

پیش‌بینی اثرات بلندمدت تغییر اقلیم بر مولفه‌های اقلیمی در منطقه‌ی مرطوب

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۰۶

مهدی کلانکی^۱، فاطمه کاراندیش^۲

چکیده

بحران آب به همراه اثرات منفی تغییر اقلیم بر آن یکی از دغدغه‌های جهانی می‌باشد. تغییرات درازمدت مولفه‌های مهم اقلیمی در دراز مدت در نتیجه‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای تاثیر معنی‌داری بر حجم منابع آب تجدیدپذیر و متعاقباً، بر برنامه‌ریزی در راستای تخصیص آن به بخش‌های مهم خواهد داشت. به همین منظور در این پژوهش، به بررسی اثرات بلندمدت تغییر اقلیم در استان مازندران بر میزان دما، بارش و تبخیر- تعرق پتانسیل تحت سناریوهای A1B، A2 و B2 تا سال ۲۱۰۰ پرداخته شد. ابتدا بر اساس داده‌های هواشناسی در طول دوره‌ی پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) در سه ایستگاه نوشهر، رامسر و بابلسر، میزان تبخیر- تعرق پتانسیل با استفاده از معادله‌ی فائو پنمن-مانتیش برآورد شد. سپس قابلیت مدل ANFIS جهت تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل با حداقل داده مورد ارزیابی قرار گرفت. نرم‌افزار LARS-WG جهت ریزمقیاس‌سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 استفاده شده و در ادامه، برای پیش‌بینی مولفه‌های اقلیمی تا سال ۲۱۰۰ اقلیمی تحت سناریوهای A1B، A2 و B2 استفاده شد. افزایش معنی‌دار دمای حداقل و حداکثر باعث افزایش معنی‌دار تبخیر- تعرق پتانسیل طی سال‌های ۲۱۰۰-۱۹۸۱ شد. این افزایش در سناریوی A2 بیش‌تر بود. افزایش بیش‌تر دماهای کاردینال در فصول سرد سال باعث جابجایی فصل کشت خواهد شد. به طور کلی می‌توان دریافت که علی‌رغم حاکم بودن اقلیم مرطوب طی دوره‌ی پایه در منطقه‌ی مطالعاتی، افزایش میزان تبخیر- تعرق پتانسیل در تمام سال به ویژه در طول فصل کشت محصولات کشاورزی، بحران آب شدیدی را بر منطقه مطالعاتی حاکم خواهد ساخت. نظر به ارتباط معنی‌دار میزان آب مصرفی و تولید محصول، عدم توجه به افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل، با اعمال خسارت‌های شدید اقتصادی، امنیت غذایی را تهدید خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق پتانسیل، سیستم استنتاج عصبی-فازی، مازندران، مدل LARS-WG.

^۱ . دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران - قزوین، شهر صنعتی لیا، خیابان حافظ

۰۹۱۹۲۸۱۴۴۱۸ mail: Kalanaki_Mahdi@yahoo.com

^۲ . استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران، ۰۹۱۲۶۷۵۳۹۰۱ Email: Karandish_h@yahoo.com & F.Karandish@uoz.ac.ir

(مسئول مکاتبه)

مقدمه

اثرات کوتاه‌مدت تغییر اقلیم گزارش شده است. این در حالی است که بررسی تغییرات اقلیمی بر تبخیر-تعرق پتانسیل و شاخص خشکی در مناطق خشک چین بیانگر این بود که در این مناطق از خشکی اقلیم کاسته شده و به تبع آن میزان تقاضای آبیاری گیاهان کاهش خواهد یافت (Huoe et al., 2013). بررسی تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از نمایه خشکی طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۰ حاکی از افزایش این پارامتر در کل کشور نسبت به دوره مشابه قبلی بوده است (علیزاده و صالح‌نیا، ۱۳۹۳). روندیابی تغییرات نیاز آبی گیاه مرجع و متغیرهای هواشناختی مرتبط با آن در آذربایجان شرقی با استفاده از روش‌های اسپیرمن، من-کندال و تخمین‌گر شیب سن مبین این مطلب است که روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه‌های منتخب به صورت معنی‌داری در دو خوشه جداگانه قرار می‌گیرند، در خوشه اول اکثر ماه‌ها دارای روند افزایشی در میزان این پارامتر در سطوح ۹۹ و ۹۵ درصد اطمینان بوده و در خوشه دوم، فقط در یک ماه روند معنی‌دار مشاهده شد (جهان‌بخش و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج پژوهشی با استفاده از اطلاعات هواشناسی ۵۷ ایستگاه در کشور رومانی طی دوره ۲۰۰۷-۱۹۶۱، بر تغییرات تبخیر-تعرق مرجع در آن کشور با استفاده از روش من-کندال و شیب سن بیانگر شیب مثبت ۷۱ درصد در کل داده‌ها و وجود روند معنی‌دار در سطح پنج درصد برای ۳۰ درصد از داده‌ها بود (Croitoru et al., 2013). آنالیزها از افزایش میانگین سالانه تبخیر-تعرق در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی و کاهش برای بخش‌های مرکزی حکایت دارد. بالاترین نوسانات و بیش‌ترین مقادیر مثبت شیب در داده‌های فصول تابستان و بهار مشاهده شد. همچنین شیب‌های منفی اساساً در داده‌های پاییز به علت کاهش همزمان دما و تابش خورشیدی می‌باشد.

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که علی‌رغم توجه به بررسی روند تغییرات کوتاه‌مدت

گسترش روزافزون صنایع و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن گرمایش جهانی و بروز پدیده تغییر اقلیم شده است. براساس آخرین گزارش مجمع بین دول تغییر اقلیم، میانگین درجه حرارت جهان تا ۵۰ سال آینده، حدود ۲/۵-۰/۶ درجه سانتی‌گراد و تا پایان قرن حاضر، حدود ۴/۴-۱/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. این تغییرات در مقیاس منطقه‌ای بسیار زیاد خواهد بود (IPCC, 2007). از جمله مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم، تاثیر بر مولفه‌های موثر بر وضعیت هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز همچون دما، بارش و تبخیر-تعرق می‌باشد. تبخیر-تعرق از اصلی‌ترین اجزای بیلان هیدرولوژیکی و بسیار متاثر از مولفه‌های اقلیمی مهم همچون دما بوده و تحت تاثیر تغییر اقلیم می‌تواند واکنش‌های مختلفی را از خود بروز دهد (Goyal, 2004). به همین‌منظور، پژوهش‌هایی در راستای تعیین اثرات تغییر اقلیم بر میزان تبخیر-تعرق و مولفه‌های موثر بر آن صورت گرفته است. نتایج پژوهش روشن و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد میانگین دما در سطح کشور ایران در نتیجه‌ی تغییر اقلیم حدود ۴/۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. براساس پژوهش ایشان، حجم آب قابل دسترس در آینده علی‌رغم افزایش ۳۶ درصدی بارش تا سال ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه، جواب‌گوی نیاز آبی نبوده و دست‌کم ۳۸ درصد کمبود آب وجود خواهد داشت. همچنین افزایش دما و بارش در منطقه گلستان (دوستی و همکاران، ۱۳۹۲)، افزایش بارش در کرمان (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲) کاهش بارش و افزایش دما در تهران (حق طلب و همکاران، ۱۳۹۲)، افزایش میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در حوضه کشف رود (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹)، استان‌های خراسان رضوی (اشرف و همکاران، ۱۳۹۱)، آذربایجان غربی (دانش‌افزار و رزاق‌پور، ۱۳۹۲) و شهرستان ارومیه (کوهی و ثنائی‌نژاد، ۱۳۹۲) تحت

ایستگاه سینوپتیک بابلسر، نوشهر و رامسر با اقلیم غالب مرطوب پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی

استان مازندران با مساحتی در حدود 23842 km^2 در نوار شمالی کشور و در محدوده‌ی ۳۸ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و پنج دقیقه‌ی شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۴ دقیقه‌ی شرقی واقع شده است. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن نواحی غربی مازندران بسیار مرطوب، نواحی مرکزی مرطوب، نواحی شرقی مدیترانه‌ای و نواحی کوهستانی نیمه مرطوب می‌باشد. در این پژوهش، از آمار هواشناسی ۳۰ ساله سه ایستگاه سینوپتیک بابلسر، رامسر و نوشهر استفاده شد. موقعیت مکانی ایستگاه‌های مذکور به همراه متوسط ۳۰ ساله برخی مولفه‌های اقلیمی مهم در جدول (۱) ارائه شد.

