

اثر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار هوا در ارومیه

جواد بهمنش^{۱*}، نسرین آزاد طلائی^۲، مجید منتصری^۳، حسین رضایی^۴، کیوان خلیلی^۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۳/۱۰

^{۱،۳} دانشجوی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

^۵ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: j.behmanesh@urmia.ac.ir

چکیده

تغییر آب و هوا از طریق تغییر در الگوی دما، بارش و سایر متغیرهای آب و هوایی بر همه فرآیندهای هیدرولوژیک تأثیرگذار است. یکی از مهم‌ترین تبعات تغییر آب و هوا تأثیر آن بر مصرف آب کشاورزی می‌باشد که می‌تواند مدیریت منابع آب را با چالش‌های جدی روبرو سازد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر گرمایش جهانی بر تبخیر- تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار در ایستگاه سینوپتیک ارومیه است. برای این منظور با استفاده از مدل گردش عمومی *HadCM3* و با به‌کارگیری مولد آب و هوای *LARS-WG5*، پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ بر مبنای سناریوهای *A1B*، *A2* و *B1* شبیه‌سازی شد. سپس با استفاده از پارامترهای پیش‌بینی شده، تبخیر- تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار محاسبه شده و با مقادیر نظیر دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۱) مقایسه گردید. نتایج نشان داد که بارندگی در فصل بهار در هر سه دوره (در مقایسه با دوره پایه) کاهش و پارامتر مذکور در فصل پاییز افزایش خواهد یافت. همچنین بیشینه رخداد بارندگی‌ها از فصل بهار در دوره پایه به فصل پاییز در ۲۰۹۰ منتقل خواهد شد. علاوه بر این تبخیر- تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار همانند درجه حرارت هوا تا سال ۲۰۹۰ افزایش خواهد یافت و این افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال خواهد شد. مقدار افزایش پارامترهای مذکور در سناریوی *A2* بیشتر از *A1B* و در سناریوی *A1B* بیشتر از *B1* می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارومیه، تبخیر- تعرق مرجع، تغییر آب و هوا، کمبود بارندگی، کمبود فشار بخار، مدل گردش عمومی جو

Climate Change Impact on Reference Evapotranspiration, Precipitation Deficit and Vapor Pressure Deficit in Urmia

J Behmanesh^{1*}, N Azad Talatappeh², M Montaseri³, H Rezayi⁴, K Khalili⁵

Received: 13 March 2013 Accepted: 31 May 2014

^{1,3,4} Assoc. Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

² M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Water Engin. Dept., Univ. of Urmia, Urmia, Iran

⁵ Assist. Prof., Water Engin. Dept., Univ. of Urmia, Urmia, Iran

* Corresponding Author, Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir

Abstract

Climate change via variations in temperature pattern, precipitation and other climate variables patterns affects all the hydrologic processes. One of the main consequences of the climate change is its impacts on agricultural water use, which can cause serious challenges for water resources management. The purpose of this research was to investigate the global warming impacts on reference evapotranspiration, precipitation deficit (PD) and vapor pressure deficit (VPD) in Urmia synoptic station. To achieve this goal, using the *HadCM3* global circulation model and *LARS-WG5* weather generator, the minimum and maximum temperature and precipitation values for 2011-2030, 2046-2065 and 2080-2099 periods based on *A1B*, *A2* and *B1* scenarios were simulated. Then, using the forecasted parameters, the reference evapotranspiration, PD and VPD were calculated and compared with the corresponding base data (1971-2010). The results show that in each of the three periods the precipitation in the spring will be decreased but the autumn precipitation will be increased in comparison with the base period. Meanwhile, the maximum event of the precipitation will be shifted from the spring season in the base period to the autumn season in 2090. Moreover, similar to air temperature, the reference evapotranspiration, PD and VPD will be increased in 2090 and such increment will be more in the warm months than the cold months. The amounts of these parameters' increments in the *A2* scenario are more than those in the *A1B* scenario and also in the *A1B* scenario are more than those in the *B1* scenario.

Keywords: Climate change, Global circulation model, Reference evapotranspiration, Precipitation deficit, Urmia, Vapor pressure deficit

زمین، افزایش پدیده‌های آب و هوایی نظیر سیل، طوفان، تگرگ، طوفان‌های حاره‌ای، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی، خشک‌سالی و ... می‌باشد (وینیکو و همکاران ۲۰۰۶). افزایش این رخدادها در سال‌های اخیر به دغدغه اصلی آب و هواشناسان و سران کشورهای جهان تبدیل شده است. شناخت نوسانات زمانی و مکانی پارامترهای هواشناسی و تأثیر آن بر بخش کشاورزی، جهت مدیریت منابع آبی و اتخاذ استراتژی‌های مناسب بسیار ضروری می‌باشد. بیشترین اطلاعات ما از تغییرات آب و هوایی آینده مربوط به مطالعاتی است که با استفاده از مدل‌های آب و هوایی صورت گرفته است. معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر آب و هوا، استفاده از متغیر-

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای و اثر آن بر گرمایش جهانی و تغییر آب و هوا، باعث ایجاد نوساناتی در پارامترهای هواشناسی می‌گردد. تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (کارآموز و عراقی نژاد ۱۳۸۴). استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و افزایش جمعیت جهان و به تبع آن گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در آب و هوای کره زمین به وجود آید که بارزترین آن افزایش متوسط دمای کره

نوآوری‌های آن برای یافتن راه‌حل‌های منطقه‌ای نسبت به راه‌حل‌های جهانی می‌باشد. بر اساس میزان تولید نیروی تابشی تا سال ۲۱۰۰، سناریوی *AIFI* بیشترین و سناریوی *B1* کمترین نیرو را تولید کرده و سناریوی *A2* در بین آن‌ها قرار دارد (ناکیچنویچ و همکاران ۲۰۰۰). مدل گردش عمومی جو *HadCM3*^۳ از جمله مدل‌های جفت شده اقیانوسی-جوی می‌باشد که توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی آب و هوایی هادلی (بی‌نام ۲۰۰۶) در بریتانیا طراحی شده است.

تاکنون در مطالعات زیادی با استفاده از سناریوهای مختلف و مدل‌های گردش عمومی به بررسی اثرات مختلف تغییر آب و هوا پرداخته شده است. عزیزاده و همکاران (۱۳۸۹) در یک تحقیق اثرات تغییر آب و هوا را بر منابع و مصارف آب کشاورزی در حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود بررسی کردند. آن‌ها در این تحقیق با استفاده از مدل *HadCM3* تحت سناریوی *A2* تأثیر تغییر آب و هوا را بر روی دما، بارش و تبخیر-تعرق در سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بررسی کردند.

نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که دما در هر سه دوره نسبت به دوره پایه افزایش یافته و مقدار بارش در ماه‌های زمستان و تابستان کاهش و در ماه‌های پاییز و بهار افزایش خواهد یافت. همچنین میزان تبخیر-تعرق در تمامی ماه‌ها و در تمامی دوره‌ها تحت تأثیر دما افزایش خواهد یافت. اشرف و همکاران (۱۳۹۰) نیاز آبی چغندرقد را در استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل *HadCM3* طبق سه سناریوی *A2*، *A1B* و *B1* توسط مدل *LARS-WG5*^۴ پیش‌بینی کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که بارش‌های بهاره و پاییزه دوره آینده در همه ایستگاه‌ها به جز تربت‌جام در مقایسه با دوره پایه افزایش یافته و دمای کمینه و بیشینه در این استان افزایش خواهد یافت.

های آب و هوایی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده گردش عمومی جوی-اقیانوسی (*AOGCM*) می‌باشد (بی‌نام ۲۰۰۷). این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره طولانی‌مدت با استفاده از سناریوهای تأییدشده *IPCC*^۲ مدل‌سازی نمایند (لین و همکاران ۱۹۹۹، میشل ۲۰۰۳). این سناریوها حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین می‌باشند. در این سناریوها مقادیر گازهای گلخانه‌ای با نرخ ثابت تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. هرکدام از این سناریوها مربوط به یکی از خانواده‌های *A1*، *B1*، *A2* و *B2* می‌باشند (جدول ۱، بی‌نام ۲۰۰۷). در خانواده سناریوهای گروه *A1* جهان با رشد سریع اقتصادی، افزایش رشد جمعیت که در اواسط قرن ۲۱ به اوج خود خواهد رسید و از آن به بعد کاهش می‌یابد و معرفی تکنولوژی‌های جدید و کاراتر در نظر گرفته شده است. این خانواده شامل سه زیرشاخه تحت عناوین *AIFI* (تشدید استفاده از سوخت فسیلی)، *A1B* (استفاده از منابع فسیلی و غیر فسیلی به صورت متعادل) و *A1T* (استفاده از منابع انرژی غیر فسیلی) می‌باشد. موضوع دربرگیرنده خانواده سناریوهای *A2* تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده و رسوم خانوادگی، رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی می‌باشد. وضعیت جمعیت در خانواده سناریوهای *B1* مشابه سناریوی *A1* می‌باشد. با این تفاوت که تأکید بیشتر در این سناریو بر استفاده از انرژی‌های پاک و حفظ محیط‌زیست و برقراری اقتصاد جهانی است. در خانواده سناریوهای *B2*، بر راه‌حل‌های منطقه‌ای برای تقویت مسائل اقتصادی-اجتماعی و محیط‌زیست تأکید می‌گردد. این، یک دنیای ناهمگون با سرعت تغییرات تکنولوژی کمتر اما با تنوع بیشتر است. تأکید قوی در این سناریو بر ابتکار عمل جامعه و

^۳ Hadley Center Model, version 3^۴ Long Ashton Research Station Weather Generator^۱ Atmospheric-Ocean General Circulation Model^۲ Inter-Governmental Panel on Climate Change

جدول ۱- خلاصه‌ای از سناریوهای SRES در سال ۲۱۰۰ (نسبت به دوره مبنا، ۱۹۶۱-۱۹۹۰).

سناریوها				متغیرها	
B2	B1	A2	A1	(مبنا) ۱۹۹۰	
۱۰/۴	۷	۱۵/۱	۷/۱	۵/۲۵۲	جمعیت (بیلیون نفر)
۶۱۵	۵۳۸	۸۵۷	۵۶۹-۹۷۶	۳۵۴	غلظت CO ₂ (ppmv)
۲/۷	۲	۳/۸	۲/۵-۴/۵	---	تغییر دمای میانگین کره زمین (C)
۳۶	۳۱	۴۲	۳۷-۴۹	---	افزایش جهانی سطح آب دریاها (cm)
۲۳۵	۳۲۸	۲۴۳	۵۲۵-۵۵۰	۲۱	تولید ناخالص جهانی (\$۱۰ ^{۱۲})

مربوط به ماه‌های سرد سال است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که استان‌های خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی با بیشترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند شد. آن‌ها اظهار داشتند با توجه به کاهش بارش کشور و افزایش آستانه بارش-های حدی، به نظر می‌رسد در دهه‌های آینده بارش‌ها به شکل سنگین و سیل‌آسا باشد و به دلیل افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته می‌شود. هارمسن و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر تغییر آب و هوا را بر روی تبخیر-تعرق، کمبود بارندگی و عملکرد محصول در پرتوریکو بررسی کردند. آن‌ها در این تحقیق از سناریوهای A1fi و A2، B1 برای پیش‌بینی پارامترهای مذکور تا سال ۲۱۰۰ استفاده کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که ماه‌های مرطوب مرطوب‌تر و ماه‌های خشک خشک‌تر خواهند شد. کمبود بارندگی در سپتامبر تشدید می‌شود و عملکرد محصول در سپتامبر کاهش یافته و در ماه فوریه افزایش می‌یابد. بررسی‌های کلی درجه حرارت، تبخیر-تعرق مرجع و کمبود فشار بخار نشان داد که در هر سه سناریو پارامترهای مذکور تا سال ۲۱۰۰ افزایش خواهند یافت. لی و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات ET₀ را با استفاده از مدل HadCM3 و تحت دو سناریوی A2 و B2 در چین بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تغییرات ET₀ افزایشی معنی‌دار در طول سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۰۹ داشته و این افزایش به دلیل روند کاهشی رطوبت و روند افزایشی درجه حرارت می‌باشد. پیش‌بینی‌های آن‌ها نشان داد که تا سال ۲۱۰۰، ET₀ در هر دو سناریو افزایش خواهد یافت و این افزایش در سناریوی A2 بیشتر از سناریوی B2 خواهد

