

اثرات تغییر اقلیم بر روند خشکسالی دشت ورامین با استفاده از شاخص دی-مارتن

حمیدرضا عزیزی^{۱*}، نیلوفر نجاتیان^۲، محمد علی اطهری^۳، سید شهاب هاشمی^۴

۱- دکتری تخصصی، گروه مهندسی عمران، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

۲- کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه تهران

۳- کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۴- دکتری مهندسی عمران، مدیرعامل شرکت آب صنعت انرژی، تهران

(تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۴)

چکیده

افزایش میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌تواند منجر به گرمایش جهانی و وقوع پدیده تغییر اقلیم شود. در این تحقیق روند تغییرات بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک ورامین در طی دوره زمانی از سال ۲۰۲۱ تا سال ۲۰۵۰ میلادی با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم (CMIP5) مورد بررسی قرار گرفت. یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از خروجی این مدل‌ها، قدرت تفکیک مکانی کم آن‌ها است که به لحاظ مکانی و زمانی با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. بنابراین از روش مقیاس‌کاهی بوسیله مدل LARS-WG برای رفع این محدودیت استفاده شد. سپس داده‌های دما و بارش، تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 برای دوره آتی شبیه‌سازی و با دوره پایه مقایسه گردید. با توجه به اثرگذاری دما و بارش بر وضعیت خشکسالی آتی دشت، شاخص خشکسالی دی-مارتن تحت دو سناریو تغییر اقلیم تعیین و با دوره پایه مقایسه گردید. نتایج نشان داد که تغییر اقلیم بر حادث‌تر شدن شرایط حاکم بر منطقه اثرات معنی‌داری دارد که سبب افزایش ۱/۳ درجه‌ای دما، تغییر در الگوی بارش و تغییرات میزان شاخص خشکی شد. با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد که اگرچه روند خشکسالی متأثر از عوامل متعددی است، اما در سایه تغییرات اقلیمی محتمل در آینده احتمال افزایش روند خشکسالی در دشت ورامین به واسطه تغییر در میزان بارندگی و افزایش دما وجود دارد. همچنین هر دو سناریو تغییر اقلیم وضعیت خشک را برای منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی کردند.

کلمات کلیدی: شاخص دی-مارتن، گزارش پنجم تغییر اقلیم، متغیر هواشناسی، LARS-WG

مقدمه

داشت (نجفی و مودمی، ۲۰۱۵). میزان دمای کره زمین از اواسط قرن ۱۹ تا زمان حال روندی افزایشی داشته است. در این دوره، سه دهه اخیر گرم‌ترین سال‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. اطلاعات ثبت شده حاکی از آن است که از سال ۱۹۰۱ تا سال ۲۰۱۲ دمای سطح زمین و اقیانوس‌ها به طور متوسط در ۰/۸۹ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. این روند افزایشی در دمای کره زمین و همچنین تغییر در خصوصیات فیزیکی جو، اشاره به تغییرات آب و هوایی دارد (استوکر و همکاران، ۲۰۱۳).

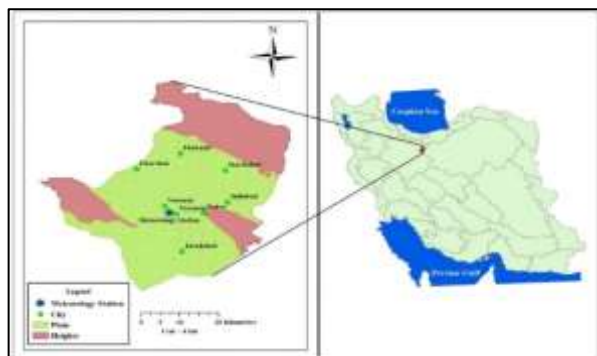
پورمحمدی و مالکی‌نژاد (۲۰۱۳) به بررسی اثرات تغییر اقلیم در ۴۰ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ پرداختند و براساس سه پارامتر بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه با استفاده از روش آنالیز خوشه به جداسازی مناطق همگن اقلیمی اقدام کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و تحت دو سناریو A2 و B1

افزایش گازهای گلخانه‌ای باعث نوسانات دمایی و تغییر الگوی بارش در آب و هوای کره زمین می‌شوند. با توجه به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، انتظار می‌رود این روند در آینده نیز ادامه پیدا کند. براساس پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) دمای کره زمین ۰/۸۵ درجه سانتیگراد از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ افزایش یافته است و اگر انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش نیابد، متوسط دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ می‌تواند به میزان ۱/۱ تا ۴/۶ درجه سانتیگراد افزایش یابد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۳). به نظر می‌رسد تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی، سبب افزایش شرایط نامطلوب آب و هوایی به صورت تغییرات در الگوی بارش و نوسانات دما در آینده‌ای نزدیک شود، بنابراین بارش به عنوان یک عامل کلیدی در تغییر دامنه چرخه هیدرولوژیکی، عواقب جدی را به دنبال خواهد

