

## بررسی تغییرات دما و بارش حوزه آبخیز یزد- اردکان با SDSM تحت شرایط تغییر اقلیم آینده

۱- محمدرضا عارف، دانشجوی دکتری تغییر اقلیم، پردیس دانشگاه خوارزمی تهران

Aref198@yahoo.com

۲- بهلول علیجانی، استاد اقلیم شناسی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دانشگاه خوارزمی تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۰

### چکیده

مدل‌های اقلیمی، گزارش‌های هیأت بین‌الدول<sup>۱</sup> (IPCC) و نشست‌های جهانی تغییر اقلیم، نشان می‌دهند که در دهه‌های آتی دمای کره زمین افزایش می‌یابد و بارندگی‌ها تغییر می‌کند. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات دما و بارش در حوزه آبخیز دشت یزد- اردکان در ۳۰ سال آتی (۲۰۱۶ تا ۲۰۴۵) است. در این تحقیق به منظور بررسی وضعیت بارندگی و دما در دوره پایه ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۵ و تعیین روند آن برای یک دوره ۳۰ ساله آتی، از داده‌های ۱۰ ایستگاه منتخب در تحلیل بارندگی و ۶ ایستگاه برای دما استفاده شد. به این منظور با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM با سناریوهای RCP با واداشت‌های ۲/۶ و ۴/۵ و ۸/۵ پس از کالیبراسیون، مدل اقلیمی HadCM3 برای دوره ۳۰ ساله آتی اجرا گردید. سپس خروجی مدل برای دوره پایه، ۳۰ سال آتی با سناریوی RCP4.5 به عنوان گزینه وضعیت متوسط و دوره مشاهداتی استخراج و نتایج مقایسه گردید. مقایسه نتایج مدل برای دوره پایه با دوره مشاهداتی و محاسبه و اعمال ضرایب کالیبره برای سناریوی منتخب، بیانگر افزایش دما به میزان  $0.5^{\circ}\text{C}$  در ایستگاه‌های دشت یزد- اردکان در دوره ۳۰ ساله آتی (۲۰۴۵-۲۰۱۶) است که نتایج بدست آمده با پیش‌بینی‌های IPCC که افزایش دمای کره زمین را  $0.2^{\circ}\text{C}$  در هر دهه بیان می‌دارد همخوانی دارد. خروجی مدل در زمینه بارندگی نشان می‌دهد که متوسط تغییرات بارندگی ایستگاه‌ها ۸/۸ درصد نسبت به میانگین دوره مشاهداتی کاهش دارد که بیشترین کاهش ۱۶/۸ درصد مربوط به ایستگاه تفت است. بررسی بارندگی ماهیانه ایستگاه‌ها بیانگر کاهش بارندگی زمستان و افزایش بارش در فصل بهار است، موضوعی که داده‌های بارندگی ایستگاه‌ها در وضعیت کنونی نیز آن را تایید می‌نماید. تغییرات اقلیمی آینده در مسائل زیست محیطی استان بخصوص در زمینه آب می‌تواند در روند پایداری آن تاثیرگذار باشد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم؛ سناریو؛ دشت یزد- اردکان؛ پیش‌بینی.

### مقدمه

افزایش دمای کره زمین در دهه‌های اخیر و ثبت حداکثرهای دما در ۱۵۰ سال گذشته بخصوص در دهه ۱۹۹۰ و رکورد گرم‌ترین سال جهان در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ و تغییرات بارش، همخوانی با تغییرات در چرخه هیدرولوژی بزرگ مقیاس دارد. این امر تغییرات اقلیمی گسترده‌ای مانند تغییرات اتمسفری، تغییر در الگوهای بارش و مقادیر حدی و شدت‌های بارندگی را به وجود آورده است. از دیگر پیامدهای آن می‌توان کاهش پوشش برفی و خط برف در مناطق کوهستانی بالاتر از متوسط آن در طول سال، ذوب یخ‌ها و تغییر در چرخش بادهای گردش زمین به علت کاهش فشار متوسط سطح دریا

افزایش دمای کره زمین در دهه‌های اخیر و ثبت حداکثرهای دما در ۱۵۰ سال گذشته بخصوص در دهه ۱۹۹۰ و رکورد گرم‌ترین سال جهان در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ و تغییرات بارش، همخوانی با تغییرات در چرخه هیدرولوژی بزرگ مقیاس دارد. این امر تغییرات اقلیمی گسترده‌ای مانند تغییرات اتمسفری، تغییر در الگوهای بارش و مقادیر حدی و شدت‌های بارندگی را به وجود آورده است. از دیگر پیامدهای آن می‌توان کاهش پوشش برفی و خط برف در مناطق کوهستانی بالاتر از متوسط آن در طول سال، ذوب یخ‌ها و تغییر در چرخش بادهای گردش زمین به علت کاهش فشار متوسط سطح دریا

2- Mean sea level pressure

1- Intergovernmental Panel on Climate Change

هیأت بین‌الدول بهنگام شده، دارای ارجحیت است و در این تحقیق از آن استفاده شده است.

مدل SDSM یک مدل آماری است که توسط ویلبی (Wilby, 2002) و همکاران به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل‌های اقلیمی بزرگ مقیاس (GCM) ارائه گردید. مبنای این مدل رگراسیون چند متغیره بوده و متغیرهای اقلیمی مانند دما و بارش را در دراز مدت تولید می‌کند. به دلیل این که در مدل مذکور ساخت داده‌های هواشناسی با استفاده از ترکیب دو روش احتمالاتی و رگرسیونی صورت می‌گیرد، در طبقه‌بندی مدل‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی، از جمله بهترین مدل‌ها می‌باشد [۹]. با استفاده از مدل Hadcm3 تحت دو سناریوی A2 و B2، متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی و دما شبیه‌سازی گردید که نتایج بیانگر عملکرد خوب مدل SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی بود [۲]. چندین مدل ریزمقیاس‌نمایی در مناطق مرطوب انگلستان برای شبیه‌سازی بارش ارزیابی و نتیجه‌گیری گردید که مدل SDSM نسبت به سایر روش‌های آماری ارجحیت دارد [۶]. در مطالعه ای چندین روش ریزمقیاس‌نمایی را در شبیه‌سازی بارش‌های حدی در سرتاسر شمال ایالات متحده با هم مقایسه کردند. روش مقایسه شده شامل مدل آماری SDSM و یک مدل اقلیمی HadRM3<sup>۳</sup> بود. نتایج SDSM با داده‌های مشاهداتی تطابق بیشتری داشت و مدل HadRM3 بارش را بیشتر از مقدار واقعی تخمین زد [۱۳]. بررسی کارایی الگوی ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان داد که مدل SDSM در دو ایستگاه بررسی شده برای کمینه و بیشینه دمای روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد، در حالی که برای بارش روزانه، نتایج عملکرد دو الگو تاحدی در دو ایستگاه مشابه بوده است [۱۲]. روش‌های ریزمقیاس‌نمایی (SDSM) و شبکه‌های مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی بلندمدت بارش در ۵ ماه از سال (دسامبر تا آوریل) در جنوب شرقی ایران بکار برده شد. براساس نتایج، روش SDSM عملکرد بهتری نسبت به روش ANN داشته است [۷]. در توانمندی

۹۵ درصد، دخالت انسان عامل افزایش گازهای گلخانه‌ای بخصوص گاز دی‌اکسیدکربن در تغییرات اقلیمی است. بر پایه گزارش مذکور، مناطق خشک و نیمه خشک به شرایط تغییر اقلیم درموضوع رواناب در مقایسه با مناطق مرطوب حساس‌تر هستند. در نتیجه این فرآیند تغییراتی در رژیم هیدرولوژی در چند دهه اخیر در سطح جهان ایجاد شده است. بر اساس گزارش IPCC تغییرات اقلیمی در آینده موجب افزایش ۲ درجه‌ای دمای کره زمین خواهد شد، حال آنکه از سال ۱۹۰۰ تا کنون  $0.7^{\circ}\text{C}$  دما افزایش یافته و برآورد می‌شود افزایش دما برای هر ۱۰ سال  $0.2^{\circ}\text{C}$  باشد [۱۱].

