

بررسی و مقایسه تغییرات اقلیمی مناطق دشتی و کوهستانی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۰

(مطالعه موردی: حوضه آبخیز دشت یزد- اردکان)

فاطمه برزگری بنادکوکي*^۱ و حسین ملکی نژاد^۲

۱. دانشجوی دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، مری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

۲. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، ایران

(دریافت: ۹۳/۱۰/۱۵، پذیرش نهایی: ۹۴/۷/۱۴)

چکیده

دلایل و شواهد زیادی درباره تغییر اقلیم در سراسر دنیا وجود دارد. در سال‌های اخیر بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر مناطق مختلف، توجه دانشمندان را به خود جلب کرده است. در این پژوهش، تغییرات اقلیمی حوضه آبریز دشت یزد- اردکان در دو ایستگاه کوهستانی و دشتی (به‌عنوان مناطق تغذیه و تخلیه آبخوان)، با استفاده از سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 از مدل $HadCM_3$ در نرم‌افزار لارس بررسی شد. دوره شبیه‌سازی به سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ مربوط است. نتایج بررسی سناریوهای ذکر شده، نشان داد توزیع بارش در آینده در هر دو ایستگاه دچار تغییراتی خواهد بود و بیشتر، تیپ بارش بهاره را خواهیم داشت. شایان ذکر است که بارندگی در ایستگاه کوهستانی ده بالا در مقایسه با ایستگاه دشتی یزد، نوسان بیشتری خواهد داشت. دمای کمینه و بیشینه نیز در هر دو ایستگاه دارای روند افزایشی است و انتظار می‌رود در دوره شبیه‌سازی، متوسط دمای سالانه ایستگاه‌ها افزایش یابد. حداکثر افزایش دمای کمینه و بیشینه در سناریوی A_2 مشاهده شد. بر اساس این سناریو، دمای کمینه ایستگاه یزد و ده بالا در دوره شبیه‌سازی به ترتیب $1/83$ و $1/43$ درجه سانتیگراد افزایش خواهد داشت. سناریوی A_2 ، دمای بیشینه این ایستگاه‌ها را نیز در دوره آتی، به ترتیب $1/19$ و $2/07$ درجه سانتیگراد بیشتر از دوره مشاهده‌ای نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۰، مدل‌های گردش عمومی جو، دشت یزد- اردکان، $HadCM_3$ ، LARS-WG.

۱. مقدمه

انتظار می‌رود پدیده‌های حادی در دهه‌های آینده روند افزایشی داشته باشند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). از جمله مناطقی که به‌صورت ویژه تحت تأثیرات نامطلوب تغییر اقلیم قرار دارند، مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان هستند (کنزویتز و همکاران، ۲۰۰۷). بررسی‌ها نشان می‌دهد مهم‌ترین دغدغه مدیران و برنامه‌ریزان در آینده، کمیت و کیفیت آب است (بیتز و همکاران، ۲۰۰۸). مدیران مسئول در زمینه منابع آب، جهت ساماندهی و یافتن راه‌های مقابله با این بحران باید تأثیر تغییر اقلیم را بر منابع آب در دسترس و مقدار تقاضای آب بررسی کنند و تا این روابط شناخته نشود، نمی‌توان برای آینده برنامه‌ی جامعی در نظر گرفت (زو و همکاران، ۲۰۰۴).

برای بررسی تغییرات اقلیمی آینده از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود. مدل‌های اقلیمی بحث جدیدی است که بیش از ۳۰ سال از عمر آن نمی‌گذرد. هر مدل اقلیمی

واقعیت تغییر اقلیم از موضوعات برجسته محافل علمی و حتی عوام در چند دهه اخیر بوده و تحقیقات گسترده‌ای را در مقیاس جهانی، ناحیه‌ای و محلی به خود اختصاص داده است. هرچند بر اساس شواهد موجود، تغییر اقلیم واژه‌ای قدیمی و مربوط به گذشته زمین تاکنون است، ولی آنچه بر نگرانی دانشمندان افزوده است، شتاب گرفتن این تغییرات است؛ به‌طوری‌که گزارش‌ها حاکی از ورود زمین به مرحله تغییر اقلیم انسان‌ساز است (آی پی سی سی، ۲۰۰۷؛ استرن، ۲۰۰۶؛ ترنبرث و همکاران، ۲۰۰۷) و این ارمغان حضور انسان و انقلاب صنعتی اوست. پاسخ تمامی نقاط کره زمین به پدیده گرمایش جهانی یکسان نخواهد بود و یقیناً به دلیل تغییر الگوهای فشاری، مناطق مختلف عکس‌العمل بارشی متفاوتی خواهند داشت. مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم، تأثیرگذاری آن بر پدیده‌های حادی جوی و اقلیمی خواهد بود، به‌طوری‌که

تلاش می‌کند فرایندهای تأثیرگذار بر اقلیم را شبیه‌سازی و بر اساس آن، تغییرات اقلیمی آینده را بررسی کند (مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). این شبیه‌سازی به‌طور قطعی امکان‌پذیر نیست و بنابراین با بررسی احتمالات از طریق سناریوهای اقلیمی صورت می‌گیرد. معروف‌ترین مدل شبیه‌سازی اقلیمی مدل‌های گردش عمومی جو (General Circulation Model) هستند. این مدل‌ها در مطالعات افرادی نظیر ایتزینگرا و همکاران (۲۰۰۳)، ریچارد و لینزن (۱۹۹۴)، خزایی و همکاران (۲۰۱۱)، هرتیج و ژاکوبیت (۲۰۰۸)، کاینوما و همکاران (۲۰۰۴)، بابائیان و همکاران (۲۰۰۴)، کوچکی و همکاران (۱۳۸۲)، بابائیان و همکاران (۱۳۸۸)، روشن و همکاران (۱۳۹۱) و آشفته و مساح بوانی (۱۳۹۱) به‌کار رفته است. به‌طور کلی مدل گردش عمومی جو، شرایط توپوگرافی، پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرند، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در این محدوده کاملاً متفاوت باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). برای فائق آمدن به این مشکل، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دو روش آماری و دینامیکی ریزمقیاس می‌گردند (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۵). روش‌های آماری به دلیل هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر، معمولاً به روش‌های دینامیکی برگزیده می‌شوند (هویتسون و کرین، ۱۹۹۶؛ عباسی و همکاران، ۱۳۸۹). از جمله مدل‌هایی که از روش‌های آماری استفاده می‌کنند، می‌توان به LARS-WG, CLIMGEN, GEM و SDSM اشاره کرد. از بین مدل‌های نام‌برده، مدل LARS-WG به دلیل سادگی و انطباق بیشتر با واقعیت‌های موجود، به گستردگی در انگلستان استفاده می‌شود (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۵). کارایی مدل LARS-WG و مدل WGEN در ۱۸ ایستگاه هواشناسی آمریکا، اروپا و آسیا توسط سمونوف بررسی شد و نتایج نشان داد که مدل LARS-WG با داده‌های دیدبانی هم‌خوانی بیشتری دارد (سمونوف و همکاران، ۱۹۹۸؛ سمونوف و بارو، ۲۰۰۲). ماوروماتیس و هانسن (۲۰۰۱)، با مقایسه مدل‌های WM، WM2 و