تغییر اقلیم بر رژیم بارش‌های حداکثری حوزه سیل برگردان غرب در سه آفق زمانی ۲۰۳۶، ۲۰۶۰، ۲۰۹۰ بر اساس داده‌های گزارش پنجم IPCC و تحت سناریو RCP8.5 پرداختند. نتایج نشان دهنده افزایش بارش در دوره آتی بود. زارع‌زاده مهریزی و همکاران (۱۳۹۷) از خروجی‌های چهار مدل گزارش پنجم و دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 برای برآورد بارندگی، دمای ماهانه و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جریان در آینده استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد بارش در دوره‌های زمانی مختلف بین ۳۱/۶- تا ۵۲/۸ درصد، دما نیز حداکثر تا ۲/۷۵ درجه در کرمانشاه و ۳/۴۳ تا ۴/۲۶ درجه در ایستگاه همدان افزایش پیدا خواهد کرد. شهوری و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه دشت ورامین با استفاده از مدل SWAT تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 پرداختند. نتایج مدل LARS-WG نشان داد که دمای حداقل و حداکثر در دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت و نه تنها در مقدار بارش بلکه در الگوی بارش نیز تغییراتی رخ خواهد داد. عزیززی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از شاخص جدید NISTOR، اثر خشکسالی و تغییرات اقلیمی را در دشت ورامین بررسی کردند. نتایج نشان دهنده اثر شدید تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین بود. بنابراین به نظر می‌رسد که مطالعات تغییر اقلیم در حوضه‌های آبخیز ایران توسط مدل‌های اقلیمی توسط مدل‌های گزارش پنجم و تحت سناریوهای جدید انتشار امری ضروری می‌باشد. به طوری که مدل‌های فوق می‌توانند درکی بهتر از این مناطق در دوره‌های زمانی آتی نسبت به مدل‌های پیشین هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (گزارش سوم و چهارم) برای مدیران و برنامه ریزان منابع آب فراهم نمایند (ولدمسکل و همکاران، ۲۰۱۵).

بررسی تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که اهمیت اثرات عناصر اقلیمی (دما و بارش) بر وضعیت خشکسالی منطقه در دوره آتی، امر ضروری می‌باشد. مطالعه‌ای در رابطه با روند تغییرات خشکسالی دشت ورامین صورت نگرفته است. لذا

مناطق همگن اقلیمی متفاوت از دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ تعیین شدند. هوشمند و خردادی (۱۳۹۳) با بررسی عدم قطعیت ناشی از ۱۵ مدل AOGCM تحت تاثیر سه سناریو انتشار A1B، A2 و B1 به بررسی تغییرات پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی در ایستگاه سینوپتیک مشهد واقع در حوضه قره قوم پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از وجود بیشترین محدوده عدم قطعیت در برآوردهای مربوط به سناریو A1B و برای دمای کمینه و بارندگی سناریو B1 و برای دمای بیشینه سناریو A2 تعیین شد. افشار و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی مولفه‌های اقلیمی در دوره آتی با توجه به سناریوهای گزارش پنجم IPCC در حوزه کشف‌رود پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که مؤلفه بارش، روند تغییرات قابل توجه کاهش و افزایشی متغیری را از خود نشان می‌دهد. همچنین دمای متوسط نیز روند افزایشی قابل توجهی با سطح اعتماد ۹۰، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد از خود نشان می‌دهد. از طرف دیگر تا انتهای قرن ۲۱ در مقایسه با دوره تاریخی در تمامی مناطق حوضه آبخیز کشف‌رود و با در نظر گرفتن تمامی مدل‌ها و سناریوها، به طور متوسط دمای حوضه بین ۰/۵۶ تا ۳/۳ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. امانی و همکاران (۲۰۱۶) شدت خشکی در ۶ شهر استان فارس با استفاده از دو مدل (HadCM3 و IPCM4) و سه سناریو انتشار برای سه دوره آتی مطالعه‌ای انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در آینده با روند افزایش دما و کاهش بارش بخصوص برای دوره‌های آینده دور، شدت خشکی در استان افزایش خواهد یافت. نوده فراهانی و همکاران (۱۳۹۷) اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های آینده در حوضه شادگان را با استفاده از سه خروجی مدل گردش کلی BCC-MPI-ESM-LR، CSM1-1 و NORESM1-M تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر افزایش دمای حداکثر و حداقل در تمام ماه‌های سال در دوره آینده نسبت به دوره پایه در حوضه شادگان می‌باشد. بیش و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی و تحلیل اثر