تغییرات ۱۰ درصدی ریزش‌های جوی عمدتاً منجر به تغییرات ۱۵ تا ۲۵ درصدی جریان رودخانه‌ها می‌شود [۱۴] و این در حالی است که افزایش ۲ درجه‌ای دما منجر به کاهش ۵ تا ۱۵ درصدی جریان‌ات سطحی خواهد [۸]. بنابراین استفاده از مدل‌های گردش عمومی هوا (GCM)، یکی از مهمترین ابزار پیش‌بینی عناصر اقلیمی و در نتیجه استفاده و کاربرد آن در پیش‌بینی‌های آینده عوامل محیطی به شمار می‌رود. در تغییرات اقلیمی همه عناصر مرتبط دخالت دارند اما بارندگی و دما از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. پیش‌بینی صحیح و دقیق تغییرات بارش و دما می‌تواند شرایط محیطی و زیستی آینده را به خوبی ترسیم نماید. اقدامی که امروزه نیاز مبرم مناطق زیستی، به ویژه مناطق خشک با توجه به رشد جمعیت، فناوری و بهره‌برداری گسترده از طبیعت احساس می‌شود. به این علت، پیش‌بینی و یا تولید آمار بلندمدت متغیرهای اقلیمی به منظور شناخت تغییرات احتمالی آنها در آینده به ویژه دما و بارش مورد توجه پژوهشگران اقلیمی در دهه اخیر قرار گرفته و مدل‌های شبیه‌سازی گردش عمومی جو<sup>۱</sup> (GCM) توسعه یافته است. به دلیل این که خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس نیاز به ریزمقیاس‌نمایی دارد، به این منظور دو نوع مدل آماری و دنیامیکی به کار گرفته می‌شود. در بین مدل‌های آماری، مدل‌های LARS-WG و SDSM<sup>۲</sup> بیشتر مورد توجه و استفاده قرار گرفته است. با توجه به اینکه مدل SDSM با سناریوهای گزارش پنجم

1- General circulation model

2- Statistical DownScaling Model

## مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز یزد- اردکان شامل دو محدوده مطالعاتی یزد- اردکان و تفت- نصرآباد بوده که مساحت مجموع آنها ۱۲۳۹۸/۶ کیلومتر مربع است. حوزه مطالعاتی، بدلیل واقع شدن در دامنه‌های شمالی ارتفاعات شیرکوه از بارندگی خوبی برخوردار بوده و اقلیم آن در دشت گرم و خشک و در ارتفاعات از نوع سرد و خشک می باشد. متوسط بارندگی محدوده ۱۰۲/۳ میلیمتر در سال است.

دشت یزد- اردکان از سمت شمال به کویر سیاه کوه، عقدا و ریگ زرین، از شرق به کویر درانجیر، از جنوب به خط الراس ارتفاعات شیرکوه، محدوده‌های مطالعاتی اران- دهج و بهادران و از غرب به محدوده‌های مطالعاتی تفت، کفه طاقستان و عقدا محدود می‌گردد (شکل ۱). بلندترین نقطه ارتفاعی، مرتبط به قله شیرکوه با ارتفاع ۴۰۷۵ متر و کمترین ارتفاع ۹۷۰ متر در حاشیه کویر سیاه کوه واقع شده است. ارتفاع متوسط آن ۱۵۶۶ متر می باشد.

تعداد ۴۲ ایستگاه هواشناسی از انواع سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران سنجی در حوزه دشت یزد- اردکان احداث گردیده که ۲۴ ایستگاه متعلق به سازمان هواشناسی و ۱۸ ایستگاه وابسته وزارت نیرو است. بیشتر ایستگاه‌های وزارت نیرو و ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی مجهز به سیستم ثبت الکترونیکی و انتقال دیتا بصورت آنلاین می‌باشند.

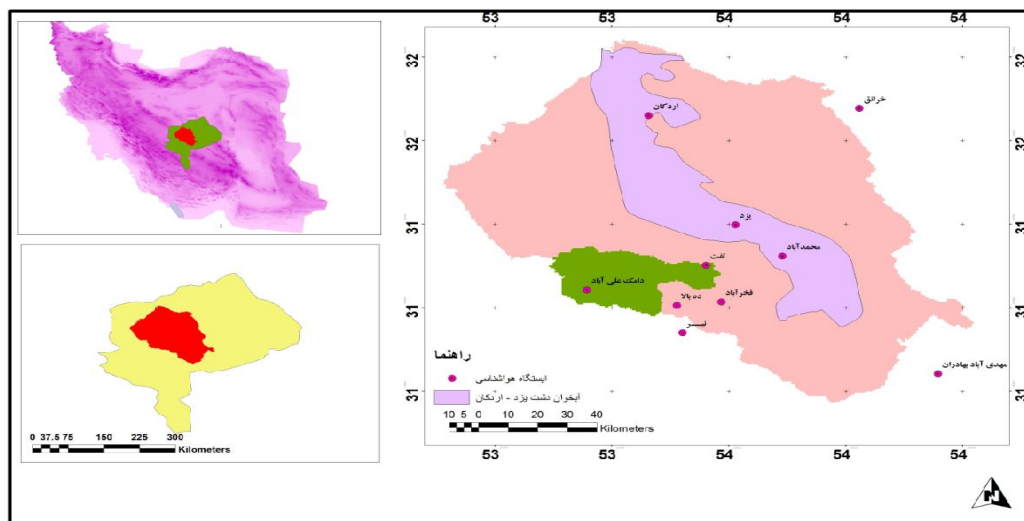
مهم ترین داده‌های مورد استفاده در وضعیت اقلیمی گذشته و آینده بارندگی و دما است که به صورت روزانه در دوره پایه ۳۰ ساله (۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵) تنظیم و آماده ورود به مدل‌های اقلیمی شد. با توجه به ایستگاه‌های موجود و سابقه آماری آنها، تعداد ۱۰ ایستگاه هواشناسی از انواع سینوپتیک، کلیماتولوژی و بارانسنجی (جدول ۱) انتخاب گردید تا به کمک آنها بتوان تحلیل درستی از شرایط آتی منطقه ارایه نمود.

به منظور آماده‌سازی داده‌ها در مدل SDSM، سه نوع داده شامل داده‌های مشاهداتی (observation)، داده‌های واکاوی شده در دوره مشابه گذشته (NCEP)<sup>۱</sup>، و داده‌های اقلیمی بزرگ مقیاس HadCM3 و ریز مقیاس نمائی

الگوی ریز مقیاس نمائی آماری در تولید داده‌های بارش، دما و تبخیر در ایستگاه هواشناسی هم دیدی تبریز، نتایج نشان داد که الگوی SDSM توانائی مناسبی در کوچک مقیاس کردن داده‌های دما، تبخیر و بارش دارد [3]. سه روش ریز مقیاس نمائی آماری (SDSM)، الگوی مولد آب و هوائی (LARS-WG) و الگوی شبکه عصبی (ANN) از راه آزمون‌های عدم قطعیت برای سه مولفه بارش، کمینه و بیشینه دمای روزانه بررسی و مقایسه گردید. در این پژوهش از آزمون ناپایداری ویکلاکسون برای مقایسه داده‌های مشاهده شده و ریز مقیاس شده در ماه‌های مختلف برای دو ایستگاه در منطقه‌ای در کانادا استفاده شد. بر اساس نتایج، روش SDSM بیشترین کارائی، روش ANN<sup>۱</sup> کمترین کارائی و روش LARS-WG در حد وسط قرار داشت [۱۰]. در نتیجه در بررسی عملکرد مدل SDSM در ایستگاه‌های مختلف موجود در یک سلول HadCM3 نتایج آن قابل قبول بود [۵]. در بررسی اثر تغییر اقلیم بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه، استفاده از روش SDSM برای ریز مقیاس نمایی به عنوان مناسب ترین روش در کوچک مقیاس کردن به ویژه برای کشور ایران بیان گردید [۴]. بررسی‌ها کارآیی مدل SDSM را در ریز مقیاس کردن داده‌های اقلیمی بزرگ مقیاس تایید می نماید.