LARS-WG نشان دادند که مدل LARS-WG در سطح اطمینان بالاتری از بقیه قرار دارد. بابائیان و همکاران در سال ۲۰۰۴، با استفاده از مدل لارس، تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی را در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ بررسی کردند. در این مطالعه پارامترهای اقلیمی بارش، تابش، دمای حداقل و حداکثر، طول دوره‌های تر و خشک، طول دوره‌های داغ و یخبندان و روند بارش‌های سنگین و سیل‌آسا، در ده ایستگاه سینوپتیک کره جنوبی بررسی شد. بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵)، با بررسی مدل LARS-WG در ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان رضوی، افزایش دمای سالانه ۱/۵ تا ۳ درجه سانتی‌گراد، کاهش ۱۰ درصدی بارش، افزایش ۴۵ تا ۶۰ درصدی بارش‌های سنگین، کاهش ۱۳ درصدی بارش‌های فصل سرد و افزایش ۵۰ درصدی بارش‌های تابستان را گزارش کردند. زرقامی و همکاران (۲۰۱۱) تغییر اقلیم را در استان آذربایجان غربی، با استفاده از مدل LARS-WG بررسی کردند. نتایج بررسی ایشان، افزایش دمای سالانه در حدود ۲/۳ درجه سانتی‌گراد و کاهش ۳ درصدی بارش را نشان داد. دوستی و همکاران (۱۳۹۲) از مدل لارس برای شبیه‌سازی اقلیم در حوضه تهر استان گلستان بهره گرفتند. نتایج تحقیق ایشان، بیانگر افزایش ۲/۴ درجه سانتی‌گراد در دمای سالانه و افزایش ۲ درصدی بارش است.

بر اساس مطالب گفته‌شده، به دلیل تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب، بررسی این پدیده در مناطق بحرانی از نظر آب، بسیار حائز اهمیت خواهد بود. شهر یزد به دلیل واقع شدن در منطقه خشک و رشد چشمگیر جمعیت و صنعت، از نظر منابع آبی مورد توجه برنامه‌ریزان و دولت‌مردان بوده است. کمبود آب در دهه‌های گذشته، باعث انتقال بین‌حوضه‌ای آب از استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری شده است. اخیراً با توجه به افزایش مصرف آب، عدم کفایت این پروژه به خوبی احساس می‌شود؛ بنابراین با توجه به این مسئله و اینکه تأمین منابع آب زیرزمینی شهر یزد از طریق منطقه شیرکوه صورت می‌گیرد، بررسی تغییر اقلیم در منطقه تأمین و منطقه مصرف آب، از اهمیت

کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی $30^{\circ} 53'$ تا 55° طول شرقی و $15^{\circ} 31'$ تا $30^{\circ} 32'$ عرض شمالی واقع شده است. بیشتر جمعیت شهری منطقه مورد مطالعه در محدوده دشتی واقع شده است و منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز این جمعیت، آبخوان زیرزمینی است که از مناطق مرتفع حوضه تغذیه می‌شود. شکل ۱ موقعیت منطقه را نشان می‌دهد.

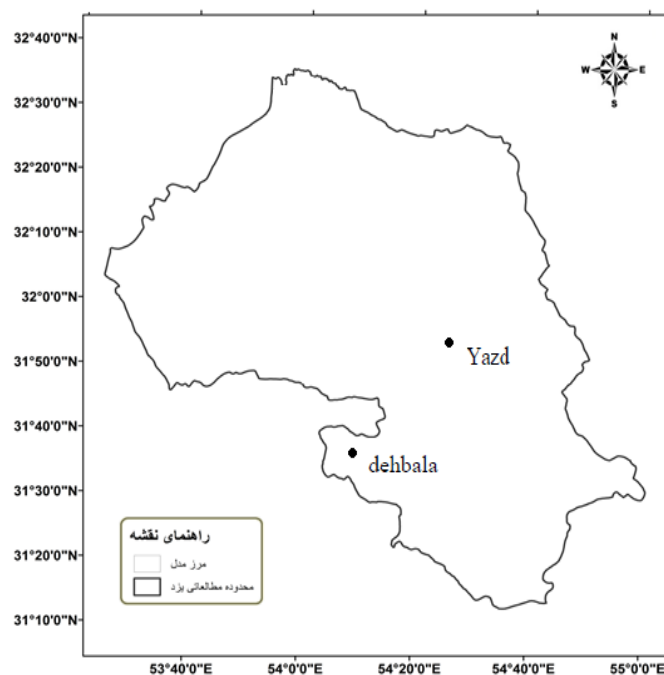
در حوضه آبخیز گفته شده تعدادی ایستگاه سینوپتیک و هواشناسی وجود دارد که بیشتر آن‌ها دارای طول دوره آماری کوتاه مدت هستند. در این بین، ایستگاه سینوپتیک ده‌بالا از میان ایستگاه‌های کوهستانی و ایستگاه سینوپتیک یزد از بین ایستگاه‌های دشتی دارای آمار طولانی مدت هستند و برای بررسی تغییر اقلیم در این مناطق به کار رفتند. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است.

زیادی برخوردار است. بر این اساس در تحقیق حاضر به منظور بررسی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر آینده منابع آبی منطقه مورد مطالعه، از داده‌های دو ایستگاه ده‌بالا و یزد به عنوان ایستگاه‌های موجود در منطقه تأمین و منطقه مصرف آب استفاده شد. از طرفی با توجه به توانایی مدل لارس در شبیه‌سازی چشم‌انداز اقلیم دهه‌های آتی، این مدل برای تحقیق به کار رفت. به این منظور سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 از مدل HadCM3 در نرم‌افزار لارس، بررسی و پارامترهای اقلیمی برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ شبیه‌سازی شد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز دشت یزد-اردکان از زیرحوضه‌های کویر سیاه‌کوه است که با محدوده‌ای به وسعت ۱۲۴۷۳



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز یزد-اردکان

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	طول دوره آماری
ده‌بالا	سینوپتیک	$54^{\circ} 6'$	$31^{\circ} 33'$	۲۶۰۶	۱۹۹۱-۲۰۱۰
یزد	سینوپتیک	$54^{\circ} 17'$	$31^{\circ} 54'$	۱۲۳۷,۲	۱۹۶۱-۲۰۱۰

۲.۲. مدل LARS-WG

داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش شامل مقادیر بارش روزانه، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی بودند که در قالب مدل لارس بررسی شدند.