تبخیر-تعرق پتانسیل در طول دوره‌ی پایه، بررسی تغییرات بلندمدت این مولفه‌ی موثر و مهم در برنامه-ریزی منابع آبی در نتیجه‌ی تغییرات اقلیمی به ویژه در مناطق مرطوب تاکنون کم‌تر مورد توجه بوده است. از آنجایی که در مناطق مرطوب، وجود منابع آب کافی، اطمینان خاطر برای تامین حجم آب مورد نیاز در بخش‌های مختلف را فراهم می‌آورد، لذا مساله-ی صرفه‌جویی کم‌تر مورد توجه بهره‌برداران قرار می‌گیرد. این در حالی است که تغییر اقلیم می‌تواند اثرات نامطلوبی را حتی در این مناطق بر میزان حجم آب قابل استحصال داشته باشد. بنابراین، نادیده گرفتن این عواقب و عدم برنامه‌ریزی در جهت استفاده‌ی بهینه از منابع آبی می‌تواند زیان‌های اقتصادی بسیاری را به ویژه در بخش کشاورزی به همراه داشته باشد و با کاهش میزان عملکرد در واحد سطح، امنیت غذایی را با بحران شدید مواجه سازد. به همین دلیل، در این پژوهش، به بررسی اثرات بلند مدت پدیده‌ی تغییر اقلیم بر برخی مولفه‌های مهم اقلیمی در سه

جدول (۱): موقعیت مکانی و پاره‌ای از اطلاعات ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره پایه

نام ایستگاه	عمق (°)	طول (°)	ارتفاع (m)	بارش سالانه (mm)	حد اقل (°C)	حد اکثر (°C)	میانگین دمای
بابلسر	۳۶/۴۳	۵۲/۳۹	-۲۱	۹۱۶/۷۲	۱۳/۸۴	۲۱/۲۵	
رامسر	۳۶/۵۴	۵۰/۴	-۲۰	۱۱۶۴/۸۹	۱۳/۱۷	۱۹/۴۹	
نوشهر	۳۶/۳۹	۵۱/۳	-۲۰/۹	۱۲۴۳/۰۱	۱۲/۸۹	۱۹/۷۲	

احتمالی تغییر اقلیم بر مولفه‌های بارش و دما استفاده شد. فرآیند تولید داده‌ها در LARS-WG شامل سه بخش واسنجی، صحت‌سنجی و شبیه‌سازی می‌باشد. برای انجام دو مرحله‌ی اول، آمار ۳۰ ساله تابش، دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در ایستگاه‌های منتخب وارد مدل شده و با مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و

پیش‌بینی دما و بارش در آینده با استفاده از مدل LARS-WG

پس از بررسی همگنی و نرمال بودن داده‌ها در طول دوره‌ی آماری پایه در بازه‌ی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰، از مدل LARS-WG جهت تعیین اثرات

منطق فازی با نگاه چند ارزشی به جای منطق دو ارزشی، امکان بررسی دقیق تر مسائل را به وجود می آورد. این منطق اولین بار توسط لطفی زاده مطرح شد (Lee and Hoops, 1996). در مجموعه های فازی، توابع عضویت درجه عضویت المان های مختلف را به یک مجموعه نشان داده و مقداری بین صفر و یک را می گیرد (گوهرریزی و همکاران، ۱۳۹۰). ترکیب شبکه عصبی و منطق فازی باعث افزایش در سرعت محاسبات، تحمل خطا و تطبیق پذیری و همچنین باعث تسهیل در انتخاب تابع عضویت می گردد (Stelak, 2008; Jang, 1993). رویکرد خاص ANFIS نتایج قابل توجهی در مدل سازی توابع غیر خطی نشان می دهد (Jang et al., 1997). این مدل یک سامانه فازی سوگنو را در یک ساختار عصبی اجرا می کند و توابع عضویت از طریق الگوریتم پس انتشار یا ترکیب آن با حداقل مربعات تنظیم می شود. در ANFIS قوانین ثابت هستند و آنچه بهینه سازی می شود، عامل های توابع عضویت است (مهدوی میمند و همکاران، ۱۳۹۳). امکان انتخاب هشت تابع عضویت مثلثی، دوزنقه ای، گوسی ساده، گوسی دوطرفه مرکب، زنگی شکل، سیگموئیدی، سیگموئیدی تفاضلی و پی شکل در ANFIS وجود داشته که از این میان برحسب بالاتر بودن دقت و کم تر بودن خطا، بایستی بهترین تابع عضویت انتخاب گردد.

آنالیز آماری و معیارهای ارزیابی

بررسی معنی داری روند تغییرات متغیرهای اقلیمی بر اساس تحلیل روند میانگین سالانه برای دمای حداقل و حداکثر و مجموع سالانه برای بارش و تبخیر-تعرق به روش کمترین مربعات خطا انجام گرفت. در این روش، عرض از مبدا و شیب خط رگرسیون با حداقل نمودن خطا بین دو متغیر مستقل و وابسته طبق رابطه ذیل بدست می آید (عیوضی و همکاران، ۱۳۸۹؛ شیرغلامی و همکاران، ۱۳۸۳).

شبیه سازی شده بر اساس معیارهای ارزیابی، صحت مدل در ایستگاه های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، با آزمون تی، معنی دار بودن اختلاف مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی شده در سطح احتمال پنج درصد بررسی شد. بعد از آن، با استفاده از مدل HadCM3 و تحت سناریوهای A1B، A2 و B1، شبیه سازی مولفه های اقلیمی دما و بارش تا سال ۲۱۰۰ در سه دوره ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ انجام شد. سپس، اثرات تغییر اقلیم بر مولفه های پیش بینی شده در سه دوره ی زمانی مذکور با مقادیر آن ها در دوره ی پایه مورد مقایسه قرار گرفت.

تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل در آینده با استفاده از ANFIS

میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در طول دوره ی پایه بر اساس رابطه ی فائو پنمن-مانتیت برآورد شد (Allen et al., 1998). از آنجایی که امکان برآورد تمام متغیرهای این رابطه تا سال ۲۱۰۰ با استفاده از مدل LARS-WG وجود ندارد، لذا از شبکه تطبیقی عصبی-فازی برای برآورد میزان تبخیر-تعرق پتانسیل استفاده شد. بدین منظور، در ابتدا آنالیز حساسیت مقدار این پارامتر به مقادیر قابل پیش بینی در آینده شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش بر اساس رابطه ی ذیل انجام شد (McCuen, 1974):

$$S(x_i) = \lim_{\Delta x_i / x_i} \left(\frac{\Delta ET_o / ET_o}{\Delta x_i / x_i} \right) = \frac{\Delta ET_o}{\partial x_i} \times \frac{x_i}{ET_o} \quad (1)$$

در رابطه فوق x_i فاکتور هواشناسی مورد بررسی و $S(x_i)$ ضریب حساسیت تبخیر-تعرق به فاکتور هواشناسی مورد بررسی می باشد و به طور کلی ضرایب حساسیت مثبت و منفی بیانگر افزایش و کاهش در مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل به ازای افزایش پارامتر مورد بررسی می باشد (Zhang et al, 2013).