در استان یزد در چند پژوهش انجام شده در ریز مقیاس نمایی داده‌های اقلیمی، فقط از روش لارس استفاده شده است [۱]. اما با توجه به توانمندی و بهنگام بودن SDSM در ریز مقیاس نمایی داده‌های بزرگ مقیاس، در بررسی متغیرهای دما و بارش حوزه مطالعاتی روش مذکور به کار گرفته شده است. بررسی تغییرات دما و بارش در حوزه آبخیز یزد- اردکان با استفاده از مدل SDSM برای ۳۰ سال از مهمترین هدف این پژوهش است. نتایج این پژوهش می‌تواند برنامه ریزان استان را از تغییرات اقلیمی احتمالی در آینده مطلع نماید. در مطالعات توسعه استان یزد در نظر گرفتن تغییرات آب و هوایی ضروری است تا در ایجاد بستری مناسب برای داوم پایداری استان به‌عنوان زیربنای پایداری اقتصادی-اجتماعی، تمهیدات لازم اندیشیده شود.

استفاده قرار گرفته است. دوره آماری داده‌های مشاهداتی SDSM برای سناریوهای RCP<sup>۱</sup> ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ مورد و مدل اقلیمی در دوره پایه از ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ و برای دوره آتی از ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۵ است.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز یزد- اردکان در استان یزد

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در بررسی حوزه آبخیز یزد- اردکان

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	دوره آماری (سال)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع به متر	سال تاسیس
۱	یزد	سینوپتیک	۶۵	۵۴-۱۷	۳۱-۵۳	۱۲۳۰	۱۳۳۱
۲	محمد آباد	کلیماتولوژی	۴۴	۵۴-۲۵-۵۶	۳۱-۴۶-۵۲	۱۲۵۰	۱۳۵۱
۳	بهدارن	کلیماتولوژی	۲۶	۵۴-۵۴-۱۸	۳۱-۲۰-۰۷	۱۴۴۴	۱۳۶۹
۴	ده بالا	کلیماتولوژی	۲۸	۵۴-۲۸-۰۳	۲۹-۲۲-۱۵	۲۶۰۶	۱۳۶۷
۵	نیر	کلیماتولوژی	۳۱	۵۴-۰۷-۴۳	۳۱-۳۹-۱۳	۲۴۲۶	۱۳۶۴
۶	خرانق	کلیماتولوژی	۲۵	۵۴-۳۲-۵۹	۳۲-۲۰-۳۵	۱۸۱۴	۱۳۷۰
۷	تفت	باران سنجی	۲۵	۵۴-۱۱-۵۹	۳۲-۴۴-۵۲	۱۵۲۹	۱۳۷۰
۸	اردکان	باران سنجی	۲۵	۵۴-۰۱-۳۱	۳۱-۱۸-۵۵	۱۰۴۴	۱۳۷۰
۹	فخرآباد	باران سنجی	۲۸	۵۴-۱۴-۴۸	۳۱-۳۶-۲۸	۱۷۸۳	۱۳۵۷
۱۰	دامک	باران سنجی	۲۷	۵۳-۵۰-۱۸	۳۱-۳۹-۱۳	۲۲۹۵	۱۳۶۸

می بایست به روش سعی و خطا، بالاترین همبستگی بین متغیرهای مستقل (پیش‌بینی کننده) و متغیرهای وابسته (پیش‌بینی شونده) را بدست آورد. نحوه انتخاب بهترین متغیر یا متغیرهای مستقل از بین ۲۶ متغیر موجود در مدل، ضریب تبیین ( $R^2$ )<sup>۲</sup> و ریشه میانگین مربعات (RMSE)<sup>۳</sup> می‌باشد. بدین منظور ابتدا ضریب تبیین و میزان میانگین خطا (MSE)<sup>۴</sup> برای هر متغیر با تک تک متغیرها محاسبه و بهترین متغیر یا متغیرها (۲ تا ۴

در ریزمقیاس نمایی داده‌های دما و بارش از نسخه ۵/۲ مدل SDSM استفاده شده است. مدل مذکور در بین مدل‌های آماری از معتبرترین است که در نقاط مختلف جهان ارزیابی شده و نتایج آن نسبت به مدل‌های آماری دیگر از کارایی بهتری برخوردار است. هرچند دقت نتایج مدل بستگی به انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده دارد. مدل به منظور تولید داده‌های اقلیمی آینده از یک رابطه رگرسیونی با بالاترین درجه همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و متغیرهای پیش‌بینی کننده پیروی می‌کند که

2- Coefficient of determination

3- Root mean square error

4- mean square error

1- Representative Concentration Pathways

انجام شد. اعتبارسنجی مدل برای ایستگاه یزد بدلیل دارا بودن آمار بلند مدت برای ۱۵ سال از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۰۵ صورت گرفت. متغیرهای پیش‌بینی کننده برای پیش‌بینی شونده بارش در جدول ۲ ارائه شد.

متغیر) برای مراحل بعدی انتخاب گردید. در مدل SDSM، نرمال سازی داده‌های بارندگی روزانه به روش محاسبه ریشه چهارم بارندگی بوده و در مراحل بعدی بصورت شرطی با هدف بالا بردن میزان همبستگی داده‌ها، عمل نرمال سازی انجام شده است. پس از آن واسنجی داده‌ها

جدول ۲- متغیرهای پیش‌بینی کننده های بارندگی برای هر ایستگاه

ردیف	ایستگاه	متغیرهای پیش‌بینی کننده
۱	اردکان	متغیر p500vgl (سرعت مداری ۵۰۰ هکتو پاسکال) , p850gl (ژئو پتانسیل ۸۵۰ هکتو پاسکال) , p500vgl (سرعت منطقه ای ۵۰۰ هکتو پاسکال).
۲	بهداران	p8fgl (واگرایی ۵۰۰ هکتو پاسکال) , szhgl (فشار متوسط ۲ متری) , prcpgl (قدرت جریان هوا ۸۵۰ هکتو پاسکال) , قدرت جریان هوا ۸۵۰ ,
۳	دامک	tempgl ( ژئو پتانسیل ۸۵۰ هکتو پاسکال) , p850gl (رطوبت ویژه ۸۵۰ هکتو پاسکال) , s850gl (دمای متوسط ۲ متری)
۴	ده بالا	p8fgl ( فشار متوسط سطح دریا) , pmslpgl (ژئو پتانسیل ۵۰۰ هکتو پاسکال) , p500vgl (قدرت جریان هوا ۸۵۰ هکتو پاسکال)
۵	فخرآباد	s850gl ( فشار متوسط سطح دریا) , pmslpgl (ژئو پتانسیل ۸۵۰ هکتو پاسکال) , p850gl (رطوبت ویژه ۸۵۰ هکتو پاسکال)
۶	خرانق	p500vgl ( ژئو پتانسیل ۸۵۰ هکتو پاسکال) , p850gl (رطوبت ویژه ۵۰۰ هکتو پاسکال) , s500gl (سرعت مداری ۵۰۰ هکتو پاسکال)
۷	محمدآباد	p8zgl (فشار متوسط سطح دریا) , mslpgl (قدرت جریان هوا ۵۰۰ هکتو پاسکال) , p500fgl (سرعت در ۸۵۰ هکتو پاسکال)
۸	نیر	shumgl (سرعت مداری ۵۰۰ هکتو پاسکال) , p500vgl (ژئو پتانسیل ۸۵۰ هکتو پاسکال) , p850gl (رطوبت ویژه سطحی)
۹	تفت	s500gl (رطوبت ویژه ۵۰۰ هکتو پاسکال) , p850gl (رطوبت ویژه ۸۵۰ هکتو پاسکال) , pszugl (ژئو پتانسیل ۸۵۰ هکتو پاسکال)
۱۰	یزد	s500gl (فشار متوسط ۲ متری) , prcpgl ( ژئو پتانسیل ۸۵۰ هکتو پاسکال) , p850gl (رطوبت ویژه ۵۰۰ هکتو پاسکال)

که در آن:

$\Delta T$  مقادیر تفاوت دمای برآورد شده مدل در دوره پایه (TGB) و ۳۰ سال آتی (TGF).  $\Delta P$  مقادیر نسبت بارندگی برآورد شده مدل به بارندگی دوره مشاهداتی می‌باشد که بصورت ماهیانه و یا سالیانه محاسبه شده است.