نیاز آبی چغندر قند نیز در برخی از ایستگاه‌ها از دوره توسعه تا ابتدای دوره پایانی افزایش یافته و در برخی شهرها در طول دوره میانی کاهش خواهد یافت. آبابائی و همکاران (۱۳۸۹) اثر تغییر آب و هوا را بر عملکرد گندم در منطقه روددشت اصفهان تحت سناریوهای A2 و B1 با استفاده از مدل HadCM3 برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ بررسی کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که در منطقه مورد مطالعه مجموع بارش سالانه و متوسط دمای روزانه تحت هر دو سناریو افزایش خواهد یافت. همچنین متوسط عملکرد نسبی محصول و متوسط عملکرد دانه گندم در هر دو سناریو نسبت به دوره مبنا کاهش خواهد یافت. عباسی و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات آب و هوایی خراسان جنوبی را در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از مدل ECHO-G پیش‌بینی کردند. این مدل از دو مؤلفه جوی (ECHAM4) و اقیانوسی (HOPE) تشکیل شده است که در حین اجرا و در دوره‌های زمانی معینی با هم‌دیگر جفت می‌شوند. نتایج کلی بررسی‌ها در دوره مذکور حاکی از افزایش ۴ درصدی بارش در استان، کاهش تعداد روزهای یخ‌بندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سلسیوس می‌باشد که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان یک درجه سلسیوس خواهد بود. بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) تغییر آب و هوای کشور را در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از مدل ECHO-G ارزیابی کردند. نتایج این تحقیق حاکی از کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین و افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سلسیوس می‌باشد که بیشترین افزایش ماهانه دما

درجه و ۵ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۱۳۳۰ متری از سطح دریا قرار دارد. ارومیه از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای آب و هوای نیمه‌خشک سرد و براساس طبقه‌بندی دومارتن دارای آب و هوای نیمه‌خشک میانه می‌باشد. سردترین ماه‌های سال دی و بهمن و گرم‌ترین ماه‌های سال تیر و مرداد است (حیدری کهلی ۱۳۸۹).

معتبرترین ابزار برای تولید داده‌های هواشناسی سال‌های آینده و پیش‌بینی آن‌ها استفاده از مدل‌های گردش عمومی جوی و اقیانوسی می‌باشد. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره بلندمدت مدل‌سازی نمایند. ضعف عمده این مدل‌ها قدرت تفکیک مکانی کم آن‌ها است. این مدل‌ها قابل‌استفاده در مطالعات کاربردی با ابعاد کوچکتر از خود نیستند. اغلب مطالعات هیدرولوژیک با فرآیندهای کوچک‌مقیاس و زیرحوضه‌ای سر و کار دارند که مقیاس آن‌ها بسیار کوچکتر از مقیاسی است که مدل‌های گردش عمومی جو به ما می‌دهند. به‌همین دلیل مدل‌های جهانی برای استفاده در مطالعات هیدرولوژیک باید ریزمقیاس^۲ شوند (بی‌نام ۲۰۰۱). در این تحقیق مدل *HadCM3* به‌عنوان مدل گردش عمومی جوی-اقیانوسی و مدل *LARS-WG5* جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو و تولید مقادیر روزانه پارامترهای هواشناسی مورد‌استفاده قرار گرفتند. *HadCM3* یک مدل جفت‌شده جوی-اقیانوسی می‌باشد که توسط گوردون و همکاران (۲۰۰۰) ارائه‌شده است. این مدل دارای شبکه‌ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است. مدل *LARS-WG5* یکی از مشهورترین مدل‌های تولید داده‌های هواشناسی است که نسخه اولیه این مدل در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از زنجیره مارکوف است که به‌طور مکرر از آن استفاده‌شده است (سمینو و بارو ۱۹۹۷). این مدل در مطالعات مختلف بیش از سایر مدل‌ها مورد‌استفاده قرارگرفته است و در شرایط آب و هوایی مختلف ایران

بود. اسلام و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر تغییر آب و هوا را بر عملکرد ذرت در کلرادو با استفاده از سه سناریوی *A1B*، *A2* و *B1* بررسی کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که درجه حرارت در طول دوره رشد گیاه در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ روند افزایشی خواهد داشت. همچنین طبق نتایج آن‌ها عملکرد ذرت به‌دلیل کوتاه شدن دوره رشد در نتیجه افزایش درجه حرارت، کاهش خواهد یافت. ردیگزدیاز و همکاران (۲۰۰۷) اثر تغییر آب و هوا را بر نیاز آبی در حوضه آبریز رودخانه‌ای در اسپانیا با استفاده از سناریوهای *A2* و *B2* بررسی کردند. نتایج مطالعات آن‌ها افزایشی حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد در نیاز آبیاری فصلی را در دهه ۲۰۵۰ نشان داد. باگیس و همکاران (۲۰۱۰) اثرات تغییر آب و هوا را بر بارندگی و تبخیر- تعرق پتانسیل با استفاده از سناریوهای مختلف در بلژیک مرکزی بررسی کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که بارندگی در طول فصل زمستان افزایش و در فصل تابستان کاهش خواهد یافت. همچنین مطالعات آن‌ها افزایش شدت تبخیر- تعرق پتانسیل را خصوصاً در فصل تابستان نشان داد که منجر به شرایط خشک‌تر هوا خواهد شد. گندیم و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای با بررسی اثر تغییر آب و هوا بر نیاز آبیاری در حوضه آبریز جاگوریب^۱ در شمال شرق برزیل با استفاده از مدل *HadCM3* تحت دو سناریوی *A2* و *B2* نشان دادند که تا سال ۲۰۴۰ مقدار تبخیر- تعرق مرجع افزایش و مقدار بارندگی کاهش خواهد یافت. طبق نتایج آن‌ها شدت افزایش تبخیر- تعرق مرجع و کاهش بارندگی در سناریوی *B2* بیشتر از *A2* می‌باشد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر تغییرات آب و هوا بر پارامترهای هواشناسی، تبخیر- تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار در ایستگاه سینوپتیک ارومیه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ایستگاه سینوپتیک ارومیه در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵

^۲ Downscaling

^۱ Jaguaribe

با استفاده از رابطه هارگریوز-سامانی به صورت رابطه ۳ محاسبه و پس از واسنجی با روش پنمن-مانتیث-فائو توسط یک معادله خطی به شکل رابطه ۴ (آلن و همکاران ۱۹۹۸)، مقادیر روزانه ET_0 تولید شد.

$$ET_0 = 0.0023(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} Ra \quad [3]$$

$$ET_0 = a + bET_{0-Hargreaves} \quad [4]$$

در رابطه ۳، Ra مقدار تابش فرازمینی برحسب $MJ.day^{-1}.m^{-2}$ ، T_{min} ، T_{max} و T_{mean} نیز به ترتیب دمای کمینه، بیشینه و متوسط هوا برحسب درجه سلسیوس در یک شبانه روز می باشد. همچنین در رابطه ۴، ET_0 و $ET_{0-Hargreaves}$ به ترتیب مقادیر ET_0 رابطه پنمن-مانتیث-فائو و هارگریوز سامانی می باشد.