LARS-WG از مشهورترین الگوهای مولد داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید مقادیر بارش، تابش، بیشینه و کمینه درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیمی پایه و آینده به کار می‌رود. مبنای این الگو برای الگوسازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه‌تجربی است. در توزیع نیمه‌تجربی فاصله‌ها به‌طور مساوی بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم سری زمانی ماهانه تقسیم می‌شوند. (رابطه ۱):

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i \mid i=0, 1, 2, \dots, 10\} \quad (1)$$

EMP یک بافت‌نگار با ده طبقه به صورت $[a_{i-1}, a_i]$ با فرض $i=0, 1, 2, \dots, 10$ است. h_i فراوانی (تعداد بارش) در طبقه i ام است. سری‌های فوریه درجه حرارت را در این الگو تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های کمینه یا بیشینه روزانه به صورت فرایندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر وابسته‌اند، الگوسازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می‌رود. رفتار حاکم بر مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیدبانی شده به دست می‌آید، از طریق تحلیل خودهمبستگی زمانی داده‌های کمینه و بیشینه حاصل می‌شود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸).

علاوه بر سناریوی تدوین شده برای هر شبکه محاسباتی، برای اجرای الگوی LARS-WG به فایل مشخصه رفتار اقلیم گذشته ایستگاه‌های واقع در داخل آن شبکه نیاز است. سپس این الگو با دریافت فایل محتوی رفتار اقلیم گذشته ایستگاه و پوشه سناریوی تولید داده، مقادیر روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش روزانه را در آینده محاسبه می‌کند. مکانیسم عمل الگو به این

صورت است که مدل در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که دربرگیرنده رفتار اقلیم پایه است، تمامی داده‌های ماهانه را مطابق رابطه (۲) تنظیم می‌کند.

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (2)$$

در رابطه (۲)، F_{obs} ، F_{GCM}^{fut} و F_{GCM}^{base} به ترتیب نشان‌دهنده پارامتر هواشناسی شبیه‌سازی شده روی ایستگاه هواشناسی، پارامتر هواشناسی دیدبانی شده در همان ایستگاه، پارامتر هواشناسی شبیه‌سازی شده روی شبکه الگو در دوره آینده و پارامتر هواشناسی مدل شده روی شبکه مدل در دوره گذشته هستند. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها مطابق رابطه (۳)، محاسبه می‌شود (بابائیان و همکاران، ۲۰۰۴؛ بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸).

$$STD = \frac{STD_{GCM}^{obs}}{STD_{GCM}^{base}} \times STD_{GCM}^{fut} \quad (3)$$

۲.۲.۱. خلاصه‌ای از فرایند مدل LARS-WG

در این مدل فرایند تولید داده‌های مصنوعی آب و هوایی در سه بخش انجام می‌گیرد:

۱. کالیبره کردن مدل: در این بخش داده‌های آب و هوایی دیدبانی شده برای تعیین خصوصیات آماری تحلیل می‌شوند. این اطلاعات در دو فایل مجزا ذخیره می‌گردند.
۲. صحت‌سنجی مدل: در این قسمت خصوصیات آماری داده‌های دیدبانی و مصنوعی تولیدشده توسط مدل برای تعیین اینکه آیا تفاوت‌های آماری درخور توجهی بین این دو گروه از داده‌ها وجود دارد یا نه، تجزیه و تحلیل می‌شوند.

۳. تولید داده: در اینجا داده‌های آب و هوایی مصنوعی با استفاده از فایل‌های به‌دست آمده از داده‌های آب و هوایی دوره دیدبانی شده، تولید می‌شوند که دارای خصوصیات آماری مشابه با دوره دیدبانی هستند.

۲.۲.۳. شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره گذشته توسط

مدل

در این تحقیق به منظور ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های

انجام گرفت.

۳. نتایج

۳.۱. صحت‌سنجی مدل

نتایج صحت‌سنجی مدل لارس با استفاده از پارامترهای آماری در جدول ۳ ارائه شده است.

همان‌طور که از جدول ۳ استنباط می‌شود، تفاوت معناداری بین مقادیر دیدبانی شده و مقادیر برآوردی پارامترهای بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه وجود ندارد؛ بنابراین می‌توان گفت مدل لارس توانایی مناسبی در شبیه‌سازی این پارامترها در ایستگاه‌های مطالعاتی دارد. در مورد پارامتر تابش، در ایستگاه یزد، شبیه‌سازی مناسب صورت گرفته و تفاوت معناداری بین مقادیر دیدبانی شده و مقادیر برآوردی پارامتر تابش وجود ندارد. ولی مدل لارس در شبیه‌سازی این پارامتر در ایستگاه ده بالا ضعیف است و بین مقادیر تابش شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های دیدبانی شده تفاوت آماری معنادار وجود دارد. با این حال از آنجا که مبنای کار این مطالعه، بیشتر بر بررسی دما و بارش استوار بوده است، مشکل شبیه‌سازی تابش قابل چشم‌پوشی است.

مدل گردش عمومی جو، از مدل HadCM₃ و سناریوهای A₁B و A₂, B₁ در نرم‌افزار لارس استفاده شد. مشخصات سناریوهای استفاده شده در جدول ۲ آمده است.

برای اجرای مدل، مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی مربوط به سال‌های آماری ذکر شده در جدول ۱، به‌عنوان دوره اقلیم پایه به مدل معرفی شد. سپس با استفاده از سناریوهای ذکر شده در جدول ۲، شبیه‌سازی اقلیم برای دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ میلادی صورت گرفت. به‌منظور تحلیل بهتر نتایج، میانگین پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی شده برای دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ میلادی به‌ازای ماه‌های مختلف سال محاسبه شد و نمودارهای مربوطه ترسیم گردید و با دوره دیدبانی مقایسه شد.