#### نتایج

نتایج داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل SDSM در دوره پایه، برای بارندگی ۱۰ ایستگاه و دما ۶ ایستگاه استخراج گردید. شکل ۲ تغییرات مقایسه ای بارندگی ماهیانه ۴ ایستگاه را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. همچنین مراحل فوق برای داده‌های متوسط حداقل و حداکثر دمای ایستگاه‌های منتخب انجام شد. نتایج

پس از آماده سازی داده‌ها، مدل با سناریوهای RCP ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ برای متغیرهای دما و بارش ایستگاه‌های منتخب حوزه آبخیز دشت یزد- اردکان اجرا گردید. پس از استخراج نتایج، داده‌های مدل برای دوره آتی براساس اختلاف بین خروجی مدل در دوره پایه و داده‌های مشاهداتی اصلاح و واسنجی شد. در گام بعدی نتایج با سناریوی RCP4.5 واسنجی شده به عنوان گزینه انتخابی در تحلیل دوره آتی و شرایط اقلیم آینده استفاده گردید. در محاسبات بعمل آمده روابط زیر مبنای کار قرار گرفته است:

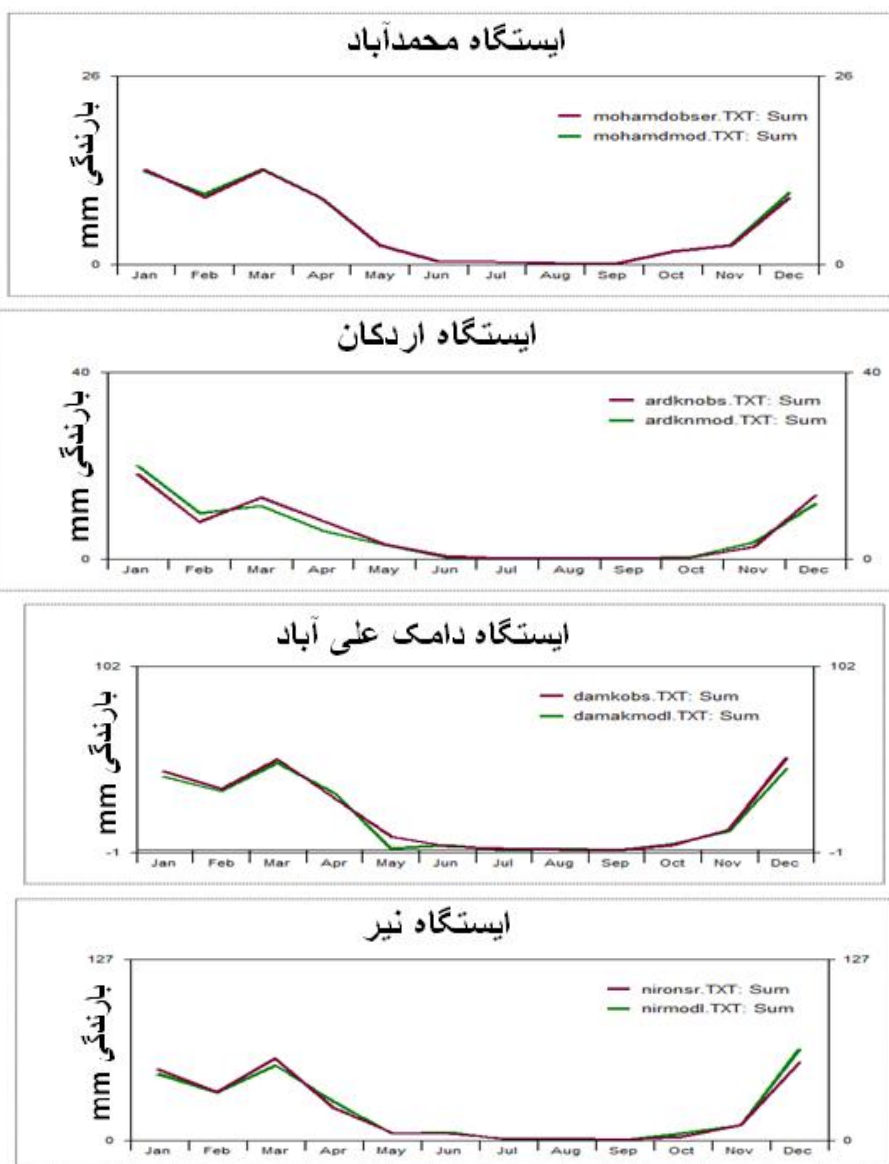
$$\Delta T = (\bar{T}GF - \bar{T}GB) \quad (1)$$

$$\Delta P = (\bar{P}F / \bar{P}B) \quad (2)$$

آینده ( ۲۰۴۵ - ۲۰۱۶ ) استخراج شد که نتایج آن برای دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک یزد در جدول ۳ آمده است. در گزارش پنجم IPCC به جای استفاده از سناریوهای A و B و زیر شاخه ای آن، چهار سناریوی انتشار بنام RCP با واداشت تابشی ۲/۶، ۴/۵، ۶/۵ و ۸/۵ وات بر متر مربع را بر اساس افزایش گازهای گلخانه‌ای پیشنهاد شده است که RCP4.5 بیان گر وضعیت متوسط می‌باشد.

مقایسه‌ای بیان گر هم خوانی بیشتر متغیر دما بین داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل در دوره پایه نسبت به بارندگی است.

بنابراین مراحل ریزمقیاس نمائی با مدل SDSM انجام و نتایج آن پس از کنترل و صحت سنجی با معیارهای تعیین شده، برای مراحل بعدی استفاده گردید. در نهایت نتایج مربوط به متغیرهای دما و بارش با سناریوی RCP با واداشت تابشی ۴/۵ وات بر متر مربع به عنوان گزینه انتخابی برای دوره ۳۰ ساله مدل در دوره پایه و همچنین



