاه قزوین بارش‌های بیش از ۶۰ میلیمتر در ماه‌های مشابه ایستگاه همدان اتفاق می‌افتد با این تفاوت که فراوانی آن نسبتاً بیشتر است و در دوره مشاهداتی به صورت پراکنده در سالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۴، ۱۹۶۸ تا ۱۹۷۳، ۱۹۷۵ تا ۱۹۷۶، ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۵ و همچنین ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۰ اتفاق افتاده بود و در آینده نیز در بین سالهای ۲۰۲۶ تا ۲۰۵۰ در هر سال تقریباً مورد انتظار است. در ایستگاه تبریز پراکنش

دوره‌های مشاهداتی ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و دوره شبیه سازی شده، محاسبه گردیده است. از طرف دیگر شناخت از فراوانی رخداد بارشهای موثر برای هر خوشه، امری مفید بوده که از طریق آن می توان نتایج جالبی را استخراج نمود.

ایستگاه اردبیل: برای تفسیر، ابتدا ایستگاه اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نگاه کلی از تغییرات آستانه‌های حداقل تا حداکثر بارش موثر برای دوره مشاهداتی و برای ۵ خوشه نشان می دهد که حداقل مقدار بارش موثر با ۰.۱۰ میلیمتر در خوشه ۵ و حداکثر مقدار بارش موثر با ۵۰.۱۶ میلیمتر در خوشه ۱ رخ داده است. اما این آستانه برای دوره شبیه سازی شده از ۰.۱۰ میلیمتر تا ۲۱.۹۷ میلیمتر تغییر کرده که نشان دهنده کاهش مقدار شدت بارش موثر برای داده‌های شبیه سازی شده می باشد. از طرف دیگر میانگین شدت بارش موثر بترتیب برای دوره‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده از ۲۵.۳ میلیمتر به ۱۷.۷۴ میلیمتر در خوشه ۱ کاهش یافته و حداقل میانگین شدت بارش موثر از ۰.۶۴ میلیمتر به ۰.۹۹ میلیمتر در خوشه شماره ۵ افزایش داشته است. نکته جالب توجه آنکه، اگر چه از شدت بارش موثر برای دوره‌های شبیه سازی شده کاسته شده است، اما بر فراوانی تعداد روزهای بارش افزوده گردیده (جدول ۳). بگونه ای که مجموع رخداد تعداد روزهای بارش در دوره شبیه سازی شده ۲۷۰۲ روز بوده ولی این مقدار برای داده‌های مشاهداتی ۱۲۳۲ روز است. در شکل ۵ مقادیر رخداد و شدت بارش موثر بدون در نظر گرفتن خوشه‌های مختلف و برای دو دوره گذشته و آینده آورده شده است. از طرف دیگر نتایج نشان می دهند که بیشترین ضریب تغییرات بارش موثر، چه

برای دوره مشاهداتی ($CV=60.03$) و چه دوره شبیه سازی ($CV=84.1$) شده در خوشه شماره ۵ دیده می شود، ولی در مجموع ضریب تغییرات بارش موثر برای دوره شبیه سازی شده کمتر از دوره مشاهداتی محاسبه گردیده است (جدول ۳). بررسی درصد فراوانی بارش موثر به صورت ماهانه در خوشه‌های پنجگانه برای دو دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده نشان می دهد که در ماه ژانویه (خوشه‌های ۴ و ۵)، فوریه (۱ و ۵)، مارس (۱ و ۲ و ۵)، آوریل (۱ و ۲ و ۳ و ۵)، می (۱)، ژوئیه (۳ و ۴)، اگوست (۵)، سپتامبر (۳)، اکتبر (۵)، نوامبر (۱ و ۴ و ۵) و دسامبر (۵) نسبت به دوره مشاهداتی درصد مقدار بارش موثر افزایش پیدا خواهد کرد. بطور کلی خوشه‌های اول و پنجم در دوره‌های شبیه سازی شده بیشترین افزایش را خواهند داشت (شکل ۶).

ایستگاه قزوین: در ایستگاه قزوین، حداکثر آستانه بارش موثر در خوشه شماره ۱ از ۴۳.۴۷ میلیمتر تا حداقل آستانه برای خوشه ۵ به میزان ۰.۱۰ میلیمتر نوسان داشته است. اما خروجی‌ها برای داده‌های شبیه سازی شده نشان می دهند که علی رغم ثبات حداقل آستانه بارش موثر به میزان ۰.۱۰ میلیمتر در خوشه ۵، اما آستانه حداکثر بارش موثر در خوشه ۱ با مقدار ۴۵.۲۴ میلیمتر، در حدود ۱.۷۷ میلیمتر فزونی یافته است. بنابراین انتظار می رود که میانگین شدت بارش موثر در بیشترین مقدار خود، از ۲۵.۳۰ میلیمتر به ۳۱.۹۲ میلیمتر برای دوره شبیه سازی شده ارتقاء یابد (جدول ۳). نکته قابل تامل دیگر اینکه، بر فراوانی تعداد روزهای بارش بطور منظم از خوشه ۱ به خوشه ۵ اضافه می شود. این ویژگی برای دوره‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده یکسان است. بنابراین