۲.۴. صحت‌سنجی مدل

در این تحقیق به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو، از مدل HadCM₃ و سناریوهای A₁B و A₂, B₁ در نرم‌افزار لارس استفاده شد. صحت‌سنجی مقادیر شبیه‌سازی شده مدل، با استفاده از پارامترهای آماری، شامل بایاس، P Value و T Student

جدول ۲. ویژگی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM₃ و سناریوهای تغییر اقلیم

نام مدل	گروه مؤسس	قدرت تفکیک	سناریوهای انتشار
HadCM ₃	UK Met, Office	3.75° × 2.5°	A ₂ , B ₁ , A ₁ B
سناریوها	A ₂	رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان	
	B ₁	استفاده از انرژی‌های پاک و محیط زیست و تأکید بر پایداری اقتصاد و محیط زیست	
	A ₁ B	رشد سریع اقتصادی، پیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن و پس از آن روند کاهشی، رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر	

جدول ۳. نتایج صحت‌سنجی مدل لارس با استفاده از پارامترهای آماری*

ایستگاه	بارش			دمای بیشینه			دمای کمینه			تابش	
	P	T	Bias	P	t	Bias	P	t	Bias	P	t
ده بالا	۰/۱۵۵	-۱/۵۱۷	-۲/۲۱۵	۰/۳۲۳	۱/۰۳۱	۰/۰۷۶	۰/۴۹۶	۰/۷۰۲	۰/۰۵۶	۰/۰۹۴	-۲/۹۴۷
یزد	۰/۶۱۱	-۰/۵۲۲	-۰/۱۲۱	۰/۶۳۸	-۰/۴۸۳	-۰/۰۳۲	۰/۴۷۷	-۰/۷۳۵	-۰/۰۲۷	-۰/۱۹۴	-۳/۳۰۷

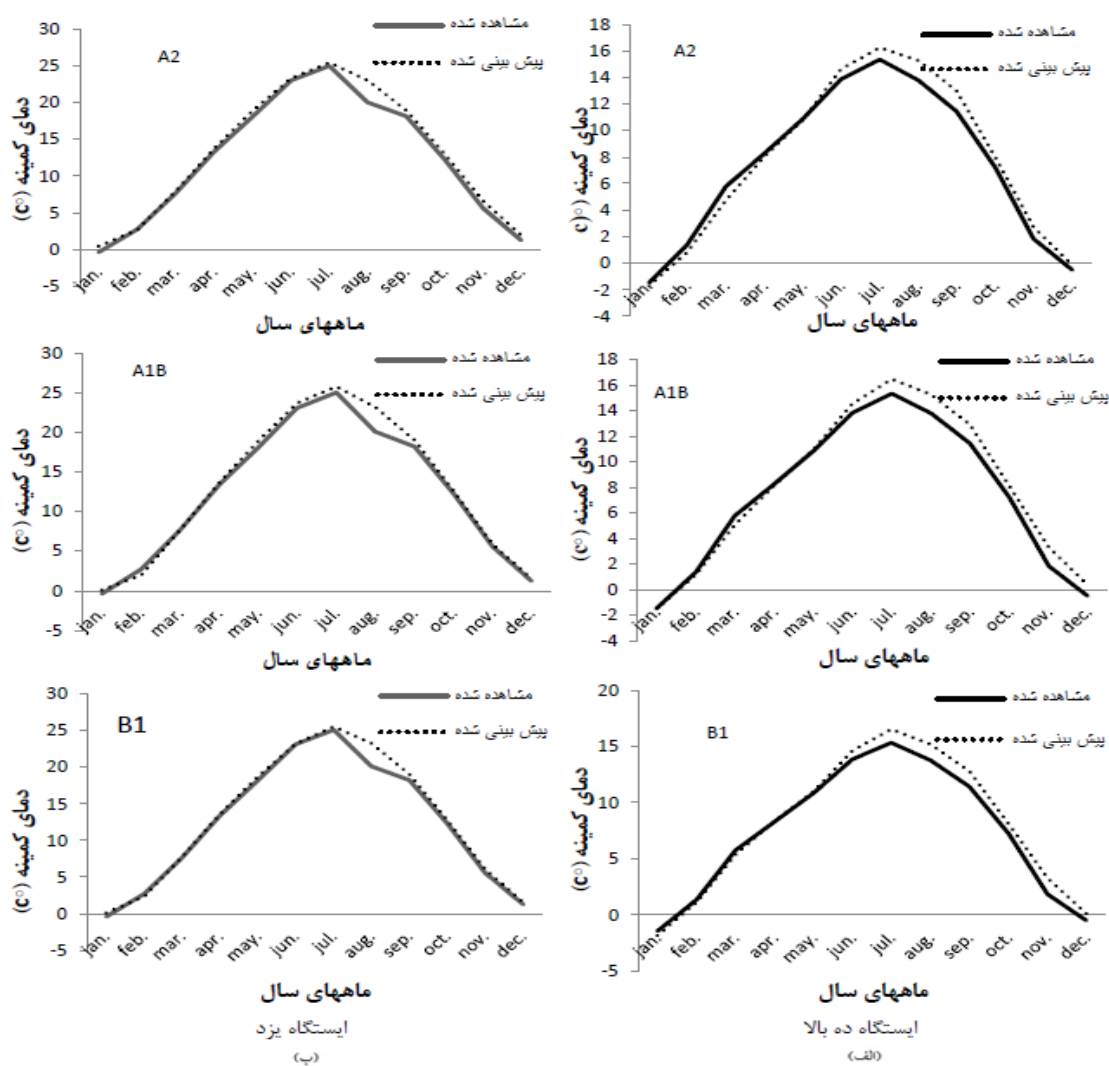
*علامت _ به معنای معنادار نبودن پارامترهاست.

۲.۳. دمای کمینه

تیر و مرداد مطابق با Jun, Jul, Agu خواهد بود. دمای کمینه شبیه‌سازی شده با سناریوی A₂ در مقایسه با سایر سناریوها، افزایش بیشتری نشان می‌دهد.

در ایستگاه ده بالا نیز تقریباً در تمامی ماه‌های سال دمای کمینه افزایش می‌یابد، اما میزان این افزایش در مقایسه با افزایش این پارامتر در ایستگاه یزد متفاوت خواهد بود. در این ایستگاه نیز مشابه ایستگاه یزد، در ماه‌های تیر و مرداد نوسان دمای کمینه بارزتر خواهد بود. متوسط تغییرات سالانه دمای کمینه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط سناریوهای مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۳ و ۴ آمده است.