نتایج و بحث

ارزیابی مدل LARS-WG در ایستگاه‌های منتخب

به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل LARS-WG، شبیه‌سازی داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر، تابش و بارش در طول دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۸۰ با استفاده از این مدل انجام شد. مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مولفه‌های اقلیمی بر اساس آزمون t در شکل (۱) نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بین آن‌ها در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها وجود ندارد. همچنین، در تمام ایستگاه‌ها، ضریب تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی بارش در ماه‌های سرد سال انطباق بهتری با مقادیر مشاهده‌ای دارد. لکن، روند مشابهی برای کم‌برآورد و یا بیش‌برآوردی میزان بارش بین ایستگاه‌ها مشاهده نشد (جدول ۲). بر اساس جدول (۲)، میزان RMSE برای مقدار بارش بین ۱۲/۰۹۹ تا ۱۴/۹ میلی‌متر در ایستگاه‌های مختلف متغیر بود. مقدار RMSE برای میزان بارش در استان کرمان بین ۱/۵ تا ۱۰/۱۳ میلی‌متر (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲)، در مناطقی از هند بین ۰/۲۲ تا ۱/۷ میلی‌متر (Reddy et al, 2014) و در مناطقی از مالزی بین ۱۷/۹۶ تا ۲۰/۰۹ (Hassan et al, 2014) گزارش شده است. وجود، ضریب کارایی بیش‌تر از ۹۳ درصد، قابلیت مدل LARS-WG را برای شبیه‌سازی مولفه‌های اقلیمی در استان مازندران نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن وزنی یکسان برای سه معیار ارزیابی معلوم شد دقت این مدل در شبیه‌سازی بارش روزانه در ایستگاه‌های نوشهر و رامسر به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار را دارد.

$$S_b^2 = \frac{s^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 / (n - 2) \quad (3)$$

در رابطه فوق S_b انحراف معیار داده‌ها بوده، x_i و \bar{x} به ترتیب داده‌های مستقل و میانگین آن‌ها، n تعداد داده‌ها، y_i و \hat{y} به ترتیب مقادیر واقعی و برآورد شده است. اگر قدر مطلق $t = \frac{b}{S_b}$ از $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-2}$ بزرگ‌تر باشد، شیب خط اختلاف معنی‌داری با صفر خواهد داشت که حاکی از وجود روند در سری زمانی است. مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده‌ی پارامترهای اقلیمی در هر مرحله با استفاده از معیارهای مجموع مربعات خطا (SSE)، ضریب کارایی مدل (EF)، جذر مجموع مربعات خطا (RMSE) و درصد خطای نسبی (%Difference) و بر اساس روابط ذیل صورت گرفت (Quynying et al., 2009; Reddy et al, 2014):

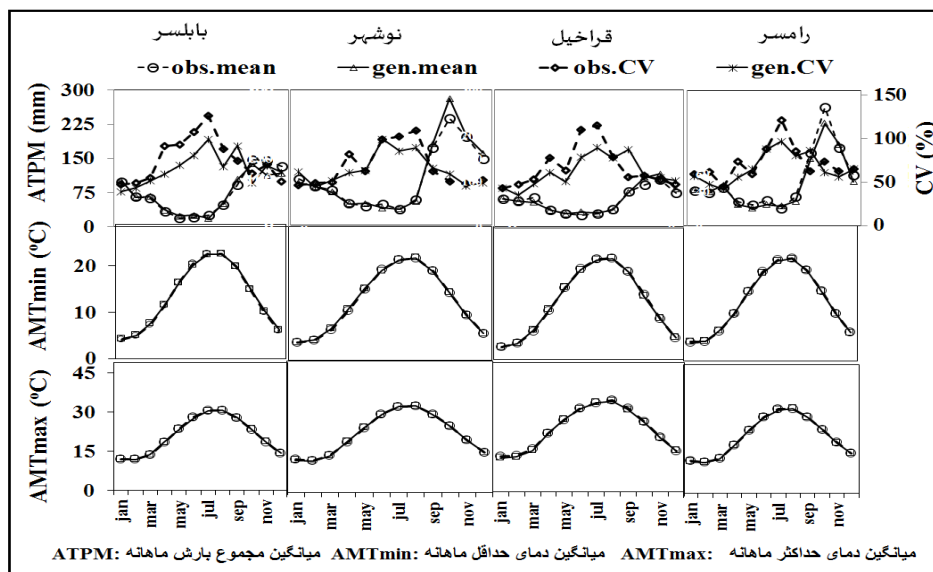
$$SSE = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (4)$$

$$Ef = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \quad (6)$$

$$\%Difference = \frac{y_i - x_i}{x_i} \times 100 \quad (7)$$

که در آن‌ها x_i نماد داده‌های مشاهده‌ای، y_i بیانگر داده‌های شبیه‌سازی، \bar{x} میانگین داده‌های مشاهده‌ای و n تعداد داده‌ها می‌باشد.



شکل (۱) مقایسه مقادیر ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای پارامترهای بارش، دمای حداقل و حداکثر

جدول (۲) مقایسه‌های آماری برای بارش، دمای حداقل و حداکثر در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱)

نام ایستگاه‌ها	بارش			دمای حداقل			دمای حداکثر		
	EF	RMSE	SSE	EF	RMSE	SSE	EF	RMSE	SSE
بابلسر	۱۶۱۰/۳	۱۲/۰۹۹	۹۳/۶۸	۰/۳۵	۰/۱۷۹	۹۹/۹۳	۰/۱۷	۰/۱۲۳	۹۹/۹۷
رتبه	۱	۱	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۲۰
رامسر	۲۰۲۳/۲	۱۳/۵۶	۹۵/۸۸	۰/۲۸	۰/۱۵۹	۹۹/۹۵	۰/۱۳	۰/۱۱	۹۹/۹۷
رتبه	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۱
نوشهر	۲۴۳۳/۶	۱۴/۸۷۴	۹۵/۲۲	۰/۳۱	۰/۱۶۷	۹۹/۹۴	۰/۲۷	۰/۱۵۷	۹۹/۹۴
رتبه	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲۳

EF* راندمان مدل، SSE مجموع مربعات خطا، RMSE جذر میانگین مربعات خطا

مقدار RMSE برای دمای حداکثر بین ۰/۲۶ تا ۰/۸ درجه سانتی‌گراد و برای دمای حداقل بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۳ در مناطقی از هند گزارش شده که در آن، راندمان مدل برای دمای حداکثر بیش از ۸۹/۳ و برای دمای حداقل بیش از ۹۹/۷۶ بود (2014 Reddy et al.). همچنین میزان RMSE در مناطقی از مالزی برای دمای حداکثر بین ۱/۷۹ تا ۲/۰۹ درجه سانتی‌گراد و برای دمای حداقل بین ۱/۰۸ تا ۱/۲۳ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Hassan et al, 2014). با در نظر گرفتن هر سه معیار ارزیابی معلوم شد که دقت برآورد دمای حداقل و

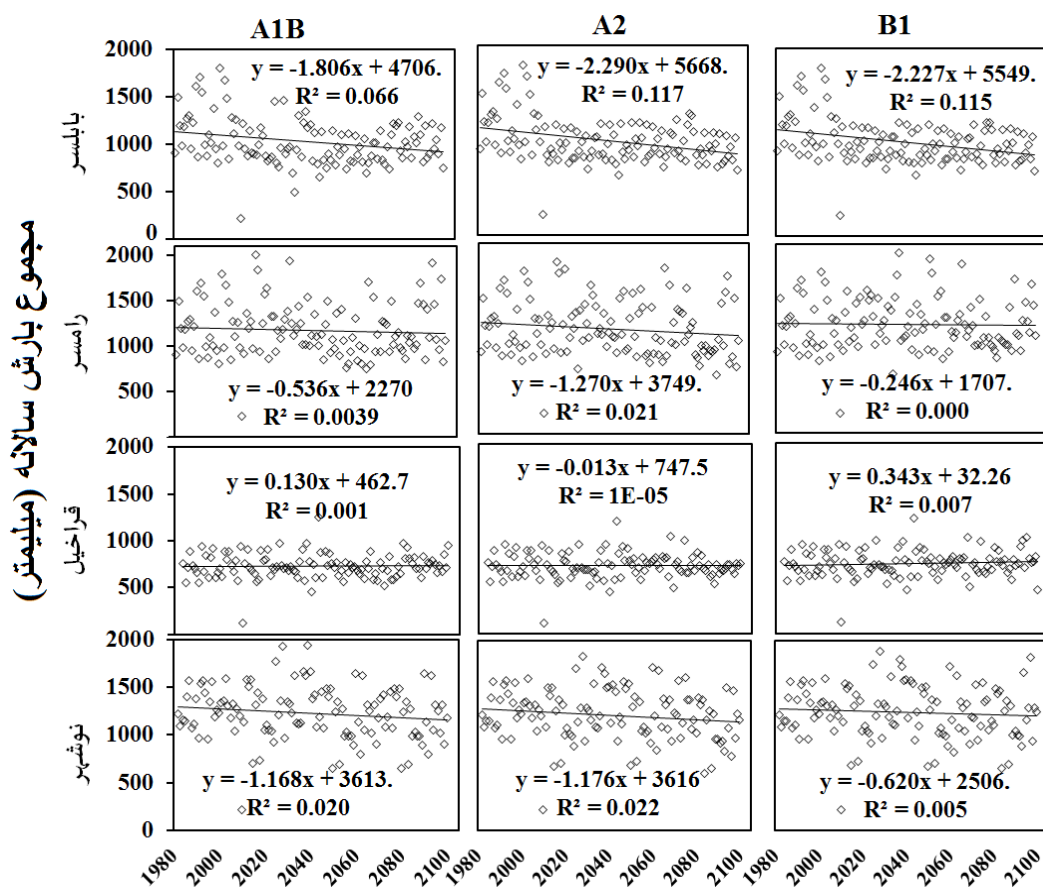
شکل (۱) و جدول (۲) نشان می‌دهد که مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر از دقت بالاتری برخوردار بود. مقادیر شبیه‌سازی شده برای دمای حداقل و حداکثر غالباً در فصول تابستان و پاییز کم‌برآورد شده و در فصل بهار بیش‌برآورد شد. لکن در فصل زمستان، دمای حداقل بیش‌برآورد و دمای حداکثر کم‌برآورد شد. دقت برآورد دمای حداقل و حداکثر تقریباً یکسان بود. مقدار RMSE برای دمای حداقل بین ۰/۱۵۹ تا ۰/۱۷۹ و برای دمای حداکثر بین ۰/۱۱ تا ۰/۱۵۷ بود. همچنین ضریب کارایی مدل برای دمای حداقل و حداکثر بیش از ۹۹ درصد بود.