در این مطالعه کمبود بارندگی (اختلاف بین بارندگی (P) و ET_0) به صورت رابطه ۵ و کمبود فشار بخار (اختلاف بین فشار بخار اشباع (e_s) و فشار بخار واقعی (e_a)) به صورت رابطه ۶ محاسبه شد. جهت محاسبه فشار بخار اشباع و فشار بخار واقعی از رابطه ۷ استفاده گردید (هارمسن و همکاران ۲۰۰۹).

$$PD = P - ET_0 \quad [5]$$

$$VPD = e_s - e_a \quad [6]$$

$$e = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right) \quad [7]$$

در رابطه ۷، e فشار بخار برحسب kPa و T دمای هوا برحسب درجه سلسیوس می باشد که با قرار دادن دمای متوسط در آن فشار بخار اشباع، و با قرار دادن دمای کمینه، فشار بخار واقعی به دست می آید.

نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج ارزیابی داده های شبیه سازی شده توسط مدل و داده های واقعی دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۱) را نشان می دهد. چنانچه مشاهده می شود مقدار ضریب

توسط آبابائی و همکاران (۲۰۱۰) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

تولید داده توسط مدل $LARS-WG5$ طی سه مرحله واسنجی، ارزیابی و شبیه سازی یا تولید داده های هواشناسی دهه های آینده صورت گرفت. در مرحله اول مدل آب و هوایی مذکور با استفاده از داده های روزانه بارش، دماهای کمینه و بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه مورد مطالعه در یک دوره آماری ۴۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۷۱) به عنوان دوره پایه واسنجی گردید. در مرحله بعد با استفاده از ضریب تبیین (رابطه ۱) و ریشه میانگین مربعات خطا (رابطه ۲) عملکرد مدل با مقایسه مقادیر برآوردی و مشاهداتی در دوره پایه مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله سوم داده های آب و هوایی دوره های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ تحت سناریوهای آب و هوایی $A1B$ ، $A2$ و BI برای ایستگاه سینوپتیک ارومیه پیش بینی گردید. در نهایت با استفاده از داده های هواشناسی تولید شده، مقادیر تبخیر-تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار محاسبه شده و اثر تغییر اقلیم در آن ها در دوره پایه و دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در سه سناریو و با استفاده از سناریوی $A2$ در سه دوره مذکور بررسی گردید.

$$R^2 = \frac{\sum (X_o - \bar{X}_o)(X_p - \bar{X}_p)}{\sqrt{\sum (X_o - \bar{X}_o)^2 \sum (X_p - \bar{X}_p)^2}} \quad [1]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_o - X_p)^2}{n}} \quad [2]$$

در روابط فوق X_o مقدار مشاهده ای، X_p مقدار پیش بینی شده، \bar{X}_o میانگین مقادیر مشاهده ای، \bar{X}_p میانگین مقادیر پیش بینی شده و n تعداد داده ها می باشد. جهت محاسبه ET_0 ، به دلیل اینکه معادله پنمن-مانتیث-فائو، به عنوان یک روش استاندارد محاسبه ET_0 ، به متغیرهای آب و هوایی زیادی نیاز دارد و همه این متغیرها توسط مدل تولید نمی شود، مقادیر روزانه ET_0

دمای بیشینه، دمای متوسط و بارندگی نشان می‌دهد. شکل‌های ۵ تا ۷ نیز نتایج حاصل از محاسبات تبخیر-تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار را نشان می‌دهد. در قسمت الف این شکل‌ها در هر دوره میانگین ۲۰ ساله داده‌ها به صورت ماهانه رسم شده است. به عنوان مثال ۲۰۲۰ نماینده دوره ۲۰ ساله ۲۰۳۰-۲۰۱۱ می‌باشد (هارمسن و همکاران ۲۰۰۹).

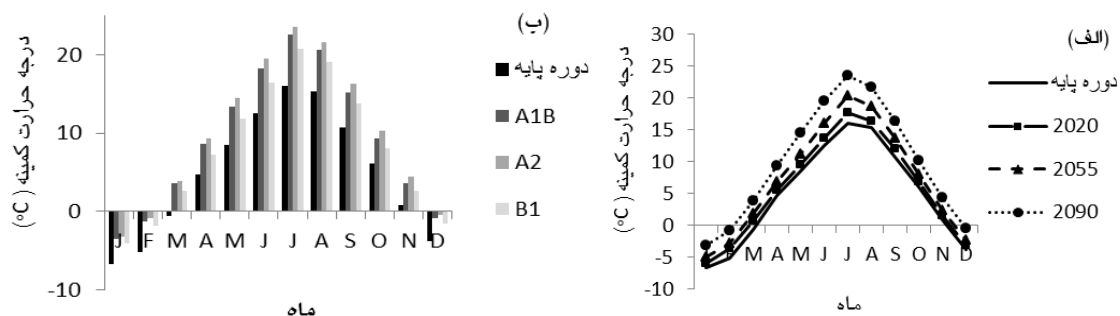
تبیین در همه موارد از میزان قابل توجهی برخوردار بوده و مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا نیز کم می‌باشد. بنابراین توانایی مدل *LARS-WG5* در شبیه‌سازی داده به اثبات رسیده و برای تولید داده‌های سال‌های آتی مورد استفاده قرار گرفت. شکل‌های ۱ تا ۴ نتایج حاصل از اجرای مدل در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی را به ترتیب در پارامترهای دمای کمینه،

جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل *LARS-WG5* با استفاده از آماره‌های واسنجی.

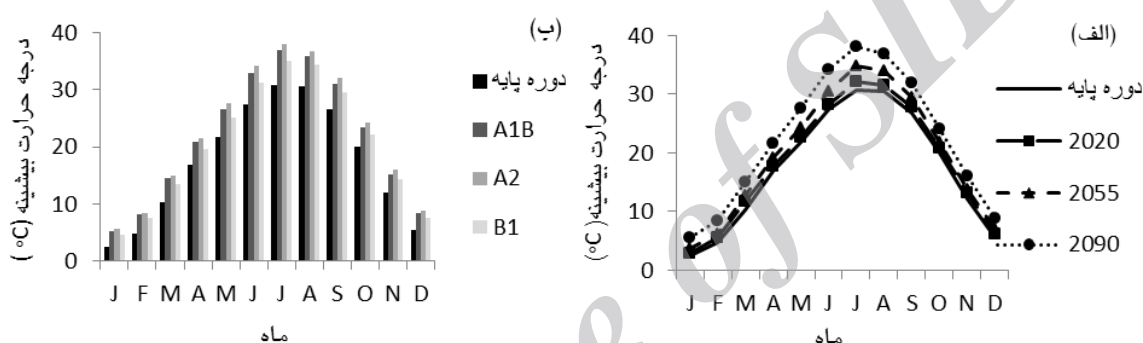
آماره	بارش	دمای کمینه	دمای بیشینه	تابش خورشیدی
R^2	۰/۹۸۴۶	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۲
$RMSE$	۲/۲۰۶۹ (mm)	۰/۱۵۰۵ (°C)	۰/۱۴۳۷ (°C)	۰/۲۵۱۹ ($MJm^{-2}day^{-1}$)