نتایج شبیه‌سازی دمای کمینه ایستگاه‌های مطالعاتی برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰، توسط سناریوهای مختلف مدل HadCM₃ در شکل ۲ ارائه شده است. در شکل مذکور نمودارهای مربوط به ایستگاه یزد (شکل ۲-ب) و نمودارهای مربوط به ایستگاه ده بالا (شکل ۲-الف) قرار گرفته است. ردیف اول به نتایج سناریوی A₂، ردیف دوم به نتایج سناریوی A₁B و ردیف سوم به نتایج سناریوی B₁ مربوط است. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۲ می‌توان گفت دمای کمینه شبیه‌سازی شده ایستگاه یزد برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰، طبق همه سناریوها (A₂, A₁B, B₁)، افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار این افزایش مربوط به ماه‌های خرداد،



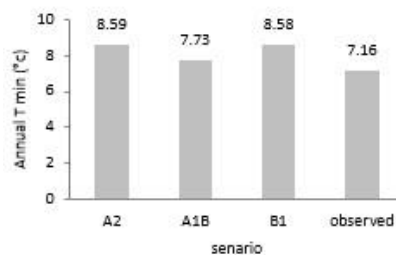
شکل ۲. مقایسه دمای کمینه مشاهده شده و دمای کمینه شبیه‌سازی شده توسط سناریوهای مختلف در ایستگاه‌های (الف) ده بالا و (ب) یزد

بر اساس سناریوی مذکور، دمای کمینه سالانه در ایستگاه یزد، ۱/۸۳ درجه سانتی گراد و در ایستگاه ده بالا، ۱/۴۳ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت. بنابراین می توان گفت تغییرات در ایستگاه یزد بیشتر است.

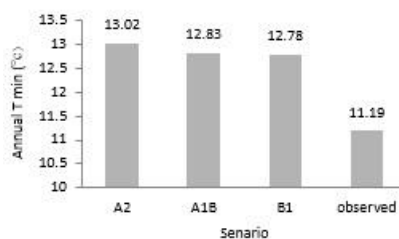
۳.۳. دمای بیشینه

نتایج مربوط به شبیه سازی دمای بیشینه ایستگاه های مطالعاتی برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰، توسط سناریوهای مختلف مدل HadCM3 در شکل ۵ ارائه شده است. مانند شکل ۲، در شکل ۵ نیز نمودارهای مربوط به ایستگاه یزد (شکل ۵-ب) و نمودارهای مربوط به ایستگاه ده بالا (شکل ۵-الف) قرار گرفته اند.

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۵ می توان گفت دمای بیشینه شبیه سازی شده ایستگاه یزد برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰، طبق همه سناریوها (A2, A1B, B1)، روند افزایشی خواهد داشت. بیشترین مقدار این افزایش به اواخر بهار (خرداد) و فصل تابستان (Jun, Jul, Agu) و (Sep) مربوط خواهد بود.

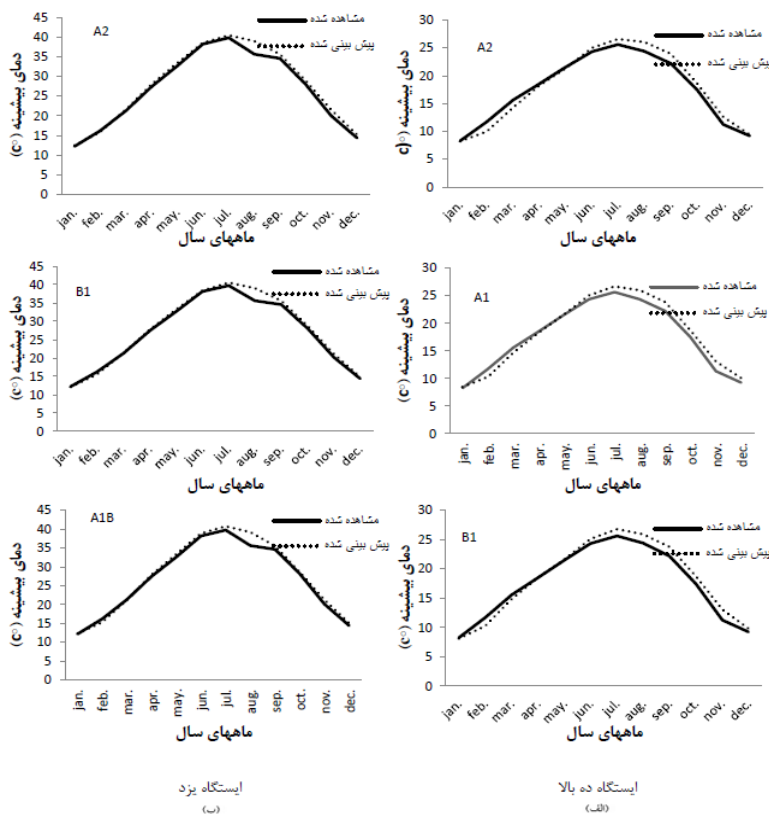


شکل ۳. مقایسه متوسط سالانه دمای کمینه مشاهده شده و شبیه سازی شده توسط سناریوهای مختلف در ایستگاه ده بالا



شکل ۴. مقایسه متوسط سالانه دمای کمینه مشاهده شده و شبیه سازی شده توسط سناریوهای مختلف در ایستگاه یزد

همان طور که از شکل های ۳ و ۴ پیداست، بر اساس همه سناریوهای مورد بررسی، انتظار می رود مقدار دمای کمینه سالانه در هر دو ایستگاه افزایش یابد. حداکثر افزایش دمای کمینه سالانه به سناریوی A2 مربوط است.



شکل ۵. مقایسه دمای بیشینه مشاهده شده و دمای بیشینه شبیه سازی شده توسط سناریوهای مختلف در ایستگاه های (الف) ده بالا و (ب) یزد

ایستگاه در مقایسه با ایستگاه یزد تغییر شایان توجهی ندارد.

۴.۳. بارش

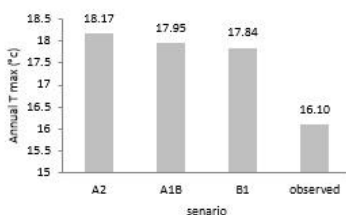
نتایج شبیه‌سازی بارش ایستگاه‌های مطالعاتی برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰، توسط سناریوهای مختلف مدل HadCM3 در شکل ۸ ارائه شده است. نمودارهای مربوط به ایستگاه یزد (شکل ۸-ب) و نمودارهای مربوط به ایستگاه ده بالا (شکل ۸-الف) قرار گرفته‌اند.

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۸ می‌توان گفت بارش شبیه‌سازی شده ایستگاه یزد برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰، طبق همه سناریوها (A_2, A_1B, B_1)، از نظر توزیع زمانی وضعیت متفاوتی با دوره مشاهده‌ای خواهد داشت. به عبارت دیگر مقدار بارش در برخی ماه‌ها افزایش و در برخی ماه‌ها کاهش خواهد داشت. بر اساس شکل ۸، بیشترین افزایش بارش را در سه ماه Apr-May-Jun مطابق با فروردین، اردیبهشت، خرداد و بیشترین کاهش این پارامتر را در ماه‌های Oct-Nov-Jan یا مهر، آبان و دی انتظار داریم. به عبارت دیگر توزیع بارش در آینده در ایستگاه یزد دچار نوساناتی خواهد شد و از بارش‌های پاییزه کاسته و به بارش‌های بهاره افزوده می‌شود. شایان ذکر است که سناریوی A_2 نوسانات را محسوس‌تر نشان می‌دهد.