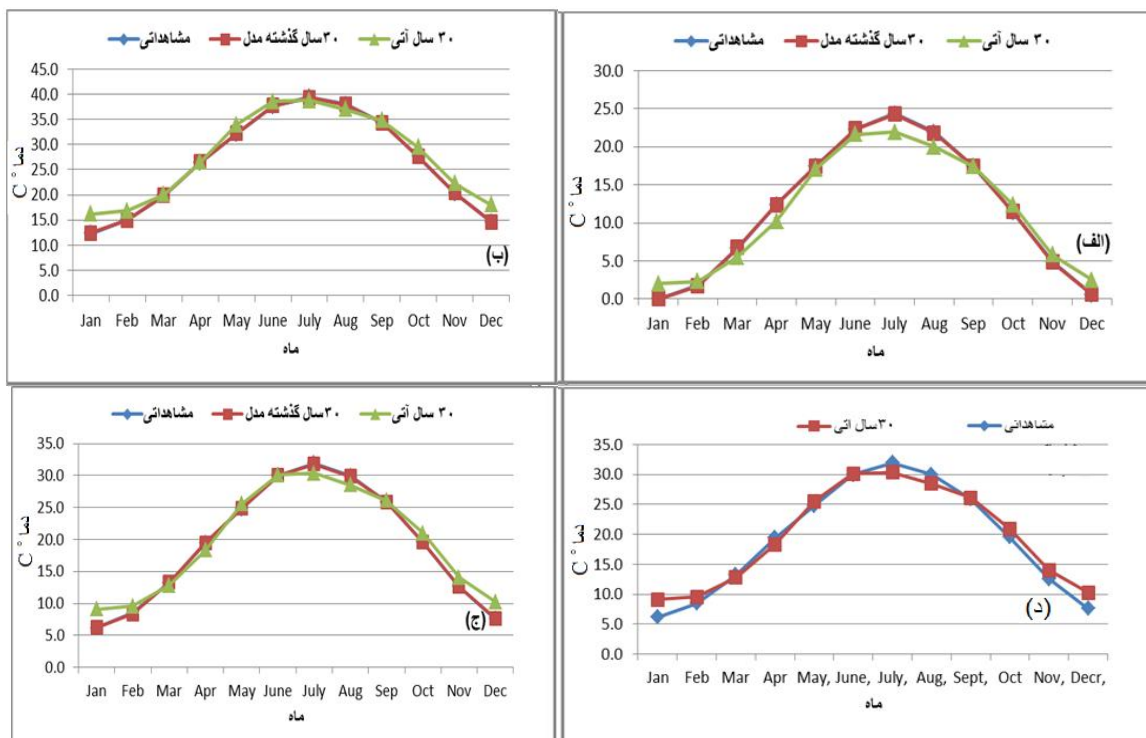
شکل ۲- نتایج بررسی مقایسه ای داده های مشاهداتی و خروجی مدل SDSM بارندگی ماهیانه ۴ ایستگاه

جدول ۳- نتایج متوسط حداقل، حداکثر و میانگین دما ( $^{\circ}C$ ) دوره ۳۰ ساله مشاهداتی و مدل SDSM برای گذشته و آینده ایستگاه یزد

ماه	حداقل درجه حرارت			حداکثر درجه حرارت			میانگین درجه حرارت		
	مشاهداتی	گذشته (مدل)	آینده	مشاهداتی	گذشته	آینده	مشاهداتی	گذشته (مدل)	آینده
ژانویه	۰	۰	۲	۱۲/۳	۱۲/۴	۱۶/۲	۶/۲	۶/۲	۹/۱
فوریه	۱/۸	۱/۷	۲/۳	۱۵/۱	۱۵	۱۶/۸	۸/۴	۸/۵	۹/۶
مارس	۶/۷	۶/۸	۵/۵	۱۹/۹	۱۹/۸	۲۰/۱	۱۳/۳	۱۳/۳	۱۲/۸
آوریل	۱۲/۴	۱۲/۴	۱۰/۲	۲۶/۵	۲۶/۵	۲۶/۵	۱۹/۵	۱۹/۴	۱۸/۴
می	۱۷/۴	۱۷/۴	۱۷/۱	۳۲/۲	۳۲/۲	۳۴	۲۴/۸	۲۴/۸	۲۵/۶
ژوئن	۲۲/۳	۲۲/۳	۲۱/۶	۳۷/۷	۳۷/۷	۳۸/۶	۳۰	۳۰	۳۰/۱
ژوئیه	۲۴/۳	۲۴/۳	۲۱/۹	۳۹/۴	۳۹/۳	۳۸/۸	۳۱/۸	۳۱/۹	۳۰/۴
آگوست	۲۱/۹	۲۱/۸	۲۰	۳۸	۳۷/۹	۳۷	۲۹/۹	۳۰	۲۸/۵
سپتامبر	۱۷/۴	۱۷/۴	۱۷/۴	۳۴/۳	۳۴/۴	۳۴/۸	۲۵/۹	۲۵/۹	۲۶/۱
اکتبر	۱۱/۴	۱۱/۵	۱۲/۴	۲۷/۷	۲۷/۶	۲۹/۵	۱۶/۶	۱۹/۵	۲۱
نوامبر	۴/۹	۴/۸	۵/۸	۲۰/۳	۲۰/۴	۲۲/۳	۱۲/۶	۱۲/۶	۱۴/۱
دسامبر	۰/۶	۰/۶	۲/۵	۱۴/۶	۱۴/۷	۱۸	۷/۶	۷/۶	۱۰/۳
میانگین	۱۱/۸	۱۱/۸	۱۱/۶	۲۶/۵	۲۶/۵	۲۷/۷	۱۹/۱	۱۹/۱	۱۹/۶

سال آبی در فصل پاییز بطور متوسط  $1/9$  و در زمستان  $1/2^{\circ}C$  افزایش دارد. هرچند در فصل بهار  $0/1$  و در فصل تابستان  $0/9^{\circ}C$  دما کاهش می‌یابد. تغییرات مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین دمای یزد در دوره‌های مشاهداتی و مدل برای دوره پایه و آبی در شکل ۳ ترسیم شده است.

جدول فوق نشان می‌دهد متوسط دمای هوای یزد در دوره مشاهداتی (۲۰۰۵-۱۹۷۶) برابر  $19/1^{\circ}C$  و با برآورد مدل به میزان  $19/1^{\circ}C$  یکسان است که بیان گر دقت بالای مدل SDSM برای متغیر دما است. دمای یزد برای دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۵ معادل  $19/6^{\circ}C$  محاسبه شده که حاکی از افزایش  $0/5^{\circ}C$  دوره آبی خواهد بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد متوسط درجه حرارت یزد در ۳۰



شکل ۳- نتایج تغییرات ماهیانه الف) متوسط حداقل، ب) حداکثر، ج) میانگین دمای یزد در دوره های مشاهداتی و مدل برای دوره پایه و آبی و د) مقایسه میانگین دمای یزد در دوره های مشاهداتی و آبی

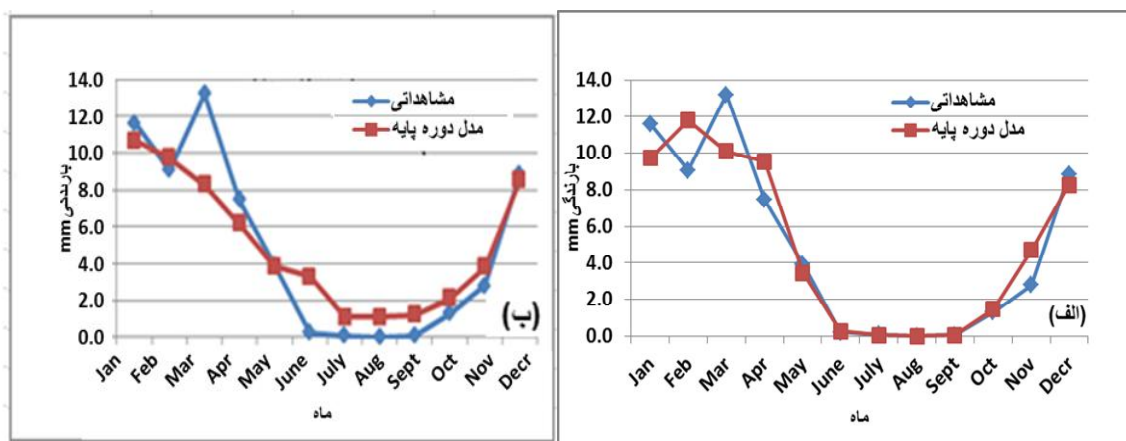
همچنین برای متغیر بارندگی ایستگاه یزد نیز با مدل  
SDSM برای دوره پایه و آتی (۲۰۱۶ تا ۲۰۴۵) برآورد  
گردید که نتایج مدل با میانگین ۳۰ ساله داده های  
مشاهداتی در جدول ۴ تنظیم شده است.