هوای کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ حاکی از افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سلسیوس می‌باشد که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به ماه‌های سرد سال است و استان‌های خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی با بیشترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند شد. طبق نتایج مطالعه حاضر در هر سه شاخص دمایی در منطقه ارومیه شیب افزایش دما رفته‌رفته بیشتر می‌شود و افزایش دما بین سال‌های ۲۰۵۵ تا ۲۰۹۰ بیشتر از افزایش دما بین ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۵ و یا دوره پایه تا ۲۰۲۰ می‌باشد. مقایسه سناریوهای مختلف در قسمت ب نشان می‌دهد که در هر سه شاخص دمایی در اغلب ماه‌ها افزایش دما در سناریوی *A2* بیشتر از *A1B* و در سناریوی *A1B* بیشتر از *B1* می‌باشد. هارمسن و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثرات تغییر آب و هوا در پرتوریکو نشان دادند که درجه حرارت تا سال ۲۱۰۰ افزایش خواهد یافت که این افزایش در سناریوی *A1fi* بیشتر از *A2* و در سناریوی *A2* بیشتر از *B1* خواهد بود. نتایج مربوط به دمای متوسط در ارومیه نشان می‌دهد که در سال ۲۰۹۰ در هیچ کدام از ماه‌ها دما کمتر از صفر درجه نخواهد بود.

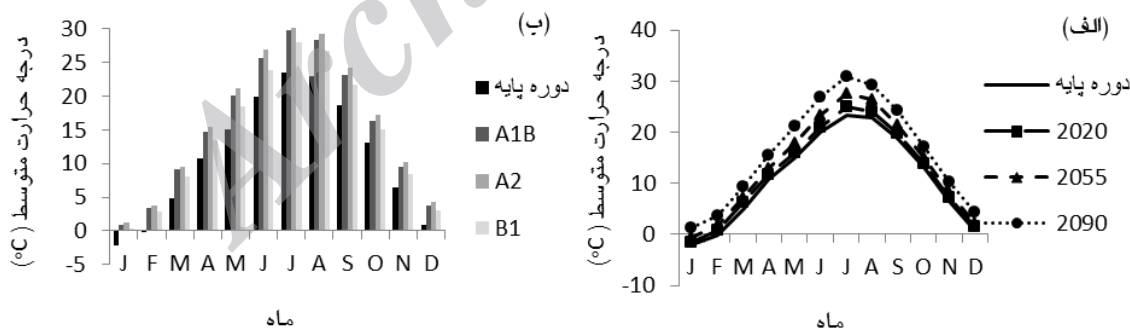
همان‌طور که نتایج مربوط به دمای کمینه، دمای بیشینه و دمای متوسط در شکل‌های ۱ تا ۳ در قسمت-های الف نشان می‌دهد در هر سه شاخص دمایی، درجه حرارت یکروند افزایشی را تا سال ۲۰۹۰ نشان می‌دهد. مشابه این نتایج اسلام و همکاران (۲۰۱۲) در کلرادو، علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) در حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود و آبابائی و همکاران (۱۳۸۹) در منطقه روددشت اصفهان نیز در مطالعات خود افزایش دما را در دهه‌های آتی گزارش کردند. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که افزایش دما در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال می‌باشد و به‌طور میانگین دمای هوا تا سال ۲۰۹۰ در منطقه ارومیه در فصل تابستان حدود ۷/۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش دما مربوط به دمای کمینه و به میزان ۷/۵ درجه سلسیوس در ماه ژوئیه می‌باشد. بر اساس مطالعات عباسی و همکاران (۱۳۸۹) میانگین سالانه دما در خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در حدود ۰/۳ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان یک درجه سلسیوس خواهد بود. مطالعات بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) نیز در بررسی تغییر آب و



شکل ۱- مقایسه میانگین ماهانه دمای کمینه ایستگاه ارومیه بر اساس سناریوی A2 در چهار دوره (الف) و مقایسه میانگین ماهانه دمای کمینه در دوره پایه و دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سناریوی A1B، A2 و B1 (ب).



شکل ۲- مقایسه میانگین ماهانه دمای بیشینه ایستگاه ارومیه بر اساس سناریوی A2 در چهار دوره (الف) و مقایسه میانگین ماهانه دمای بیشینه در دوره پایه و دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سناریوی A1B، A2 و B1 (ب).

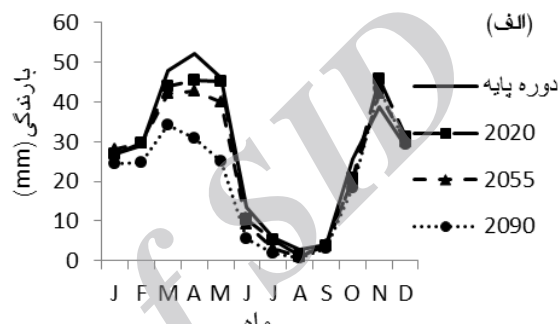
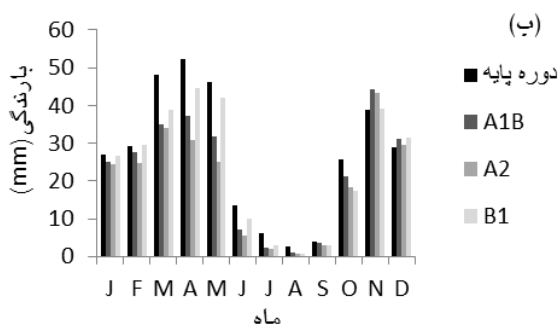


شکل ۳- مقایسه میانگین ماهانه دمای متوسط ایستگاه ارومیه بر اساس سناریوی A2 در چهار دوره (الف) و مقایسه میانگین ماهانه دمای متوسط در دوره پایه و دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سناریوی A1B، A2 و B1 (ب).