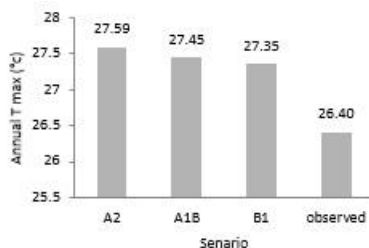
در مورد ایستگاه ده بالا نیز تقریباً در تمامی ماه‌های سال به جز زمستان، دمای بیشینه افزایش می‌یابد. در این ایستگاه نیز مشابه ایستگاه یزد، بیشترین نوسان دمای بیشینه به فصل تابستان و به خصوص تیر و مرداد مربوط خواهد بود. شایان ذکر است در ایستگاه ده بالا نوسان دمای بیشینه در تابستان بیشتر خواهد بود. ولی در سایر ماه‌ها، افزایش دمای بیشینه در ایستگاه یزد محسوس‌تر است. روند تغییرات این پارامتر در تمام سناریوها یکسان است.

برای مقایسه بهتر، متوسط سالانه دمای بیشینه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با سناریوهای مورد بررسی، در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۶ و ۷ آمده است.

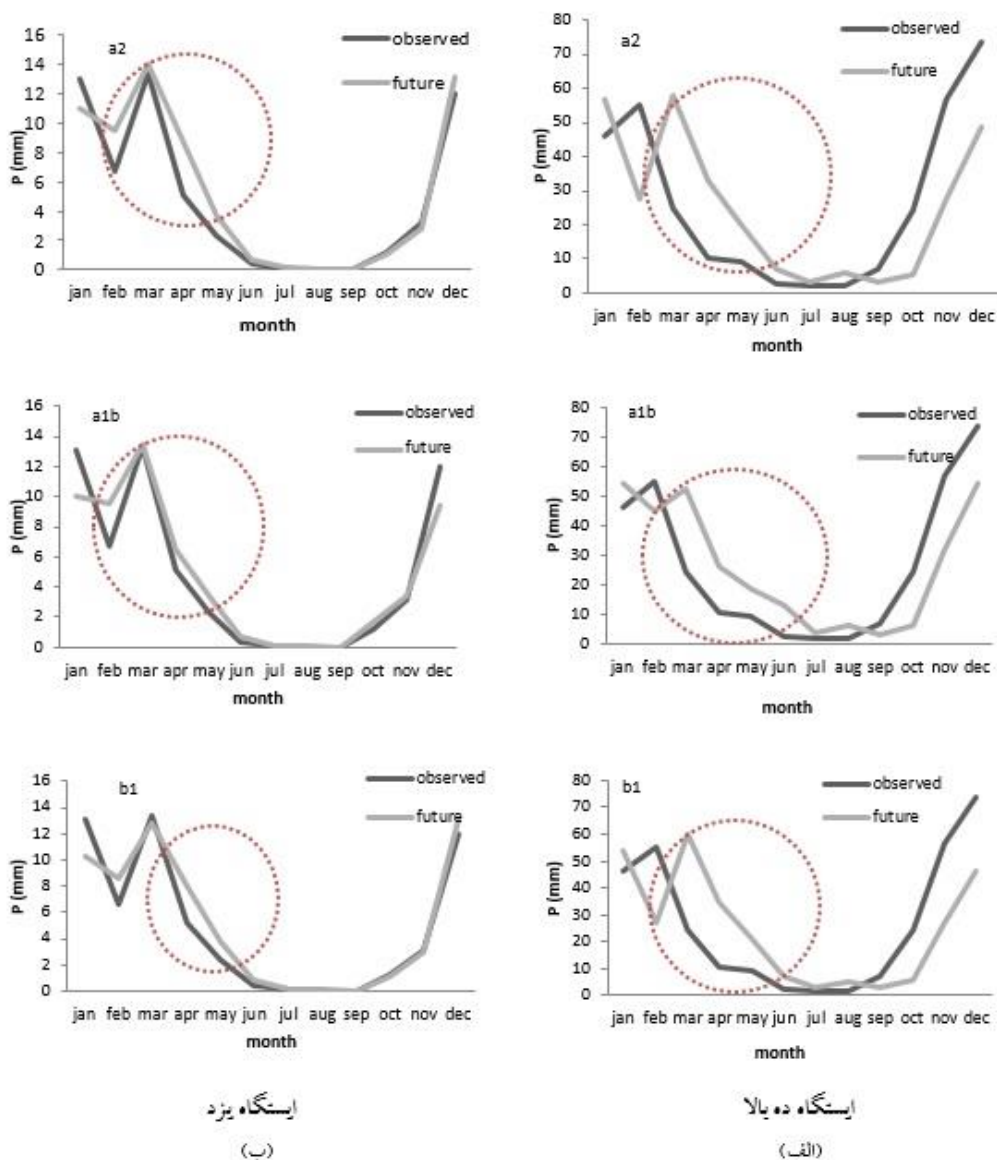
بر اساس شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان گفت همه سناریوهای مورد بررسی، افزایش مقدار دمای بیشینه سالانه را در هر دو ایستگاه مورد بررسی نشان می‌دهند. حداکثر افزایش دمای بیشینه سالانه به سناریوی A_2 مربوط است. بر اساس سناریوی مذکور، دمای بیشینه سالانه در ایستگاه یزد، $1/19$ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه ده بالا، $2/07$ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. با بررسی شکل ۵، می‌توان گفت دلیل افزایش زیاد دمای بیشینه در ایستگاه ده بالا بیشتر مربوط به افزایش دمای بیشینه در فصل تابستان است و در سایر فصول سال دمای بیشینه این



شکل ۶. مقایسه متوسط سالانه دمای بیشینه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط سناریوهای مختلف در ایستگاه ده بالا



شکل ۷. مقایسه متوسط سالانه دمای بیشینه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط سناریوهای مختلف در ایستگاه یزد



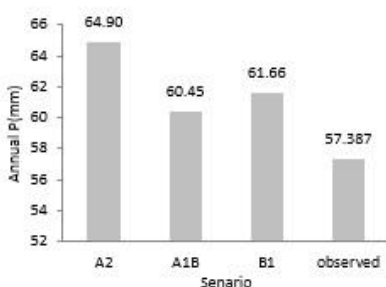
شکل ۸. مقایسه مقادیر بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده توسط سناریوهای مختلف در ایستگاه های (الف) ده بالا و (ب) یزد،** (نواحی مربوط به افزایش بارندگی با دایره مشخص شده است).