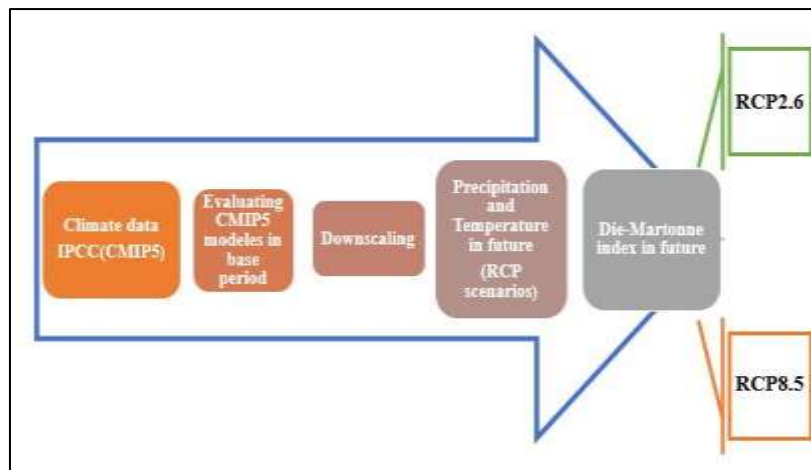
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (دشت ورامین) برای شناخت وضعیت خشکسالی، از مجموعه قواعدی استفاده می‌شود که مناطق با آب و هوای مشابه را در یک گروه قرار می‌دهد که از آن به طبقه‌بندی اقلیمی یاد می‌شود. این طبقه‌بندی‌ها می‌توانند براساس یک یا چند پارامتر اقلیمی باشند. از مهمترین این پارامترها می‌توان به بارش و دما اشاره کرد که در طبقه‌بندی‌های اقلیمی مختلف از جمله روش دی-مارتن، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابر این با توجه به اهداف پژوهش و رویکرد پیشنهادی (شکل ۲)، با توجه به همبستگی بالا در شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش نسبت به داده‌های مشاهداتی در منطقه مورد مطالعه، مدل EC-EARTH از سری گزارش پنجم تغییر اقلیم موسوم به CMIP5 انتخاب شد (عزیزی و همکاران ۱۳۹۹). سپس داده‌های بارش و دما تحت مدل مناسب دشت تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 شبیه‌سازی شده و روند تغییرات دما و بارش نسبت به شرایط حال، مقایسه گردید. همچنین از روش طبقه‌بندی اقلیمی دی-مارتن به دلیل قابلیت دسترسی و تولید داده‌های مورد نیاز آن برای دوره‌های اقلیمی آینده استفاده شده است.

در این تحقیق روند تغییرات خشکسالی دشت ورامین در طی دوره زمانی از سال ۲۰۲۱ تا سال ۲۰۵۰ میلادی با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم (CMIP5) محاسبه و نسبت به دوره پایه مقایسه می‌گردد.

داده‌ها و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در این تحقیق دشت ورامین می‌باشد که منطقه‌ای استراتژیک از نظر کشاورزی در فاصله ۴۵-۴۰ کیلومتری جنوب تا جنوب شرقی استان تهران در محدوده جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی واقع شده و از نظر اقلیمی در تقسیمات آب و هوایی خشک تا نیمه خشک قرار دارد. اطلاعات هواشناسی شامل باران سنجی، دماسنجی، رطوبت نسبی، روزهای یخبندان، ساعت‌های آفتابی، باد و تبخیر و تعرق از ایستگاه سینوپتیک دشت ورامین، گردآوری شده است. بنابراین از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی ورامین در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۸۹ میلادی به عنوان دوره پایه استفاده گردید. میانگین سالانه دما در این حوضه ۱۶/۹ درجه سانتیگراد بوده و میانگین بارش ۱۵۶ میلی‌متر در سال است.



شکل ۲- رویکرد پیشنهادی ارزیابی روند خشکسالی دشت ورامین تحت شرایط تغییر اقلیم

تحقیق، سناریوهای جدید گزارش پنجم شامل RCP8.5، RCP2.6 و RCP4.5 می‌باشد.

مدل‌های جوی-اقیانوسی سری CMIP5

با توجه به هدف تحقیق حاضر که ارزیابی روند شاخص خشکی منطقه تحت سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم موسوم به RCP در حوضه دشت ورامین می‌باشد، با در نظر گرفتن مطالعات عزیززی و همکاران (۱۳۹۹)، از میان ۶۱ مدل سه بعدی جفت شده جوی-اقیانوسی گزارش پنجم IPCC موسوم به CMIP5، مدل EC-EARTH به دلیل همبستگی بالا و پایین بودن شاخص‌های خطا در شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش نسبت به داده‌های مشاهداتی در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. (عزیززی و همکاران ۱۳۹۹)

مقیاس کاهی سناریوهای تغییر اقلیم

به جهت قدرت تفکیک کم مدل‌های AOGCM، کوچک مقیاس کردن آن‌ها لازم و ضروری است. در این تحقیق به منظور مقیاس‌کاهی داده‌ها جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم، از مولد آب و هوایی تصادفی LARS-WG به جهت عملکرد مناسب در منطقه مورد مطالعه (عزیززی و همکاران ۱۳۹۹) جهت شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی استفاده شد (راسکو و همکاران ۱۹۹۱، سیمونوف و بروکس ۱۹۹۹، سیمونوف و بارو ۲۰۰۲).

پس از مقیاس‌کاهی، در این مرحله شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش) برای سه

مدل‌های آب و هوایی AOGCM

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه بعدی جفت شده جوی-اقیانوسی می‌باشند که به طور مخفف از آن به عنوان AOGCM یاد می‌شود ویلی و هریس (۲۰۰۶). این مدل‌ها توانایی شبیه‌سازی اقلیم حاضر و تصویرسازی شرایط اقلیم آینده را دارند (قربانی و همکاران، ۱۳۹۵). IPCC از سال ۱۹۹۰ تاکنون پروژه استانداردسازی استفاده از برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جوی-اقیانوسی را راه‌اندازی و پنج گزارش ارزیابی تغییر اقلیم را عرضه کرده است. IPCC در تدوین گزارش پنجم خود تحت عنوان CMIP5 از سناریوهای جدید انتشار RCP به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 می‌باشند که براساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نامگذاری شده‌اند. تفاوت عمده سناریوهای انتشار RCP و SRES (سناریوهای گزارش ارزیابی چهارم) در این است که RCP خط سیر توازن واداشت تابشی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای را تا سال ۲۱۰۰ بر حسب وات بر مترمربع مشخص می‌کند در حالی که سناریوهای سری SRES خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای را مشخص می‌کنند (ژو و ژو، ۲۰۱۲). سناریوهای مورد استفاده در این