ایستگاه اردبیل: برای تفسیر، ابتدا ایستگاه اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نگاه کلی از تغییرات آستانه‌های حداقل تا حداکثر بارش موثر برای دوره مشاهداتی و برای ۵ خوشه نشان می دهد که حداقل مقدار بارش موثر با ۰.۱۰ میلیمتر در خوشه ۵ و حداکثر مقدار بارش موثر با ۵۰.۱۶ میلیمتر در خوشه ۱ رخ داده است. اما این آستانه برای دوره شبیه سازی شده از ۰.۱۰ میلیمتر تا ۲۱.۹۷ میلیمتر تغییر کرده که نشان دهنده کاهش مقدار شدت بارش موثر برای داده‌های شبیه سازی شده می باشد. از طرف دیگر میانگین شدت بارش موثر بترتیب برای دوره‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده از ۲۵.۳ میلیمتر به ۱۷.۷۴ میلیمتر در خوشه ۱ کاهش یافته و حداقل میانگین شدت بارش موثر از ۰.۶۴ میلیمتر به ۰.۹۹ میلیمتر در خوشه شماره ۵ افزایش داشته است. نکته جالب توجه آنکه، اگر چه از شدت بارش موثر برای دوره‌های شبیه سازی شده کاسته شده است، اما بر فراوانی تعداد روزهای بارش افزوده گردیده (جدول ۳). بگونه ای که مجموع رخداد تعداد روزهای بارش در دوره شبیه سازی شده ۲۷۰۲ روز بوده ولی این مقدار برای داده‌های مشاهداتی ۱۲۳۲ روز است. در شکل ۵ مقادیر رخداد و شدت بارش موثر بدون در نظر گرفتن خوشه‌های مختلف و برای دو دوره گذشته و آینده آورده شده است. از طرف دیگر نتایج نشان می دهند که بیشترین ضریب تغییرات بارش موثر، چه

مشاهداتی خوشه شماره ۱، عدد ۳۸.۴۸ میلیمتر است. از طرف دیگر حداقل آستانه بارش موثر برای خوشه شماره ۵ و برای هر دو دوره مطالعاتی عدد ۰.۱۰ میلیمتر است (جدول ۳). بررسی‌های بعدی برای میانگین شدت بارش موثر آشکار می‌سازند که حداقل میانگین بارش موثر از ۰.۶۶ میلیمتر در داده‌های مشاهداتی به ۱.۱۲ میلیمتر در داده‌های شبیه سازی شده و حداکثر میانگین با ۲۷.۵۳ میلیمتر در داده‌های مشاهداتی به ۳۴.۹۲ میلیمتر در داده‌های شبیه سازی شده فرونی یافته است. نکته قابل تامل دیگر، کاهش فراوانی روزهای بارش موثر برای خوشه‌های ۱ تا ۴ برای داده‌های شبیه سازی شده می‌باشد (جدول ۳). از طرف دیگر، محاسبات نشان می‌دهند که حداکثر رخداد بارشهای موثر ایستگاه همدان مربوط به رژیم بارشهای خیلی موثر خفیف و کم شدت است. بطوری که با تشدید تغییر اقلیم، بر فراوانی این نوع رژیم بارش افزوده خواهد شد (شکل ۶ و ۵). بطور کلی شکل ۴ برای ایستگاه همدان نشان می‌دهد که بدون در نظر گرفتن خوشه‌های مختلف، با وقوع تغییر اقلیم برای دهه‌های آینده بر تعداد روزهای رخداد و شدت بارش داده‌های شبیه سازی شده افزوده خواهد شد (شکل ۵). از خروجیهای دیگر برای این ایستگاه، می‌توان به افزایش مقادیر ضریب تغییرات بارش موثر با مقادیر ۱۴.۵۹ درصد و ۷۹.۳۳ درصد بترتیب برای خوشه‌های ۲ و ۵ اشاره نمود. اما در کل ضریب تغییرات بارش موثر برای دهه‌های آینده، مقادیر کاهشی را نشان می‌دهد (جدول ۲). در ادامه نتایج حاصل از مقایسه درصد فراوانی بارش موثر در دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده در ماه‌های مختلف حاکی از آن است که در ماه ژانویه (خوشه ۱)، فوریه

فراوانی رخداد بارشهای خیلی خفیف و کم شدت از خصوصیات بارز این ایستگاه می‌باشد (شکل ۶ و ۵). نکته قابل تامل دیگر اینکه، بغیر از کاهش فراوانی روزهای بارش در خوشه شماره ۳، مابقی خوشه‌ها برای دوره شبیه سازی شده، افزایش فراوانی روزهای بارش را نشان می‌دهند (جدول ۳). اما شکل ۵ نشان می‌دهد که بدون در نظر گرفتن خوشه‌های مختلف، بطور کلی بر تعداد روزهای رخداد بارش و شدت بارش موثر برای داده‌های شبیه سازی شده افزوده خواهد شد (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهند که ضریب تغییرات بارش موثر برای داده‌های مشاهداتی خوشه‌های ۱، ۳ و ۴ بیشتر از داده‌های شبیه سازی شده بوده و در دو خوشه ۲ و ۵ کمتر از داده‌های شبیه سازی شده است (جدول ۳). بررسی درصد فراوانی بارش موثر به صورت ماهانه در خوشه‌های پنجگانه برای دو دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده نشان می‌دهد که در ماه ژانویه (خوشه‌های ۲ و ۵)، فوریه (۱ و ۲ و ۴ و ۵)، مارس (۲ و ۴ و ۵)، آوریل (۲ و ۴)، ژوئن (۳ و ۵)، ژولای (۳ و ۴)، سپتامبر (۴ و ۵)، اکتبر (۲ و ۴)، نوامبر (تمامی خوشه) و دسامبر (۵) نسبت به دوره مشاهداتی درصد بارش موثر افزایش پیدا خواهد کرد. بطور کلی خوشه‌های دوم، چهارم و پنجم در دوره‌های شبیه سازی شده بیشترین افزایش را خواهند داشت (شکل ۶).

ایستگاه همدان: در ایستگاه همدان شرایط بگونه‌ای دیگر تغییر یافته است. در این ایستگاه خروجی‌ها نشان می‌دهند که با توجه به مدل تغییر اقلیم مورد استفاده، حداکثر آستانه مقادیر بارش موثر به مقدار ۴۸.۵۹ میلیمتر برای دوره شبیه سازی شده افزایش خواهند یافت. این مقدار برای داده‌های

(۵)، آوریل (۵)، می (۵)، ژوئن (۳ و ۵)، ژولای ۱) درصد بارش افزایش پیدا خواهند کرد. بطور کلی تنها خوشه پنجم در دوره‌های شبیه سازی شده بیشترین تمامی خوشه) و دسامبر (۵) نسبت به دوره مشاهداتی افزایش را خواهد داشت (شکل ۶).