سناریوهای مورد بررسی در مقابل مقدار بارش سالانه مشاهده شده در ایستگاه های مورد مطالعه در شکل های ۹ و ۱۰ آمده است.

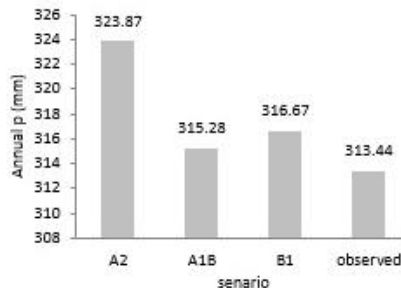
بر اساس شکل های ۹ و ۱۰ می توان گفت همه سناریوهای مورد بررسی، افزایش بارش سالانه را در هر دو ایستگاه مورد بررسی نشان می دهند. حداکثر افزایش بارش سالانه، به سناریوی A₂ مربوط است. بر اساس سناریوی مذکور، بارش سالانه در ایستگاه یزد، ۷/۵ میلی متر و در ایستگاه ده بالا، ۱۰/۴۳ میلی متر افزایش خواهد یافت.

در مورد ایستگاه ده بالا نیز نوسانات توزیع بارش مشاهده می شود. تغییرات توزیع بارش در این ایستگاه، از ایستگاه یزد بارزتر خواهد بود و مانند ایستگاه یزد، از بارش های پاییزه کاسته و به بارش های بهاره افزوده می شود. بر اساس نتایج این مطالعه می توان گفت در آینده اقلیمی منطقه مطالعاتی، بیشترین نوسانات پارامتر بارش، به ایستگاه کوهستانی (ده بالا) مربوط خواهد بود و در ایستگاه دشتی (یزد) نوسانات کمتر است. شکل ۸ این اختلاف را به طور محسوس نشان می دهد.

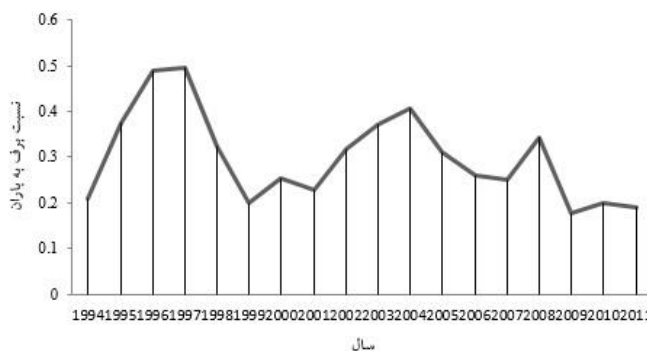
به منظور مقایسه بهتر، بارش سالانه شبیه سازی شده با



شکل ۱۰. مقایسه متوسط سالانه بارش شبیه‌سازی شده توسط سناریوهای مختلف و مقدار مشاهده شده در ایستگاه یزد



شکل ۹. مقایسه متوسط سالانه بارش شبیه‌سازی شده توسط سناریوهای مختلف و مقدار مشاهده شده در ایستگاه ده بالا



شکل ۱۱. بررسی روند تغییرات نسبت بارش برف به باران

۴. بحث

نتایج صحت‌سنجی مدل نشان داد که مدل لارس مدل مناسبی در شبیه‌سازی اقلیم آینده است و این نتیجه با مطالعات سمونوف و همکاران (۱۹۹۸)، ماوروماتیس و هانسن (۲۰۰۱)، سمونوف و بارو (۲۰۰۲)، بابائیان و همکاران (۲۰۰۴)، بابائیان و همکاران (۱۳۸۸)، نجفی نیک (۱۳۸۵) و دوستی و همکاران (۱۳۹۲) متناسب است. بررسی نوسانات دمایی نشان داد در آینده اقلیمی حوضه آبریز یزد-اردکان، هم در مناطق کوهستانی و هم در مناطق دشتی، درجه حرارت افزایش خواهد یافت. این دستاورد نیز با مطالعات بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵)، دوستی و همکاران (۱۳۹۲) و استرن (۲۰۰۶) همخوانی دارد. تغییر تیپ بارشی و افزایش بارش‌های سنگین در مناطق کوهستانی نیز با مطالعات بابائیان و همکاران (۲۰۰۴)، بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵) و دوستی و همکاران (۱۳۹۲) هم‌راستا است. بررسی و تحلیل تفاوت نوسانات اقلیمی در مناطق کوهستانی و دشتی یک حوضه از دستاوردهای مهم این پژوهش است که در مطالعات

در مورد پارامتر بارش، بر اساس مطالب ذکر شده، در آینده، تیپ بارشی، بیشتر به صورت بهاره خواهد بود و با توجه به اینکه افزایش دمای کمینه و بیشینه نیز در سناریوهای مورد بررسی گزارش شده است، انتظار می‌رود تیپ بارشی نیز دستخوش تغییر شده و از بارش برف کاسته و به ریزش‌های بارانی افزوده شود. به منظور بررسی صحت این استدلال، نمودار نسبت بارش برف به باران بر اساس بارش‌های دوره دیدبانی در طول سال‌های آماری موجود در ایستگاه ده بالا، در شکل ۱۱ آمده است. همان‌گونه که از شکل مذکور پیداست، نسبت بارش برف به باران رو به کاهش است، به طوری که از ۰/۳۸ در سال اول به ۰/۲ در سال آخر رسیده است. بنابراین بر اساس این نمودار و نیز نمودارهای مربوط به نوسانات بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه، انتظار می‌رود در آینده شاهد افزایش رگبارها و سیلاب‌ها خواهیم بود. چنین تغییری بر عکس‌العمل هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز تأثیرگذار است و موجب افزایش سیلاب‌ها در این فصل می‌گردد.

تحقیقات منابع آب ایران، سال هشتم، ۲، ۳۶-۴۷.
بابائیان، ا. و نجفی نیک، ز.، ۱۳۸۵، ارزیابی تغییر اقلیم
استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹
میلادی، پروژه خاتمه یافته پژوهشکده اقلیم‌شناسی،
گروه پژوهشی تغییر اقلیم.

بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، زابل عباسی، ف.، حبیبی
نوخندان، م.، ادب، ح. و ملبوسی، ش.، ۱۳۸۸، ارزیابی
تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از
ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی ECHO-
G، م. جغرافیا و توسعه، ۱۶، ۱۳۵-۱۵۲.