$20 \leq \text{DAI} < 24$	مدیرانه‌ای
$10 \leq \text{DAI} < 20$	نیمه خشک
< 10	خشک

دهه آینده بر طبق سناریوی تغییر اقلیم مد نظر انجام گرفت (سیمنوف و استراتونویچ، ۲۰۱۰).

ارزیابی مدل LARS-WG در منطقه مطالعاتی

برای اطمینان از توانایی مدل LARS-WG در تولید داده در آینده، داده‌های شبیه‌سازی شده گذشته توسط مدل با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک ورامین، مقایسه گردید. این مقایسه بوسیله آزمون T-test برای میانگین‌های داده‌های ریز مقیاس شده انجام شد.

شاخص اقلیمی دی-مارتن

طبقه‌بندی اقلیمی دی-مارتن بر اساس دما و بارندگی پایه گذاری شده و به طور گسترده در مطالعات اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص توسط دی-مارتن (۱۹۲۶) و دنیز و همکاران (۲۰۱۱) پیشنهاد گردیده است و برای تعیین نوع اقلیم منطقه جهت تحلیل‌های مکانی و زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص بر اساس رابطه ۱ محاسبه شده و نوع اقلیم منطقه در جدول ۱ تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 برای سه دهه‌ی آینده تعیین و با دوره پایه مقایسه می‌گردد:

جدول ۱- طبقه‌بندی اقلیمی شاخص خشکی دی-مارتن (دی-مارتن، ۱۹۲۶)

نوع اقلیم	DAI
به شدت مرطوب	> 55
خیلی مرطوب	$35 \leq \text{DAI} \leq 55$
مرطوب	$28 \leq \text{DAI} < 35$
نیمه مرطوب	$24 \leq \text{DAI} < 28$

معادله (۱) $\text{DAI} = \frac{P}{T+10}$ در رابطه ۱، (P) مقدار متوسط بارش سالانه بر حسب میلی-متر و (T) متوسط درجه حرارت سالانه بر حسب سانتیگراد می‌باشد.

نتایج و بحث

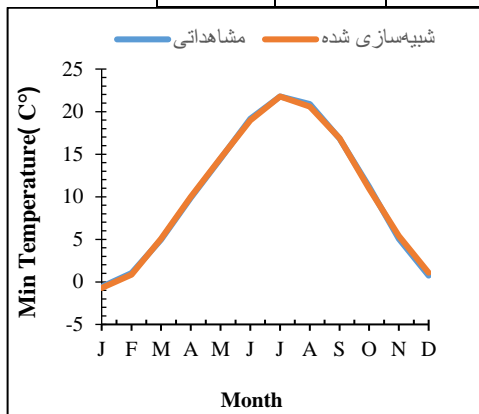
ارزیابی مدل LARS-WG در منطقه مطالعاتی

برای حصول اطمینان از توانایی مدل در تولید داده در آینده، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک ورامین، مقایسه گردید. جدول ۲ نتایج آزمون T-test را بر روی پارامترهای بارش، دماهای حداقل و حداکثر در ایستگاه سینوپتیک ورامین نشان می‌دهد. آزمون T-test به بررسی میانگین پارامترهای اقلیمی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG می‌پردازد. با توجه به جدول ۲، نتایج این آزمون برای همه پارامترها در ماه‌های مختلف با در نظر گرفتن p-value اختلاف معنی داری را نشان نداده است. البته باید در نظر داشت که مدل در شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه در ماه آگوست، اختلاف معنی داری را نشان می‌دهد که این موضوع می‌تواند به علت عدم وجود داده معتبر در روزهای ماه مورد نظر باشد.

جدول ۲- نتایج آزمون T-test برای بارش ماهانه، دمای حداقل ماهانه، دمای حداکثر ماهانه در مدل LARS-WG ایستگاه سینوپتیک ورامین در دوره پایه ۲۰۱۸-۱۹۸۹

ماه‌ها	بارش ماهانه		دمای حداقل ماهانه		دمای حداکثر ماهانه	
	P-value	T-test	P-value	T-test	P-value	T-test
ژانویه	۰/۹۲۵	-۰/۰۹۴	۰/۳۵۶	۰/۹۲۶	۰/۲۶	۱/۱۳۲
فوریه	۰/۸۵	۰/۱۸۹	۰/۲۷۲	۱/۱۰۴	۰/۰۲۲	۲/۳۱۴
مارس	۰/۶۳۳	-۰/۴۷۹	۰/۶۰۹	-۰/۵۱۳	۰/۹۱	-۰/۱۱۳
آوریل	۰/۵۰۴	-۰/۶۷۱	۰/۴۵۲	-۰/۷۵۵	۰/۹۵۸	۰/۰۵۳
می	۰/۵۰۶	۰/۶۶۶	۰/۶۲۴	-۰/۴۹۲	۰/۵۴	-۰/۶۱۴