پارامترها و گرم‌تر شدن هوا در نتیجه‌ی وقوع تغییرات اقلیم تحت هر سه سناریوی A1B، A2 و B2 را به اثبات می‌رساند. لکن این افزایش برای سناریوی A2 بیش‌تر بود. بیش‌ترین درصد افزایش دمای حداقل و حداکثر در ایستگاه رامسر در بازه‌ی زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ و تحت سناریوی A2 بوده که مقدار این افزایش در مقایسه با دوره‌ی پایه به ترتیب برابر با ۲۶/۶ و ۱۶/۶۴ درصد بود. همچنین، کم‌ترین درصد افزایش دمای حداقل و حداکثر مربوط به ایستگاه بابلسر در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و تحت سناریوهای A1B و B1 بوده که مقدار این افزایش در مقایسه با دوره‌ی پایه به ترتیب ۲/۹ و ۱/۷۸ درصد بود. شکل (۲) روند غالب کاهش بارش نسبت به دوره‌ی پایه را نشان می‌دهد.

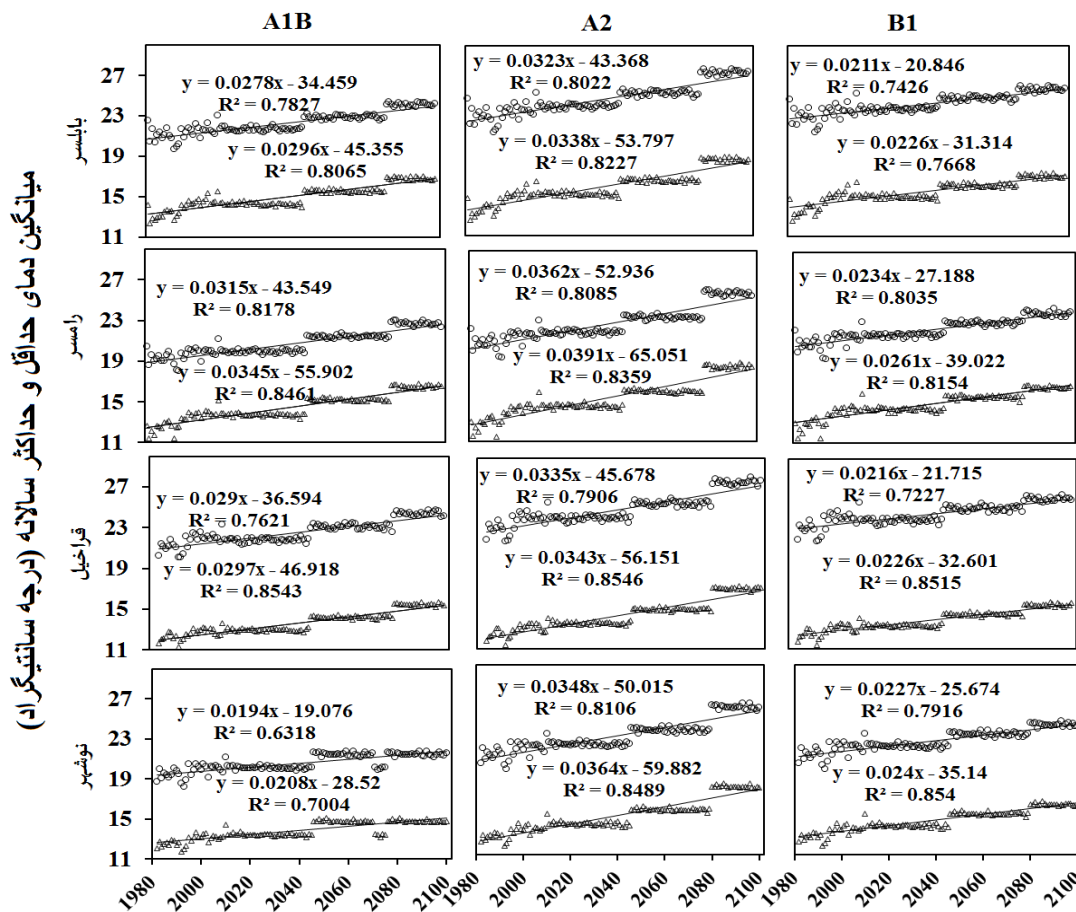
حداکثر در ایستگاه رامسر بالاترین مقدار را داشت. ایستگاه‌های نوشهر و بابلسر به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم از نظر دقت برآورد دمای حداقل و در رتبه‌های سوم و دوم از نظر برآورد دمای حداکثر قرار دارند. با در نظر گرفتن هر سه مولفه‌ی بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر مشخص شد که ایستگاه رامسر رتبه‌ی اول را از نظر دقت برآورد این مولفه‌ها با مدل LARS-WG داشته است. اما دقت مدل در تمام ایستگاه‌ها قابل قبول بود.

اثرات بلندمدت تغییرات اقلیم بر دما و بارش

نتایج آزمون روند در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داد که میزان شیب خط رگرسیون برای دمای حداقل و حداکثر در تمامی ایستگاه‌ها و سناریوها دارای مقدار مثبت بوده که این مساله افزایش معنی‌دار این



شکل (۲): روند تغییرات مقدار بارش تا سال ۲۱۰۰ در ایستگاه‌های منتخب



شکل (۳): روند تغییرات دمای حداقل و حداکثر تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوهای مختلف

(۱۳۹۲) نیز افزایش ۰/۲ درجه سانتی‌گراد را در انتهای دهه ۲۰۲۰ برای میانگین دمای سالانه استان مازندران و کاهش ۴ درصدی برای مقدار بارش را در کل استان نشان داد. همچنین بارندگی سالانه در منطقه کرمان طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) ۱۱ تا ۲۶/۵ درصد افزایش داشته است (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲). طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ برای مناطقی از هند بین ۲/۳۳ تا ۹/۵ درصد برای میانگین بارش سالانه و بین ۱ تا ۲/۵ درصد برای دمای حداکثر افزایش داشته و برای دمای حداقل بین ۳/۷ تا ۱۱/۷ درصد کاهش می‌یابد (Reddy et al, 2014).

مقایسه‌ی مقادیر ماهانه‌ی دمای حداقل و حداکثر در نتیجه‌ی وقوع تغییر اقلیم و مقدار معادل آن در

نتایج آزمون روند نشان داد که روند کاهشی بارش تنها در ایستگاه بابلسر در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده و در بقیه ایستگاه‌ها روند معنی‌داری مشاهده نشد. بیش‌ترین درصد افزایش بارش نسبت به مقدار میانگین آن در دوره‌ی پایه برابر با ۹/۶۱ درصد بوده که در ایستگاه بابلسر در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و تحت سناریوی A1B اتفاق افتاد. بیش‌ترین کاهش در میزان بارش برابر با ۲۱/۱۶- درصد بوده که در ایستگاه رامسر طی سال‌های ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و تحت سناریوی A1B مشاهده شد. دوستی و همکاران (۱۳۹۲) نتیجه گرفتند در استان گلستان طی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوهای A2 و A1B میانگین دما به ترتیب ۲/۴۸ و ۲/۴۳ درجه سانتی‌گراد و بارش ۱۶ و ۲ درصد افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش حق‌طلب و همکاران

اقلیمی را نشان می‌دهد. کم‌ترین مقدار میانگین بارندگی ماهانه برای دوره پایه در ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب در ماه‌های می، ژوئیه و ژوئیه و بیش‌ترین مقدار آن در تمام ایستگاه‌ها غالباً در ماه اکتبر رخ داد. مقایسه‌ی سناریوهای مختلف اقلیمی نشان داد که زمان وقوع کم‌ترین و بیش‌ترین میزان بارش در بازه‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ در تمام ایستگاه‌ها مشابه با دوره‌ی پایه بود. لکن، کم‌ترین میزان بارش در هر دو بازه‌ی زمانی ۲۰۷۱-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ در ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و ژوئیه و بیش‌ترین مقدار آن در ایستگاه‌های مذکور به ترتیب در ماه‌های نوامبر، اکتبر و اکتبر اتفاق افتاد.