جدول ۳- ویژگیهای آماری خوشه‌های مختلف بارش برای داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده

استانگاهها	شماره خوشه‌ها	محدوده کلاسترها									
		میانگین شدت		میانگین شدت		دوره شبیه سازی شده		دوره مشاهداتی			
		دهه‌های گذشته	دهه‌های آینده	مقادیر حداکثر	مقادیر حداقل	مقادیر حداکثر	مقادیر حداقل	دوره مشاهداتی	دوره شبیه سازی شده		
اردبیل	۱	12.06	28.13	75	25	17.74	25.30	15.31	21.97	20.11	50.16
	۲	10.28	16.59	99	63	13.06	14.20	11.19	15.12	11.29	19.36
	۳	12.28	25.79	190	200	9.19	6.97	7.61	11.10	4.76	10.81
	۴	17.61	28.14	429	366	4.98	2.90	3.08	7.51	1.79	4.57
	۵	84.1	60.03	1279	578	0.99	0.64	0.10	2.99	0.10	1.60
قزوین	۱	16.34	23.65	47	71	31.92	24.10	25.83	45.24	18.42	43.47
	۲	24.03	15.54	245	193	16.18	13.75	11.48	25.19	10.52	17.48
	۳	14.34	23.06	319	393	9.02	7.08	7.12	11.38	4.86	10.13
	۴	27.71	28.57	630	567	4.40	2.81	2.49	7.02	1.89	4.66
	۵	83.67	72.84	1172	1023	0.79	0.55	0.10	2.39	0.10	1.60
همدان	۱	18.66	19.19	32	45	34.92	27.53	28.02	48.59	21.23	38.48
	۲	14.59	14.22	99	132	20.75	15.99	16.54	27.02	12.73	20.29
	۳	22.23	23.76	321	408	10.94	8.10	7.61	16.44	5.35	12.35
	۴	24.06	33.83	611	758	4.97	3.10	3.08	7.51	1.89	5.26
	۵	79.33	60.82	1217	799	1.12	0.66	0.10	2.99	0.10	1.79
کرمانشاه	۱	26.61	30.63	76	42	34.47	37.32	25.74	75.68	30.36	89.34
	۲	12.68	16.72	128	139	20.32	22.01	16.54	25.47	17.48	29.46
	۳	22.83	13.77	280	211	10.70	14.05	7.31	16.35	11.58	16.82
	۴	21.6	22.92	345	559	5.68	7.34	4.37	7.21	4.76	11.29
	۵	57.64	73.34	1276	1244	1.50	1.72	0.10	4.27	0.10	4.57
سنتیج	۱	15	13.98	10	26	49.68	41.92	42.44	63.09	34.81	55.05
	۲	16.22	17.56	188	147	27.08	23.58	20.20	39.00	18.42	33.93
	۳	16.33	14.57	213	236	15.07	14.36	11.67	20.01	11.29	18.05
	۴	36.34	30.7	662	725	6.70	6.66	3.38	11.58	3.97	11.00
	۵	73.56	78.41	1075	1222	1.23	1.23	0.10	3.28	0.10	3.58
تبریز	۱	19.39	15.85	55	43	19.40	23.41	15.50	25.83	19.36	34.81
	۲	15.79	17.45	192	161	11.17	13.78	8.58	15.12	10.32	18.89
	۳	24.29	24.29	513	424	5.35	7.04	3.48	8.38	4.86	10.03
	۴	32.03	28.86	613	738	2.11	2.84	1.00	3.38	1.79	4.66
	۵	71.33	63.53	762	1089	0.35	0.64	0.10	0.90	0.10	1.60

پایین ترین ضریب تغییرات برای داده‌های شبیه سازی شده به مقدار ۱۲.۶۸ درصد در خوشه دوم است. اما بغیر از خوشه شماره سوم در داده‌های شبیه سازی شده که مقدار ضریب تغییرات آن ۲۲.۸۳ درصد و در داده‌های مشاهداتی ۱۳.۷۷ درصد می باشد، در مابقی خوشه‌های شبیه سازی شده، مقدار ضریب تغییرات نسبت به داده‌های مشاهداتی کاهش یافته است (جدول ۳). مقایسه درصد فراوانی بارش در دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده در ماه‌های مختلف حاکی از آن است که در ماه ژانویه (خوشه ۳ و ۵)، فوریه (۳ و ۵)، مارس (۳)، آوریل (۳)، ژوئن (۴ و ۵)، ژولای (۳ و ۵)، سپتامبر (۱ و ۲ و ۳ و ۵)، اکتبر (تمامی خوشه‌ها)، نوامبر (۱ و ۳ و ۵) و دسامبر (۱ و ۲ و ۳ و ۵) نسبت به دوره مشاهداتی درصد بارش موثر افزایش پیدا خواهند کرد. بطور کلی به غیر از خوشه چهارم در دوره‌های شبیه سازی شده سایر خوشه‌ها بیشترین افزایش را خواهند داشت (شکل ۶).

ایستگاه سنندج: در سنندج شرایط نیز تا حدودی شبیه کرمانشاه می باشد. این شباهت برای رخداد حداکثر آستانه بارش موثر برای داده‌های شبیه سازی شده می باشد. در مقایسه بین حداکثر آستانه بارش موثر برای داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده در خوشه شماره ۱ ملاحظه می گردد که به میزان ۸ میلیمتر بر حداکثر آستانه داده‌های شبیه سازی شده افزوده شده و این افزایش، آستانه داده‌های شبیه سازی شده را به 63.09 میلیمتر ارتقاء داده است. با ارزیابی میانگین شدت بارش موثر مشاهده می شود که تفاوت بسیار جزئی برای خوشه‌های ۳، ۴ و ۵ هر دو دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده وجود دارد. اما برای خوشه ۱ و ۲ اختلاف میانگین شدت بارشها بتدریب به