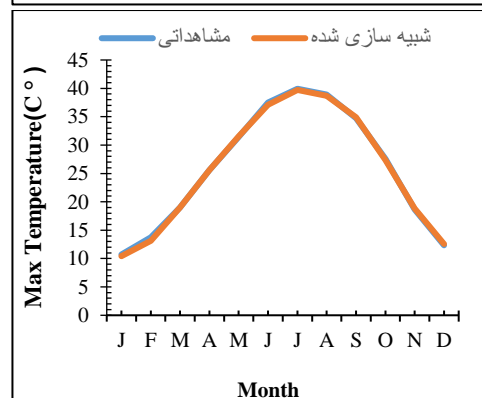
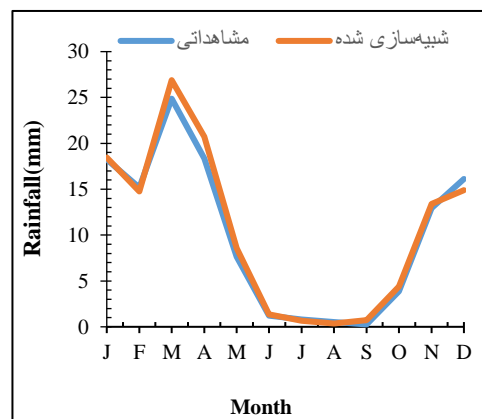
ژوئن	-۰/۳۶۳	۰/۷۱۷	۱/۲۳۵	۰/۲۱۹	۲/۵۵	۰/۰۱۲
جولای	۰/۴۰۴	۰/۶۸۷	۰/۰۶	۰/۹۵۲	۱/۴۹۲	۰/۱۳۸
آگوست	۰/۶۷	۰/۵۰۴	۳/۰۶	۰/۰۰۳	۲/۰۶	۰/۰۴۱
سپتامبر	-۱/۵۲۱	۰/۱۳۱	-۰/۲۴۲	۰/۸۰۹	-۰/۹۷۷	۰/۳۳
اکتبر	-۰/۴۷۵	۰/۶۳۶	۱/۵۹۱	۰/۱۱۴	۱/۳۵۱	۰/۱۷۹
نوامبر	-۰/۲۲۸	۰/۸۲	-۲/۱۱	۰/۰۳۷	-۰/۴۸۸	۰/۶۲۶
دسامبر	۰/۵۶۲	۰/۵۷۵	-۲/۲۲۶	۰/۰۲۸	-۰/۹۴۲	۰/۸۳۴۸



شکل ۳- مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بارش روزانه، دماهای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه در ایستگاه سینوپتیک ورامین در دوره پایه ۱۹۸۹-۲۰۱۸

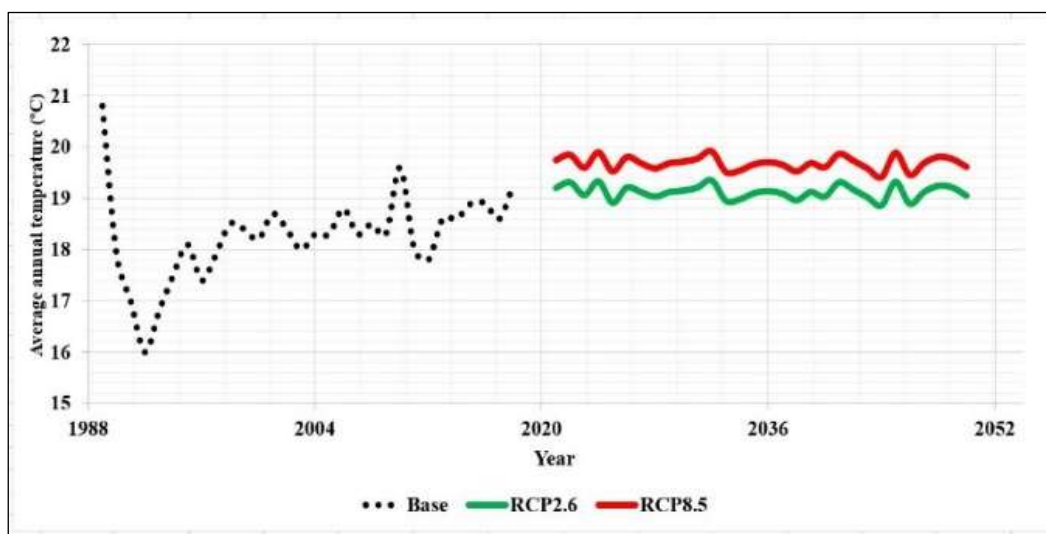
به طور کلی ارزیابی مدل LARS-WG در ایستگاه سینوپتیک ورامین، نشان از توانمندی قابل قبول این مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی (بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر) این منطقه را دارد. اگر چه شبیه‌سازی پارامتر بارش در برخی ماههای سال در ایستگاههای مطالعاتی توسط این مدل در سطح معنی‌داری قابل قبولی برآورد نشده است، برآزش بالای مقادیر شبیه‌سازی شده برای سایر پارامترهای اقلیمی کاملاً مشهود است. همچنین رفتار سایر پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی شده در منطقه مطالعاتی، نشان از کارایی قابل قبول مدل LARS-WG در تولید این نوع داده‌ها دارد. بررسی تغییرات دما و بارش تحت سه سناریوهای انتشار CMIP5-AR5 در دوره آتی نسبت به دوره پایه در منطقه مطالعاتی

همچنین در شکل ۴، نتایج مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بارش روزانه، دماهای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه در ایستگاه سینوپتیک ورامین در دوره پایه ۱۹۸۹-۲۰۱۸ ارائه شده است. مقادیر پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی شده (دماهای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه) در ایستگاه سینوپتیک ورامین مطابقت قابل قبولی با داده‌های مشاهداتی دارند.