جدول ۴- مقادیر بارندگی ماهیانه ایستگاه یزد در دوره مشاهداتی (۱۹۷۶-۲۰۰۵) و مدل SDSM در دوره پایه و آتی (۲۰۱۶-۲۰۴۵) به میلیمتر

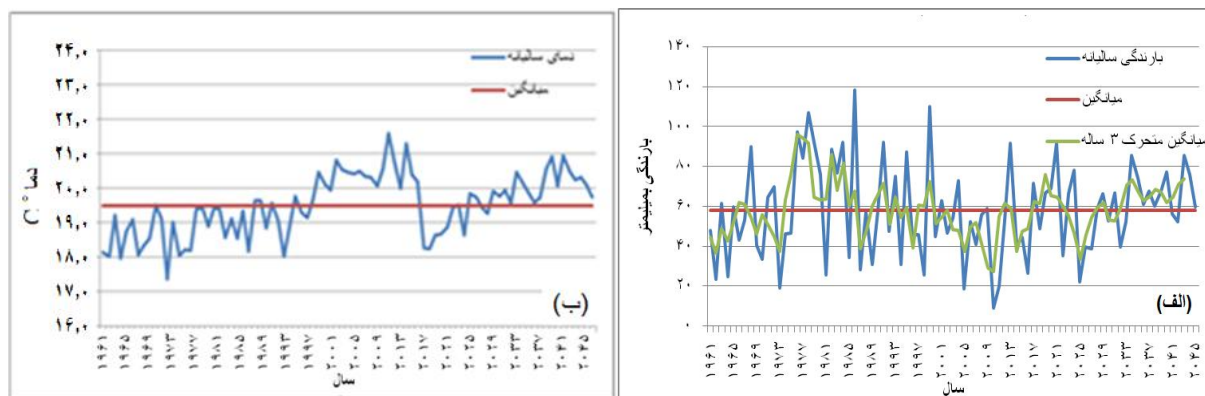
ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	مجموع
مشاهداتی	۱۱/۶	۹/۱	۱۳/۲	۷/۵	۳/۹	۰/۲	۰/۱	۰	۰/۱	۱/۳	۲/۸	۸/۸	۵۸/۶
گذشته	۹/۷	۱۱/۸	۱۰/۱	۹/۵	۳/۴	۰/۳	۰/۱	۰	۰/۱	۱/۵	۴/۷	۸/۳	۵۹/۴
آینده	۲/۵	۳/۱	۸/۸	۹/۵	۱۰/۳	۷	۰/۷	۰/۴	۰/۵	۲/۳	۷/۶	۵	۵۷/۸

۴ نشان داده شده است. در شکل مذکور بارندگی یزد در  
ماه های فصل زمستان نسبت به دوره مشاهداتی کاهش، اما  
بارش های فصل بهار افزایش دارد.  
تغییرات بارندگی و دمای ایستگاه یزد برای ۵۵ سال  
گذشته و ۳۰ سال آینده در شکل ۷ ترسیم گردید. با توجه  
به نمودار، دمای یزد در دهه اول دوره پیش بینی کاهش و  
پس از آن افزایش می یابد.

براساس جدول ۴ متوسط بارندگی دوره مشاهداتی  
ایستگاه سینوپتیک یزد ۵۸/۶ میلیمتر است که با مدل  
برای دوره پایه (۵۹/۴ میلیمتر) و در دوره ۳۰ ساله آتی  
(۵۷/۸ میلیمتر) برآورد شده است. با اعمال رقم تصحیح  
۰/۸ میزان بارندگی یزد در ۳۰ سال آینده ۵۷ میلیمتر  
خواهد بود که نسبت به دوره مشاهداتی حدود ۳ درصد  
کاهش دارد. تغییرات بارندگی ایستگاه یزد در دوره های  
مشاهداتی، مدل برای همان دوره و ۳۰ سال آتی در شکل



شکل ۴- تغییرات مقایسه ای بارندگی یزد در دوره های مشاهداتی، با الف) مدل برای همان دوره و ب) ۳۰ سال آتی



شکل ۷- تغییرات بارندگی و ب) دمای ایستگاه یزد برای ۵۵ سال گذشته و ۳۰ سال آینده



## دمای هوا

مشاهداتی به صورت رابطه  $\Delta T = (\bar{T}_F - \bar{T}_O)$  که در آن  $\bar{T}_F$  و  $\bar{T}_O$  دمای مدل به ترتیب در دوره آتی و مشاهداتی است انجام شده است. لازم به توضیح است اختلاف دمای مدل در دوره پایه با آمار مشاهداتی به عنوان رقم اصلاحی واسنجی در محاسبات منظور گردیده است (جدول ۵).

پس از انجام مراحل ریزمقیاس نمایی، مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین دمای سالیانه ایستگاه‌ها در دوره آتی با سناریوهای مختلف استخراج و محاسبه گردید. محاسبات افزایش یا کاهش دما در هر ایستگاه با سناریوهای مختلف، براساس اختلاف درجه حرارت متوسط ۳۰ ساله تحت اقلیم آینده (۲۰۴۵-۲۰۱۶) با متوسط دوره

جدول ۵- نتایج تغییرات درجه حرارت سالیانه ایستگاه‌های منتخب به سانتیگراد در دوره ۳۰ ساله آتی

ردیف	ایستگاه	حداقل مطلق	حداکثر مطلق	میانگین	میانگین حداقل	میانگین حداکثر
۱	بهداران	.۴	۱۷	.۱۸	.۱۲	۱/۴
۲	ده بالا	-.۱۷	.۱۹	.۱۱	-.۱۱	.۱۳
۳	خرانق	.۱۳	۴/۷	.۱۶	.۳	.۱۸
۴	محمدآباد	-۳/۱	۴	.۱۲	.۱۲	.۱۱
۵	نیر	-۱	۵/۳	-.۱۲	-.۱۶	.۱۳
۶	یزد	-۱	.۱۷	.۱۶	-.۱۱	۱/۲
۷	میانگین	-.۳	۲/۹	.۱۵	.۱۲	.۱۷

فخرآباد اختصاص دارد. متوسط کاهش بارندگی ایستگاه‌ها ۸/۸ درصد است. حداکثر بارندگی روزانه بجز در ایستگاه‌های بهادران و دامک علی آباد در سایر ایستگاه‌ها کاهش دارد. متوسط کاهش بارندگی روزانه ایستگاه‌ها ۶/۱ درصد نسبت به دوره پایه می‌باشد. شکل‌های ۴ و ۵ هم باران متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز یزد- اردکان را در دوره ۳۰ ساله مشاهداتی و آتی نشان می‌دهد.

در نقشه پهنه بندی بارندگی حوزه در دوره مشاهداتی و مقایسه آن با دوره آتی نشان می‌دهد وسعت بارندگی کمتر از ۶۰ میلیمتر در دوره آتی بیشتر شده که ناشی از کاهش بارندگی در آینده است.

تغییرات بارندگی سالیانه ایستگاه‌ها با سناریوی RCP4.5 استخراج و نمودار آن برای ۴ ایستگاه ترسیم گردید (شکل ۶).

بررسی نمودارهای بارندگی سالیانه ایستگاه‌ها بیانگر افزایش بودن تغییرات بارندگی سالیانه در دهه سوم دوره آتی است.