دوستی، م.، حبیب‌نژاد روشن، م.، شاهدی، ک. و
میریعیوب زاده، م. ح.، ۱۳۹۲، بررسی شاخص‌های
اقلیمی حوضه آبخیز تهر، استان گلستان در شرایط
تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG، م. فیزیک
زمین و فضا، ۳۹(۴)، ۱۷۷-۱۸۹

روشن، غ. ر.، خوش اخلاق، ف. و عزیزی، ق.، ۱۳۹۱،
آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای
پیش‌یابی مقادیر دما و بارش ایران، تحت شرایط
گرمایش جهانی، جغرافیا و توسعه، ۲۷(۹۱)، ۱۹-۳۶.
عباسی، ف.، بابائیان، ا.، حبیبی نوخندان، م.، گلی
مختاری، ل. و ملبوسی، ش.، ۱۳۸۹، ارزیابی تأثیر تغییر
اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با کمک مدل
MAGICC-SCENGEN، پژوهش‌های جغرافیای
طبیعی، ۷۲، ۹۱-۱۱۰.

کوچکی، ع. ر.، نصیری محلاتی، م.، سلطانی، ا.، شریفی،
ح. ر.، کمالی، غ. ع. و رضوانی مقدم، پ.، ۱۳۸۲،
شبیه‌سازی تغییرات آب و هوایی ایران در شرایط دو
برابر شدن غلظت CO2 به وسیله مدل‌های عمومی
گردش، م. بیابان، ۲، ۱۷۸-۱۹۱.

مهدی‌زاده، ص.، مفتاح هلقی، م.، سیدقاسمی، س. و
مساعدی، ا.، ۱۳۹۰، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان
بارش در حوضه سد گلستان، م. پژوهش‌های حفاظت
آب و خاک، ۱۸(۳)، ۱۱۷-۱۳۲.

Babaeian, I., Kwon, W. T. and Im, E. S., 2004,
Application of weather generator technique
for climate change assessment over Korea,

دیگر کمتر به آن پرداخته شده است؛ در حالی که برای
برنامه‌ریزی آینده، رسیدن به چنین تجمعی در مؤلفه‌های
ورودی تصمیم‌گیری برای یک منطقه ضروری است.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تغییرات اقلیمی حوضه آبریز دشت یزد-
اردکان در دو ایستگاه کوهستانی و دشتی (به‌عنوان مناطق
تغذیه و تخلیه آبخوان)، با استفاده از سناریوهای A₂،
A₁B₁ و B₁ از مدل HadCM₃ در نرم‌افزار لارس بررسی
شد. نتایج نشان داد تا سال ۲۰۳۰ تغییرات دما و بارش در
ایستگاه‌های منتخب منطقه مورد مطالعه، معنادار خواهد
بود. با توجه به تحقیق حاضر، منطقه تغذیه آبخوان دشت
یزد_اردکان (ایستگاه ده بالا) با تغییر اقلیم و تغییر تیپ
بارشی مواجه خواهد بود و در اثر زیادتشدن سهم
بارش‌های بهار و رگباری، حضور بیشتر سیلاب‌ها و
تغذیه کمتر آبخوان مذکور پیش‌بینی می‌شود. از طرف
دیگر با توجه به افزایش دمای کمینه و بیشینه در منطقه
برداشت آب آبخوان (ایستگاه یزد)، مقدار مصرف آب
افزایش می‌یابد؛ بنابراین با توجه به مسئله تنش آب در
منطقه مورد مطالعه، باید برنامه‌ریزان این موارد را برای
برنامه‌ریزی تخصیص منابع آبی آینده در نظر داشته باشند.
با توجه به پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های آتی، پیشنهاد
می‌شود برای برنامه‌ریزی آب مورد نیاز آینده به‌خصوص
در مناطق خشک و نیمه‌خشک، علاوه بر توجه به توسعه
بخش‌های جمعیتی، صنعتی و کشاورزی، تأثیر تغییرات
اقلیمی بر آب مورد نیاز و منابع آبی نیز در نظر گرفته شود.

مراجع

آشفتی، پ. س. و مساح بوانی، ع. ر.، ۱۳۹۱، بررسی تأثیر
عدم قطعیت مدل‌های چرخه عمومی جو و
اقیانوس (AOGCM) و سناریوهای انتشار گازهای
گلخانه‌ای بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم،
مطالعه موردی: حوضه قرقو، آذربایجان شرقی، م.

Korea Meteorological Research Institute,
Climate Research lab.
Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. and

- Palutikof, J. P., 2008, Eds. Climate Change and Water, Technical Paper VI of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Eitzinger, J. et al., 2008, A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios, *Agricultural Water Management*. 61(3), 195-217.
- Hertig, E. and Jacobeit, J., 2008, Downscaling future climate change, temperature scenarios for the Mediterranean area, *Global and Planetary Change*, 63.
- Hewitson, B. C. and Crane, R. G., 1996, Climate downscaling: techniques and application, *Clim. Res.*, 7, 85-95.
- IPCC, Summary for policymakers in climate change, 2007, Impacts, adaptation and vulnerability. contribution of working group II to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., Hanson, C. E., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007, 7-22.
- Kainuma, M., Matsuoka, Y., Morita, T., Masui, T. and Takahashi, K., 2004, Analysis of global warming stabilization scenarios: the Asian-Pacific integrated model, *Energy Economics*, 26(4), 709-719.
- Khazaei, M. R., Zahabiyoun, B. and Saghafian, B., 2011, Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-Runoff model, *International Journal of Climatology*, Published online in Wiley Online Library, (wileyonlinelibrary.com) doi: 10.1002/joc.2416.
- Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., Miller, K. A., Oki, T., Sen Z. and Shiklomanov, I. A., 2007, Freshwater resources and their management, in climate change: impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of Working Group II to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., Hanson, C. E., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007, 173-210.
- Mavromatis, T. and Hansen, J. W., 2001, Variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. *Agricultural and Forest Meteorology*, 109, 2883-296.
- Richard, S. and Lindzen, R., 1994, On the scientific basis for global warming scenarios, *Environmental Pollution*, 83(1-2), 125-134.
- Semenov, M. A. and Barrow, E. M., 2002, LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0.
- 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.
- Stern, N., 2006, Review of the economics of climate change, what is the economics of climate changes, Discussion Paper, Her Majesty's Treasury, UK Government, 31 January.
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick J. A. and Rusticucci, M., 2007, Observations: Surface and atmospheric climate change, in climate change 2007, the physical science basis, Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2007.
- Xu, Z. X., Chen, Y. N. and Li, J. Y., 2004, Impact of climate changes on water resources in the Tarim River basin, *Water Resource Management*, 18, 439-458.
- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y. and Kanani, R., 2011, Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran, *Global and Planetary Change*, 78, 137-146.