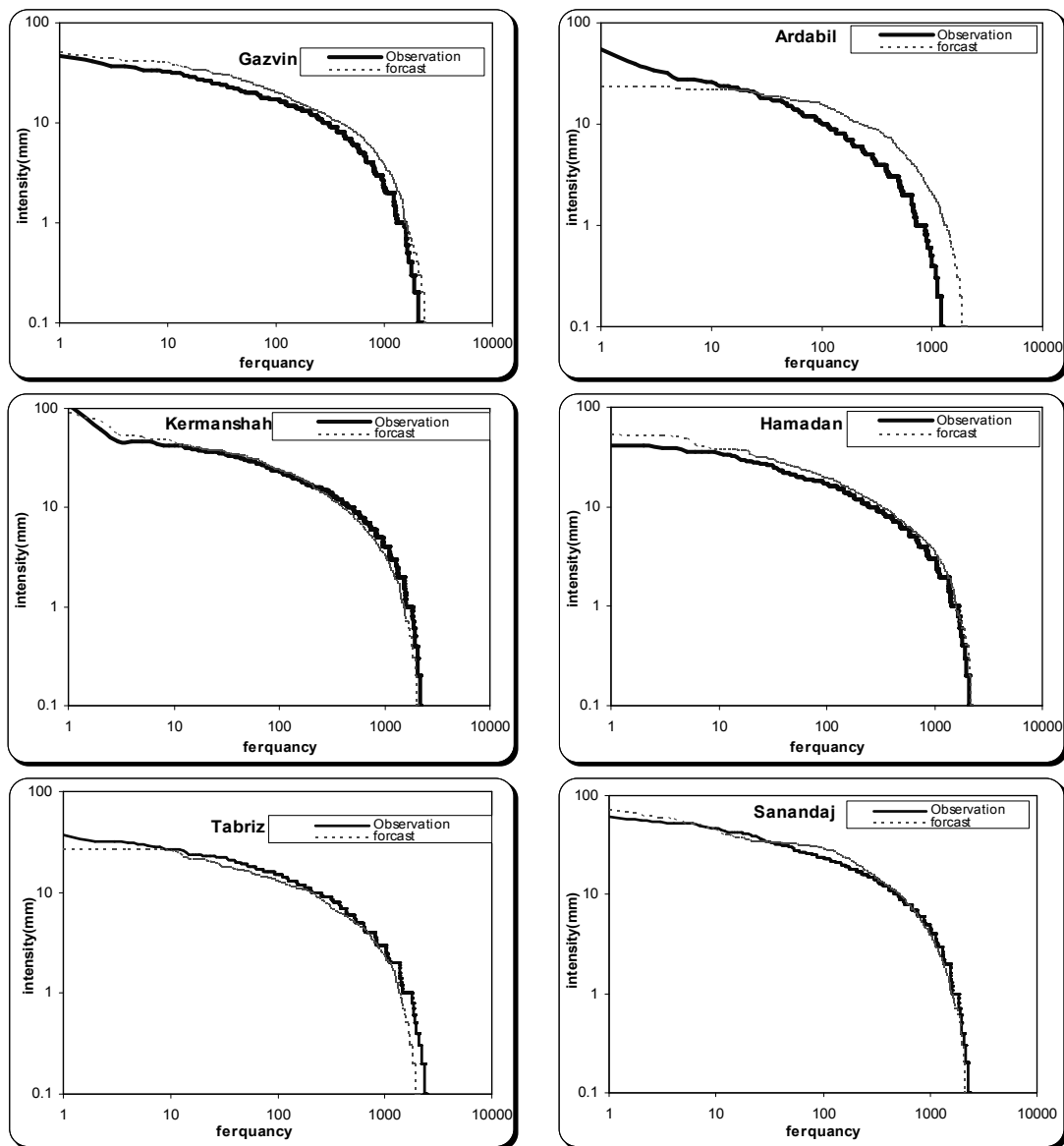
ایستگاه کرمانشاه: ایستگاه کرمانشاه نیز از جمله ایستگاههایی می باشد که با توجه به گرمایش جهانی، محدوده آستانه حداکثر بارشهای موثر آن برای داده‌های شبیه سازی شده کاهش می یابد. در این ایستگاه حداکثر آستانه بارش موثر از ۸۹.۳۴ میلیمتر برای داده‌های مشاهداتی به ۷۵.۶۸ میلیمتر برای داده‌های شبیه سازی شده خوشه شماره ۱ کاهش یافته است. بنابراین آنچه خروجی‌ها نشان می دهند، بیان کننده کاهش شدت بارش موثر برای دهه‌های آینده می باشد. نکته جالب توجه اینکه علی رغم تفاوت ۱۳.۶۶ میلیمتری بین حداکثر آستانه بارش موثر برای خوشه ۱ در هر دو دوره گذشته و آینده، اما میانگین اختلاف شدتها برای خوشه شماره یک، مقداری به نسبت پایین تری با عدد ۲.۴۸ میلیمتری به نمایش می گذارد. با بررسی فراوانی بارش برای خوشه‌های مختلف، این نتیجه حاصل گردید که تعداد رخداد بارشهای موثر خیلی خفیف و خفیف از نسبت بالاتری در مقایسه با دیگر ایستگاهها برخوردار می باشند. اما از طرف دیگر رخداد فراوانی بارشها برای ۳ خوشه شماره 1، 3 و 5 برای داده‌های مشاهداتی کمتر از فراوانی داده‌های شبیه سازی شده می باشد. بهرحال نتیجه کلی از سری زمانی داده‌ها بدون در نظر گرفتن خوشه‌های مختلف، آشکار می سازد که رخداد روزهای بارش با مجموع تعداد ۲۱۰۵ روز در دوره ی شبیه سازی شده نسبت به ۲۱۹۵ روز در داده‌های مشاهده شد کاهش یافته اما از طرف دیگر افزایش شدت بارش موثر از خصوصیت داده‌های شبیه سازی شده می باشد (شکل ۵). در ارزیابی ضریب تغییرات، پایین ترین مقدار آن به میزان ۱۳.۷۷ درصد در داده‌های مشاهداتی خوشه سوم دیده می شود، اما