در بازه‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، بیش‌ترین تاثیر تغییراقلیم بر افزایش میزان بارش در مقایسه با دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب مربوط به سناریوهای A1B (۵۱/۵ درصد)، B1 (۳۲ درصد) و A1B (۴۸ درصد) و در ماه‌های ژوئیه، نوامبر و نوامبر بوده و بیش‌ترین کاهش میزان بارش در ایستگاه‌های مذکور در مقایسه با دوره‌ی پایه به ترتیب مربوط به سناریوهای A1B (۲۵-درصد)، A2 (۲۳-درصد) و B1 (۱۶/۵-درصد) و در ماه‌های می، می و سپتامبر بود. در دوره‌ی ۲۰۷۰-۲۰۴۱، بیش‌ترین تاثیر تغییراقلیم بر افزایش میزان بارش در مقایسه با دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب مربوط به سناریوهای A2 (۳۶/۲ درصد)، A2 (۱۵ درصد) و B1 (۴۱/۷ درصد) و در ماه‌های نوامبر، آوریل و نوامبر بوده و بیش‌ترین تاثیر آن بر کاهش میزان بارش در ایستگاه‌های مذکور به ترتیب مربوط به سناریوهای A2 (۳۹/۹-درصد)، A2 (۳۰/۴-درصد) و A1B (۴۰/۸-درصد) و در ماه‌های ژوئن، اوت و ژوئیه بود. در نهایت در بازه‌ی زمانی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ نیز، بیش‌ترین تاثیر تغییراقلیم بر افزایش میزان بارش در مقایسه با دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب مربوط به سناریوهای A1B (۴۹/۷)

دوره‌ی پایه در شکل ۴ نشان داده شد. به استثنای برخی موارد محدود، نتایجی مشابه با دوره‌ی پایه از نظر زمان وقوع کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار دمای حداقل و حداکثر در دوره‌های مورد بررسی مشاهده شد. مقایسه کلی بین تمامی دوره‌ها و ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که تغییراقلیم اغلب منتج به افزایش دما شده است. بیش‌ترین درصد افزایش دمای حداکثر نسبت به دوره پایه برابر با ۲۵/۴ درصد بوده که در ماه فوریه برای ایستگاه رامسر در دوره‌ی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سناریو A2 به وقوع پیوست. همچنین، کم‌ترین درصد افزایش دمای حداکثر نسبت به دوره پایه برابر با ۰/۱ درصد بود که در ماه ژانویه برای ایستگاه رامسر، در دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ تحت سناریو A1B رخ داد. بیش‌ترین درصد افزایش دمای حداقل نسبت به دوره پایه در ماه ژانویه برای ایستگاه بابلسر تحت سناریوی A2 و دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ با ۸۵ درصد و کم‌ترین درصد افزایش دمای حداقل نسبت به دوره پایه در ماه ژوئیه برای ایستگاه بابلسر تحت سناریوی B1 با ۱/۴۶ درصد افزایش اتفاق افتاد.

مقایسه مقادیر ماهانه‌ی دما در سناریوهای مختلف نشان داد تقریباً در تمام ایستگاه‌ها، بیش‌ترین دمای حداقل و حداکثر تحت سناریوی A2 و کم‌ترین مقادیر آن‌ها تحت سناریوی B1 اتفاق افتاده است که این نتیجه، در دوره‌ی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ مشهودتر است. نتیجه پژوهش مشابه در استان گلستان حاکی از افزایش دمای حداقل و حداکثر در همه ماه‌ها در هر دو سناریوی مورد بررسی A2 و A1B بوده که بیش‌ترین افزایش دمای حداقل و دمای حداکثر مربوط به ماه ژوئیه و اوت بوده است (دوستی و همکاران، ۱۳۹۲) همچنین حق طلب و همکاران (۱۳۹۲) در فصل زمستان ۰/۷ درجه و برای پاییز ۰/۳ درجه افزایش دما را تا سال ۲۰۳۹ برای استان مازندران گزارش نموده‌اند.

شکل (۵) مقایسه میزان بارش ماهانه طی دوره‌های مورد بررسی تحت سناریوهای مختلف

تبخیر-تعرق پتانسیل برخوردار بوده و در بقیه روزها این تاثیر کمتر است. لکن در تمام روزهای سال، میزان ضرایب حساسیت این دو پارامتر به مراتب بیش تر از مقدار آن برای پارامتر تابش بود. نتایج پژوهش کوهی و ثنایی نژاد (۱۳۹۲) نیز نشان داد که دمای حداکثر و حداقل اهمیت بیشتری در تعیین مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل نسبت به سایر متغیرها دارد. به همین دلیل، از ترکیب دمای حداقل و دمای حداکثر در برآورد میزان تبخیر-تعرق در مدل تطبیقی عصبی-فازی استفاده شد.

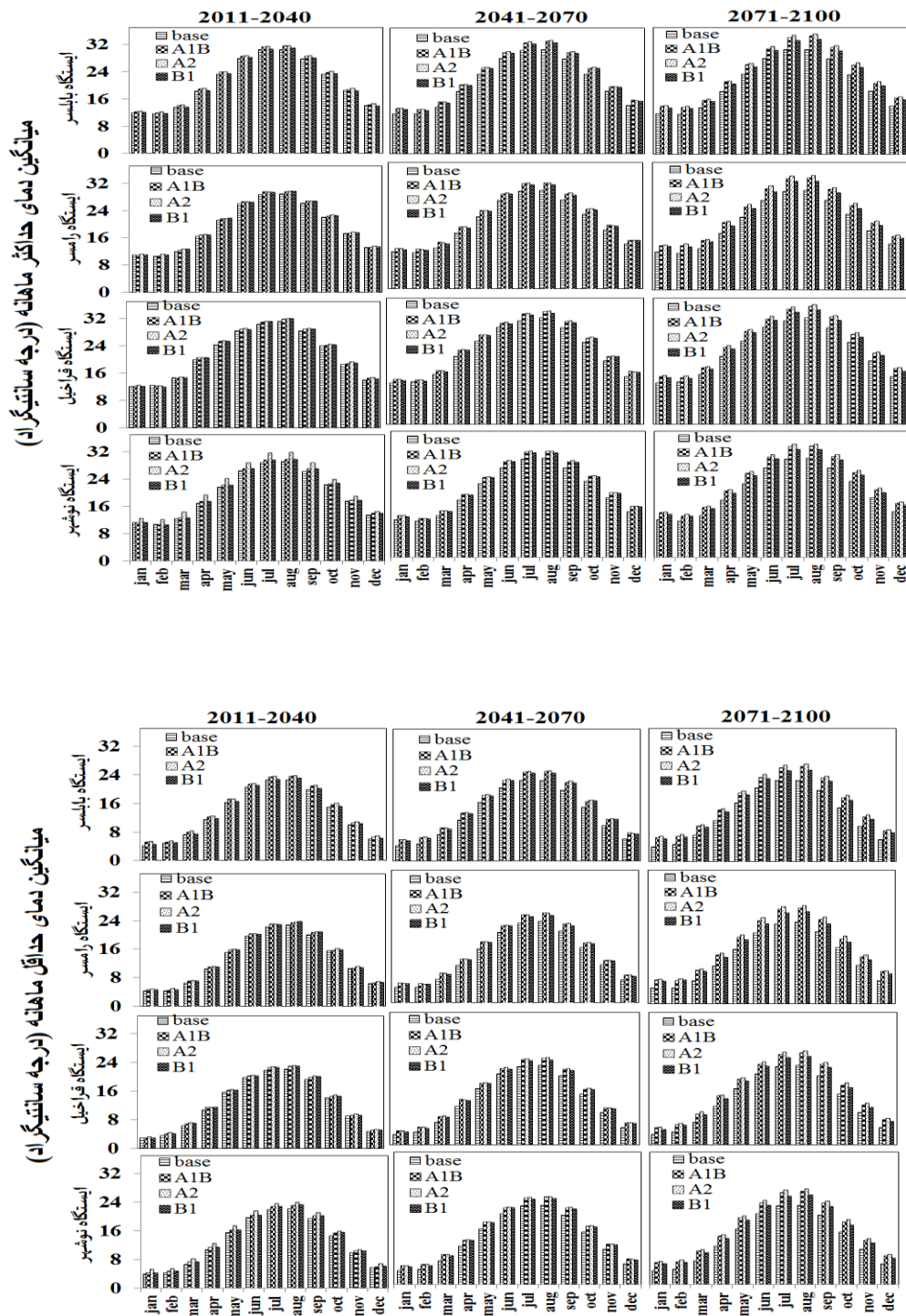
درصد)، A1B (۱۶ درصد) و A1B (۵۷/۷ درصد) و در ماه نوامبر بوده و کمترین تاثیر آن بر کاهش میزان بارش در ایستگاههای مذکور به ترتیب مربوط به سناریوهای A2 (۴۵- درصد)، A2 (۳۶- درصد) و A1B (۴۸- درصد) و در ماههای ژوئن، سپتامبر و ژوئیه بود.