سناریوی RCP8.5، افزایش دمای بیشتری را نسبت به سناریو دیگر نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد.

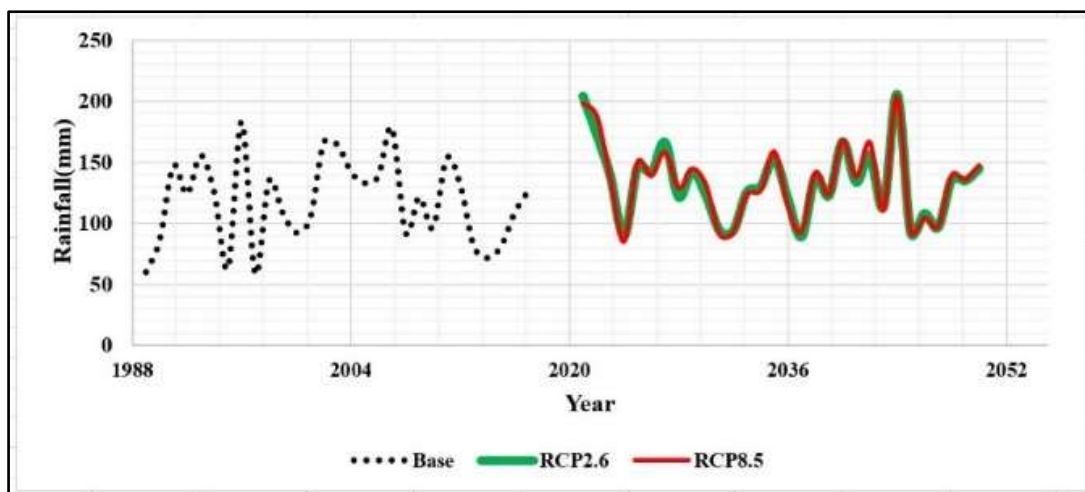
باتوجه به شکل ۴، روند افزایشی دمای سالانه تحت هر دو سناریوی انتشار RCP2.6، RCP8.5 به طور میانگین در دوره آتی افزایشی در حدود ۱ تا ۱/۵ درجه را نشان می‌دهد.



شکل ۴- مقایسه دمای میانگین سالانه شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ECEARTH تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP8.5 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۸-۱۹۸۹ در ایستگاه مورد مطالعه

این در حالیست که افزایش و یا کاهش چشمگیری میان شبیه‌سازی‌های حاصل از سناریوهای مختلف در آینده وجود ندارد.

با توجه به شکل ۵، بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل ECEARTH تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP8.5 در دوره آتی نسبت به دوره پایه در ایستگاه مورد مطالعه، تغییرات یکنواختی را در سال‌های مختلف نشان نمی‌دهند.



شکل ۵- مقایسه میانگین بارش سالانه شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ECEARTH تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP8.5 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۸-۱۹۸۹ در ایستگاه مورد مطالعه

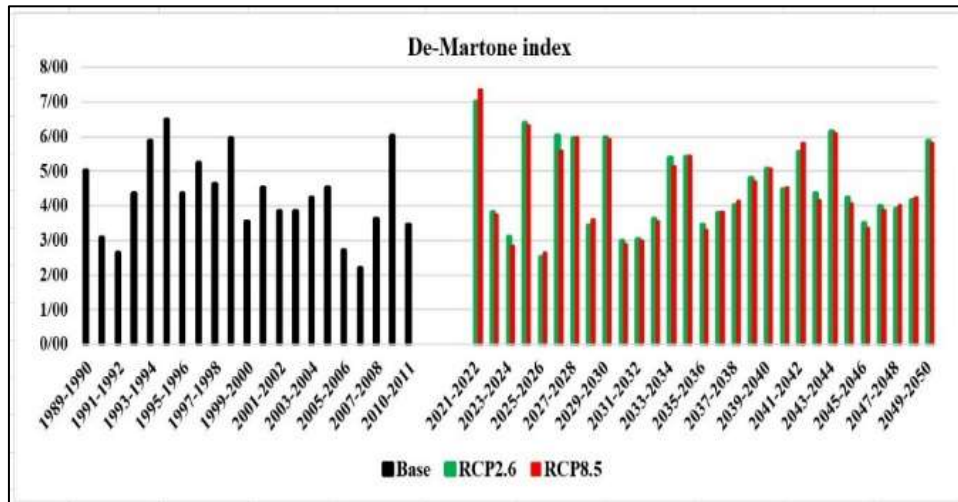
تغییرات خشکسالی منطقه مطالعاتی تحت دو سناریو RCP2.6، RCP8.5 نسبت به دوره پایه نشان داده شده است.