ایستگاهها دارد. زیرا آستانه‌های حداکثر بارش موثر در دوره پیش بینی شده، برای ایستگاههای همدان و اردبیل کاهش یافته است. این حداکثر آستانه از ۳۴.۸۱ میلیمتر برای خوشه ۱ با ۱۰ میلیمتر کاهش به ۲۵.۸۳ میلیمتر برای دهه‌های آینده نزول یافته است. همچنین آنکه میانگین شدتهای بارش موثر برای تمام خوشه‌ها گویای مقادیر کمتر برای داده‌های شبیه سازی نسبت به داده‌های مشاهداتی است. اما همانند قبل بیشترین رخداد بارشها که گویای بارشهای خفیف است در خوشه ۵ مشاهده می گردد. در مقایسه بین تعداد رخداد روزهای بارش در دوره گذشته و آینده، نتایج داده‌های شبیه سازی شده بیان می کنند که خوشه ۱، ۲ و ۳ کمترین تعداد رخداد روزهای بارش نسبت به دهه‌های آینده تجربه کرده اند. ولی در خوشه ۴ و ۵ این شرایط عکس گردیده است (جدول ۳). با توجه به شکل ۴ برای ایستگاه تبریز، استنباط می گردد که مجموع روزهای رخداد بارش از ۲۴۵۵ روز در دوره گذشته به ۲۱۳۵ روز در دوره آینده تقلیل یافته است (شکل ۵). همچنین همانگونه که خوشه‌های مختلف نشان دادند، شدت بارش موثر نیز برای دوره مشاهداتی بیشتر از شبیه سازی شده می باشد. در ارزیابی انجام شده در مورد ضریب تغییرات، آشکار می شود که ضریب تغییرات ۱۵.۸۵ درصد، در داده‌های مشاهداتی خوشه یک، از پایین ترین مقدار برخوردار بوده، ولی پایین ترین ضریب تغییرات داده‌های مشاهداتی، در خوشه دوم با ۱۵.۷۹ درصد دیده می شود. بهرحال نتایج نشان می دهند که علی رغم ثبات ضریب تغییرات در خوشه ۳ با ۲۴.۲۹ درصد در هر دو دوره مطالعاتی، اما این ضریب در ۳ خوشه ۴، ۵ و در آینده افزایش خواهد یافت. بنابراین

۹ و ۴ میلیمتر برای دو دوره گذشته و آینده افزایش یافته است (جدول ۳). بعد از مقایسه فراوانی رخداد روزهای بارش در خوشه‌های مختلف، نتایج نشان می دهند که در اکثر خوشه‌ها بغیر از خوشه شماره دوم در دوره شبیه سازی شده، در مابقی خوشه‌ها کاهش تعداد روزهای رخداد بارش نسبت به دوره مشاهداتی وجود دارد. بنابراین در مقایسه مجموع روزهای بارش مشخص گردید که تعداد این روزها از ۲۳۵۶ روز در دوره گذشته به ۱۶۷۴ روز برای دهه‌های آینده کاهش خواهد یافت (شکل ۵). از جمله نکات قابل توجه، وجود پایین ترین ضریب تغییرات برای خوشه شماره ۱ در هر دو دوره گذشته و آینده می باشد. این مقدار بترتیب برای دوره گذشته ۱۳.۹۸ درصد و آینده ۱۵ درصد است. در مقایسه بین خوشه‌های مختلف در دو دوره مورد مطالعه نیز مشخص می شود، ضریب تغییرات بارش برای دهه‌های آینده در سه خوشه شماره یک، سه و چهارم بیشتر خواهد شد که این گویای تغییرپذیری بیشتر بارش برای این خوشه می باشد (جدول ۳). مقایسه درصد فراوانی بارش در دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده در ماه‌های مختلف حاکی از آن است که در ماه ژانویه (خوشه ۱)، فوریه (۱ و ۳ و ۴)، مارس (۳)، آوریل (۲)، می (۲ و ۴)، ژوئن (۲ و ۴)، ژولای (۲ و ۳ و ۴)، اگوست (۵)، سپتامبر (۴ و ۵)، اکتبر (۲ و ۳ و ۴)، نوامبر (۲ و ۴) و دسامبر (تمامی خوشه‌ها) نسبت به دوره مشاهداتی درصد بارش موثر افزایش پیدا خواهند کرد. بطور کلی تنها خوشه دوم در دوره‌های شبیه سازی شده سایر خوشه‌ها بیشترین افزایش را خواهند داشت (شکل ۶). ایستگاه تبریز: آخرین ایستگاه مورد مطالعه تبریز است. در تبریز خروجیها تفاوت چشمگیری نسبت به اکثر

ژولای (۴ و ۵)، اگوست (۵)، سپتامبر (۲ و ۳ و ۴ و ۵)، اکتبر (۱)، نوامبر (۱ و ۲ و ۳) و دسامبر (۲ و ۳ و ۴ و ۵) نسبت به دوره مشاهداتی درصد بارش افزایش پیدا خواهند کرد. بطور کلی در دوره‌های شبیه سازی شده درصد فراوانی بارش موثر خوشه‌های اول، دوم و سوم بیشترین افزایش را خواهند داشت (شکل ۶).

این گویای نوسان و تغییرات بیشتر بارش در این خوشه مطالعاتی می باشد (جدول ۳). مقایسه درصد فراوانی بارش موثر در دوره مشاهداتی و شبیه سازی شده در ماه‌های مختلف حاکی از آن است که در ماه ژانویه (خوشه ۳ و ۴)، فوریه (۳ و ۴)، مارس (۱ و ۲ و ۳)، آوریل (۱ و ۲ و ۳)، می (۳ و ۵)، ژوئن (۳)،



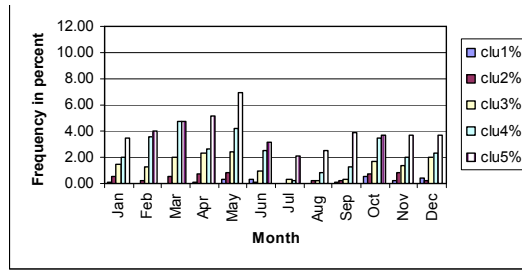
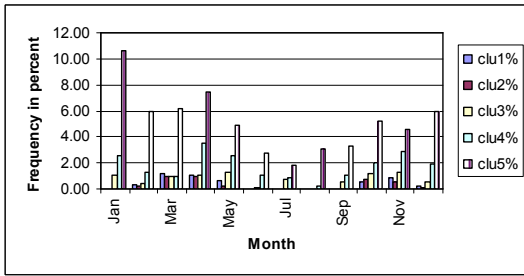
شکل ۵- نمودارهای مقایسه فراوانی داده‌های بارش (بدون در نظر گرفتن خوشه‌های مختلف) برای دوره مشاهداتی و شبیه