بررسی فصلی میزان بارش نشان داد که در تمام دورههای زمانی مورد بررسی، افزایش بارش در فصل زمستان مشاهده شد. در مورد کاهش بارش، تفاوتهایی بین ایستگاهها در بازههای زمانی مختلف وجود داشت. در بازه ۲۰۱۱-۲۰۴۰، میزان بارش در تمام ایستگاهها در فصل بهار کاهش یافت. میزان بارش در فصل تابستان در ایستگاههای نوشهر و رامسر کاهش و در ایستگاه بابلسر افزایش یافت. همچنین مقدار آن در فصل پاییز در ایستگاههای بابلسر و رامسر افزایش و در ایستگاه نوشهر کاهش داشت. در بازه زمانی ۲۰۴۱-۲۰۷۰، میزان بارش در فصل تابستان در تمام ایستگاهها کاهش داشت. میزان بارش در فصل بهار در ایستگاههای بابلسر و نوشهر افزایش و در ایستگاه رامسر کاهش یافته و در پاییز در ایستگاههای بابلسر و رامسر افزایش و در ایستگاه نوشهر کاهش یافت. در بازه زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰، میزان بارش در تمام ایستگاهها در فصل تابستان کاهش یافت. میزان بارش در فصل بهار در ایستگاههای نوشهر و رامسر کاهش و در ایستگاه بابلسر افزایش یافته و در فصل پاییز، در ایستگاههای بابلسر و رامسر افزایش و در ایستگاه نوشهر کاهش یافت.

اثرات بلندمدت تغییر اقلیم بر میزان تبخیر-

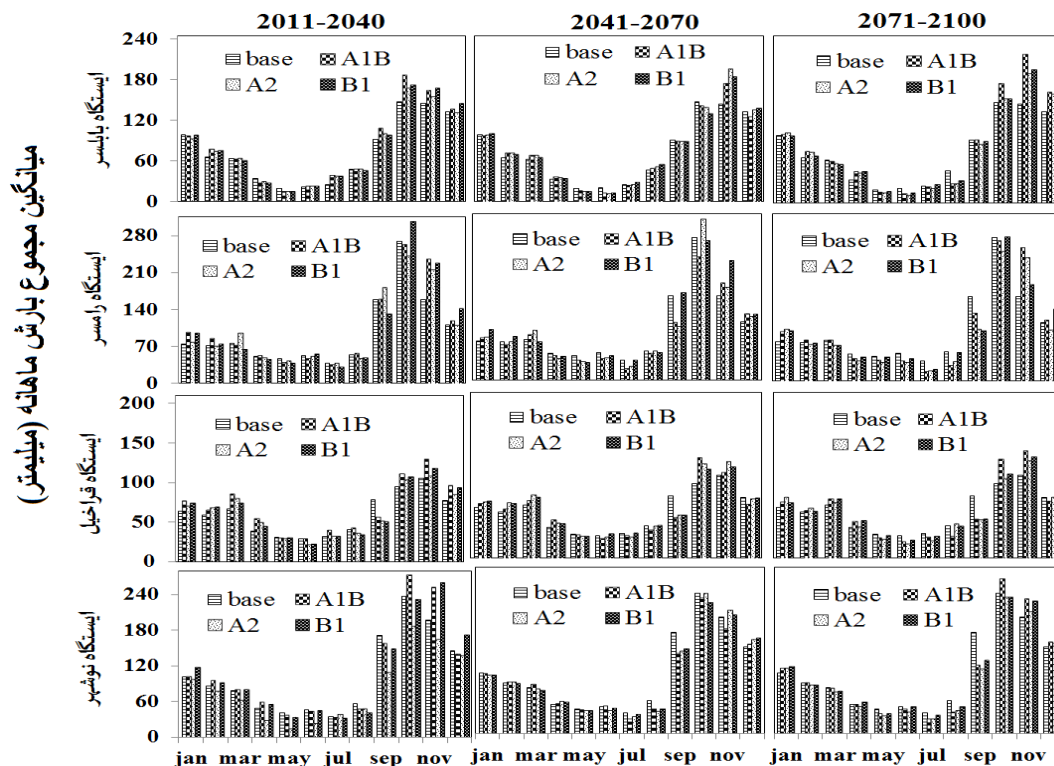
تعرق پتانسیل

نتایج آنالیز حساسیت برای پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش بر میزان تبخیر-تعرق پتانسیل روزانه نشان داد که دمای حداقل و حداکثر حدوداً طی روزهای ۱۰۰ تا ۳۰۰ از سال، مصادف با ماههای آوریل تا نوامبر، از تاثیر بیشتری بر میزان



شکل (۴) مقایسه میانگین ماهانه‌ی دمای حداقل و حداکثر طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت

سناریوهای مختلف اقلیمی با دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های منتخب



شکل (۵) مقایسه میانگین مجموع بارش ماهانه طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سناریوهای مختلف اقلیمی با دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های منتخب

عضویت هشت‌گانه، تابع عضویت گوسی ساده، بهترین جواب را در برآورد میزان تبخیر-تعرق ارائه داد. مقادیر اندک RMSE و ضرایب رگرسیون بالا باعث شد تا از این مدل در برآورد میزان تبخیر-تعرق تا سال ۲۱۰۰ استفاده شود.

جدول (۳) مقایسه‌ی مقادیر شبیه‌سازی‌شده‌ی تبخیر-تعرق پتانسیل با ANFIS و مقادیر محاسبه شده با معادله‌ی فائو پنمن-مانتیث در محیط برنامه‌ی CROPWAT را بر اساس معیارهای ارزیابی R^2 و RMSE در دوره‌ی پایه نشان می‌دهد. از میان توابع

جدول (۳) ارزیابی تبخیر-تعرق پتانسیل در دوره پایه، مقایسه مدل‌های ANFIS و CROPWAT

نام ایستگاه	بهترین تابع عضویت	بهترین ترکیب ورودی	RMSE (mm/day)	R^2
بابلسر	Gaussmf	Tmin, Tmax	۰/۶۴	۰/۸۶
رامسر	Gaussmf	Tmin, Tmax	۰/۷۱	۰/۸
نوشهر	Gaussmf	Tmin, Tmax	۰/۷۵	۰/۷۴