پایین بارش در منطقه مورد مطالعه تفاوت زیادی بین نتایج حاصل مشاهده نمی‌شود. بیشترین کاهش بارندگی تا سال ۲۰۹۰ مربوط به ماه می و به میزان ۲۱/۴۲ میلی‌متر و بیشترین افزایش بارندگی مربوط به

بررسی نتایج بارندگی در شکل ۴ نشان می‌دهد که بارش‌های بهار در سه دوره نسبت به دوره پایه کاهش و بارش‌های پاییزه افزایش خواهد یافت. درحالی‌که در ماه‌های فصل تابستان به دلیل مقادیر

همکاران (۱۳۹۰) و مخالف نتایج هارمسن و همکاران (۲۰۰۹) در پرتوریکو می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که کاهش بارندگی در اغلب ماه‌ها در ارومیه در سناریوی A2 بیشتر از A1B و در سناریوی A1B بیشتر از B1 می‌باشد که این نتایج با نتایج (بی‌نام ۲۰۰۱) کاملاً هم‌خوانی دارد.

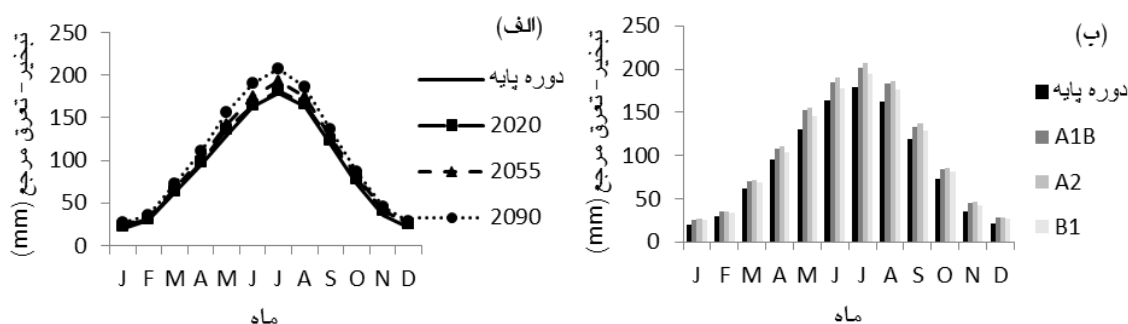


شکل ۴- مقایسه بارندگی ماهانه ایستگاه ارومیه بر اساس سناریوی A2 در چهار دوره (الف) و مقایسه بارندگی ماهانه در دوره پایه و دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سناریوی A1B، A2 و B1 (ب).

شده و اختلاف مقادیر ET_0 بین سال‌های ۲۰۵۵ تا ۲۰۹۰ بیشتر از اختلاف مقادیر بین سایر دوره‌ها بوده و حتی اختلاف مقادیر دوره پایه با دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ بسیار ناچیز می‌باشد و این نشان می‌دهد که طبق سناریوی A2 در دو دهه آتی ET_0 تغییر نخواهد کرد. مقایسه سناریوهای مختلف در قسمت ب نشان می‌دهد که در اغلب ماه‌ها افزایش ET_0 در سناریوی A2 بیشتر از A1B و در سناریوی A1B بیشتر از B1 می‌باشد. پیش‌بینی‌های لی و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی تغییرات ET_0 در چین نشان داد ET_0 تا سال ۲۱۰۰ در دو سناریوی A2 و B2 افزایش خواهد یافت که این افزایش در سناریوی A2 بیشتر از B2 خواهد بود. گندیم و همکاران (۲۰۰۹) نیز با بررسی اثر تغییر آب و هوا بر نیاز آبیاری در حوضه آبریز جاگوریب در شمال شرق برزیل نشان دادند که تا سال ۲۰۴۰ مقدار ET_0 تحت دو سناریوی A2 و B2 افزایش خواهد یافت که این افزایش در سناریوی B2 بیشتر از A2 خواهد بود.

نتایج بررسی‌های مربوط به ET_0 در شکل ۵ نشان می‌دهد که ET_0 یک روند افزایشی را تا سال ۲۰۹۰ نشان می‌دهد و این افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال می‌باشد. به طوری که بیشترین افزایش ET_0 در ماه ژوئیه و به مقدار ۲۵/۳ میلی‌متر خواهد بود. مشابه این نتایج مطالعات هارمسن و همکاران (۲۰۰۹) در پرتوریکو افزایش ET_0 تا سال ۲۱۰۰، مطالعات ردیگزدیاز و همکاران (۲۰۰۷) افزایشی حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد در نیاز آبیاری فصلی در دهه ۲۰۵۰ در حوضه آبریز رودخانه‌ای در اسپانیا، مطالعات باگیس و همکاران (۲۰۱۰) در بلژیک مرکزی افزایش شدت تبخیر-تعرق پتانسیل، خصوصاً در فصل تابستان و مطالعات علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) افزایش تبخیر-تعرق در تمامی فصل‌ها و تمامی دوره‌ها در حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود را نشان می‌دهند.

طبق نتایج مطالعه حاضر در ارومیه، شیب افزایش ET_0 نیز همانند درجه حرارت رفته‌رفته بیشتر

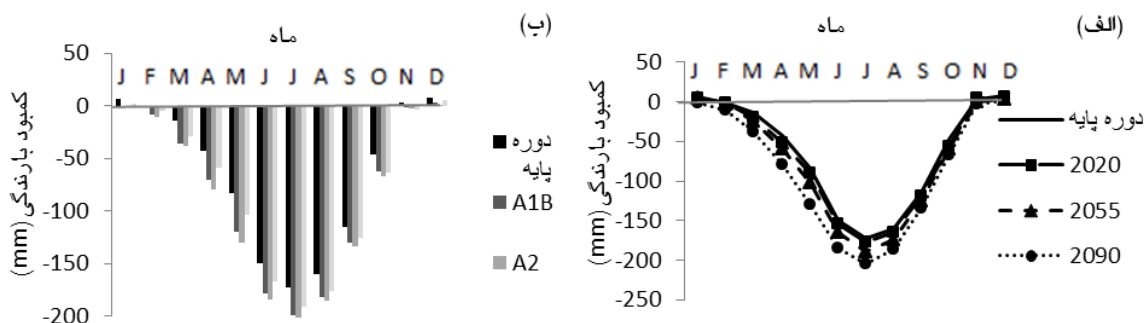


شکل ۵- مقایسه تبخیر- تعرق مرجع ماهانه در دوره پایه و دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سناریوی A1B و A2 و BI (ب) و مقایسه تبخیر- تعرق مرجع ماهانه در دوره پایه بر اساس سناریوی A2 در چهار دوره (الف) و مقایسه تبخیر-