سازی شده به صورت لوگ در لوگ

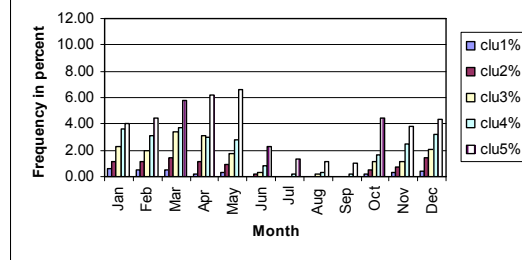
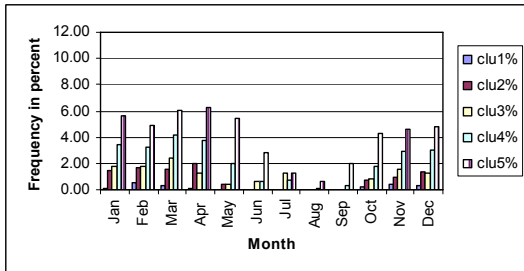
ایستگاهها

۲۰۲۱-۲۰۲۰

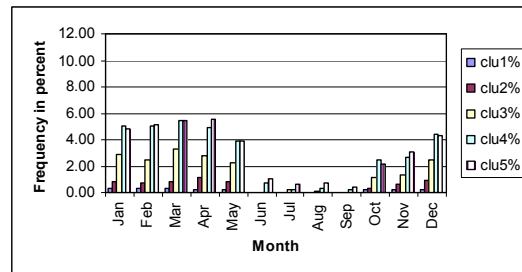
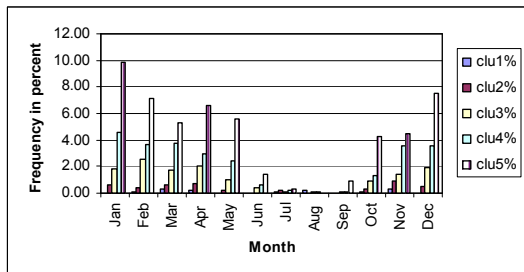
۱۹۶۱-۱۹۹۰



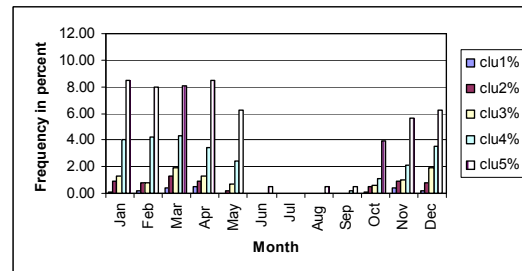
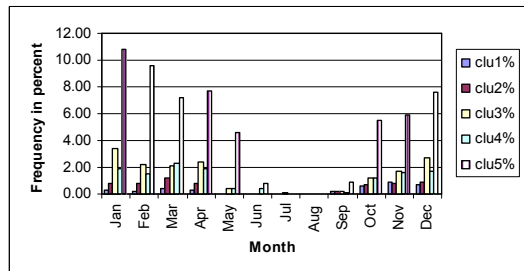
ایستگاه



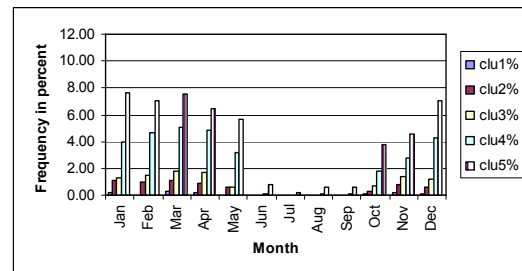
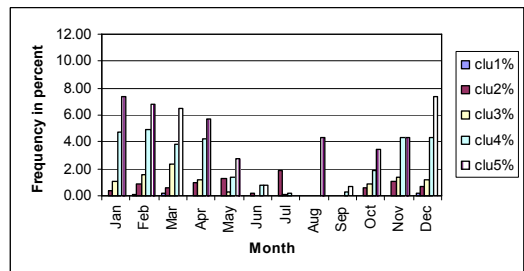
ایستگاه



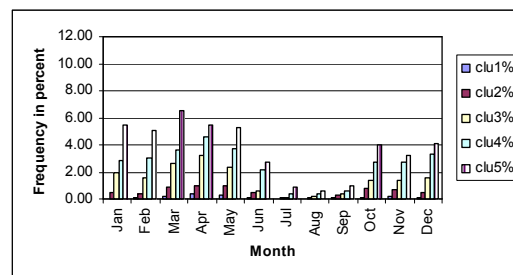
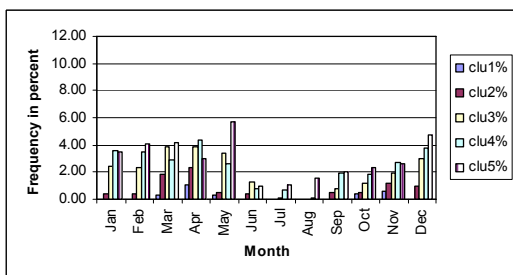
ایستگاه



ایستگاه



ایستگاه



شکل ۶- نمودارهای مقایسه ای درصد فراوانی بارش موثر ماهانه در پنج خوشه برای دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و شبیه سازی شده (۲۰۲۱-۲۰۵۰)