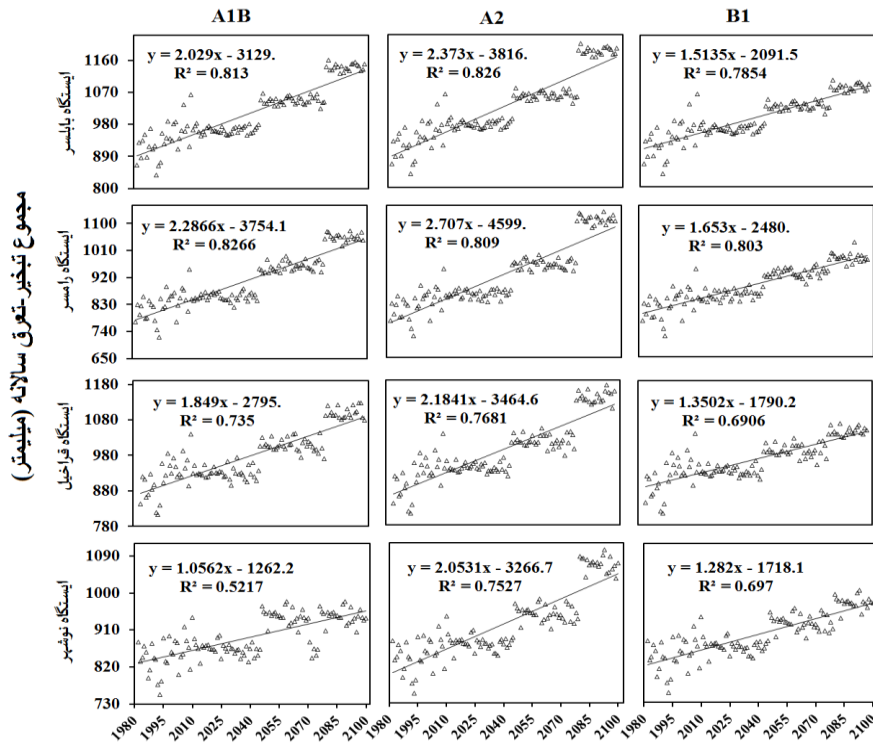
R^2 ضریب تعیین، Gaussmf تابع عضویت گوسی ساده، Tmin دمای حداقل، Tmax دمای حداکثر

B1 (۵/۷۲ درصد)، B1 (۰/۶۶ درصد) و B1 (۳/۳ درصد) و در ماه‌های ژانویه، فوریه و ژانویه بود. در نهایت در بازه‌ی زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ نیز، بیش‌ترین تاثیر تغییر اقلیم بر افزایش میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در مقایسه با دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب مربوط به سناریوهای A2 (۲۷/۲ درصد)، A2 (۲۵ درصد) و A2 (۳۴/۷ درصد) و در ماه‌های دسامبر، مارس و ژوئیه بوده و کم‌ترین تاثیر آن بر افزایش میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های مذکور در مقایسه با دوره‌ی پایه به ترتیب مربوط به سناریوهای B1 (۱۰/۶ درصد)، A1B (۲/۶ درصد) و B1 (۱۱/۲ درصد) و در ماه‌های نوامبر، فوریه و دسامبر بود. لازم به ذکر است در هیچ یک از بازه‌های زمانی ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ نشانه‌ای از کاهش تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه مشاهده نشد که این نتیجه، اثرات شدیدتر تغییر اقلیم بر افزایش نیاز آبیاری در این دوره‌ها را در مقایسه با دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نشان می‌دهد.

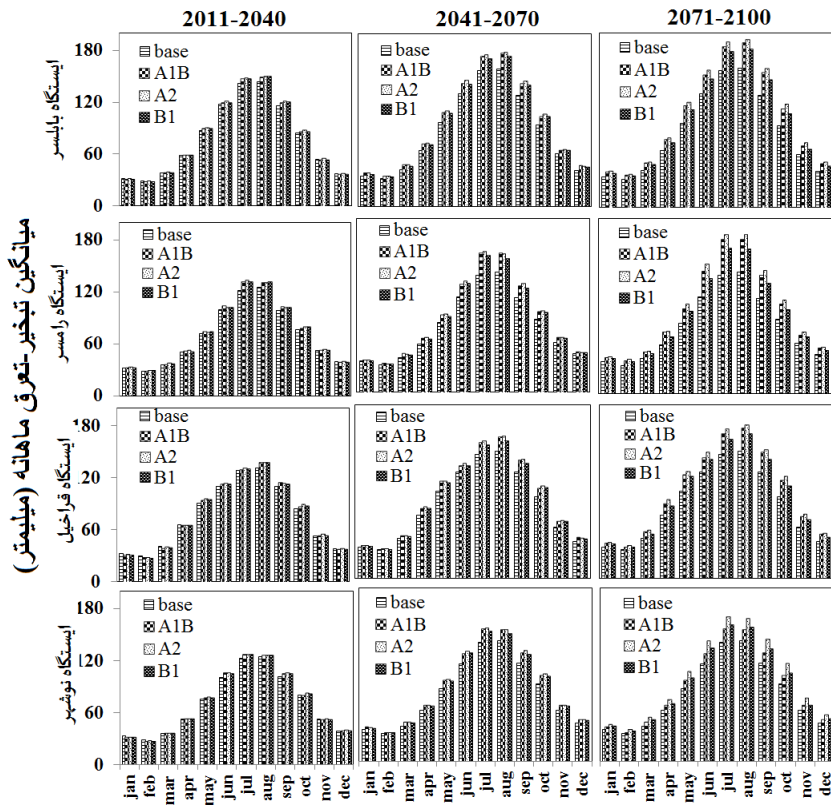
در نگاه کلی‌تر مشاهده می‌شود سناریوهای A2 و B1 در اکثر بازه‌ها به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل را منتج شدند. لکن تنها در بازه ۲۰۱۱-۲۰۴۰ در ایستگاه‌های بابلسر و رامسر و در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در ایستگاه نوشهر، سناریوی A1B، میزان تبخیر-تعرق را کم‌تر از سناریوی B1 برآورد نمود. کوهی و ثنائی‌نژاد (۱۳۹۲) میزان افزایش در تبخیر-تعرق مرجع برای منطقه ارومیه طی سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶، ۲۰۹۹-۲۰۸۰، به ترتیب به میزان ۳/۴، ۷/۸ و ۱۴/۹ گزارش نمودند. نتایج دانش‌افراز و رزاق‌پور (۱۳۹۳) نشان داد بازه زمانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میانگین مجموع پتانسیل تبخیر-تعرق بین ۳۰/۸۲ تا ۵۰/۴ میلی‌متر در استان آذربایجان غربی افزایش می‌یابد.

شکل (۶) روند تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل تا سال ۲۱۰۰ و مقایسه میانگین ماهانه‌ی تبخیر-تعرق پتانسیل طی سال‌های آتی را نشان می‌دهد.

براساس آزمون روند، مقادیر تبخیر-تعرق طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۱۰۰ دارای افزایشی معنی‌دار در سطح پنج درصد در تمام ایستگاه‌ها بود (شکل ۶). بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه در دوره پایه برای تمام ایستگاه‌ها در ماه اوت و کم‌ترین مقدار آن در ماه فوریه رخ داد که این تقویم، به ترتیب با بالاتر و پایین‌تر بودن دما در این ماه‌ها مطابقت دارد (شکل ۷). در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۰، به جز برخی موارد محدود، ماه‌های اوت، ژوئیه و ژوئیه به ترتیب در ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر دارای بیش‌ترین میزان تبخیر-تعرق پتانسیل و ماه فوریه دارای کم‌ترین تبخیر-تعرق پتانسیل بودند. در بازه‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، بیش‌ترین تاثیر تغییر اقلیم بر افزایش میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در مقایسه با دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب مربوط به سناریوهای A2 (۵/۱ درصد)، A2 (۵/۴۴ درصد) و A2 (۸/۵۸ درصد) و مربوط به ماه‌های سپتامبر، ژوئن و ژوئیه بوده و بیش‌ترین کاهش میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های مذکور در مقایسه با دوره‌ی پایه به ترتیب مربوط به سناریوهای A1B (۰/۴۷-درصد)، B1 (۳/۴۹-درصد) و A1B (۲/۳۳-درصد) و مربوط به ماه‌های نوامبر، فوریه و دسامبر بود. در دوره‌ی ۲۰۷۰-۲۰۴۱، بیش‌ترین تاثیر تغییر اقلیم بر افزایش میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در مقایسه با دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب مربوط به سناریوهای A1B (۱۴ درصد)، A2 (۱۲ درصد) و A2 (۲۰/۲ درصد) و در ماه‌های دسامبر، ژوئن و ژوئیه بوده و کم‌ترین تاثیر آن بر افزایش میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های مذکور در مقایسه با دوره‌ی پایه به ترتیب مربوط به سناریوهای



شکل (۶) روند تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوهای اقلیمی



شکل (۷) میانگین ماهانه تبخیر-تعرق پتانسیل در دوره‌ی پایه و بازه‌های آینده

نتیجه گیری

نشان می‌دهد که می‌تواند اثرات مخربی بر بخش کشاورزی، به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی آب شیرین برجای بگذارد. این مساله، با دانستن این نکته که میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در استان مازندران نیز در نتیجه‌ی تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت، حایز نگرانی بیش‌تری خواهد بود. از این‌رو، تدابیر مدیریتی جهت اولویت‌بندی کشت محصولات متناسب با منابع آبی موجود در اقلیم آینده، امری ضروری جهت نیل به کشاورزی پایدار و امنیت غذایی خواهد بود.