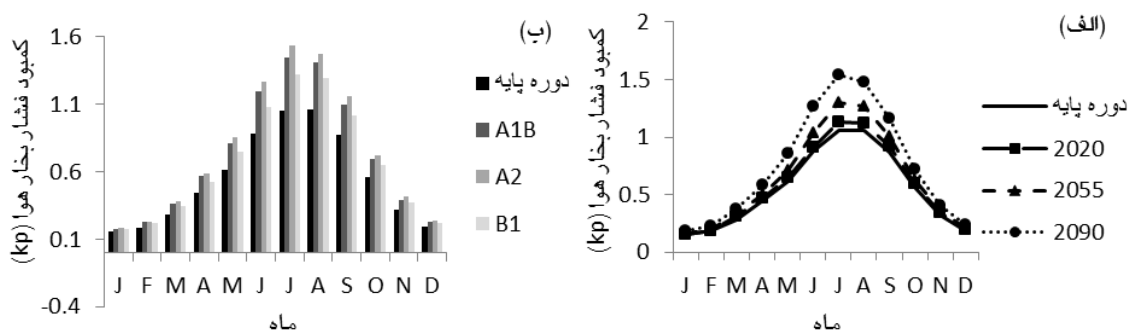
رفته بیشتر شده و اختلاف مقادیر آن‌ها بین سال‌های ۲۰۵۵ تا ۲۰۹۰ بیشتر از اختلاف مقادیر بین سایر دوره‌ها می‌باشد. اختلاف مقادیر دوره پایه با دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در کمبود بارندگی اندک می‌باشد.

مقایسه سناریوهای مختلف در قسمت ب نشان می‌دهد که در اغلب ماه‌ها افزایش کمبود بارندگی و افزایش کمبود فشار بخار در سناریوی A2 بیشتر از A1B و در سناریوی A1B بیشتر از B1 می‌باشد. مطالعات هارمسن و همکاران (۲۰۰۹) در پرتوریکو نشان داد که کمبود فشار بخار تا سال ۲۱۰۰ در سه سناریوی A1B، A2 و B1 افزایش خواهد یافت. طبق بررسی‌های آن‌ها مقادیر بالای کمبود بارندگی در سناریوی A2 نسبت به سناریوهای B1 و A1B به دلیل کم بودن مقادیر بارندگی و زیاد بودن ET_0 در این سناریو نسبت به سایر سناریوها در اغلب ماه‌ها می‌باشد. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که کمبود بارندگی در منطقه مذکور در ماه سپتامبر افزایش خواهد یافت.

در شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب نتایج مربوط به کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار در دوره‌ها و سناریوهای مختلف ارائه شده است. همان‌طور که از این شکل‌ها مشخص است کمبود بارندگی تقریباً در همه سناریوها و همه دوره‌ها منفی می‌باشد و این نشان می‌دهد که در سال‌های آینده تقریباً در هیچ‌یک از ماه‌ها مازاد بارندگی وجود نداشته و تبخیر- تعرق بیشتر از بارندگی خواهد بود. کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار تا سال ۲۰۹۰ روند افزایشی داشته و این افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال خواهد بود. بیشترین افزایش کمبود بارندگی تا سال ۲۰۹۰ مربوط به ماه ژوئیه و به مقدار ۲۸/۷ میلی‌متر می‌باشد. در مورد کمبود فشار بخار نیز نتایج نشان می‌دهد که بیشترین افزایش کمبود فشار بخار مربوط به ماه ژوئیه و به مقدار ۴۸/۰ کیلوپاسکال خواهد بود. بیشتر شدن کمبود فشار بخار نشان می‌دهد که در سال‌های آینده هوا خشک‌تر خواهد شد. شیب افزایش کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار نیز همانند درجه حرارت و ET_0 رفته



شکل ۶- مقایسه کمبود بارندگی ماهانه ایستگاه ارومیه بر اساس سناریوی A2 در چهار دوره (الف) و مقایسه کمبود بارندگی ماهانه در دوره پایه و دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سناریوی A1B و A2 و BI (ب).



شکل ۷- مقایسه میانگین ماهانه کمبود فشار بخار هوای ایستگاه ارومیه بر اساس سناریوی A2 در چهار دوره (الف) و مقایسه میانگین ماهانه کمبود فشار بخار در دوره پایه و دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بر اساس سه سناریوی A2, A1B و B1 (ب).

نتیجه‌گیری کلی

۲۰۹۰ منتقل خواهد شد. تبخیر-تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار نیز همانند درجه حرارت تا سال ۲۰۹۰ روند افزایشی داشته و این افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال خواهد شد. بررسی کلی این نتایج حاکی از این است که وضعیت هوا در منطقه مذکور در سال‌های آتی گرم‌تر و خشک‌تر خواهد شد. در این منطقه علی‌رغم اینکه بارندگی در فصل پاییز بیشتر خواهد شد ولی به دلیل افزایش زیاد ET_0 ، کمبود بارندگی کاهش نیافته و تقریباً در همه ماه‌ها مقادیر کمبود منفی خواهد بود. با توجه به زیاد بودن تبخیر-تعرق مرجع از بارندگی در همه ماه‌ها در آینده، به دلیل اینکه مازاد بارندگی وجود نخواهد داشت، دوباره پر شدن سفره‌های آبی در آینده با مشکل مواجه شده و به مرور زمان به دلیل مصارف مختلف از منابع آب‌های زیرزمینی، از مقدار ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی کاسته شده و جبران‌پذیر نخواهد بود. از طرفی افزایش دما کاهش بارش برف را به دنبال داشته و موجب کاهش ذخیره و تأمین منابع آبی منطقه از طریق ذوب تدریجی برف در مناطق کوهستانی خواهد شد. کاهش بارش برف افزایش بارش‌های سنگین و سیل‌آسا و شسته شدن خاک‌های حاصلخیز را به دنبال دارد. لذا تأکید و توجه به منابع طبیعی، آبخیزداری و آبخوان‌داری و تقویت مراتع برای کاهش اثرات بارش‌های سیل‌آسا مفید می‌باشد. افزایش دمای هوا می‌تواند باعث کاهش دوره رشد محصولات کشاورزی گردد که موجب کاهش عملکرد آن‌ها می‌گردد. با افزایش میانگین