روند تغییرات شاخص دی-مارتون تحت سناریوهای تغییر اقلیم

شاخص خشکسالی دی-مارتن بر اساس داده‌های بارش و دما در دوره پایه و آینده، محاسبه گردید. در شکل ۶،

داشت که سناریو RCP8.5 با کاهش شاخص دی-مارتن، وضعیت خشکسالی حادثتری را نسبت به سناریو دیگر پیش-نگری می‌کند.

با توجه به شکل ۶، در اکثر سال‌ها تحت هر دو سناریو تغییر اقلیم (خوش‌بینانه و بدبینانه)، وضعیت اقلیمی خشک ($DAI < 10$) مشهود می‌باشد که نشان‌دهنده افزایش دما و کاهش در میانگین بارش می‌باشد. همچنین باید در نظر



شکل ۶- شاخص اقلیمی دی-مارتن تحت سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه

به کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی میشود، بنابراین خشکسالی اقلیمی دشت ورامین در دوره آتی میتواند با تاخیر زمانی منجر به خشکسالی هیدرولوژیکی شود.

نتیجه‌گیری

مطالعه تغییر اقلیم برای بررسی رفتار پارامترهای جوی در آینده امری اجتناب‌ناپذیر است. زیرا با شناخت رفتار عناصر اقلیمی و وضعیت خشکسالی در مقیاس زمانی قادر خواهیم بود شدت اثرات عوامل مخرب محیطی را کاهش دهیم. با این حال، بدون شک تغییرات در مقادیر پارامترهای اقلیمی دما و بارش ناشی از پدیده تغییر اقلیم در آینده در تغییرپذیری منابع آب (سطحی و زیرزمینی) حوضه تاثیرگذار و تغییرات در هر منطقه با مناطق دیگر متفاوت خواهد بود. از آنجا که ورودی‌های هر مدل هیدرولوژیکی اعم از رژیم‌های سطحی یا زیرزمینی، دو مؤلفه اصلی اقلیم یعنی دما و بارش است، لذا تحقیق حاضر به ارزیابی سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم در برآورد دما و بارش ایستگاه ورامین در مقیاس زمانی پرداخته است.

در این تحقیق مشخص شد که مدل LARS-WG توانایی بالایی در مقیاس‌کاهی داده‌های دما و بارش دوره پایه در

در جدول ۳، اثرات تغییر اقلیم بر روی طبقه‌بندی شاخص اقلیمی دی-مارتن در دشت ورامین تحت سناریوهای انتشار و دوره پایه در هر سه دهه آینده نشان داده شده است.

جدول ۳- ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی شاخص اقلیمی دی-مارتن در دشت ورامین تحت سناریوهای انتشار و دوره پایه

میانگین شاخص DAI	نوع اقلیم	دوره پایه و آینده
۴/۴۵	خشک	پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۸)
۴/۷	خشک	RCP 2.6 (۲۰۲۱-۲۰۳۰)
۴/۱۷	خشک	RCP 2.6 (۲۰۳۱-۲۰۴۰)
۴/۶۱	خشک	RCP 2.6 (۲۰۴۱-۲۰۵۰)
۴/۶۵	خشک	RCP 8.5 (۲۰۲۱-۲۰۳۰)
۴/۱۶	خشک	RCP 8.5 (۲۰۳۱-۲۰۴۰)
۴/۵۴	خشک	RCP 8.5 (۲۰۴۱-۲۰۵۰)

با توجه به اینکه خشکسالی‌های متناوب و طولانی از عوامل اصلی کمبود آب به ویژه منابع آب سطحی میباشد که منجر

حوضه دشت ورامین با استفاده از مدل SWAT، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۱۳، شماره ۲، صفحات ۳۵۴-۳۶۶.

۳. قربانی، خ.، ا.، سهرابیان، م.، سالاری جزی، م.، عبدالحسینی، ۱۳۹۵، پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر روند دبی ماهانه رودخانه با بکار بردن مدل هیدرولوژیکی (IHACRES) (مطالعه موردی: حوضه آبریز گالیکش)، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، دوره ۵، شماره ۴، صفحات ۲۰-۳۳.

۴. عزیز، ح.، ح.، ابراهیمی، ح.، محمد ولی سامانی، و.، خاکی، ۱۳۹۹، ارزیابی شدت اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین با استفاده از شاخص NISTOR، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۶، شماره ۳، صفحات ۱۷۴-۱۸۹.

۵. فراهانی، م.، آنا، راسخی، پ.، بهنام، ع.، کشوری، ۱۳۹۷، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های دوره آبی حوضه شادگان، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۴، شماره ۳، صفحات ۱۲۵-۱۳۹.

6. Amani, Z., R. Deihimfard, and E. Makhtasi Bidgli, 2016. Evaluation of drought under increasing of temperature due to climate change in rain fed wheat-growing areas of Fars province using Aridity Index, *Electronic Journal of crop production*, 9(2): 151-174.

7. Binesh, N., M.H. Niksokhan, and A. Sarang, 2018. Analysis of Climate Change Impact on Extreme Rainfall Events in the West Flood-Diversion catchment of Tehran, *Journal of Watershed Management Research*, 9(17): 226-234.