۴. نتیجه گیری

برای دوره سرد سال (زمستان و پاییز) مشهودتر است. از دیگر نتایج اینکه، در مقایسه شدت بارش موثر خوشه‌ها برای دو دوره پایه و آینده این نکته استخراج گردید که در سه ایستگاه اردبیل، کرمانشاه و تبریز، آستانه‌های حداکثر بارش موثر برای دهه‌های آینده کاهش یافته و این برای سنندج، قزوین و همدان افزایشی بوده است (شکل ۵). از طرف دیگر داده‌های شبیه سازی شده نشان می‌دهند که بر مجموع تعداد روزهای با رخداد بارش در ایستگاه‌های اردبیل، قزوین، همدان بترتیب با مقادیر ۲۰۷۲ روز، ۲۴۱۳ روز و ۲۲۸۰ روز افزوده شده و از مجموع روزهای همراه با رخداد بارش برای ایستگاه‌های کرمانشاه، سنندج و تبریز بترتیب با مجموع مقادیر شبیه سازی شده ۲۱۰۵ روز، ۱۶۷۴ و ۲۱۳۵ روز کاسته شده است (شکل ۵). از جمله نکات قابل تامل دیگر وجود حداکثر فراوانی روزهای با رخداد بارش موثر برای خوشه شماره ۵ و حداقل آن برای خوشه شماره ۱ می‌باشد. بر اساس واکاوی خوشه‌های مختلف بارش موثر و بررسی درصد فراوانی روزهای رخداد بارش، داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد که بترتیب ماههای فصول زمستان، بهار و پاییز بیشترین رخداد بارش موثر را دارا می‌باشند. اما اگر چه این رتبه بندی برای آینده

به منظور مدیریت بهینه تولیدات کشاورزی در آینده لازم است شرایط محیطی کاشت، داشت و برداشت محصولات زراعی مورد ارزیابی قرار گیرد، در این راستا آگاهی از وضعیت بارش موثر به عنوان یکی از اصلی ترین مولفه‌های محیطی مطرح می‌باشد که بخش قابل توجهی از میزان بارش در هر منطقه را به خود اختصاص می‌دهد بنابراین این تحقیق بدنبال آشکار سازی تغییرات مولفه بارش موثر در بستر گرمایش جهانی می‌باشد.

یکی از نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با مقایسه میانگین درازمدت بارش سالهای پایه ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ با میانگین شبیه سازی شده ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰، علی رغم کاهش بارش سالانه کرمانشاه با ۵۱.۳۹- و اردبیل با ۳۳.۷۷- میلیمتر، اما برای ایستگاه‌های تبریز با ۵۵.۶۵ میلیمتر، قزوین با ۹۲.۶۵ میلیمتر، همدان با ۵۳.۶۵ میلیمتر و سنندج با ۶.۹۵ میلیمتر افزایش بارش نسبت به دوره پایه ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ را تجربه خواهند کرد. علی رغم وجود میانگین کلی مجموع بارش ۶ ایستگاه مورد مطالعه، که نشان دهنده افزایش ۲۰.۶۲ میلیمتری بارش سالانه برای دوره شبیه سازی شده نسبت به دوره پایه می‌باشد، اما قابل توجه است که این افزایش بارش

نیز تکرار می‌شود، اما بر رخدادهای روزهای بارش برای ماههای بهار کاسته شده و بر تعداد روزهای بارش موثر در ماههای فصل پاییز افزوده شده است (شکل ۶). بنابراین از آنجا که فصل بهار فصل گذار آب و هوای سرد و بارانی ایران به آب و هوای گرم و کاهش بارندگی‌ها می‌باشد، لذا این نوسانات می‌تواند اثرات نامطلوبی را بدنبال داشته باشد. همچنین با در نظر گرفتن روند افزایش دمایی در نواحی شمالغرب ایران (Roshan and Grab, 2012b) بارشهای مایع از پتانسیل بیشتری برخوردار خواهند بود و از آنجا که بارش‌های این موقع از سال، عمدتاً از نوع تپه‌های ۱ و ۲ و بعضاً ۳ می‌باشد، به نظر می‌رسد با گذشت زمان خطر سیلاب‌های بزرگ در این قسمت از ایران افزایش یابد. به بیان دیگر، بارش زمانی از سال افزایش می‌یابد، که از قبل هم، دوره‌های پربارشی بوده‌اند. اما در فصل تابستان، بارش برای بعضی ایستگاهها، افزایش بسیار جزئی و موقتی نشان می‌دهد که نمی‌تواند تاثیر بسزایی در رژیم آب و هوایی و تغذیه منابع آبی مورد نیاز گیاهان زراعی داشته باشد. دور شدن از حالت توزیع یکنواخت بارش در طول سال و حرکت به سوی یک رژیم بارشی متمرکز که عمده‌ی بارش در چند ماه و بالاخص دوره سرد (زمستان و پاییز) فرو می‌ریزد و بخش بزرگی از دوره گرم سال بدون بارش سپری می‌شود، برای استانهای مورد مطالعه که با مشکل منابع آبی همراه می‌باشند، بسیار نامطلوب بوده و می‌تواند در بعضی مواقع کشتهای دیم را با توجه به محدودیت پراکندگی زمانی آب قابل دسترس در ایام سال با چالش جدی مواجه نماید. بهره‌برداری بهینه از آب در چنین شرایط اقلیمی، نیازمند مدیریت مناسب منابع آب و وجود

دیدگاه مدیریت ریسک بر بحران می‌باشد. همچنان که نتایج نشان می‌دهند، علی‌رغم وجود بیشترین رخداد روزهای بارش در دو دوره مطالعاتی برای تپه‌های (خوشه‌های) ۴ و ۵، اما باید ملاحظه نمود که سهم این نوع بارشهای موثر در مقدار کلی بارش موثر ایستگاهها جزئی و ناچیز است. البته بارشهای این دو تپه کم‌خطرند و نیازمند بهره‌برداری بهینه و صحیح می‌باشند. از طرف دیگر لازم به ذکر است، خوشه بارش موثر ۱ و ۲ بدلیل شدت بالای بارشها، وضعیت چندان مناسب و متعادلی ندارند، لیکن حتی خوشه ۱ به مراتب بیشتر از خوشه ۲، نیازمند توجه اصولی برنامه‌ریزان امر است. چرا که بارش آن رگباری و بسیار سنگین خواهد بود و لزوم توجه مسئولین و برنامه‌ریزان اقلیمی را برای سامان دهی بارش‌های سیل آسا و جلوگیری از خسارات احتمالی، اعم از آب گرفتگی اراضی، رخداد فرسایش آبی، از بین رفتن محصولات کشاورزی و غیره.. را آشکار می‌سازد. در نهایت با توجه به بارشهای موثر خوشه ۳ می‌توان با پیش‌بینی‌ها و اعمال مدیریتهای صحیح، با بازده بالا و پتانسیل برداشت مناسب همراه باشد. به طور کلی، برنامه‌ریزی اقلیمی بارش در شمالغرب ایران، می‌تواند استفاده بهینه از توان‌های محیطی منطقه و تسلط بر این عنصر اقلیمی سرکش و متغیر را فراهم نماید.