متوسط کاهش بارندگی ۳۰ ساله آتی در ۵ ایستگاه واقع در دشت شامل اردکان، بهادران، فخرآباد، محمدآباد و یزد به میزان ۳/۶ درصد بوده درحالی که کاهش ۵ ایستگاه ده بالا، دامک علی آباد، خرانق، نیر و تفت که در حوزه

براساس جدول ۵ متوسط حداقل درجه حرارت ایستگاه‌های منتخب برای دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۵، در ایستگاه‌های ده بالا، نیر و یزد دارای کاهش بین ۰/۱ تا  $0.16^{\circ}\text{C}$  و سایر ایستگاه‌ها بدون کاهش و دارای افزایش تا  $0.2^{\circ}\text{C}$  است. متوسط حداکثر درجه حرارت در ایستگاه‌ها حداکثر  $0.14^{\circ}\text{C}$  مربوط به ایستگاه بهادران است.

براساس خروجی مدل، حداقل مطلق درجه حرارت ایستگاه یزد حدود  $1^{\circ}\text{C}$  کاهش نشان می‌دهد که در ایستگاه محمدآباد ۳/۱ و در ده بالا  $0.17^{\circ}\text{C}$  کاهش دارد. طبق آن حداکثر مطلق دما در تمام ایستگاه‌ها بین ۰/۷ تا  $0.53^{\circ}\text{C}$  افزایش نشان می‌دهد.

## بارندگی

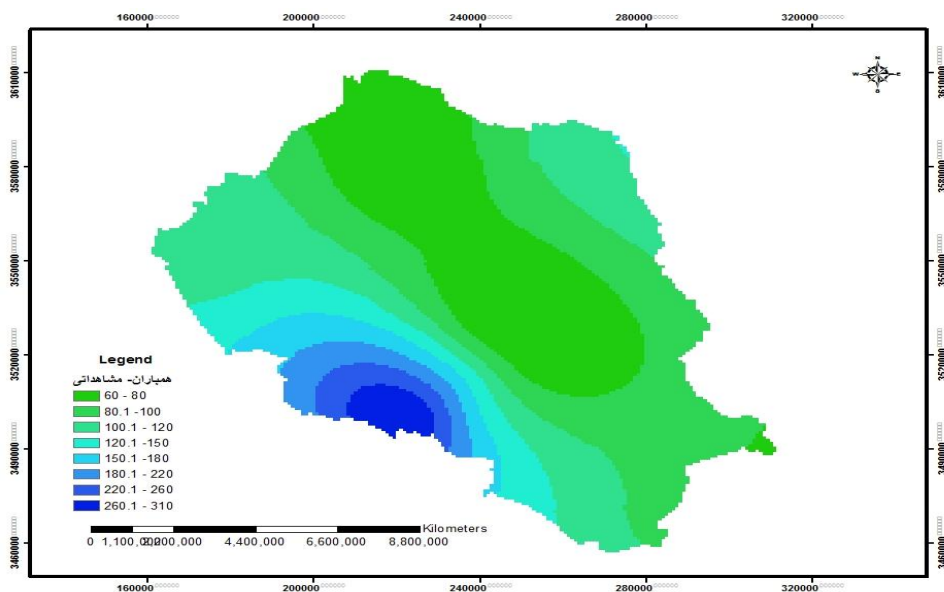
برای مقادیر استخراج شده مدل در دوره پایه بارندگی

سالانه و حداکثر روزانه با استفاده از رابطه  $P_i = (\bar{P}_1 - \bar{P}) / \bar{P}$  که در آن  $\bar{P}_1$  متوسط بارندگی دوره پایه و  $\bar{P}$  متوسط بارندگی دوره مشاهداتی و  $P_i$  ضریب اصلاحی است محاسبه و مقادیر دوره آتی براساس آن اصلاح گردید.

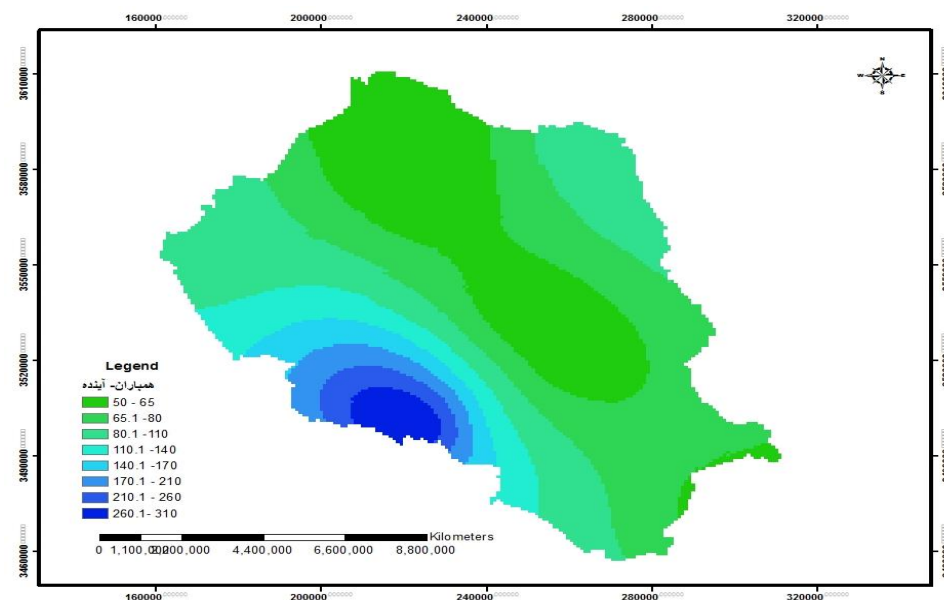
نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بیشترین کاهش بارندگی در ۳۰ سال آتی نسبت به دوره پایه در ایستگاه تفت به میزان ۱۶/۸ درصد و کمترین آن ۱/۵ درصد به

باشد. مقدار کاهش ۱۰ درصدی بارندگی مناطقی مانند ده بالا با بارندگی حدود ۳۰۰ میلیمتر در سال ۳۰ میلیمتر است که معادل ۵۰ درصد بارندگی ایستگاه‌های مستقر در دشت مانند یزد و محمدآباد می‌باشد. این امر، عامل موثری در کاهش رواناب و تغذیه سفره آب زیرزمینی آبخوان یزد- اردکان محسوب می‌شود.

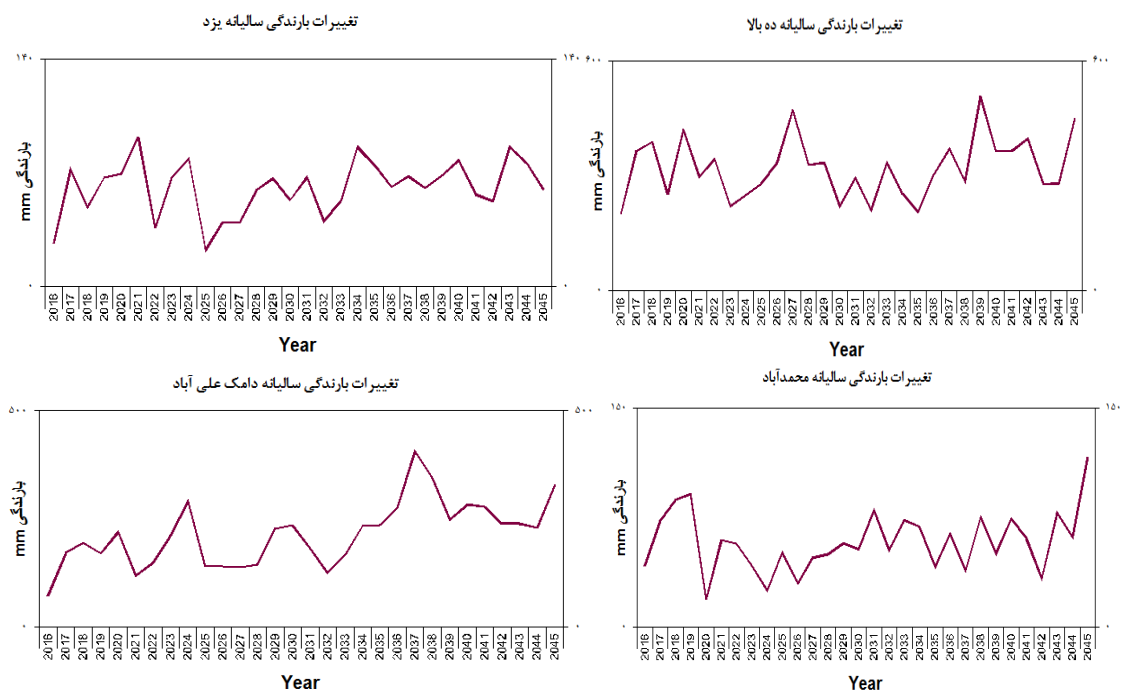
کوهستانی واقع شده حدود ۱۰ درصد است. این موضوع از آن جهت دارای اهمیت است که عمده ترین بارندگی‌های حوزه آبخیز یزد- اردکان در حوزه ارتفاعات شیرکوه بوده و در تغذیه آبخوان دشت تاثیر بسزایی دارد. بنابراین، اثر تغییرات اقلیمی در زمینه بارندگی در مناطق کوهستانی بیش از مناطق دشت است که می‌تواند تاثیر بیشتری بر منابع آب مناطق پایین دست و آبخوان یزد- اردکان داشته