این پژوهش، با هدف بررسی اثرات بلندمدت تغییر اقلیم بر مولفه‌های مهم اقلیمی در استان مازندران، به عنوان یکی از استان‌های مرطوب ایران انجام شد. نتایج این پژوهش، افزایش دماهای کاردینال حداقل و حداکثر را به اثبات رساند که می‌تواند با جابجایی فصل کشت، تغییر در نیاز آبی گیاه ایجاد نماید. همچنین، کاهش بارش در غالب سناریوها و ایستگاه‌ها، کاهش احتمالی منابع آب تجدیدپذیر را

منابع

- اشرف، ب.، م. موسوی بایگی، غ. کمالی و ک. داوری. ۱۳۹۱. ارزیابی تغییر مصرف آب گندم و چغندر قند با توجه به اثرات تغییر اقلیم در دو دهه آتی در دشت‌های منتخب استان خراسان رضوی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۶(۲): ۱۱۷-۱۰۵.
- جهان‌بخش، س.، ع.م. خورشید دوست، ح. میر هاشمی، ه. خرمی و م. تدینی. ۱۳۹۳. روندیابی تغییرات نیاز آبی گیاه مرجع و متغیرهای هواشناسی مرتبط با آن در آذربایجان شرقی. نشریه آب و خاک ۲۸(۲): ۳۰۶-۲۹۶.
- حق طلب، ن.، م. گودرزی، م. حبیبی نوخندان، ا. ر. یآوری و ح. ر. جعفری. ۱۳۹۲. مدل سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۵(۱): ۴۹-۳۷.
- دانش‌فراز، ر. و ه. رزاق‌پور. ۱۳۹۳. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل در استان آذربایجان غربی. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۴(۴۶): ۲۱۱-۱۹۹.
- دوستی، م.، م. حبیب‌نژاد روشن، ک. شاهدی و م. ح. میریعقوب‌زاده. ۱۳۹۲. بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تهر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG. مجله فیزیک زمین و فضا. ۳۹(۴): ۱۸۹-۱۷۷.
- راهنمای نرم افزار متلب ۲۰۰۹.
- روشن، غ.، ع. قانقرمه و ا. شاهکویی. ۱۳۹۲. اثر تغییر اقلیم منطقه‌ای بر نیاز آبی غلات دیم ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۴(۴): ۱۹۴-۱۷۹.
- شیر غلامی، ه.، ب. قهرمان، ا. علیزاده و ج. بداق جمالی. ۱۳۸۳. بررسی روند تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایران. پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر. ۲(۳): ۲۶-۱۱.
- علیزاده، ا.، ن. سیاری، م. ر. حسامی کرمانی، م. بنایان اول و ع. فرید حسینی. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود). نشریه آب و خاک. ۲۴(۴): ۸۳۵-۸۱۵.

علیزاده، ا. و ن. صالح نیا. ۱۳۹۳. استفاده از نمایه خشکی جهت بررسی تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل و پهنه‌بندی آن در ایران به منظور استفاده در برآورد نیاز آبی گیاهان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۸(۱): ۱۴۴-۱۳۶.

عیوضی، م.، ا. مساعدی، م. مفتاح هلقی و م. حسام. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات بارش در مناطق شمالی استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۷(۲): ۱۶۸-۱۵۵.

کوهی، م. و ح. ثنایی نژاد. ۱۳۹۲. بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس نتایج حاصل از دو روش ریزمقیاس گردانی آماری برای متغیر تبخیر-تعرق مرجع در منطقه ارومیه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۷(۴): ۵۷۵-۵۵۹. گوه‌ریزی، ف. و م. اژدری مقدم. ۱۳۹۰. بررسی آسیب ناشی از خلا زایی با استفاده از منطق فازی. مجله پژوهش آب ایران. ۵(۸): ۱۱۶-۱۰۷.

مهدوی میمند، ا.، ج. احدیان و م. احترام. ۱۳۹۳. تحلیل حساسیت عوامل مؤثر در هوادهی سرریز با استفاده از روش‌های هوشمند مصنوعی و ANFIS. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۵(۱۷): ۹۵-۸۳.

هاشمی نسب خبیصی، ف.، م. موسوی بایگی، ب. بختیاری و ک. داوری. ۱۳۹۲. پیش‌بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده در استان کرمان با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM3. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۳(۱۲): ۵۸-۴۳.

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration guideline for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. 1-281.

Croitoru, A. E., A. Piticar, C. S. Dragota and D. C. Burada. 2013. Recent changes in reference evapotranspiration in Romania. *Global and Planetary Change*. 111: 127-132.

Goyal, R. K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural Water Management*. 69: 1-11.

Hassan, Z., S. Shamsudin and S. Harun. 2014. Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*. 116:243-257.

Huo, Z., X. Dai, S. Feng, S. Kang and G. Huang. 2013. Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. *Journal of Hydrology*. 492:24-34.

The Physical Science Basis. . 2007. IPCC. Summary for Policy Makers. Climate Change Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.

Jang J. S. R. 1993. ANFIS: Adaptive-network-based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetic*, 23(3): 665-685.

Jang, J. S. R., C. T. Sun, E. Mizutani. 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Prentice-Hall, New Jersey. 34(1): 1021-1030.

Lee, W. and J. A. Hoops. 1996. Prediction of Cavitation Damage for Spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*. 122(9): 481-488.

McCuen, R. H. 1974. A sensitivity and error analysis of procedures used for estimating evapotranspiration. *Water Resources Bulletin*, 10(3), 486-498 .

Qunying, L., W. Bellotti, M. Williams and E. Wang, Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: analysis of management and breeding strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2009, 129, 261–267.

Reddy, K. S., M. Kumar, V. Maruthi, B. Umesha, and C. V. K. Nageswar 2014. Climate change analysis in southern Telangana region, Andhra Pradesh using LARS-WG model. *Current science*. 107: 54-62.

Zhang, D., L. Xiaomang and H. Haoyuan. 2013. Assessing the effect of climate change on reference evapotranspiration in China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. Springer, DOI:10.1007/s00477-013-0723-0.

Predicting The Long-term Effect of Climate Change on Climatic Variables in Humid Region

Mahdi Kalanaki¹, Fatemeh Karandish²

Abstract

Water shortage as well as negative effects of climate change on it is a global concern. Long-term variations of the climatic variables due to greenhouse gases emission has a significant effect on the volume of renewable water resources and consequently, on the planning for water allocation to important sectors. Thus, in this research, the long-term effect of climate change on precipitation, temperature and potential evapotranspiration (ET_p) was investigated under A1B, A2 and B2 scenarios until 2100 in Mazandaran province. First, using weather data in three stations of Noshahr, Ramsar and Babolsar during base period of 1981-2010, the potential evapotranspiration was calculated based on FAO-Penman Monteith equation. Then, the ability of ANFIS model for estimating potential evapotranspiration using the least data was evaluated. LARS-WG was used to downscale the HADCM3 atmospheric general circulation model data and thereafter, it was used for predicting the climatic variables under A1B, A2 and B2 scenarios up to 2100. A significant increase in minimum and maximum temperature led to a significant increase in potential evapotranspiration during 1981-2100. This incensement was higher under A2 scenario. More incensement in the cardinal temperatures in the cold seasons would change crops cultivation calendar. Totally, it could be concluded that despite the existence of a humid climate in the study area during the base period, significant increase in potential evapotranspiration during the whole year specially, during the cultivation seasons of agricultural products, would cause a severe water crisis in the study area. Regarding a significant relation between crop water use and yield, inattention to increased potential evapotranspiration would threaten food security due to applying severe economic loss.

Key Words: ANFIS, LARS-WG Model, Mazandaran, Potential evapotranspiration.

¹ . Ms.C student in Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Zabol University, Zabol, Iran.
Email: Kalanaki_Mahdi@yahoo.com

² . Assistant Professor, Water Engineering Department, Zabol University, Zabol, Iran (Corresponding Author).

Email: F.Karandish@uoz.ac.ir & Karandish_h@yahoo.com