نیاز آبی گیاهان و میزان تولید در بخش کشاورزی به تغییر در پارامترهای آب و هوایی بسیار حساس می‌باشد. تغییر آب و هوا بر دما و توزیع بارش تأثیرات متفاوتی دارد که در نتیجه بر روی توزیع مکانی و زمانی منابع آب و همچنین نیاز آبی گیاهان و مصرف آب در بخش کشاورزی مؤثر می‌باشد. محدودیت منابع آب کشاورزی و رقابت بخش‌های مختلف در استفاده از این منابع از یکسو و افزایش سطح اراضی فاریاب از سوی دیگر، اهمیت بهره‌برداری بهینه از این منابع را صدچندان ساخته است. حاکمیت شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک در بیشتر مناطق کشور و کمبود آب باعث شده است تا برآورد نیاز آبی گیاه و تعیین تغییرات آن در آینده، به عنوان یک ضرورت اساسی مطرح باشد. این تحقیق با هدف بررسی اثرات تغییر آب و هوا بر روی تبخیر-تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار انجام شد. بدین منظور پس از تولید داده‌های مربوط به دما و بارندگی توسط مدل، مقادیر تبخیر-تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار به صورت ماهانه محاسبه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که دماهای کمینه، بیشینه و متوسط تا سال ۲۰۹۰ روند افزایشی خواهند داشت و این افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال می‌باشد. بارش‌های بهار در هر سه دوره نسبت به دوره پایه کاهش و بارش‌های پاییزه افزایش خواهد یافت. پیک بارندگی‌ها از فصل بهار در دوره پایه به فصل پاییز در

مورد نیاز بخش کشاورزی را با راندمان بالا مصرف کرد. کشاورزان باید توانایی اصلاح اعمال کشاورزی برای سازگاری با این تغییرات را داشته باشند و مدیران نیز راهکارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید را اتخاذ نمایند.

دمای کمینه عملکرد محصولاتی که در دوره رشد نیاز به سرما دارند کاهش می‌یابد. به دلیل کاهش بارندگی و افزایش ET_0 در فصل بهار، بخش‌های کشاورزی تقاضای بیشتری برای آب خواهند داشت. بخش عمده مصرف آب در زمینه کشاورزی می‌باشد. لذا برای اینکه بتوان در آینده با مشکل کم‌آبی مبارزه نمود باید آب

منابع مورد استفاده

- آبایی ب، سهرابی ت، میرزایی ف، رضوردی نژاد و و کریمی ب، ۱۳۸۹. اثر تغییر آب و هوا بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه روددشت اصفهان). مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۰/۱، شماره ۳، صفحه‌های ۱۳۵ تا ۱۵۰.
- اشرف ب، موسوی بایگی م، کمالی غ و داوری ک، ۱۳۹۰. پیش‌بینی نیاز آبی چغندر قند در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های آب و هوای شبیه‌سازی شده توسط مدل ریزمقیاس کننده *LARS-WG5* (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۵، صفحه‌های ۱۱۸۴ تا ۱۱۹۷.
- بابائیان ا، نجفی نیک ز، زابل عباسی ف، حبیبی نوخندان م، ادب ح و ملبوسی ش، ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر آب و هوا کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو *ECHO-G*. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، صفحه‌های ۱۳۵ تا ۱۵۲.
- حیدری کهلی ج، ۱۳۸۹. ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف تولید داده مصنوعی در تحلیل سیستم مخازن ذخیره (مطالعه موردی: سدهای باراندوز، نازلو و شهرچای در استان آذربایجان غربی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.
- عباسی ف، ملبوسی ش، بابائیان ا، اثمیری م و برهانی ر، ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات آب و هوای خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل *ECHO-G*. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره ۲، صفحه‌های ۲۱۸ تا ۲۳۳.
- علیزاده ا، سیاری ن، حسامی کرمانی م، بنایان اول م و فرید حسینی ع، ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل اثرات تغییر آب و هوای بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود). نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، صفحه‌های ۸۱۵ تا ۸۳۵.
- کارآموز م و عراقی نژاد ش، ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- Ababaei B, Sohrabi TM, Mirzaei F and Karimi B, 2010. Evaluation of a stochastic weather generator in different climates. *Computer and Information Science* 3(3): 217-229.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M, 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. Irrigation and Drainage Paper 56. UN-FAO, Rome, Italy.
- Anonymous, 2001. *Climate Change. The Scientific Basis*. Inter-Governmental Panel on Climate Change (IPCC). Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Anonymous, 2006. *Effect of Climate Change in the Developing Countries*. UK Meteorological Office.
- Anonymous, 2007. *Summary for policy makers Climate change: The physical science basis*. Inter-Governmental Panel on Climate Change (IPCC). Contribution of Working Group I to the Forth Assessment Report. Cambridge University Press.
- Baguis P, Roulin E, Willems P and Ntegeka V, 2010. Climate change scenarios for precipitation and potential evapotranspiration over central Belgium. *Theoretical and Applied Climatology* 99: 273-286.

- Gondim R, Castor MA, Maia M and Evangelista S, 2009. Climate change and irrigation water requirement at Jaguaribe river basin, semi-arid northeast of Brazil. IOP Conf. series. Earth and Environmental Science 6: 1:2.
- Gordon C, Cooper C, Seinor CA, Banks H, Gregory JM, Johns TG, Mitchell JFB, and Wood RA, 2000. The simulation of SST, Seas ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Center coupled model without flux adjustment. *Climate Dynamics* 16: 147-168.
- Harmsen E, Miller N, Schlegel N, and Gonzalez JE, 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficits and crop yield in Puerto Rico. *Agricultural Water Management* 96:1085-1095.
- Islam A, Ahuja LA, Garcia LA, Ma L, Saseendran AS and Trout TJ, 2012. Modeling the impacts of climate change on irrigated corn production in the Central Great Plains. *Agricultural Water Management* 110: 94– 108.
- Lane M E, Kirshen PH and Vogel RM, 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. *Journal of Water Resource Planning and Management* 125(4): 194-204.
- Li Z, Zheng FL and Liu WZ, 2012. Spatiotemporal characteristics of reference evapotranspiration during 1961–2009 and its projected changes during 2011–2099 on the Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology* 155: 147– 155.
- Mitchell TD, 2003. Pattern Scaling: An examination of accuracy of the technique for describing future climates. *Climatic Change* 60: 217-242.
- Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grubler A, Jung TY, Kram T, La Rovere EL, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper Pitcher WH, Price L, Raihi K, Roehrl A, Rogner H, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N and Dadi Z, 2000. Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Rodriguez Diaz JA, Weatherhead EK, Knox JW and Camacho E, 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Regional Environmental Change* 7:149–159.
- Semenov MA and Barrow EM, 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change* 35: 397-414.
- Vinnikov KY, Grody NC, Robock A, Stouffer RJ, Jones PD and Goldberg MD, 2006. Temperature trends at the surface and in the troposphere. *Journal of Geophysical Research* 111: 103-116.