شکل ۵- نقشه همباران حوزه آبخیز یزد- اردکان در دوره ۳۰ سال مشاهداتی



شکل ۶- نقشه همباران حوزه آبخیز یزد- اردکان در دوره ۳۰ سال آتی



شکل ۷- تغییرات بارندگی ۴ ایستگاه در دوره‌های مشاهداتی، مدل برای همان دوره و ۳۰ سال آتی

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بدست آمده، متوسط حداقل درجه حرارت  $0.2$  و متوسط حداکثر  $0.5$   $^{\circ}\text{C}$  افزایش دارد که میانگین افزایش دمای ایستگاه‌های حوزه دشت یزد- اردکان در ۳۰ سال آتی (۲۰۱۶ تا ۲۰۴۵) حدود  $0.5$   $^{\circ}\text{C}$  است. حداقل مطلق درجه حرارت به طور متوسط،  $0.3$   $^{\circ}\text{C}$  در ایستگاه‌ها کاهش داشته که بیشترین کاهش  $3.1$   $^{\circ}\text{C}$  مربوط به ایستگاه محمدآباد دارد. حداکثر مطلق دارای افزایش

قابل ملاحظه‌ای دارد و میانگین آن  $2/9$   $^{\circ}\text{C}$  افزایش نشان می‌دهد.

در زمینه بارندگی نتایج نشان می‌دهد متوسط بارندگی ایستگاه‌ها در دوره آتی  $8/8$  درصد نسبت به میانگین دوره مشاهداتی کاهش دارد. بیشترین کاهش، به مقدار  $16/8$  درصد مربوط به ایستگاه تفت است. همچنین با توجه به آنچه در بخش قبلی بیان گردید کاهش بارندگی در ایستگاه‌های مناطق کوهستانی نسبت به دشت حدود  $10$  درصد بیشتر است.

### References

- [1]. Barzegari Bandkubi, F., Maleki Nejad, H., Hoseini, M. (1395), "Conjunctive Water Resources Management with Emphasis on Environmental Sustainability in Yazd-Ardakan Basin" Journal of Iran Water Resources Research, 12(2), pp. 104-119.
- [2]. Chu, J.T., J. Xia, C.Y. Xu and V.P. Singh. 2010. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios In Haihe River, China. Theoretical and Applied Climatology, 99: 149-161.
- [3]. Dehghanipur, A.H., Hasanzade, M.J., Araghnejad, SH. (1390) "Performance Evaluation of SDSM Model in Downscaling Precipitation, Temperature and Evaporation (Case Study: Tabriz Synoptic Station)" Eleventh Seminar on Irrigation and Decreasing Evaporation. Bahman 1390.
- [4]. Fakheri Fard, A., et al., (1390), "Investigating the Effects of Climate Change on Input Flows to Urmia Lake Using Statistical Downscaling Model (SDSM)" Fourth Conference on Iran Water Supply Management. 4.
- [5]. Ghermez Cheshmeh, B., Haj Mohammadi, M., Ahmadi, M. (1394), "Evaluating the Performance of SDSM Model in Different Stations within Hadcm3 Cell" Fifth

- Regional Conference on Climate Change, Tehran, 1394.
- [6]. Harpham, H. and Wilby, R. L. (2005), "Multi-Site DownScaling of Heavy Daily Precipitation Occurrence and Amount," *journal of hydrology*, 312, pp 235-255
- [7]. Karamooz, M., Apoolpoor, A., Nazif, S. (1390). "Evaluating the Effects of Climate Change on Underground Water Supplies (Case Study: Rafsanjan)" University of Tehran.
- [8]. Lorena, L., V. Leonardo, R. Enrique, and L. Goffredi. 2010. Basin-scale water resources assessment in Oklahoma under systematic climate change scenarios using a fully distributed hydrologic model. *J. Hydrol. Eng.* 15: 107-118.
- [9]. Rezaei, M., Nahtani, M., Abkar, A., Rezaei, M., Mirkazi, M. (1392), "Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case Study: Kerman and Bam)".
- [10]. Sajjad Khan, M., Coulibaly, P. and Dibike, Y. (2006) "Uncertainty analysis of statistical downscaling methods". *Journal of Hydrology*. 319: 357-382.
- [11]. Smith, D.M. *Just One Planet: Poverty, Justice and Climate Change*. UK: Practical Action Publishing, 2006 p.72.
- [12]. Sobhani, B., Eslahi, M., Babaeian, I. (1394), "Efficiency of Statistical Downscaling Models of SDSM and LARS-WG in the Simulation of Meteorological Parameters in Lake Urmia Basin" *Journal of Physical Geography Research Quarterly*, 47(4) pp 499-516.
- [13]. Tryhorn, L. and Degaetano, A. (2011), "A Comparison of Techniques for Downscaling extreme precipitation over the northeastern United State," *International journal of climatology*, 31(13), pp 1975-1989
- [14]. Zhang, X.C., W.Z. Liu and J. Chen. 2011. Trend and uncertainty analysis of simulated climate change impacts with multiple GCMs and emission scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology*.

## Investigation of temperature and precipitation variations of Yazd-Ardakan basin with SDSM under the conditions of future climate change

1- M.A. Aref, Climatology PhD candidate, Kharazmi University, Tehran, Iran  
Aref198@yahoo.com

2- B. Alijani, Professor of climatology and Director of Center of Excellence for Spatial Analysis of Environmental Hazards, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 15 May 2017

Accepted: 11 Dec 2017

### Abstract

One of the most important international issues is increasing of global warming and global climate change. Global warming and temperature peaks in recent decades, especially in the 1990s, have increased, and recorded the world's warmest year in the last 150 years in 2016. Changes in temperature and precipitation are in line with the changes in the large hydrological cycle and have caused wide variations in climate, such as atmospheric changes, changes in rainfall patterns, and extreme temperatures.

The aim of this study was to investigate temperature and precipitation changes in the Yazd-Ardakan basin and ten stations were used to study temperature and precipitation during the period 1975-2005.

The results indicate a rise in temperature of 0.5 °C in the Yazd-Ardakan plain in the 30 year period of 2016-2045. The result is consistent with the IPCC forecast that global warming is set at 0.2 °C per decade. Also the results of the model output show that the average rainfall variation of stations is 8.8 percent lower than the average observation period. The monthly precipitation of stations indicates a decrease in winter rainfall and an increase in precipitation in the spring, a subject that confirms the rainfall data of the stations in the current situation.

Future climate change in the environmental issues of Yazd province, especially in the field of water, can affect the future and its sustainability.

**Keywords:** Climate change; Scenario; Yazd- Ardakan Basin; Prediction.