منابع

بابائیان، ایمان و نجفی نیک، زهرا، (۱۳۸۵)، معرفی و ارزیابی مدل لارس برای مدل سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره 1961-2003، مجله نیوار، شماره ۶۲ و ۶۳، صص ۴۹-۶۵.

- زراعی و باغی کشور، انتشارات سازمان کشاورزی، جلد اول، تهران، صص ۱۸۸.
- مجرد، فیروز، قمرنیا، هوشمند و نصیری، شیدا، (۱۳۸۴)، برآورد بارش موثر و نیاز آبی برای کشت برنج در جلگه مازندران، پژوهشهای جغرافیایی، شماره ۵۴، صص ۷۶-۵۹.
- Babaeian, I., W.T. Kwon. (2005). Climate change assessment over Korea using stochastic daily data. Proceeding of the First Iran-Korea Joint Workshop on Climate Modelling, Nov. 2005. Climate Research Institute, Mashad, Iran.
- Chahoon, J., D. Yontsand and S. Melvin, (2001). Estimating Effective Rainfall; www.ianr.unl.edu/pubs/irrigation/g1099.htm-16k.
- 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 Applied Meteorology*, Vol 35(11):1878-1896.
- Hershfield, D. M. (1964). Effective Rainfall and Irrigation Water Requirments. *Journal Irrig. and Dr. Div., ASCE*, 90: IR2: 3920: 33-47.
- Lawless, C., and M.A. Semenov. (2005). Assessing lead-time for predicting wheat growth using a crop simulation model. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol 135(23):302-313.
- Littlewood, L. G. (2003). Sequential Conceptual Simplification of the Effective Rainfall Component of a Rainfall Streamflow Model For a Small Kenyan Catchment ,United Kingdom ;www.iemss.org/iems2003/iemssprogram-phtml-509k 18- Miller. A. and Thompson J. C.; 1970; Elements of Meteorology.
- Zarghami, M., A. Abdi, I. Babaeian, Y. Hassanzadeh, and R. Kanani. (2011). Impacts of climate change on runoff in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*, vol78 (13):137-146.
- Qian, B.D., S. Gameda, H. Hayhoe, R. De Jong, and A. Bootsma. (2004). Comparison of LARSWG and AAFC-WG stochastic
- بذرافشان، جواد و خلیلی، علی، (۱۳۸۸)، بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل لارس و ClimGen در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران، مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۱، صص ۴۴-۵۷.
- بداق جمالی، جواد، شیرمحمدی، رضا و کوهی، منصور، (۱۳۸۱)، نیاز خالص آبیاری پنبه تحت تنش خشکی در استان خراسان، بولتن علمی پژوهشکده اقلیم شناسی، شماره ۴، صص ۴۵-۳۱.
- بابائیان، ایمان، نجفی، زهرا، زابل عباسی، فاطمه، حبیبی نوخندان، مجید، ادب، حامد و ملبوسی، شراره، (۱۳۸۸)، مدل سازی اقلیم ایران در دوره 2010-2039 با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، صص ۱۵۲-۱۳۵.
- روشن، غلامرضا، خوش اخلاق، فرامرز و کرمپور، مصطفی، (۱۳۹۰)، ارزیابی و اصلاح مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه برای ایران، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، صص ۶۸-۴۹.
- علیزاده، امین، مهدوی، مهدی، اینالو، محمد و بازاری، محمد ابراهیم، (۱۳۷۶)، تبخیر و تعرق پتانسیل و ضریب گیاهی زعفران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۶، صص ۴۲-۲۹.
- عزیزی، قاسم، (۱۳۷۹)، برآورد بارش موثر در رابطه با کشت گندم دیم (مورد: دشت خرم آباد)، پژوهشهای جغرافیایی، سال سی و دوم، شماره ۳۹، صص ۱۲۳-۱۱۵.
- فرشی، علی اصغر، شریعتی، محمد رضا و جاراللهی، رقیه، (۱۳۷۴)، برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده

- for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0. <http://www.rothamsted.ac.uk/mas-models/download/LARS-WG-Manual.pdf>.
- Semenov M.A. (2007). Developing of high-resolution UKCUP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol 144(23):127-138, DOI:10.1016/j.agrformet.2006.01.002.
- Sajjad Khan, M., P. Coulibaly, and, Y. Dibike. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, vol319 (44):357-382.
- Smith, M. (1988). *Manual for CROPWAT version 5.2*. FAO, Rome. 45pp.
- Xu, YP., X. Zhang, and Y. Tian. (2012). Impact of climate change on 24-h design rainfall depth estimation in Qiantang River Basin, East China. *Hydrological Process*, DOI: 10.1002/hyp.9210.
- weather generators for diverse Canadian climates. *Climate Research*, vol 26(8):175-191.
- Roshan, Gh.R., and S.W. Grab. (2012b). Regional climate change scenarios and their impacts on water requirements for wheat production in Iran. *International Journal of Plant Production*, vol6 (2):239-265.
- Semenov, M.A., and E.M. Barrow. (1997). Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climate Change*, vol35 (13):397-414.
- Semenov, M.A., and R.J. Brooks. (1999). Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climate Research*, vol 11(3):137-148.
- Semenov, M.A., R.J. Brooks, E.M. Barrow, and C.W. Richardson. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diverse climates. *Climate Research*, vol10(4): 95-107.
- Semenov, M.A., and E.M. Barrow. (2002). LARS-WG a stochastic weather generator