8. De Martonne, E. 1926. A new climatological function: The Aridity Index Gauthier-Villars, Paris, France.

9. Deniz, A., H. Toros, and S. Incecik, 2011. Spatial variations of climate indices in Turkey, *International Journal of Climatology*, 31:394-403.

10. Hooshmand, D., and M.j. Khordadi, 2014. Uncertainty Assessment of AOGCMs and Emission Scenarios in Climatic Parameters Estimation (Case Study: Mashhad Synoptic

منطقه مورد مطالعه دارد. مدل EC-EARTH روند معنی‌دار افزایش دمای متوسط را در دوره آبی تحت هر دو سناریوی انتشار RCP پیش‌نگری کرد و نتایج حاصل با پیش‌بینی‌های مطالعات آفاخانی افشار و همکاران (۱۳۹۵) همخوانی دارد. بطور میانگین دمای متوسط در منطقه مطالعاتی، تحت سناریوهای خوشبینانه و بدبینانه به ترتیب RCP2.6 و RCP8.5، افزایش ۱، ۱/۵ درجه سانتیگراد را در دوره آبی نسبت به دوره پایه پیش‌بینی کرده‌اند. این نتایج با نتایج تحقیق شهوری و همکاران (۱۳۹۸) که اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب دشت ورامین تحت سناریوهای مختلف گزارش چهارم انجام دادند مطابقت دارد. همچنین تحلیل روند بارش در دوره آبی در برخی ماه‌ها افزایش بارش و در برخی کاهش بارش در ۳۰ سال آینده نسبت به دوره پایه در منطقه مطالعاتی نشان داد. این روند افزایش دما و تغییر در الگوی بارش، خود را به شکل وضعیت خشک تحت هر دو سناریو تغییر اقلیم در سه دهه آینده نشان داد.

پیشنهادها

در تحقیق حاضر روند تغییرات خشکسالی تحت سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم در دشت ورامین در نزدیکترین دوره آبی مورد ارزیابی قرار گرفت که پیشنهاد می‌شود جهت دستیابی به بهترین برآورد پارامترهای اقلیمی در دوره‌های آبی و لحاظ قرار دادن عدم قطعیت، از چند مدل AOGCM و در دوره‌های زمانی آینده دورتر (به جای یک دوره)، با شاخص‌های خشکسالی هواشناسی یا کشاورزی و سایر سناریوهای تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

۱. آفاخانی افشار، ا.، ی.، حسن زاده، ع.، بسالت‌پور، م.، پوررضا بیلندی، ۱۳۹۵، ارزیابی سالیانه مؤلفه‌های اقلیمی حوضه آبخیز کشف‌رود در دوره‌های آبی با استفاده از گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۳، شماره ۶، صفحات ۲۳۳-۲۱۷.

۲. شهوری، ن.، ص.، خلیلیان، س.ح.، موسوی، س.ا.، مرتضوی، ۱۳۹۸، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب

18. Stocker, T.F., D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, D.E. Vasconcellos, and V. Menezes, 2013. The physical science basis, working group contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change-abstract for decision-makers. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat/Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, C/O World Meteorological Organization, 7bis Avenue de la Paix, CP 2300 CH-1211 Geneva 2 (Switzerland).
19. Wilby, R.L., and I.A. Harris, 2006. Framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research, 42, W02419, DOI: 10.1029/2005WR004065.
20. Woldemeskel, F.M., A. Sharma, B. Sivakumar, and R. Mehrotra, 2015. Quantification of precipitation and temperature uncertainties simulated by CMIP3 and CMIP5 models. J. Geophysic, Res. Atm, 121(1): 3-17.
21. Xu, C.H. and Y. Xu, 2012. The Projection of Temperature and Precipitation over China under RCP Scenarios using a CMIP5 Multi-Model Ensemble, Atmospheric and Oceanic Science Letters, 5(6): 527-533.
22. Zarezade Mehrizi, SH., A. Khorani, J. Bazrafshan, and O. Bazrafshan, 2018. Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Gamasiab river basin, Iranian Journal of Ecohydrology, 5(3): 777-789.
- Station), Geography and Environmental Hazards, 3(11): 77-92.
11. IPCC. Summary for Policymakers, 2013, In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
12. Najafi, M.R., and S. Moazami, 2015, Trends in total precipitation and magnitude-frequency of extreme precipitation in Iran, 1969-2009, Int. J. Climatol, 36(4): 1863-1877.
13. Poormohammadi, S., and H. Malekinezhad, 2013. Classification of Homogeneous Climatic Regions under the Impact of Climate Change and Greenhouse Gas Emissions Scenarios Using L-Moments Technique in Iran, Journal of Watershed Management Research, 4(8): 58-76.
14. Rasco, P., L. Szeidl, and M.A. Semenov, 1991. A serial approach to local stochastic models, J. Ecological Modeling, 57: 27-41.
15. Semenov, M.A., and R.J. Brooks, 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain, Climate Research, 11: 137-148.
16. Semenov, M.A., and E.M. Barrow, 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies, User's manual, Version3.0.
17. Semenov, M.A., and P. Stratonovitch, 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. http://www.int-res.com/articles/cr_oa/c041p001.pdf